

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Удосконалення системи очищення пилогазових викидів від ділянки вагранок ливарного цеху»

Виконала: студентка 4 курсу, групи 6.1830

Морозова Д.М.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

Керівник Белоконь К.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2024 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший бакалаврський рівень

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ

Ю.О. Белоконь

« 07 » 06 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Морозова Дана Махмудівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення системи очищення пилогазових викидів від дільниці вагранок ливарного цеху

керівник роботи (проєкту) Белоконь Каріна Володимирівна, к.т.н, доцент

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

затверджена наказом вищого навчального закладу від «26»12 2024 року № 2215-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) 07.06.2024

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) річний фонд часу 1664 та 1620 годин для вагранок №1 та №2 відповідно, кількість металу, що виплавляється, складає 7 т для кожної вагранки, кількість рідкого чавуну 11030 та 10420 т/рік для вагранок №1 та №2 відповідно, коефіцієнт $A = 1$, питома виділення речовин на одиницю продукції для окису вуглецю $q_{CO}=125-130$ г/т, для пилу графітового $q_C=18-22$ г/т.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) реферат, вступ, загальна частина, спеціальна частина, охорона праці та техногенна безпека, висновки, список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентаційний матеріал, 16 слайдів: титульний лист, джерела забруднення повітря в ливарному цеху, концентрація пилу, що виділяється при роботі технологічного устаткування, концентрації монооксиду вуглецю у повітрі ливарного цеху, вплив пилогазових викидів ливарних цехів на людину та навколишнє середовище, апарати для вловлювання пилу від вагранок, основні типи вагранок, вагранка, кількість хімічних речовин у викидах коксових вагранок ВАТ «Інтерпайп НТЗ», технологічна схема відводу та очищення пилогазових викидів коксових вагранок ВАТ «Інтерпайп НТЗ», характеристика сухого пиловловлювача, принципові схеми очистки викидів вагранок, порівняльна характеристика ефективності роботи існуючої та запропонованих систем пилогазоочистки, установка для технічного допалювання відхідних газів з вертикально розміщеними насадками, кількість викидів від вагранок ВАТ «Інтерпайп НТЗ» до та після модернізації, висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Розділ 1	Белоконь К.В., доцент	
Розділ 2	Белоконь К.В., доцент	
Розділ 3	Белоконь К.В., доцент	
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О., завідувач кафедри	

7. Дата видачі завдання 15.04.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	до 22.04.2024	
2	Реферат	до 06.05.2024	
3	Розділ 1	до 13.05.2024	
4	Розділ 2	до 20.05.2024	
5	Розділ 3	до 31.05.2024	
6	Висновки	до 07.06.2024	

Студент _____ Морозова Д.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Белоконь К.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Кваліфікаційна робота на тему «Удосконалення системи очищення пилогазових викидів від дільниці вагранок ливарного цеху»: 76 стор., 14 табл., 8 рис., 15 джерел.

ПИЛОГАЗОВІ ВИКИДИ, ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ОКИС ВУГЛЕЦЮ, ВАГРАНКИ, ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ, ОЧИЩЕННЯ, НЕБЕЗПЕЧНІ І ШКІДЛИВІ ФАКТОРИ.

Мета кваліфікаційної роботи є розробка пропозицій з удосконалення системи очищення пилогазових викидів від дільниці вагранок ливарного цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ».

У першому розділі розглянуто характеристику джерел утворення шкідливих викидів у ливарних цехах, вплив пилогазових викидів ливарних цехів на навколишнє середовище, загальний аналіз апаратів та систем очищення викидів ливарних цехів.

У другому розділі розглянуто технологію плавки чавуну в коксовій вагранці, характеристики пилогазових викидів коксових вагранок ВАТ «Інтерпайп НТЗ», існуючу схему очищення викидів коксових вагранок у СФЛЦ ВАТ «Інтерпайп НТЗ», аналіз методів знешкодження газових викидів коксових вагранок. Виконано розрахунок питомих викидів від устаткування.

Запропоновано установку для технічного допалювання відхідних газів з вертикально розміщеними насадками, що включає сухий пиловловлювач, допалювання монооксиду вуглецю в камері допалювання за допомогою інжекційних пальників, камера охолодження (гравітаційний пиловловлювач), димова труба.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуто небезпечні та шкідливі фактори в ливарному цеху, розроблено заходи з техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки. Виконано розрахунок аерації для видалення надлишку тепла, що надходить від кожухів устаткування, поверхні рідкого металу ливарного цеху.

Зміст

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	9
1.1 Характеристика джерел утворення шкідливих викидів у ливарних цехах	9
1.2 Вплив пилогазових викидів ливарних цехів на навколишнє середовище	14
1.3 Загальний аналіз апаратів та систем очищення викидів ливарних цехів	18
РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	28
2.1 Загальна характеристика сталєфасоноливарного цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ»	28
2.2 Плавка чавуну у вагранках	28
2.3 Технологія плавки чавуну в коксовій вагранці	31
2.4 Характеристики пилогазових викидів коксових вагранок ВАТ «Інтерпайп НТЗ»	34
2.5 Опис існуючої схеми очищення викидів коксових вагранок у СФЛЦ ВАТ «Інтерпайп НТЗ»	36
2.6 Аналіз методів знешкодження газових викидів коксових вагранок	39
2.7 Розробка пропозицій з модернізації пилогазоочисного устаткування дільниці вагранок сталєфасоноливарного цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ»	40
2.8 Сутність методу термічної очистки	44
2.9 Схема та принцип дії запропонованого устаткування	47
2.10 Аналіз інших шляхів зниження пилогазових викидів коксових вагранок	53
2.11 Розрахунок питомих викидів від існуючого устаткування	56
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	61
3.1 Основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори	61

3.2 Заходи зі зниження шкідливостей та небезпечностей у сталефасоноливарному цеху	64
3.4 Пожежна безпека	70
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75

ВСТУП

Боротьба з забрудненням повітряного басейну виробничими викидами - одна з найактуальніших проблем сучасності.

Задача охорони повітряного басейну від забруднень складна, вона сполучена з великими матеріальними витратами, вимагає постійних спільних зусиль дослідників та працюючих. У її рішенні за останні роки досягнуті деякі позитивні результати, однак якість очищення викидів (особливо від плавильних агрегатів) усе ще залишається незадовільною. Відчувається потреба в науково-обґрунтованих рекомендаціях із проєктування систем очищення, а також у дослідженнях технологічних і конструктивних параметрів установок і апаратів.

Очищенню і знешкодженню пилогазових викидів ливарного виробництва в даний час приділяється серйозна увага у багатьох розвинених країнах [1]. Заходи з охорони повітря містять у собі комплекс мір організаційного і технічного характеру, спрямованих на зниження кількості шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, як шляхом удосконалювання й оптимізації технологічних процесів, так і за допомогою очищення і знешкодження викидів в установках очищення газів.

Установки для очищення і знешкодження пилогазових викидів являють собою комплекс споруд, устаткування й апаратури, призначений для очищення газу, що надходить із промислового джерела, або перетворення в нешкідливий стан речовин, що забруднюють атмосферу.

Технічний прогрес в області чорної металургії характеризується ростом обсягів виробництва, інтенсифікацією технологічних процесів, збільшенням потужності основних агрегатів. Скорочення шкідливих технологічних викидів може бути досягнуте шляхом зміни технології процесу або конструкції агрегату, зміни фізико-хімічних і механічних характеристик матеріалів, застосованих у виробництві, які є джерелом інтенсивного пилогазовиділення, здійсненням заходів, спрямованих на скорочення витрат

матеріалів, що викликають значні виділення шкідливих речовин, створенням маловідхідної або елементів безвідхідної технології, а також модернізацією й удосконаленням установок очищення газів [2].

В даний час для плавки чавуну і сталі найбільше поширення одержали плавильні агрегати, що використовують вогневі методи - печі-вагранки (76%) і індукційні (23%) та дугові (1%) печі, що використовують електронагрів.

При плавці чавуну у вагранках виділяються у великих кількостях забруднюючі речовини: пил, окис вуглецю, сірчистий ангідрид, окисли азоту, вуглеводні, що негативно впливають на здоров'я людини і навколишнє середовище.

У зв'язку з чим метою даної кваліфікаційної роботи є розробка пропозицій з модернізації пилогазоочисного устаткування дільниці вагранок сталєфасоноливарного цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ».

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика джерел утворення шкідливих викидів у ливарних цехах

Задачею ливарного виробництва є виготовлення з металів та металевих сплавів виробів-випусків, що мають різноманітні обриси і призначені для використання в різних цілях. Сутність ливарного виробництва зводиться до одержання рідкого, тобто нагрітого вище температури плавлення, сплаву потрібного складу і необхідної якості, і заливання його в заздалегідь приготовлену форму. При охолодженні сплав твердіє і у твердому стані зберігає конфігурацію тієї порожнини, у яку він був залитий. У процесі кристалізації й охолодження сплаву формуються основні механічні й експлуатаційні властивості відливка, обумовлені макро- і мікроструктурою сплаву, його щільністю, наявністю і розташуванням у ньому неметалічних включень, розвитком у виливку внутрішніх напружень, викликаних неодноразовим охолодженням його частин і ін. Ливарна технологія може бути реалізована різними способами. Весь цикл виготовлення виливка складається з ряду основних і допоміжних операцій, здійснюваних як паралельно, так і послідовно в різних відділеннях ливарного цеху [3].

У загальних викидах в атмосферу на ливарне виробництво приходиться 3% пилу і 0,5% чадного газу [4].

У ливарних цехах джерелами пилу і токсичних газів є вагранки, ливарний проліт, відділення очищення, відділення підготовки і сушіння формувальних мас. До ділянок підвищеного забруднення в ливарному виробництві варто також віднести газогенераторну станцію, склад і засоби транспортування [2]. При здійсненні процесу розливу металу в атмосферу виділяється пил, що містить оксиди металу, оксиди кремнію, сажеві частки і газоподібні речовини у виді оксидів сірки, азоту, вуглецю. Джерела забруднення повітря в ливарному цеху приведені на рисунку 1.1



Рисунок 1.1 – Джерела забруднення повітря в ливарному цеху

До механічного устаткування ливарних цехів, що викидають пил, відносяться машини з виготовлення сумішей і транспортери, що переробляють і транспортують відпрацьовану суху формувальну або стрижневу суміш; дробарки і млини для вугілля і глини; устаткування для вибивання форм і стрижнів, для очищення лиття. Велика кількість пилу і газів виділяється від плавильних агрегатів, а також на ділянках заливання й охолодження виливків.

Пил, що утворюється при різних технологічних операціях, як правило, високодисперсний. У таблиці 1.1 приведено дисперсний склад пилових викидів від різного технологічного устаткування [5].

Таблиця 1.1 – Дисперсний склад пилу, що виділяється від різного технологічного устаткування ливарних цехів

Технологічне устаткування або операція	Склад фракцій (%) при діаметрі часток (мкм)					
	не менш 5	5-10	10-20	20-40	40-60	більше 60
Каткові змішувачі	-	12,0	1,9	10,0	1,4	74,7
Відцентрові змішувачі	4,7	6,0	20,0	23,3	16,0	30,0
Дробеструмінні та дробеметні камери	13,0	12,0	23,0	23,0	17,0	12,0
Обрубка сталевих лиття	96,9	1,8	1,3	-	-	-
Зняття пригару зі сталевих виливків	6,0	8,0	22,0	25,0	26,0	13,0

Технологічне устаткування або операція	Склад фракцій (%) при діаметрі часток (мкм)					
	не менш 5	5-10	10-20	20-40	40-60	більше 60
Вибивні грати	4,7	6,0	20,0	23,3	16,0	30,0
Вагранки холодного дуття	5-14	2-12	5-6	6-12	12-26	70-23
Вагранки гарячого дуття	15-17	13-20	4-16	5-13	10-16	53-18
Електродугові печі	42-47	29-30	6-4	8-5	9-3	6-11

Найбільша кількість пилу міститься в повітрі, що відсмоктується від устаткування обрубувально-очисного та вибивного відділень. Концентрація пилу, що виділяється при роботі технологічного устаткування, у розрахунку на 1 т лиття наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Концентрація пилу, що виділяється при роботі технологічного устаткування

Технологічне устаткування	Пристрій для місцевого відсмоктувача	Обсяг повітря, що відсмоктується, м ³ /год	Запиленість відхідних газів, г/м ³
Каткові змішувачі	Сполошний кожух з боковою частиною, захищеною брезентом. Площа відкриття не більше 1 м ²	3000	7,5
Відцентрові змішувачі	Сполошний кожух з боковою частиною, захищеною брезентом. Площа відкриття не більше 1 м ²	15000-25000	до 40,0
Вузли пересипання сухих сипучих матеріалів (з транспортеру на транспортер)	Сполошний кожух з бічним відсмоктувачем або двері для пропускання стрічок	По розрахунку, виходячи з площі відкритих отворів	1000

Технологічне устаткування	Пристрій для місцевого відсмоктувача	Обсяг повітря, що відсмоктується, м ³ /год	Запиленість відхідних газів, г/м ³
Пласкі сита	Сполошний кожух з боковими дверями для завантаження	1500 на 1 м ² поверхні сита	2.0
Бункера формовочних сумішей	Відсмоктувач	500	500
Механічні та пневматичні вибивні грати	Бічний відсмоктувач	12000	800
	Відсмоктувач знизу	12000	13000
Вібраційні вибивні грати	-	15000 на 1 м ² грат	8000
Очисні барабани періодичної дії	Відсмоктувач через напіввіс	1800	6000
Дробеструмінні камери	Відсмоктувач повітря з вертикальної зони	-	3000
Точильно-здірочний верстат	-	-	3000
Вагранки відкритого типу продуктивністю 10 т/год	Відбір газу вище завалочного вікна	25000-30000	5-12
Вагранки закритого типу продуктивністю 10 т/год	Відбір газу нижче завалочного вікна	10000	5-20
Електродугова піч (5т)	Зонт	15000-20000	1-2
	Кільцевий відсмоктувач	10000-12000	1-3
	Відсмоктувач з-під зводу	3000-5000	1,5-3,5
Індукційна піч (3 т)	Зонт	5000	0,7-1,5

У повітрі ливарного цеху може міститися в значних концентраціях окис вуглецю, що утворюється при неповному згорянні палива в різних печах і сушилах (при сушінні форм і стрижнів, ливарних ковшів і т.д.), на ділянках заливання форм і охолодження виливків (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Концентрації окису вуглецю у повітрі ливарного цеху

Місце виміру	Концентрація CO, мг/м ³	
	мінімальна	максимальна
Кабіна монорейкового крану стрижневого відділення	30	40
Сушильна піч	15	15
Вибивний полуавтомат	10	15
Стенд розігрівання ковшів	20	60
Заливочний конвеєр	15	60
Завантаження шихти	0	30
Кабіна мостового крану сталевиплавного відділення	45	60

В'яжучі матеріали можуть виділяти шкідливі речовини також при збереженні і перемішуванні з піском унаслідок невеликого нагрівання. Серед продуктів, що утворюються при збереженні і перемішуванні, найбільш небезпечні пари органічних розчинників, а також формальдегід і окис вуглецю.

При температурах 300-400°C и вище в'яжучі розкладаються з виділенням значних кількостей газів і диму [1]. Серед речовин, що утворюються в результаті розкладання, особливу небезпеку представляють аміни, фенол, анілін, ціаністий водень, формальдегід. В'яжучі і продукти їх розкладання в багатьох випадках пожежо- і вибухонебезпечні. В останні роки в ливарному виробництві знаходять широке застосування формувальні і стрижневі суміші холодного і гарячого твердіння на високомолекулярних синтетичних в'яжучих речовинах. У процесі виготовлення сумішей, а також при виконанні форм і стрижнів на високомолекулярних синтетичних смолах виділяється велика кількість шкідливих речовин.

Інтенсивне газовиділення спостерігається також при виготовленні виливків у кокілях і на машинах лиття під тиском у момент заливання. Газовиділення є результатом згоряння матеріалів, якими змазують металеві

форми перед заливанням, а також за рахунок виділення газів, розчинених у розплавленому металі.

Підвищене газовиділення має місце у випадку виготовлення сталевих чи чавунних виливків по моделях, які газифікуються. Як матеріал для них у цьому випадку застосовується пінополістирол, що газифікується або безпосередньо в процесі заливання розплавленого металу у форму, або в спеціальних печах (безпосередньо перед цією операцією). При термічній деструкції пінополістиролу виділяється велика кількість шкідливих газоподібних речовин і часток сажі.

Таким чином, концентрація шкідливих речовин у повітрі всіх основних відділень ливарного цеху може досягти величин, що значно перевищують гранично припустимі норми, якщо не будуть прийняті заходи для видалення і знешкодження цих речовин.

Донедавна питанням захисту навколишнього середовища приділялася недостатня увага, що стримувало застосування ефективних засобів очищення і знешкодження викидів. Як правило, ливарні цехи обладнані лише циклонами для уловлювання крупнодисперсного пилу або апаратами мокрого очищення вентиляційних викидів. При цьому слід зазначити недостатні потужності систем вентиляції більшості цехів [1]. В зв'язку з чим питання аналізу шляхів зниження негативного впливу викидів ливарних цехів на довкілля потребує подальшого розгляду.

1.2 Вплив пилогазових викидів ливарних цехів на навколишнє середовище

Найбільші забруднювачі, що утворюються в ливарних цехах – пил різної хімічної природи й оксиди вуглецю, азоту, сірки (IV). Від вагранок у повітря викидаються пил, окис вуглецю, двоокис сірки, окис азоту, вуглеводні. Вплив вказаних забруднювачів на людину та довкілля наведено у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Вплив пилогазових викидів ливарних цехів на навколишнє середовище

Назва	Клас небезпеки	Вплив на людину	Вплив на довкілля
Пил	3-4 (в залежності від складу)	Вплив на бронхо-легеневу систему: кашель, біль під час дихання, подразнення слизових оболонок; хронічний бронхіт, порушення функцій легенів, атрофія та ерозії слизової оболонки носа й носоглотки, катар бронхів, трахеї, загострення туберкульозу легенів, напади бронхіальної астми, алергічні реакції. Пил може сорбувати й нести на собі канцерогенні, мутагенні, токсичні речовини. Підсилює вплив газоподібних речовин.	Зменшує прозорість і видимість атмосфери, закупорює продишки клітин рослин, порушує процес фотосинтезу (ускладнює доступ сонячних променів до хлоропластів).
Окис вуглецю (CO)	4	Вступає у реакцію з гемоглобіном, позбавляє тканини кисню, викликає кисневу недостатність, головний біль, запаморочення, розвиток серцево-судинних хвороб, може викликати удушся.	Негативно впливає на рослини та тварин.
Двоокис сірки (SO ₂)	3	Подразнення слизових оболонок, ларингіти, бронхіти, астма, розлади легеневої діяльності, посилення респіраторних захворювань.	Викликає кислотні дощі, що призводить до закислення водойм та ґрунтів та порушення життєдіяльності флори та фауни. Пригнічує процеси фотосинтезу.
Двоокис азоту (NO ₂)	2	Подразнення слизових оболонок, респіраторні захворювання, вплив на кров'яну систему, гепатотоксичний ефект. При взаємодії з органічними речовинами може викликати біологічні мутації.	Викликає кислотні дощі, смог, погіршення видимості (блокує розповсюдження світла у міських зонах), пригнічує життєдіяльність рослин.
Вуглеводні	4	Функціональні зміни ЦНС, подразнення дихальних шляхів, нудота, запаморочення, сонливість, розлад дихання й кровообігу. Деякі вуглеводні є канцерогенами.	Входять до складу парникових газів, що спричиняють парниковий ефект. Є складовими смогу. Можуть бути вибухонебезпечними.

Забруднення атмосферного повітря призводить до погіршення санітарно-гігієнічних показників: збільшується частота туманів, зменшується видимість і прозорість для ультрафіолетового випромінювання, погіршуються санітарно-побутові умови життя населення, спостерігається негативний вплив на розвиток рослин та організм людини. Тумани збільшують охолоджуваність тіла, гнітюче впливають на настрій та самопочуття людей. Збільшення кількості пилу в атмосфері зменшує її прозорість і видимість. Пил і сажа проникають у помешкання, забруднюючи їх. Це призводить до того, що мешканці менше провітрюють свої помешкання, а отже, менше споживають свіжого повітря.

Забруднення атмосфери вражають фруктові дерева, ліси, сільськогосподарські культури та трав'яний покрив. Для рослин особливо небезпечними є сірчистий газ, хлор, фтор, пил та смолисті речовини. Отруйні гази токсично діють на протоплазму рослинних клітин, сірчистий газ пригнічує процеси фотосинтезу. Пил і сажа закупорюють породири клітин рослин, ускладнюють доступ сонячних променів до хлоропластів.

Ступінь дисперсності твердих часточок, що містяться в повітрі, впливає як на їх властивості (леткість, розчинність, електричні та оптичні властивості тощо), так і на глибину їх проникнення в органи дихання та затримку в легенях. Якщо розмір часточок становить більш як 10 мкм, вони осідають з наростаючою швидкістю зі збільшенням їх розмірів. Якщо їх розміри знаходяться в межах 0,1-10 мкм, то вони осідають зі сталою швидкістю. Часточки пилу розміром менш як 0,1 мкм зовсім не осідають і перебувають у постійному броунівському русі.

Аеродисперсії змінюють клімат, особливо освітленість. Вплив аеродисперсій визначається їх кількістю, дисперсністю, хімічним складом та іншими фізико-хімічними властивостями. Чим менші розміри часточок, тим слабкіше вони затримуються. В альвеолах легенів найкраще затримуються часточки розміром близько 1 мкм. Гігроскопічні часточки здатні коагулювати і збільшувати свої розміри. Поглиблене дихання, наприклад,

під час значних фізичних навантажень, збільшує ступінь затримання пилу в легенях. Часточки неправильної форми осідають повільніше. Легше сорбуються в легенях часточки сферичної форми. Часточки з гострими гранями можуть спричинювати мікротравми дихального епітелію, порушувати його бар'єрну функцію, сприяти проникненню мікроорганізмів та розвитку пневмоконіозів.

При надходженні до легенів часточки пилу затримуються на поверхні легеневої тканини, що спричинює їх накопичення, створюючи високу концентрацію токсичних речовин. Маючи велику активну поверхню, самі часточки не тільки мають негативний вплив, а й адсорбують на своїй поверхні велику кількість різних речовин (газів, золів тощо), що також спричинює накопичення токсинів та їх негативну дію на організм. Особливо це небезпечно в разі накопичення радіоактивних і канцерогенних речовин та важких металів.

Більшість твердих часточок несуть на собі негативний або позитивний заряд, що посилює їх здатність затримуватися в легенях. Від хімічних властивостей пилу залежить їх біологічна активність, зокрема алергенні властивості, фіброгенність, подразнювальна дія тощо. До особливо агресивних фіброгенних речовин належить оксид силіцію (IV), здатний спричинювати фіброз легенів. На поверхні дихальних шляхів оксид силіцію (IV) утворює силікатну кислоту, яка спричинює силікоз. Шкідливим є пил з кислотними або лужними властивостями, оскільки він зумовлює зміну рН і порушує роботу епітелію. Пил з алергенними властивостями (пил борошна, соломи, льону, бавовни, шовку, шерсті, фруктів, хрому) призводить до появи бронхіальної астми.

Якщо часточки пилу сорбували гази, то вони погано змочуються і слабо коагулюють. Пил може сорбувати також отруйні гази і за певних умов їх десорбувати, спричинюючи отруєння. У разі сорбції пилом кисню він стає легкозаймистим і може викликати вибух. Вибухонебезпечність

пилу залежить від його концентрації, дисперсності, вологості, наявності летких сполук тощо.

Якщо атмосфера забруднена пилом, легені незадовільно вентилюються і стають сприйнятливими до різних легеневих захворювань. Пил може призводити до атрофії та ерозії слизової оболонки носа й носоглотки, катару бронхів, трахеї, загострення туберкульозу легенів, нападів бронхіальної астми. Пил може сорбувати й нести на собі канцерогенні, мутагенні, токсичні речовини.

Атмосферне повітря є одним з основних природних ресурсів, без якого людина може прожити лише кілька хвилин, тоді як без їжі – до 70 діб. В організмі людини немає органів, які б забезпечували запас кисню хоч на невеликий проміжок часу, тому її організм змушений постійно і безперервно споживати свіже повітря для підтримання процесів життєдіяльності. Зміна хімічних і фізичних властивостей повітря може порушувати гомеостаз її організму, спричинюючи небажані негативні відхилення в здоров'ї. Організм людини адаптувався до чистого повітря, тому він завжди потребує його в чистому вигляді зі сталими властивостями: хімічним складом, температурою, тиском, електричним станом, швидкістю руху та іонізацією [6].

1.3 Загальний аналіз апаратів та систем очищення викидів ливарних цехів

Вибір способу очищення газових викидів залежить головним чином від фізичних і хімічних властивостей пилових часток, їх дисперсного складу й аеродинамічної характеристики, кількості і температури газів, що виділяються, особливостей технологічного режиму роботи устаткування, інтенсивності виділення пилу, а також необхідної ефективності пиловловлення.

Критеріями оптимальності процесу очищення служать ступінь видалення пилу, вартість застосовуваної установки, витрати енергії і води, а

також експлуатаційна надійність. Крім того, мають значення такі місцеві умови, як вартість енергії і води, а також необхідна площа для розміщення установки з видалення пилу. Оцінка відомих даних дозволяє стверджувати, що знепилювання тільки в тому випадку надійно, якщо правильно обрана продуктивність пиловловлювачів стосовно кількості, температурі і складу викидів.

Усе різноманіття існуючих апаратів пиловловлення можна звести до чотирьох основних груп: сухі, мокрі, фільтруючі й електричні (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Апарати для вловлювання пилу від вагранок

Видалення шкідливих газових складових можна здійснити трьома методами: адсорбцією, абсорбцією і допалюванням (каталітичним чи термічним) (рис. 1.3).

Як правило, системи повного очищення повинні сполучати як вловлювання пилу, так і один з методів знешкодження.

Знепилювання повітря, що викидається з ливарного цеху, звичайно здійснюється за допомогою різного типу пилоосаджуючих пристроїв, різних за принципом дії й ефективністю. До них відносяться пилоосаджуючі камери, апарати сухого інерційного і мокрого очищення, тканинні й електричні фільтри.



Рисунок 1.3 – Методи видалення газових складових з викидів

Застосування пилоочисників дає можливість не тільки домогтися очищення газів, що відходять, від пилу, але і повторно використовувати раніше викинутий пил.

До пиловловлювачів сухого типу відносяться іскрогасники, камерні пиловловлювачі і циклони. Апарати перших двох типів здатні вловлювати тільки відносно великі фракції пилу за рахунок гравітаційного осадження і внаслідок цього відрізняються великими габаритами через необхідність знизити швидкість газового потоку до швидкості витання часток. Ефективність вловлювання в цих апаратах не перевищує звичайно 50%. Ці недоліки привели до майже повної заміни подібних установок на усіх великих підприємствах.

Циклони, що працюють за принципом інерційного пилоосадження, широко застосовуються в системах вентиляційного повітря. Вони компактні, прості у виготовленні і не вимагають великих експлуатаційних витрат. Ефективність роботи цих апаратів у значній мірі залежить від дисперсного складу пилу, температури і швидкості газового потоку, що звичайно знаходиться в межах 20-25 м/с. При правильній експлуатації циклони можуть забезпечити зниження запиленості на виході до десятих часток грама речовини (40-85% від початкового вмісту). Діаметр циклонів звичайно вибирається в залежності від конструкції й у межах 800 см. Циклони менших діаметрів забезпечують більш ефективне пилоосадження. Тому при

необхідності очищення великих обсягів газів установлюють батарею мультициклонів діаметром по 250 мм. Циклони можуть застосовуватися у відділеннях очищення й обрубки лиття, виготовлення сумішей і інших, де виділяються відносно великі фракції пилу. Істотним недоліком циклонів є зниження ефективності пиловловлення при підвищенні температури, що зв'язано зі збільшенням кінематичної в'язкості газів. При очищенні високотемпературних газів необхідно або виконувати циклони з легованих жаростійких сталей, або попередньо розбавляти гази холодним повітрям. В обох випадках підвищується вартість очищення.

При очищенні мілкодисперсного пилу циклони і мультициклони доцільно використовувати тільки як першу ступінь очищення газів, що надходять потім у пристрої з більш високим коефіцієнтом уловлювання. Таке компонування очисних комплексів поліпшує умови експлуатації дорогих апаратів, подовжуючи термін їх служби. Наприклад, використання мультициклона в парі з рукавним фільтром дозволяє подвоїти термін служби останнього і знизити вартість очищення на 30%.

Апарати «мокрого» типу є в даний час найбільш широко розповсюдженими пристроями очищення викидів. Вони прості по конструкції, компактні й у більшості випадків забезпечують очищення до необхідних санітарних норм при відносно невеликих витратах. Апарати «мокрого» типу по питомих енергетичних витратах або по швидкості руху в них газів, які очищаються, можна розділити на три групи.

До низькошвидкісних (до 5 м/с) відносяться «мокрі» пиловловлювачі (іскрогасники) і скрубери різного типу. Такі апарати мають дуже невеликий опір і можуть працювати за рахунок природної тяги при очищенні гарячих газів. Мокрі іскрогасники є найбільше розповсюдженими пристроями для очищення ваграночних газів. Однак, незважаючи на велику кількість таких апаратів, що знаходяться в експлуатації, відсутнє їх єдине конструктивне рішення. Вони відрізняються габаритами, кількістю і розташуванням форсунок зрошення, витратою води, засобами інтенсифікації процесів

пиловловлення (подача пари, добавки поверхнево-активних речовин, акустичні форсунки). Суперечливі і дані про їхню ефективність очищення – від 50 до 85%.

Мокрі апарати очищення зі швидкостями до 5 м/с можуть застосовуватися лише для осадження великих і середніх фракцій пилу. Якщо ж викиди містять високодисперсний пил (вихідні гази плавильних агрегатів), вони можуть служити лише першою ступінню попереднього очищення й охолодження газів. Для тонкого очищення необхідно застосовувати більш енергоємні апарати зі швидкостями руху від 5 до 30 м/с. Такі пристрої вимагають установки димососів, тому що їх опір складає звичайно 175-250 мм. вод. ст. До них відносяться барботажні апарати типу пінного пиловловлювача зі зливальними або заливними ґратами, ротоклони, ударні апарати, а також скрубери з різними насадками.

Принцип дії пінного апарата засновано на взаємодії запиленого газового потоку і рідини, що зрошує, шляхом створення високорозвиненої поверхні контакту між ними за рахунок пінного шару, що утвориться на ґратчастій чи дірчастій тарілці. Газ проходить через рідину зі швидкістю, що перевищує швидкість вільного спливання пухирців, тим самим створюючи стійкий шар рухливої турбулізованої піни. Але при великих лінійних швидкостях газів в апараті виникає значний краплевинос і зрив пінного режиму.

Застосування пінних апаратів при очищенні холодних газів забезпечує високий ступінь пиловловлення з доведенням до концентрацій шкідливих речовин у викидах до санітарних норм. Але спроби використовувати пінні апарати для очищення гарячих технологічних газів (ваграночних) виявилися невдалими, тому що їхня ефективність залежить від температури газів на вході в апарат і досягнення санітарних норм можливо лише при температурах нижче 85⁰С.

Широко використовують для очищення вентиляційних викидів ливарних цехів ротоклони або гідродинамічні пиловловлювачі.

Знепилювання у ротоклоні відбувається за рахунок продувки газу через S-образну щілину імпелеру зі швидкістю 10-30 м/с. При цьому газовий потік захоплює за собою рідину і при подвійному переході через щілину утворює «киплячий» шар. Вода змочує й утримує пил, а газ, пройшовши через водяну завісу, іде до димососу через жалюзійний краплєвловлювач.

При роботі з холодними газами вода, що залита до ротоклону, може використовуватися без заміни до того часу, поки ємність не заповниться шламом. Потім через спускний отвір шлам викидається у відвал. У випадку використання ротоклонів для очищення гарячих газів ефективність їх істотно знижується. У ротоклон не слід подавати газу без попереднього глибокого охолодження їх до 65-85⁰С. Для зниження температури газів доцільно встановлювати перед ротоклонами охолоджувачі скрубєрного чи жалюзійного типу, а також дві-три форсунки – безпосередньо на вхідній частині апарата.

Загальною закономірністю для апаратів мокрого пиловловлення є пропорційна залежність між ефективністю очищення і питомими витратами енергії. У разі потреби забезпечити ефективність очищення до 98-99% при високодисперсних викидах, особливо при роботі газами з підвищеною температурою (більш 200-250⁰С), застосовуються високошвидкісні промивачі: дезінтегратори і труби Вентурі.

Перші являють собою відцентровий вентилятор, у якому лопаті замінені прутами, встановленими на обертовому диску (роторі). На бічних стінках корпусу укріплені нерухомі пруту. У центр апарата подається вода зрошення, що при обертанні ротора розпорошується конічними розбризкувачами. Завдяки відцентровій силі суміш газу з водою вдаряється об нерухомі пруту, що веде до ще більшого її розпилення і сприяє змочуванню часток пилу. Процес багаторазово повторюється, потім крапельки води з поглиненим пилом по стінці камери стікають у відстійник. Таким чином, дезінтегратор є комбінованим апаратом: він очищає й одночасно засмоктує запилені газу. Для відділення крапель після

дезінтегратора необхідно встановлювати скруббер-краплевловлювач. Дезінтегратори-промивачі знайшли широке застосування на ваграночних установках. Ефективність пиловловлення досягає $0,1-0,05 \text{ г/м}^3$. Однак, апарати цього типу придатні для очищення технологічних газів тільки з обов'язковим попереднім їх охолодженням. Щоб уникнути корозії й інтенсивного абразивного зносу обертових частин вентиляторні пилоочисники (дезінтегратори) необхідно виготовляти зі зносостійкої і кислототривкої сталі.

Труби Вентурі (швидкісні пиловловлювачі) є найбільш енергоємними «мокрими» апаратами, але одночасно і найбільш ефективними при очищенні високодисперсних гарячих (до $500-600^\circ\text{C}$) пилогазових викидів. Конструкція їх проста і компактна: конфузور з кутом збіжності $20-35^\circ$, шийка (циліндрична частина) і дифузор з кутом розкриття $6-7^\circ$. Випускаються апарати круглого, прямокутного і кільцевого перетинів, що зв'язано з необхідністю при великих витратах газів мати діаметр (щілина) шийки не більш $150-200 \text{ мм}$. При збільшенні перетину шийки погіршується ефективність очищення. Процес пиловловлення відбувається за рахунок інтенсивного дроблення крапель води зрошення в конфузорі та шийці, де швидкість потоку досягає $70-150 \text{ м/с}$, і наступної коагуляції й уловлювання пилу в дифузорі. У ньому створюються значні перепади швидкостей руху газопилового потоку і дрібнодисперсних крапель води, що потім осаджуються в краплевловлювачах різного типу. Вода подається в апарат через форсунки або шляхом плівкового зрошення стінок конфузору, тому що рідина диспергується досить ефективно під дією турбулентного потоку. Труби Вентурі мають високий гідродинамічний опір, що вимагає могутніх високонапорних нагнітачів.

Застосування і тривала експлуатація високонапірних труб Вентурі (до 1500 мм вод.ст.) показали, що вони надійно забезпечують пиловловлення до необхідних санітарних норм і вище ($0,1-0,5 \text{ г/м}^3$) як в умовах очищення

вентиляційних так і технологічних викидів при вмісті дрібнодисперсних часток до 0,5 мкм.

Високоєфективними очисними пристроями, але разом з тим і найбільш дорогими, є тканинні й електричні фільтри.

Тканинні фільтри забезпечують очищення газових викидів до санітарних норм при дотриманні ряду умов. Це насамперед відсутність парів олій або смол, низька температура газів і невеликі швидкості (до 1-3 м/с). Однак, дотримання цих умов приводить до збільшення габаритів установок.

Фільтри можуть бути виконані у виді рукавів або полотнищ. Як матеріал для їх виготовлення використовуються різноманітні тканини з натурального (бавовна, вовна) і синтетичного волокна. Фільтри знаходять усе більше застосування у зв'язку з жорсткістю санітарних норм, а також оскільки вони не мають потреби в системах водопостачання і споживають порівняно мало енергії. До переваг фільтрів відноситься високий ступінь очищення (не менш 99%) незалежно від габаритів, потужності і продуктивності установки.

Цікавість представляють фільтри зі спечених матеріалів, виготовлені у виді тонкостінних труб або полотнищ. Переваги їх – можливість очищення газів з температурою 700-900°C, міцність і довговічність. Для очищення технологічних газів використовують також зернисті (зернові) фільтри. Вони являють собою засипання з декількох шарів кускових матеріалів (галька, металеві кульки, кокс і ін.) товщиною в 150-250 мм, крізь які з невеликою швидкістю просмоктуються гази, що очищаються. При зростанні опору через забивання пір пилом фільтр регенерується зворотною продувкою протягом 3-5 хвилин. Для засипання використовуються гранули розміром від 3-5 до 15-20 мм.

Для очищення газів сталеплавильних печей, а також вагранок великої потужності й інших агрегатів, робота яких пов'язана з утворенням значної кількості тонкодисперсного пилу широко застосовуються електрофільтри. Щонайкраще уловлюється в електрофільтрах пил, що містить велику

кількість окислів заліза. При збільшенні питомого опору пилю ефективність електрофільтрів знижується.

В зв'язку з тим, що з підвищенням температури величина пробивної напруги зменшується, то для забезпечення максимального пиловловлення необхідно газу, що подаються до електрофільтрів, попередньо остудити, тим більше, що підвищення їх вологості сприяє поліпшенню очищення. Для кожного типу печей існує визначений оптимум температур: для ваграночних викидів – 80-90°C, для сталеплавильних – 200-250°C.

При використанні сухих електрофільтрів необхідно цілком виключити небезпеку проникнення в систему палих газів (CO) і повітря, щоб уникнути вибухів.

Ефективність різних очисних апаратів приведена в таблиці 1.5 [7].

Таблиця 1.5 – Ефективність очисних апаратів

Область застосування	Тип пилогазовловлювачу	Вид устаткування	Індекс групи апаратів очищення газу	Продуктивність по газу, м ³ /год	Ефективність очистки, %
Груба очистка від пилю	Гравітаційний	Сухі іскрогасники	С	2500-30000	25-30
	Інерційний	Циклони	С	400-32000	60-80 (дрібно- та середньодисперсний пил)
					80-90 (крупнодисперсний)
Середня очистка від пилю	Мокрий	Мокрі іскрогасники	М	2500-30000	50-85
		Поліскрубери	М	1500-15000	50-70
		Турбулентні промивачі	М	3100-84000	95-98

Область застосування	Тип пилогазовловлювачу	Вид устаткування	Індекс групи апаратів очищення газу	Продуктивність по газу, м ³ /год	Ефективність очистки, %
Тонка очистка від пилу	Тканинний	Рукавний фільтр	Ф	до 50000	95-98 та більше
	Електричний	Електрофільтр	Е	десятки та сотні тис. м ³ /годину	95-98 та більше
Очистка від окису вуглецю	Термічний	Пристрої допалювання	Т	-	до 99,9

З таблиці 1.5 видно, що кожен тип апаратів має свою область застосування, та може використовуватися для очистки викидів вагранок. Тип та послідовність апаратів у системи очистки залежить від багатьох факторів: кількісний та якісний склад викидів, їх температура, обсяг, вже існуюче очисне обладнання та інше.

РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Загальна характеристика сталєфасоноливарного цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ»

Сталєфасоноливарний цех ВАТ «Інтерпайп НТЗ» призначений для випуску чавунного лиття. Цех відноситься до допоміжного виробництва (тобто обслуговує основне виробництво). Виплавлений чавун в основному використовується для лиття виливниць вагою від 3 до 8 тонн і для машинобудівного лиття. Потужність цеху по чавуну 18000 т/рік.

У цеху є дві коксові вагранки (печі шахтного типу), призначені для плавки чавуну продуктивністю 7 т/год. Вагранки працюють по черзі. Вони обладнані копильниками ємністю 7 т.

Хімічний склад чавуну: вуглець – не більше 3,5%, кремній 1,6-2,4%, марганець 0,5-0,9%, сірка – не більше 0,1%, фосфор – не більше 0,2%, хром – не більше 0,1%.

Вагранки обладнані механізованою системою завантаження шихти й механізмом відкривання подини. Система завантаження шихти містить у собі: дозуючі бункери; електроваговий візок; скіповий підйомник.

Існуюча система зважування та завантаження шихти дозволяє завантажувати у вагранку шихтові матеріали в кількості відповідній до технологічного процесу, що забезпечує одержання чавуну необхідного хімічного складу.

2.2 Плавка чавуну у вагранках

Плавка чавуну в ливарному виробництві, чи вторинна плавка чавуну, здійснюється в основному у вагранках, індукційних печах, дугових печах. Відповідно розрізняють методи: ваграночний, індукційної і дугової плавки чавуну [8].

В даний час у чавуноливарному виробництві України 76% плавильних агрегатів – вагранки, 23% – індукційні електропечі і міксери і близько 1% – електродугові печі перемінного і постійного струму. На більшості підприємств основні фонди амортизовані до 70-80%, тому вибір раціональної і екологічної технології плавки різних металів, а також типу плавильного агрегату є надзвичайно актуальною задачею для багатьох підприємств, тому що в ринкових умовах вирішальною стає техніко-економічна ефективність процесу плавки.

Таким чином, у даний час найпоширенішим чавуноплавильним агрегатом є вагранка, простота конструкції якої забезпечила їй широке поширення в усьому світі. На рис. 2.1 приведені основні типи сучасних вагранок.



Рисунок 2.1 – Основні типи вагранок

Однак відкриті коксові вагранки викидають в атмосферу велику кількість шкідливих газів і пилу, а також не задовольняють сучасним вимогам до температури і якості чавуну при виробництві складних виливків. У зв'язку з цим вагранки оснащують пристроями для допалювання й очищення газів, що відходять, і підігріву повітряного дуття.

Характерною рисою сучасної вагранки є доменний профіль шахти, що істотно поліпшує газодинаміку і теплообмін у вагранці і зручний для зовнішнього поливного охолодження. Фурми виконують всунутими та водоохолоджуваними, швидкозмінними, по типу фурм доменних печей.

Незважаючи на широке застосування водного охолодження, практично усі вагранки мають вогнетривку футеровку. У більшості випадків ця футеровка виконується із шамотних вогнетривких виробів. Шамотні і напівкислі вироби випускаються трьох марок: ШАВ – шамотні вироби з вогнетривкістю не нижче 1730°C; ШБВ – те ж з вогнетривкістю не нижче 1670°C; ПБВ – напівкислі вироби з вогнетривкістю не нижче 1670°C. Шамотні вироби ШАВ застосовують для футеровки тих зон вагранки, у яких спостерігається найвища температура (зона плавлення і горн). Для футерування інших зон використовують вироби ШБВ і ПБВ. Крім кислого футерування, що виконується із шамотних і напівкислих вогнетривів, вагранки можуть мати основне футерування. Вона використовується лише в тих випадках, коли треба одержати з вагранки малосірністий чавун за рахунок застосування основних шлаків. Працюють ці вагранки звичайно на гарячому дутті.

Для футерування горна вагранок з водяним охолодженням, що мають тривалий цикл роботи, застосовують вуглецеві вогнетриви у виді блоків або набивної вуглецевої маси.

Вагранки з водяним охолодженням плавильного пояса горном з вуглецевих матеріалів працюють, як правило, на гарячому дутті і мають високі техніко-економічні показники. Нагромадження металу може здійснюватися в нижній частині вагранки, що називається горном, чи в

спеціальному копильнику. Відповідно до цього розрізняють вагранки з копильником і без нього [8].

2.3 Технологія плавки чавуну в коксовій вагранці

Чавун по призначенню і хімічному складу поділяється на передільний, тобто призначений для переробки в сталь, ливарний – для виробництва фасонного лиття, і спеціальний – зі збільшеним вмістом кремнію і марганцю.

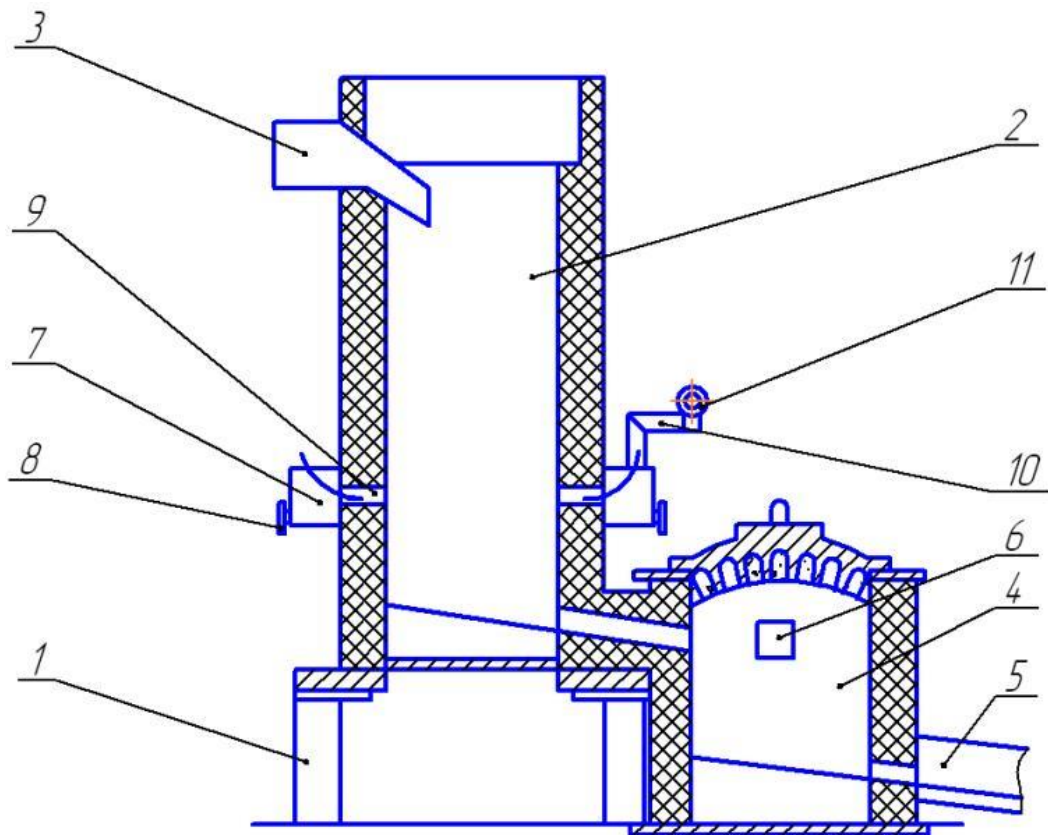
Ливарний чавун після випуску з доменної печі розливають у чушки й у холодному виді направляють у ливарні цехи або на машинобудівні заводи, де для вилівки деталей його вдруге піддають розплавлюванню в спеціальних печах-вагранках. Вагранки – печі шахтного типу, що забезпечують можливість безупинної плавки чавуну (рис. 2.2).

Вагранки – являють собою вертикальний сталевий циліндр із товщиною стінок 6-10 мм, футерований зсередини вогнетривкою цеглою. Вагранка складається з опорної частини 1, шахти вагранки 2, труби з завантажувальним вікном 3, копильника 4 з жолобом 5 для зливу чавуна в ківш і шлакової льотки 6 для скачування шлаку.

Повітряне дуття надходить у вагранку без підігріву через розподільчу коробку для дуття 10 за допомогою вентилятора 11. Вагранки, як правило, мають поливне водне охолодження плавильного поясу і водоохолоджувані фурми 9. Водне охолодження - поливне, для чого служать водний колектор 7 з водними трубками для подачі води на кожух і водозбірну коробку 8 для збору і відводу води до окремого баку з метою охолодження води і повторного її використання. Двері або штори для перекриття завалочного вікна відсутні [9].

Продуктивність вагранок може варіюватися від 1 до 30 т/год. Тривалість міжремонтного циклу плавильної печі не перевищує 24 години. Технологічний цикл роботи плавильного агрегату містить у собі наступні операції: підготовку печі до плавки, розпалювання холостої колоші,

завантаження шихти, подачу дуття, випуск чавуну і шлаку, закінчення плавки і «провал» вагранки.



1 – опорна частина; 2 – шахта вагранки; 3 – труба з завантажувальним вікном; 4 – копильник; 5 – жолоб для зливу чавуну; 6 – шлакова льотка; 7 – водний колектор; 8 – водозбірна коробка; 9 – охолоджувані водою фурми; 10 – розподільча коробка для дуття; 11- вентилятор

Рисунок 2.2 – Вагранка

Розпалювання вагранки здійснюють за допомогою дров. Поверх дров завалюють кокс до необхідної висоти. Холосту колошу (кокс) завантажують у кілька прийомів, по мірі згоряння шарів. Після завантаження останньої порції коксу роблять продувку протягом 2-3 хвилин до повного згоряння холостої колоші. Далі починають завантаження шихти. Після підігріву шихти знову включають дуття і починається процес плавлення. Нові порції завантажують по мірі розплавлювання шихти, що поступово опускається в зону плавлення і підігрівається гарячими газами, що піднімаються вгору.

Протитечія матеріалів, що переплавляються, і продуктів горіння у вагранці сприяє ефективному використанню палива. Розплавлений і перегрітий метал стікає в копильник 4, відкіля він по мірі потреби випускається через нижню лютку 5 у ковші для розливання у форми. Флюси, сплавлені з золюю палива, що сплавилась футеровкою й окислами, утворюють шлак, що випускається через верхню шлакову лютку 6, розташовану у верхній частині копильника.

Металургійні процеси, що відбуваються у вагранці, є результатом взаємодії металу з газовою фазою і паливом. Робота плавильної печі протікає безупинно за рахунок послідовного завантаження в шахту колош палива, металу і флюсів. Перегрів чавуну в коксовій вагранці здійснюється при проходженні крапель чавуну через шар коксу холостої колоші [9].

Шихтові матеріали: доменний ливарний чавун у чушках, зворот власного виробництва, брукт чавунний, сталевий брукт, феросплави, флюси (шматки вапняку), ливарний кокс, який можна частково замінити ливарним антрацитом, термоантрацитом або коксобрикетами.

Співвідношення між масами паливної і металеві колош призначається в залежності від необхідної температури металу. Крім того, враховують розмір шматків металеві шихти, кількість палива і кількість подаваного повітря. При нормальному режимі роботи вагранки маса металеві колоші складає від 1/8 до 1/10 продуктивності печі в годину, витрату робочі коксові колоші – 10-14%, а вапняку – 3-4% від маси металеві колоші. Для тонкостінного лиття, що піддається механічній обробці, витрата коксу збільшується до 16-18%. При забрудненій шихті і підвищеному вісті золи в коксі кількість вапняку підвищується до 6%. Температура чавуну та продуктивність вагранки залежать від підготовки матеріалів. Для холостої колоші варто застосовувати кокс переважно у великих шматках від 100 до 150 мм у поперечнику. Щоб хід плавки не порушувався, шахта вагранки повинна бути завжди заповнена колошами шихти і палива до завантажувального вікна [10].

2.4 Характеристики пилогазових викидів коксових вагранок ВАТ «Інтерпайп НТЗ»

У ливарному виробництві на 1 т виливків утвориться від 1 до 3 т відходів, що включають відпрацьовану і невикористану суміш, шлаки, пил, газу. Хоча основна частина відходів – це відпрацьовані суміші і шлаки, найбільшу небезпеку представляють саме пил і газу, у зв'язку з труднощами їх вловлювання, знешкодження і видалення. А їх кількість при виробництві 1 т виливків зі сталі або чавуну приблизно складає: пилу – 50 кг, вуглеводнів – 1 кг, оксиду вуглецю (II) – 250 кг, оксиду сірки (II) – 1,5-2 кг, крім того виділяється ряд інших шкідливих газів, таких як фенол, формальдегід, ацетон, бензол і інше, загальна кількість яких хоча і невелика, однак становить небезпеку через їх токсичність.

У газах, що видаляються від ливарного устаткування і викидаються в атмосферу, міститься пил, що складається в основному з дрібнодисперсних часточок, вміст вільного оксиду кремнію в яких досягає 60%. Тому серед працюючих, а також у населення, що проживає на прилягаючих до заводу територіях, з'являється імовірність виникнення захворювань органів дихання і професійних захворювань [5].

При плавці чавуну у вагранках виділяються забруднюючі речовини: пил, окис вуглецю, сірчистий ангідрид, окисли азоту, вуглеводні.

Вільний вихід газів, що утворюються в печі, відбувається за рахунок природної тяги через сухий пиловловлювач, ступінь очищення від пилу якого складає 69%.

Дисперсний склад пилу вагранок чавуноливарних цехів приведений у табл. 2.1. Щільність пилу 2,56 г/см³.

Кількість шкідливих речовин, що викидаються з коксових вагранок при виплавці чавуну приведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Дисперсний склад пилу коксової вагранки

Тип дуття	% по масі (при розмірах часток в мкм)				
	0-5	5-10	10-25	25-50	>50
Гаряче	16,6	13,3	16,0	13,2	40,9
Холодне	-	2,4	6,2	21,8	69,6

Таблиця 2.2 – Кількість хімічних речовин у викидах коксових вагранок ВАТ «Інтерпайп НТЗ»

Речовина	Клас небезпеки	ГДК _{рз} мг/м ³	Концентрація забруднювача в повітрі робочої зони, мг/м ³	ГДВ, т/рік	Фактичний викид, т/рік	
					без очистки	з очисткою
Пил	4	6	5	27,109	79,9374	24,7806
Сірчистий ангідрид (SO ₂)	3	10	8,5	8,481	7,7544	7,7544
Вуглецю оксид (CO)	4	20	61	1310,696	1194,88	1194,88
Азоту двоокис (NO ₂)	2	5	5	0,495	0,4536	0,4536
Усього:				1346,781	1283,0254	1227,8686

З приведених даних видно, що при роботі вагранок у повітря викидається велика кількість забруднювачів, тому необхідно встановлювати очисні споруди.

При заливанні форм чавуном і при охолодженні і вибиванні також виділяється пил, окис вуглецю, сірчистий ангідрид, окисли азоту, що відсмоктуються витяжною вентиляцією.

При сушінні після ремонту ковшів і копильнику виділяються: окис вуглецю, окисли азоту, що віддаляються в атмосферу через аераційні ліхтарі плавильної ділянки.

Інші відходи виробництва:

- стічні води від техпроцесів (плавки, заливання, охолодження і вибивання форм) немає, оскільки вода зливається до окремого баку з метою її охолодження і повторного використання;

- провал вагранки, шлаки після розливочних і барабанних ковшів, копильнику збираються в окремій тарі. Відпрацьована формувальна земля збирається в бункер. Усі ці відходи використовуються при проведенні дорожньо-будівельних робіт.

З наведених даних видно, що при роботі вагранок спостерігається перевищення ГДК робочої зони по оксиду вуглецю в 3,05 рази. У зв'язку із цим необхідно вдосконалення системи газоочищення.

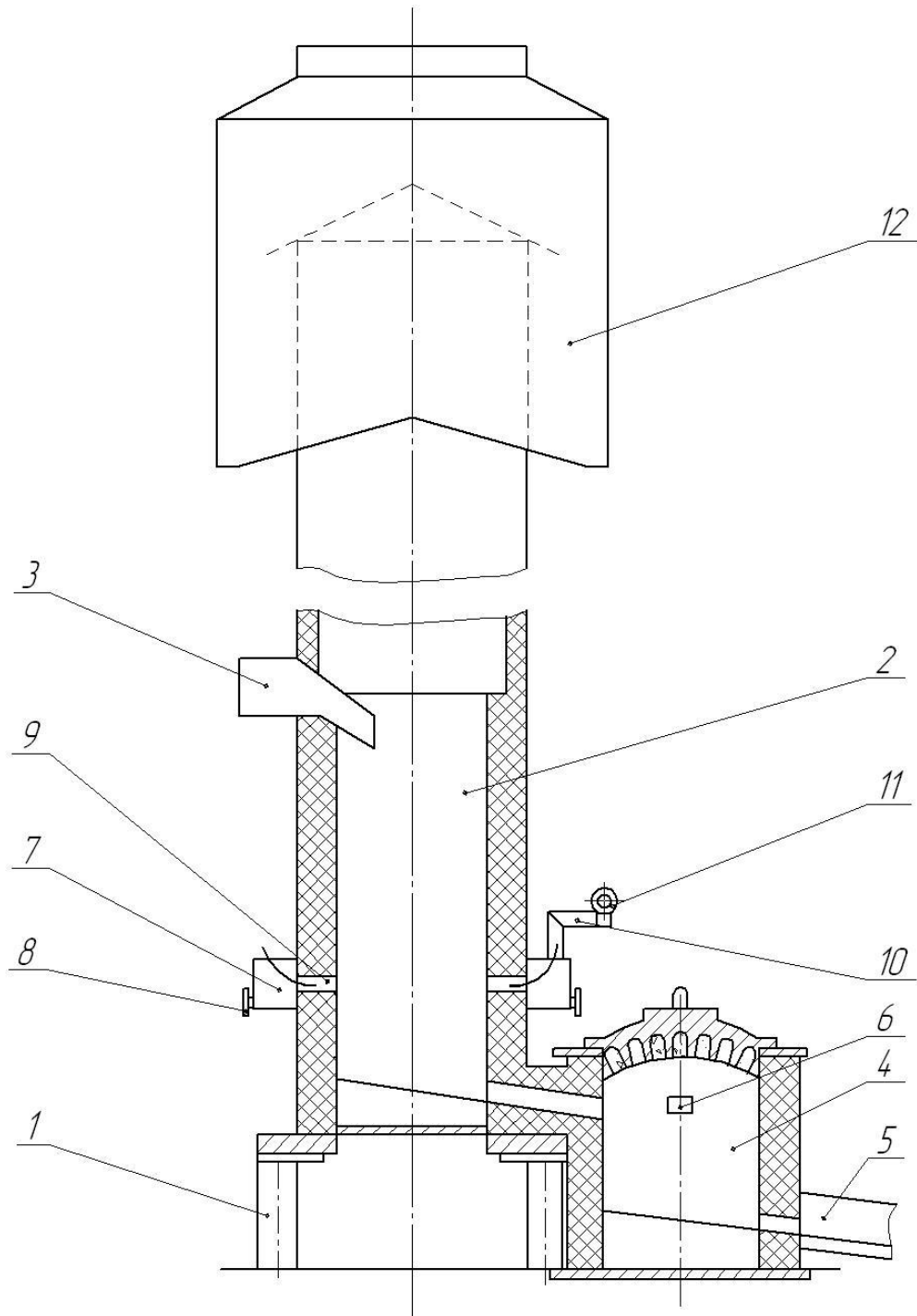
2.5 Опис існуючої схеми очищення викидів коксових вагранок у СФЛЦ ВАТ «Інтерпайп НТЗ»

При викиді шкідливих речовин в атмосферу найбільш ефективним заходом, що зменшують забруднення зовнішнього повітряного середовища, є очищення технологічних і вентиляційних викидів.

Промислові підприємства забруднюють не тільки зовнішнє, але й внутрішнє повітряне середовище виробничих цехів. Існує ряд заходів, спрямованих одночасно на зменшення забруднення зовнішнього й внутрішнього повітряного середовищ. Наприклад, удосконалювання виробництва, герметизація апаратури та комунікацій, проведення технологічних процесів у вакуумі, а також установка в місцях виділення шкідливих речовин вентиляційних укриттів і відсмоктувачів.

Зараз блок коксових вагранок №1 і №2 плавильної ділянки ливарного цеху обладнані сухими пиловловлювачами (пилоосаджувальні камери), але не мають камер для допалювання. Над місцями випуску чавуну виконано зонти з азбестовими шторами.

Технологічна схема відводу та очищення пилогазових викидів коксових вагранок у СФЛЦ ВАТ «Інтерпайп НТЗ» представлена на рис. 2.3.



1 – опорна частина; 2 – шахта вагранки; 3 – труба з завантажувальним вікном; 4 – копильник; 5 – жолоб для зливу чавуну; 6 – шлакова льотка; 7 – водний колектор; 8 – водозбірна коробка; 9 – охолоджені водою фурми; 10 – розподільна коробка для дуття; 11 – вентилятор; 12 – сухий пиловловлювач

Рисунок 2.3 – Технологічна схема відводу та очищення пилогазових викидів коксових вагранок СФЛЦ ВАТ «Інтерпайп НТЗ»

Повітряне дуття надходить у шахту вагранки (2) через розподільну коробку для дуття (10). Металургійні процеси, що відбуваються у вагранці, є результатом взаємодії металу з газовою фазою й паливом. Вільний вихід газів, що утворюються в печі, відбувається за рахунок природньої тяги через сухий пиловловлювач (12). Ступінь очищення від пилу 69%.

У табл. 2.3 наведено характеристики сухого пиловловлювача, встановленого на вагранці.

Таблиця 2.3 – Характеристика сухого пиловловлювача

Показник	Одиниці вимірювання	Кількість
Обсяг газів, що очищуються	м ³ /год	20200-24600
Температура газів на вході	град. С	250-450
Температура газів на виході	град. С	70-80
Ефективність очистки пиловловлювачу:		
- за пилом	%	69
- за оксидами азоту	%	0
- за оксидами сірки	%	0
- за окисами вуглецю	%	0

Останнім часом особливу увагу приділяють вловлюванню та очищенню неорганізованих викидів, що виділяються в період випуску чавуну та шлаків з вагранок сталєфасоноливарного цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ». При випуску чавуну та шлаків виділяються великі кількості: окису вуглецю – 0,2532 г/с; пилу графітового – 0,038 г/с.

З метою зниження забруднення повітря робочих приміщень над місцем випуску чавуну виконано зонт з азбестовими шторами. Регулювання газових потоків від пилоосаджувачу та зонту здійснюється дросельними клапанами,

встановленими у відповідних газоходах. Пилегазовий потік за допомогою пилового вентилятора відводиться до димаря.

З наведених даних видно, що ефективність очищення від пилу досить висока, але потрібно очищення викидів від оксидів азоту, сірки, вуглецю. У зв'язку із чим виникає необхідність удосконалення існуючих рішень пилегазоочистки сталеліварного цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ».

2.6 Аналіз методів знешкодження газових викидів коксових вагранок

Для рішення задач в області охорони навколишнього середовища потрібно широке впровадження у виробництво перспективних методів очищення промислових викидів.

Існуючі способи знешкодження газів засновано на хімічному зв'язуванні шкідливих речовин, їх адсорбції й абсорбції і т.п. До одного з найбільш перспективних у даний час способів відноситься каталітичне окислювання газів, що відходять, у контактних апаратах на спеціальних каталізаторах при температурі 200-500⁰С.

Метод термічного знешкодження газових викидів, що містять пальні токсичні компоненти має серйозні переваги перед іншими методами очищення газових викидів. Відсутність шламового господарства, невеличкі габарити очисних установок, простота їх обслуговування, а в ряді випадків і повної автоматизації їх роботи, висока ефективність знешкодження при низькій вартості очищення та інших позитивних якостях є причиною поширення методу термічного знешкодження [10].

Тому перспективним методом знешкодження газів чавуноліварних вагранок є термічне спалювання. Основним паливим компонентом ваграночних газів є оксид вуглецю, вміст якого складає 8-15%. При вмісті СО від 11 до 15% газ з температурою 300-350⁰С можна спалювати практично без витрат палива. При зниженні вмісту СО необхідне підживлення

природним газом. При термічному очищенні, особливо в області температур більш 800°C , можливо утворення повторних забруднювачів, таких, як оксиди азоту, хлор, діоксид сірки та інше. Це один із серйозних недоліків методу. Для зниження концентрації NO_x на практиці часто використовується двохступінчатє спалювання, що передбачає здійснення процесу на першій стадії при нестачі кисню і зі значним залишковим вмістом забруднювачів, а на другій стадії – глибоке окислення всіх палих домішок після подачі додаткового повітря [10]. При дотриманні робочого режиму вагранки забезпечується практично повне допалювання ваграночних газів до (99,9%).

З токсичних газів, що виділяються при роботі вагранок на першому місці стоїть чадний газ (CO). Основний спосіб зменшення кількості CO , що надходить у довкілля, термічне допалювання його до оксиду вуглецю (IV) CO_2 . При допалюванні ваграночних газів здійснюється окислювання окису вуглецю до двоокису, однак при цьому додатково витрачається природний газ, що здорожує виплавку чавуну.

2.7 Розробка пропозицій з модернізації пилогазоочисного устаткування дільниці вагранок сталєфасоноливарного цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ»

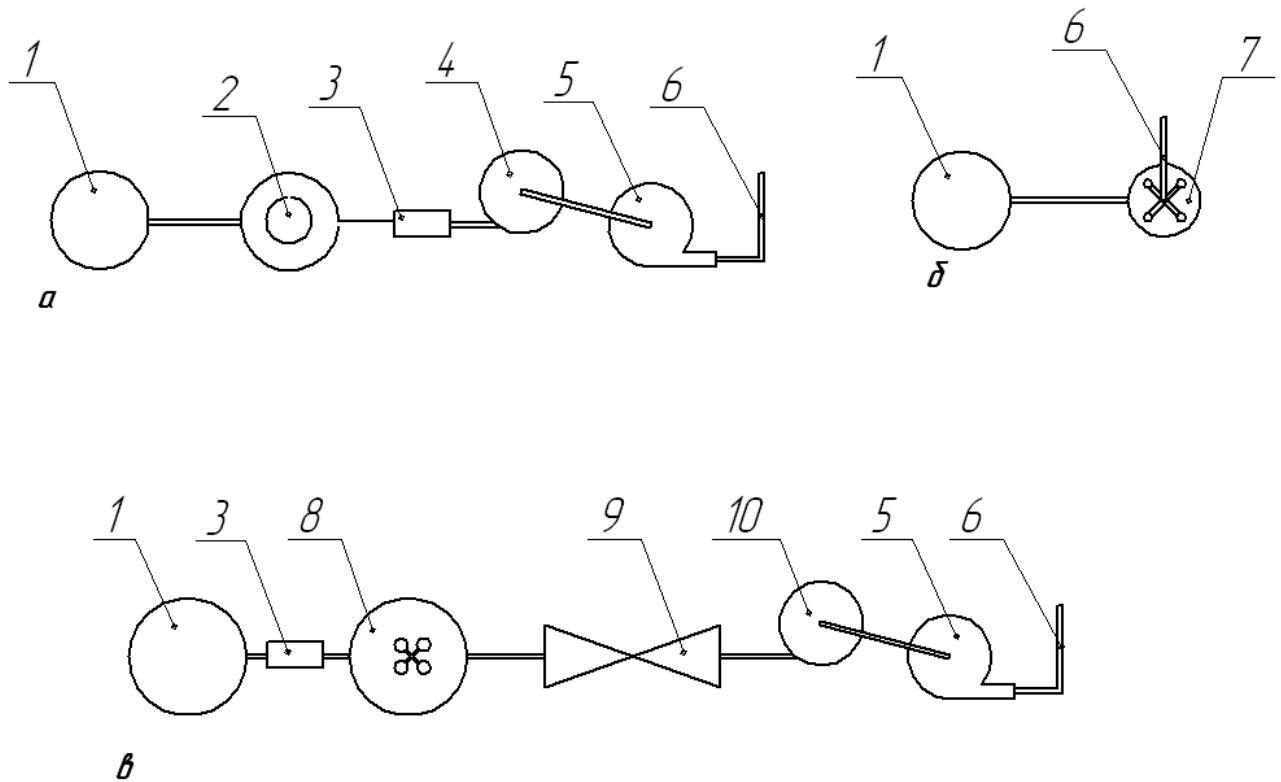
Вибір системи очищення для плавильних агрегатів є дуже складним і відповідальним питанням, тому що їх викиди становлять найбільшу небезпеку для навколишнього середовища як по концентрації, так і по складу. Разом з тим очищення і знешкодження газів плавильних печей – дуже складна в технічному відношенні задача [1].

Як показав аналіз ефективності роботи існуючої пилогазоочисної системи, необхідно її вдосконалення та розробка заходів щодо зниження вмісту угарного газу (CO) у повітрі робочої зони.

Після розгляду методів і апаратів, що застосовуються для очищення ваграночних газів, для зниження концентрації CO запропоновано застосувати

метод допалювання, апарати – камери допалювання. При допалюванні ваграночних газів проводиться окислення окису вуглецю до двоокису.

Запропонуємо кілька можливих варіантів модернізації існуючої системи пилогазоочистки рис. 2.4 [7].



а – очищення в сухих пиловловлювачах з допалюванням газів; б – очищення в мокрих іскрогасниках; в – очищення в установках зі скруббером Вентурі; 1 – вагранка; 2 – сухий пиловловлювач; 3 – камера допалювання, 4 – камера охолодження; 5 – димосос; 6 - димова труба; 7 – мокрий іскрогасник; 8 – порожній скруббер; 9 – скруббер Вентурі; 10 – циклон

Рисунок 2.4 – Принципові схеми очистки викидів вагранок

На схемі *a* газовий потік з вагранки 1 надходить у сухий пиловловлювач 2, де відбувається очищення від зважених часток. Допалювання СО можна реалізувати в камері допалювання 3 за допомогою інжекційних пальників, що працюють на природному газі, а також додатково встановленої ніхромової спіралі постійного розжарення (до температури 800-

850⁰C). Після допалювання окису вуглецю продукти згоряння повинні частково охолоджуватися в камері охолодження 4 шляхом підсмоктування повітря через патрубок з регулювальним клапаном. При дотриманні робочого режиму вагранки забезпечується практично повне допалювання ваграночних газів до (99,9%). Очищений пилогазовий потік за допомогою пилового вентилятора 5 направляється до димаря 6.

З метою зниження забруднення повітря робочих приміщень над місцем випуску чавуну необхідно встановлювати зонт з азбестовими шторами. Регулювання газових потоків від пилоосаджувача і зонта здійснюється дросельними клапанами, встановленими у відповідних газоходах.

Можливий інший варіант застосування методу допалювання. У вагранці гази допалюються вище завантажувального вікна за допомогою пальників, після чого газовий потік надходить у пилоосаджувач, розташований на вагранці, де очищається від пилу. Однак, при допалюванні утворюється пил меншого розміру, у результаті чого необхідна заміна малоефективного сухого пилоосаджувачу на мокрий 7.

До недоліків запропонованого методу можна віднести той факт, що при допалюванні додатково витрачається природний газ, що здорожчує виплавку чавуну, крім того, ефективність пилоочищення невисока. Тому становить інтерес розгляд схеми очищення викидів ливарних цехів, представлена на рисунку 2.4 в. Для очищення ваграночних газів від шкідливих забруднюючих речовин найбільше поширення одержали методи мокрого очищення, а апарати – порожні скрубери. У зв'язку з цим, для забезпечення більш високої ефективності вловлювання пилу можливе застосування варіанта в – двоступінчатої системи очищення зі скруберами Вентурі.

Гази, що відходять, з вагранки 1 допалюються в пристрої 3, а потім очищаються від великих фракцій пилу (більш 40 мкм) на першій ступені очищення. Перша ступінь – мокрий скрубер 8. Ефективність очищення від пилу цією ступінню звичайно складає не менш 85%.

Далі попередньо очищена газоповітряна суміш, що відсмоктується вентилятором 5, проходить через другу ступінь очищення ваграночних газів від пилу. В другій ступіні уловлюється залишок пилу, тобто дрібні фракції пилу (менш 40 мкм). Друга ступінь – труба Вентурі 9 і циклон-краплевловлювач 10. Через трубу димову 6 очищений пилогазовий потік викидається в атмосферу.

Таким чином, в описаній системі газоповітряна суміш практично проходить три ступіні очищення:

- пиловловлювач мокрий – порожній скруббер 8, у якому вловлюються відносно великі фракції пилу;
- труба Вентурі (газопромивач) 9, що уловлює дрібні фракції;
- циклон-краплевловлювач 10, у якому додатково вловлюється вода з затриманими частками пилу.

Враховуючи, що ефективність очищення газоповітряної суміші від пилу краплевловлювачем незначна, система вважається двоступінчатою.

Ефективність двоступінчастої системи очищення (η) може бути оцінена по наступній залежності:

$$\eta = (1 - (1 - \eta_1) \times (1 - \eta_2)) \times 100\%, \quad (2.1)$$

де η_1 - ефективність очищення від пилу першої ступіні;

η_2 - ефективність очищення від пилу другої ступіні.

Ефективність двоступінчастої системи буде дорівнювати:

$$\eta = (1 - (1 - 0,85) \times (1 - 0,88)) \times 100\% = 98,2\%.$$

Крім того, у даному випадку разом з очищенням можлива утилізація тепла ваграночних газів.

Порівняльна характеристика існуючого та запропонованих варіантів наведена в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняльна характеристика ефективності роботи існуючої та запропонованих систем пилогазоочистки

Забруднювач	Ефективність, %				Фактичні викиди, т/рік			
	Існуюча система	Запропоновані системи за варіантами			Існуюча система	Запропоновані системи за варіантами		
		а	б	в		а	б	в
Пил	69	78	88	98,2	24,7806	17,5862	9,5925	1,4389
SO ₂	0	0	0	0	7,7544	7,7544	7,7544	7,7544
CO	0	99,9	99,9	99,9	1194,88	1,1949	1,1949	1,1949
NO ₂	0	0	0	0	0,4536	0,4536	0,4536	0,4536
Усього:					1227,8686	26,9891	18,9954	10,8418

Розглянуті схеми очищення ваграночних газів дозволяють значно знизити кількість зважених речовин, що викидаються в атмосферу, і практично виключити викиди чадного газу. Враховуючи той факт, що 2-й та 3-й запропоновані варіанти потребують переводу сухої газоочистки на мокру, крім того, перевищення ГДК та ГДВ за викидами пила немає навіть при існуючому ступені очистки, зупинимося на першому варіанті – сухий пиловловлювач – допалювання CO в камері допалювання за допомогою інжекційних пальників – камера охолодження (гравітаційний пиловловлювач) – димова труба.

2.8 Сутність методу термічної очистки

Термічна очистка являє собою метод очищення газів шляхом термічного окислювання різноманітних шкідливих речовин у практично нешкідливі або менш шкідливі (переважно в CO₂ і H₂O). Температура очистки для більшості з'єднань знаходяться в інтервалі 750-1200°C. Застосування термічних методів очистки дозволяє досягти 99% ступінь очистки газів. Невеличкі габарити установок, простота експлуатації, низькі експлуатаційні витрати при високих концентраціях домішок визначили поширення цього методу знешкодження. У США, наприклад, у 70-х роках

діяло більш 2000 установок термічної очистки.

При розгляді можливості і доцільності застосування термічного знешкодження необхідно враховувати характер продуктів, що утворюються при горінні. Наприклад, при очистці газів, що містять з'єднання сірки, галогенів, фосфору, можуть утворюватися продукти, що перевищують по токсичності вихідний газовий викид. У цьому випадку необхідно передбачати додаткове очищення після термічної очистки. Найважливішими чинниками, що визначають доцільність термічного знешкодження, є витрати енергії (палива) для забезпечення високих температур у зоні реакції, можливість попереднього підігріву газів, що очищаються. Підвищення концентрації домішок, що спалюються, веде до значного зниження витрат палива. В окремих випадках можливо автотермічне здійснення процесу, при якому робочий режим підтримується тільки за рахунок тепла реакції глибокого окислювання шкідливих домішок і попереднього підігріву вихідної суміші знешкодженими газами, що відходять.

Існує декілька різноманітних систем термічного знешкодження, що відрізняються друг від друга температурою процесу, гідродинамічною обстановкою в зоні реакції, часом перебування газів у реакційній зоні. Це – камерні печі, печі з циклонним прямуюванням газів, регенеративні установки термічного знешкодження, апарати зі струминним змішуванням, системи знешкодження в технологічних апаратах (наприклад, у казанах) та інші.

Камерні печі – одні з перших промислових апаратів термоочистки. Звичайно робочий простір печі ділиться на камеру паління вводимого в систему палива і камеру змішування, куди подається повітря, яке очищується. Гідродинамічна обстановка в зонах реакцій печей істотно неоднорідна, і тому їх застосування потребує організації перемішування. Час перебування газів у реакційній камері складає 3-5 с. Питомі витрати тепла на знешкодження 1130-1170 кДж/м³ газу, що очищається. В даний час поширення одержали печі термічного знешкодження з використанням циклонного принципу прямуювання газів у камері горіння, що забезпечує

інтенсивне перемішування потоків і, як слідство, ефективне допалювання при меншому (0,1-0,5 с), чим у камерних пічах, часу перебування газів у реакційній камері. Область застосування таких печей – допалювання газів у виробництві бітуму і синтетичних масних кислот, на нафтопереробних заводах, у виробництві емалювання проводів електротехнічних підприємств. Циклонне спрямування газів дозволяє значно знизити витрати тепла (до 900 кДж/м³ газу, що очищається) у порівнянні з камерним допалюванням.

В окрему групу апаратів виділяються установки зі струминним змішуванням компонентів знешкодження. Основний елемент конструкції таких апаратів – пальник із стабілізатором, що формує поле високої турбулентності. Наприклад, за рахунок використання таких пальників, встановлених у потоці газу, вдасться на 150-200°C знизити температуру глибокого очищення газів від оксиду вуглецю і метана у порівнянні з камерними печами.

У ряді випадків паління викидів, що вміщують кисень, проводять у топках котельних і в інших технологічних агрегатах, де забруднене повітря використовується в якості дутьєвого. Відомі дані про глибоке очищення (99-100%) газів таким засобом від органічних кислот і альдегідів.

Одним із найбільш економічних і перспективних методів вважається термічне знешкодження з використанням регенеративних теплообмінників. Принципово ці апарати складаються з камери горіння і двох (або більш) прошарків регенеративної насадки. Періодична зміна напрямку прямування газів, що знешкоджуються, через прошарки насадки або обертання прошарків насадки при постійному напрямку прямування газів забезпечує регенерацію тепла гарячих очищених газів і нагрів вихідного газу. У практиці поширення одержали установки очистки Re-Therm продуктивністю 100000 м³/год. Такі установки дозволяють утилізувати до 95% тепла газів що очищаються. Конструкція таких апаратів дає можливість здійснювати процес знешкодження без викидів під час перемикання, що досягається використанням п'яťох регенеративних теплообмінників. При значному

тепловиділенні при допалюванні домішок можлива й утилізація тепла, що виділяється.

Термічне допалювання знаходить застосування в самих різноманітних галузях промисловості. Прості варіанти очищення (наприклад, смолоскипове) використовуються на металургійних і хімічних (нафтохімічних) підприємствах. Так, термічна очистка широко застосовується для знешкодження газів чавуноливарних вагранок. Основним горючим компонентом ваграночних газів є оксид вуглецю, вміст якого складає 8-15%. При вмісті CO від 11 до 15% газ с температурою 300-350⁰C можна спалювати практично без витрат палива. При зниженні вмісту CO необхідне підживлення природним газом.

При термічному очищенні, особливо в області температур більш 800⁰C, можливо утворення повторних забруднювачей, таких, як оксиди азоту, хлор, діоксида сірки й ін. Це один із серйозних недоліків методу. Для зниження концентрації NO_x на практиці часто використовується двохступінчате паління, що передбачає здійснення процесу на першій стадії при недоліку кисню і зі значним вмістом домішок, а на другій стадії – глибоке окислювання всіх пальних домішок після подачі додаткового повітря.

2.9 Схема та принцип дії запропонованого устаткування

Роздивимося докладно різноманітні системи термічного знешкодження газових викидів, що застосовуються у промисловості. Існуючі типи апаратів доцільно розділити на такі групи:

- камерні печі;
- печі з циклонним принципом спрямування газів;
- регенеративні установки термічного знешкодження;
- апарати зі струминним змішуванням;
- системи знешкодження в технологічних апаратах (парові казани і т.д.).

Камерні печі термічного знешкодження – одні з перших апаратів знешкодження, що знайшли застосування на промислових підприємствах.

Набагато більше поширення в силу ряду переваг одержали печі термічного знешкодження з використанням циклонного принципу прямування газів у камері горіння. На підприємствах використовуються в основному двохступінчаті циклонні агрегати різноманітної продуктивності. Робочий простір такого агрегату розділено на дві камери. Перша – топкова камера, призначена для повний паління палива. Друга – камера змішання, у якій здійснюється змішання високотемпературних продуктів горіння допоміжного палива, що знешкоджуються газами й окислювання токсичних компонентів. Двохступінчаті циклонні агрегати мають подвійний кожух, що забезпечує попередній підігрів дуттьєвого повітря і що знешкоджується викидів і сприяє охолодженню зовнішньої поверхні футеровки. Підігріті повітря і викиди подаються тангенційно: повітря – у топкову камеру, а викиди, що знешкоджуються, – у камеру змішування. Циклонний принцип спрямування газів забезпечує інтенсивне перемішування взаємодіючих потоків і ефективе спалювання.

До недоліків двохступінчатих циклонних агрегатів варто віднести надмірно високі температури в топковій камері (1200-1300⁰С), що обумовлюють швидкий вихід із ладу вогнетривкого футерування. Двохступінчаті циклонні агрегати знайшли широке застосування при знешкодженні промислових викидів у виробництві бітуму, мастил.

Циклонна піч конструкції Інституту газу АН України являє собою циліндричну камеру з вихровим пальником на однім торці і горловиною для відводу газів, що відходять, на іншому торці. Забруднений газ нагнетається в піч тангенційно, причому ввід газу виконаний поблизу пальника, що дозволило збільшити час перебування газів у печі. Спеціального обсягу для горіння палива не передбачено. Камера оточена подвійним кожухом, що охолоджується потоком газу, що знешкоджується, так само як і в двохступінчатих циклонних агрегатах. Характерною рисою апаратів

знешкодження з циклонним спрямуванням газів є тангенціальна подача або забрудненого газу, або допоміжного палива. Запорізькою філією НДІОгазу виконані дослідження ефективності знешкодження в циклонній камері при різноманітних варіантах запровадження забрудненого газу в камеру.

Розвиток конструкцій циклонних печей для термічного знешкодження є перспективним напрямком. Для порівняльної оцінки камерних і циклонних печей у табл. 2.5 приведені деякі техніко-економічні показники їх роботи.

Таблиця 2.5 – Порівняльна оцінка камерних та циклонних печей

Показник	Камерна	Циклонна
Час перебування газу в реакційній зоні, сек	3-5	0,05-0,5
Відносна площа, яку займає піч, м ² /1000 м ³	1,5-2,0	0,5-0,6
Питомі витрати тепла, кДж/нм ³	1130-1170	800-840
Питомі капітальні вкладення, у.о.	1,68	0,15
Собівартість очищення газу розрахована по експлуатаційних витратах), у.о.	1,16	0,92

Як випливає з приведених показників, камерні печі потребують значних виробничих площ, що не завжди можливо. Менше інтенсивне, у порівнянні з циклонними печами, ведення процесу знешкодження потребує і більшого часу перебування газів у реакційній зоні для забезпечення необхідної ефективності знешкодження. Циклонні печі займають площу в 3-4 рази меншу, чим камерні. Істотною перевагою циклонних печей є краща організація аеродинамічних умов змішування продуктів горіння палива та газу, що знешкоджується. При цьому вдасться досягти зниження питомих витрат тепла і, як слідство, собівартості очищення майже на 25% у порівнянні з камерними печами.

В окрему групу апаратів термічного знешкодження варто виділити апарати зі струминним змішуванням компонентів знешкодження. Основний елемент таких, апаратів – це стабілізатор, виконаний у виді тіла такої форми,

що генерує поле високої турбулентності. Використання багатострумінного засобу сумішоутворення дозволяє в цих устроях домогтися значної інтенсифікації процесу знешкодження.

За кордоном найбільше широке застосування в апаратах термічного знешкодження знайшов пальник фірми «Максон» (США). Він складається з газового колектора і перфорованого куткового стабілізатора. Допоміжне газове паливо надходить із колектора в тінюву зону стабілізатора в напрямку, рівнобіжному прямуюванню викиду, що знешкоджується. У свою чергу викид, що знешкоджується, служить одночасно й окислювачем палива, надходить у зону горіння частково через перфорацію стінок, а частково з потоку, що обтікає стабілізатор.

Пальники інших закордонних фірм конструктивно дещо відрізняються від описаних, але принцип їх роботи аналогічний. З вітчизняних пальників, що працюють із використанням принципу струмінної стабілізації, найкращими є конічні з перфорованим конусом або з кутковими стабілізаторами. Характерною рисою цих пальників є стійка робота в широкому діапазоні зміни коефіцієнта надлишку повітря при низькому утворенні багатотоксичних оксидів азоту.

Запорізькою філією НДІОгазу виконані дослідження процесу термічного знешкодження з застосуванням пальників із кутковим стабілізатором горіння. Знешкодженню піддавалися вентвикиди, що містять до 1 % оксида вуглецю та метану. Як показали дослідження, застосування принципу струмінної стабілізації за рахунок інтенсифікації процесу змішання компонентів знешкодження дозволяє домогтися значного зниження температури процесу, максимально наблизивши останню до температури запалення компонента, що знешкоджується. Так, практично повне знешкодження оксиду вуглецю, що має температуру запалення 651°C, забезпечується при веденні процесу знешкодження в печах із температурою 700-720°C, що на 150-200°C нижче, ніж при знешкодженні в камерних печах.

Найбільше економічними, а в силу цього і найбільше перспективними є

апарати з використанням регенеративних теплообмінників. Принципово ці апарати складаються з камери горіння і двох або більш прошарків регенеративної насадки. Принцип роботи регенеративного теплообмінника заснований на спроможності інертної насадки, утримувати тепло. У цьому устрої спочатку гарячий теплоносіє із малою швидкістю пропускається через утримуючий тепло матеріал протягом деякого часу. Потім потік гарячого теплоносія припиняється, а збережене тепло використовується для нагрівання холодного теплоносія. Таким чином, процес передачі тепла здійснюється в два періоди.

За рахунок реверсивного прямування газів, що знешкоджуються, через апарат прошарки насадки забезпечують почергову зміну періодів нагрівання й охолодження, то нагріваючись продуктами горіння, то віддавая аккумуляоване тепло викиду, що знешкоджується.

Реверсування спрямування газів через прошарки насадки здійснюється або зміною напрямку спрямування газового потоку, або обертанням циліндричного прошарку насадки при незмінному напрямку спрямування газів,

Апарат регенеративного типу зазвичай містить теплоізолюваний корпус із перегородкою. У камерах, що утворилися, розміщується насадка, яка аккумуляє тепло, а у вікні розміщено пальник. З метою спрощення конструкції перемикач виконаний у виді замкнутої коробки з пов'язаними з нею дифузорами, що з'єднують перемикач із регенераторами тепла. У середині коробки змонтоване газове сопло, сполучена з патрубком виводу очищених газів і має можливість повороту до збігу по осі з віссю любого з дифузоров. Прошарки теплопоглинальної регенеративної насадки виконані з вогнетривкої цеглини або кварцового піску. Площа проходів у прошарках насадки невелика, завдяки чому теплопоглинальні насадки мають високу теплоємність і забезпечують достатньо високу швидкість теплопередачі.

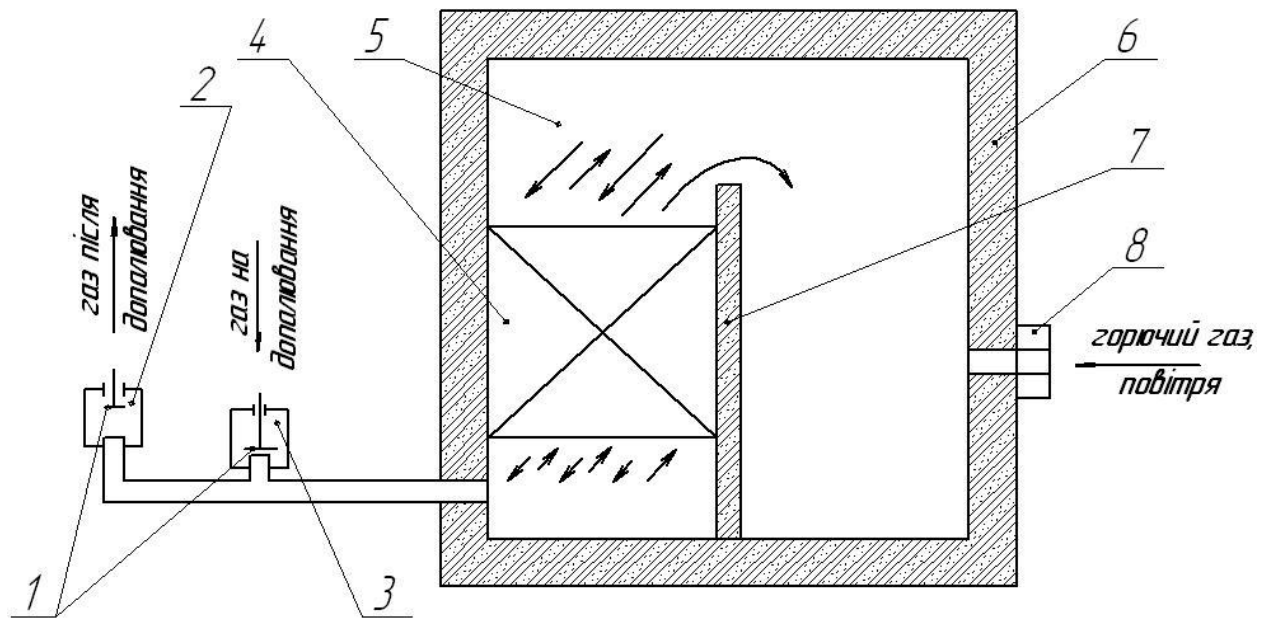
З метою збільшення термічного ККД регенеративна насадка може бути розміщена в замкнутій кільцевій ємності з газопроникними стінками і з

глухою подовжньою перегородкою, а підігрівник встановлений усередині ємності. Це дозволить значно скоротити поверхню гарячих стінок, через які можливий відплив тепла. Гази, що очищаються і містять у своєму складі кисень, через клапанний устрій подаються в одну з камер, проходять через пористу насадку, нагріваючись у ній, і надходять усередину ємності. Гази в підігрівнику нагріваються до температури запалення шкідливих з'єднань, після чого останні згоряють. Знешкоджений газ проходить через пористу насадку другої половини ємності в другу камеру і через перемикач віддається з газоочистного устрою. При застосуванні даного засобу знешкодження знижується витрата палива на процес термічного знешкодження. Це досягається за рахунок попереднього підігріву газових викидів у регенеративних теплообмінниках.

Таким чином, установки для термічного знешкодження промислових викидів з використанням регенеративних теплообмінників є найбільш економічними. Вони складаються з камери спалювання та двох або декількох шарів регенеративної насадки. За рахунок реверсивного руху знешкоджуваних газів через апарат шари насадки забезпечують утилізацію тепла. Насадка нагрівається продуктами горіння і віддає акумульоване тепло знешкоджуваному газу.

Установка для технічного допалювання відхідних газів з вертикально розміщеними насадками наведена на рис. 2.5. Вона дозволяє краще змішувати забруднений газ з продуктами горіння паливного газу при підвищеній швидкості та турбулентності потоку. Також дозволяє отримувати однорідну суміш газів і тим самим досягати більшої повноти спалювання шкідливих домішок при зниженій температурі допалювання.

До недоліків методу з допалюванням газів можна віднести той факт, що при допалюванні додатково витрачається природний газ, що здорожує виплавку чавуна, тому постійно розробляються інші шляхи зниження пилогазових викидів коксових вагранок. Аналіз цих шляхів проведено у наступному пункті.



1 – клапан для реверсування потоків газу; 2 – патрубок для видалення газу; 3 – патрубок для подачі газу в піч; 4 – шар газопроникної насадки з вогнетривкого матеріалу; 5 – камери; 6 – теплоізолюваний корпус; 7 – перегородка, що поділяє корпус на камери; 8 – пальник

Рисунок 2.5 – Установка для технічного допалювання відхідних газів з вертикально розміщеними насадками

2.10 Аналіз інших шляхів зниження пилогазових викидів коксових вагранок

Скорочення обсягу пилогазовиділення особливо від плавильних агрегатів, можна домогтися шляхом вдосконалення технології плавки, а також створення оптимальних систем відбору газів з робочого простору печі.

У чавуноливарних цехах у даний час найбільш розповсюдженим плавильним агрегатом є вагранка відкритого типу. За рахунок підсмоктувань через завалочне вікно витрати газів, що викидаються, збільшуються в них у два-три рази в порівнянні з кількістю подаваного в печі дуття. Таким чином, на кожен тону продуктивності вагранки приходиться до 2,5-3 тис. м³ газів, що відходять. Обсяг викидів пропорційний розмірам завалочного вікна, а

тому для підвищення ефективності очищення необхідно в першу чергу перекривати вікна шторами для створення додаткового аеродинамічного опору з метою зниження підсмоктування.

Доцільно переобладнання системи, зокрема застосування вібрлотків для подачі шихти. Це дозволяє в два-три рази скоротити площу в порівнянні зі звичайним завантаженням. Викиду газів через завалочне вікно можна запобігти шляхом створення повітряної завіси по всій його висоті. Повітря для цієї мети відбирається від нагнітача, що подає дугтя у вагранку. Запобігає загазованості на колошниковій площадці також установка кільцевого зонту над зоною завалочного вікна.

Найбільш перспективними при будівництві плавильних відділень є вагранки закритого типу з відбором газів нижче завалочного вікна. В даний час розроблена і випробувана в різних країнах велика кількість агрегатів, що використовують цей принцип. Системи з відбором нижче завалочного вікна набагато економічніші, ніж відкриті вагранки. Але разом з тим ускладнюється їх обслуговування і виникає небезпека вибуху в газовому тракті за рахунок випадкового підпалювання окису вуглецю в наслідок підсмоктування повітря через завантажувальний пристрій або нещільність тракту. Такі системи повинні обладнуватися регуляторами розрідження у вузлі відбору газів і автоматикою безпеки.

Інший напрямок вирішення задачі скорочення обсягів пилогазовиділень – удосконалення технології плавки. Тому що велика частина мілкодисперсного пилу утворюється за рахунок окисленого скрапу, доцільно замінити його металізованими рудними окатишами. Як показує закордонний досвід, можлива повна чи часткова заміна сталевго скрапу і частини чушкового чавуна. При введенні в шихту 30-40% окатишів пиловиділення скорочуються на 20-35%. Дослідження показують можливість одержання якісного чавуну при використанні окатишів до 50-75 %. Їх перевагою є хімічна і фізична однорідність, низька вартість і низький вміст сірки.

Зменшення кількості пилових викидів, особливо гідрофобних часток сажі і коксу, досягається при скороченні питомої витрати останнього завдяки підігріву дуття до 400-500°C, а також шляхом заміни його природним газом (чи мазутом). Переведення вагранок на коксогазовий режим плавки дозволяє скоротити витрати коксу до 9-10% від ваги металозавалки при збереженні колишньої температури чавуну, що виплавляється.

Розробляються вагранки з повною заміною коксу природним газом або мазутом. Гази, що відходять, мають у кілька разів меншу (порівняно з коксовою вагранкою) концентрацію пилу, що дозволяє забезпечити санітарні норми, застосовуючи порівняно прості пиловловлювачі мокрого типу. При цьому також спостерігається економія палива, а в продуктах згоряння міститься незначна кількість окису вуглецю, знижується вміст сірки в металі, різко скорочуються шкідливі викиди в атмосферу [9].

У відкритих вагранках без пристроїв для допалювання газів, що відходять, доцільне застосування подвійного дуття, що дозволяє в значній мірі допалювати окис вуглецю [5].

У ливарних цехах продуктивністю до 10 тис. т лиття в рік доцільно замінити вагранки індукційними електропечами. В індукційних печах при використанні чистої шихти утворюється відносно невелика кількість викидів, що уловлюються зонтами. У випадку завантаження замасленого скрапу або стружки виникають інтенсивні викиди диму і сажі. Щоб уникнути цього скрап попередньо очищається шляхом промивання або підігріву до температури 750-900°C. Попереднє нагрівання в обертових печах дозволяє не тільки випалити забруднюючі домішки, але і підвищити ККД печей при плавці.

Економічно виправдане впровадження дублекс-процеса вагранка-індукційна піч. Остання може експлуатуватися в міксерному режимі зі здійсненням перегріву, доведення по хімічному складі і роздачі металу. Це також дозволяє скоротити витрату коксу у вагранці, тому що вимоги по температурі чавуну, який виплавляється, знижуються [1].

2.11 Розрахунок питомих викидів від існуючого устаткування

Валові викиді забруднюючих речовин, що виділяються під час плавки металів розраховують по формулі:

$$M_i^{\text{пл}} = q_i \cdot B \cdot \left(1 - \frac{\eta_T \cdot A}{100}\right), \text{ кг/рік} \quad (2.2)$$

де q_i - викиди забруднюючих речовин на одиницю продукції, кг/т;

B – кількість виплавленого металу на рік, т;

η_T – ефективність очистки вловлюючих апаратів, %;

A – коефіцієнт, що враховує справну роботу очисного устаткування, розраховується по формулі:

$$A = \frac{N}{N_1} \quad (2.3)$$

де N – кількість днів справної роботи очисних споруд за рік;

N_1 – кількість днів роботи технологічного устаткування за рік.

Максимальні разові викиди забруднюючих речовин розраховуються по формулі:

$$G_i^{\text{пл}} = \frac{q_i''}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{\eta_T \cdot A}{100}\right), \text{ г/с} \quad (2.4)$$

де q_i'' – питома виділення речовини за одиницю часу, кг/год.

Вихідні дані для розрахунку: ефективність очистки наведено у табл. 2.3. Річний фонд часу 1664 та 1620 годин для вагранок №1 та №2 відповідно. Кількість металу, що виплавляється, складає 7 т для кожної вагранки. Кількість рідкого чавуну 11030 та 10420 т/рік для вагранок №1 та №2 відповідно. Коефіцієнт A (формула 2.3) приймаємо рівним 1.

При плавці у вагранці №1 виділяється:

Пил металевий:

$$M_{\text{П}}^{\text{пл}} = q_{\text{П}} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{T}} \cdot A}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0,1997 \cdot 11030 \cdot \left(1 - \frac{69,0 \cdot 1}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0,683 \text{ т/рік.}$$

$$G_{\text{П}}^{\text{пл}} = \frac{q_{\text{П}}''}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{T}} \cdot A}{100}\right) = \frac{1,398}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{69,0 \cdot 1}{100}\right) = 0,119 \text{ г/с.}$$

Окис вуглецю:

$$M_{\text{CO}}^{\text{пл}} = q_{\text{CO}} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{CO}} \cdot A}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0,00904 \cdot 11030 \cdot \left(1 - \frac{0 \cdot 1}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0,0997 \text{ т/рік.}$$

$$G_{\text{CO}}^{\text{пл}} = \frac{q_{\text{CO}}''}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{CO}} \cdot A}{100}\right) = \frac{0,06328}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{0 \cdot 1}{100}\right) = 0,0176 \text{ г/с.}$$

Двуокис сірки:

$$M_{\text{SO}_2}^{\text{пл}} = q_{\text{SO}_2} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{SO}_2} \cdot A}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0,00452 \cdot 11030 \cdot \left(1 - \frac{0 \cdot 1}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0,0498 \text{ т/рік.}$$

$$G_{\text{SO}_2}^{\text{пл}} = \frac{q_{\text{SO}_2}''}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{SO}_2} \cdot A}{100}\right) = \frac{0,03164}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{0 \cdot 1}{100}\right) = 0,0088 \text{ г/с.}$$

Окиси азоту:

$$M_{\text{NO}_x}^{\text{пл}} = q_{\text{NO}_x} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{NO}_x} \cdot A}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0,0023 \cdot 11030 \cdot \left(1 - \frac{0 \cdot 1}{100}\right) \cdot 10^{-3} = 0,0254 \text{ т/рік.}$$

$$G_{\text{NO}_x}^{\text{пл}} = \frac{q_{\text{NO}_x}''}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{NO}_x} \cdot A}{100}\right) = \frac{0,0161}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{0 \cdot 1}{100}\right) = 0,0045 \text{ г/с.}$$

Крім того, в процесі випуску чавуну з вагранок також здійснюється виділення забруднюючих речовин.

Валове виділення забруднюючих речовин розраховується по формулі:

$$M_i^p = q_i \cdot B \cdot 10^{-3}, \text{ кг/рік}, \quad (2.5)$$

де B – кількість виплавленого чавуну за рік, т;

q_i – питоме виділення речовин на одиницю продукції, г/т; для окису вуглецю $q_{CO}=125-130$ г/т; для пилу графітового $q_C=18-22$ г/т.

Максимальні разові викиди забруднюючих речовин під час випуску чавуну знаходять по формулі:

$$G_i = \frac{q_i \cdot B}{3600}, \text{ г/с}. \quad (2.6)$$

Таким чином, під час випуску чавуну з вагранки №1 у повітря виділяється:

Окис вуглецю:

$$M_{CO}^p = q_{CO} \cdot B \cdot 10^{-3} = 130 \cdot 11030 \cdot 10^{-6} = 1,434 \text{ т/рік}.$$

$$G_{CO} = \frac{q_{CO} \cdot B}{3600} = \frac{130 \cdot 7}{3600} = 0,253 \text{ г/с}.$$

Пил графітовий:

$$M_C^p = q_C \cdot B \cdot 10^{-3} = 20 \cdot 11030 \cdot 10^{-6} = 0,22 \text{ т/рік}.$$

$$G_C = \frac{q_C \cdot B}{3600} = \frac{20 \cdot 7}{3600} = 0,038 \text{ г/с}.$$

Усього за джерелом викидів (вагранка №1):

Пил:

$$M_1 = 0,683 + 0,22 = 0,903 \text{ т/рік}.$$

$$G_1 = 0,119 + 0,038 = 0,157 \text{ г/с}.$$

Окис вуглецю:

$$M_1=0,0997+1,434=1,5337 \text{ т/рік.}$$

$$G_1=0,0176+0,253=0,2706 \text{ г/с.}$$

Двуокис сірки:

$$M_1=0,0489 \text{ т/рік.}$$

$$G_1=0,0088 \text{ г/с.}$$

Оксиди азоту:

$$M_1=0,0254 \text{ т/рік.}$$

$$G_1=0,0045 \text{ г/с.}$$

Аналогічним чином розраховуємо питомі викиді від вагранки №2:

Пил:

$$M_1=0,645+0,22=0,865 \text{ т/рік.}$$

$$G_1=0,12+0,038=0,158 \text{ г/с.}$$

Окис вуглецю:

$$M_1=0,094+1,434=1,528 \text{ т/рік.}$$

$$G_1=0,0176+0,253=0,2706 \text{ г/с.}$$

Двуокис сірки:

$$M_1=0,047 \text{ т/рік.}$$

$$G_1=0,0088 \text{ г/с.}$$

Оксиди азоту:

$$M_1=0,024 \text{ т/рік.}$$

$$G_1=0,0045 \text{ г/с.}$$

Отже, сталепрокатний цех ВАТ «Інтерпайп НТЗ» призначений для випуску чавунного лиття. Цех відноситься до допоміжного виробництва (тобто обслуговує основне виробництво). Виплавлюваний чавун в основному

використовується для лиття виливниць вагою від 3 до 8 тонн і для машинобудівного лиття. Потужність цеху по чавуну 18000 т/рік.

У цеху є дві коксові вагранки (печі шахтного типу), призначені для плавки чавуну продуктивністю 7 т/год. Вагранки працюють по черзі. Вони обладнані копильниками ємністю 7 т. Кількість шкідливих речовин, що викидаються з коксових вагранок при виплавці чавуну приведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Кількість хімічних речовин у викидах коксових вагранок ВАТ «Інтерпайп НТЗ»

Речовина	Концентрація забруднювачу в повітрі робочої зони, мг/м ³		ГДК, мг/м ³	ГДВ, т/рік	Фактичний викид, т/рік		
	до модернізації	після			без очистки	з існуючою очисткою	із запропонованою системою очистки
Пил	5,0	1,1	6,0	27,109	79,9374	24,7806	17,5862
Сірчаний ангідрид (SO ₂)	8,5	8,5	10	8,481	7,7544	7,7544	7,7544
Вуглецю оксид (CO)	61	0,061	20	1310,696	1194,88	1194,88	1,1949
Азоту двоокис (NO ₂)	5,0	5,0	5,0	0,495	0,4536	0,4536	0,4536
Усього:				1346,781	1283,0254	1227,8686	26,9891

З наведених даних видно, що при роботі вагранок спостерігається перевищення ГДК робочої зони по оксиду вуглецю в 3,05 рази. У зв'язку із цим необхідно вдосконалення системи газоочищення.

У кваліфікаційній роботі запропоновано встановити додатково камеру допалювання окису вуглецю у систему очистки викидів від вагранок, що дозволить практично виключити викиди чадного газу.

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори

Технологія розплавлення чавуну, модифікування його у ковші, розливка розплаву у форми характеризуються наявністю небезпечних факторів, що негативно впливають на здоров'я персоналу.

Небезпечними факторами при розплавленні та розливанні розплавів є: тепловиділення від працюючого технологічного устаткування та розплавленого металу (джерелом тепловиділення є вагранки); запиленість робочої зони у процесі ломки футеровки плавильних агрегатів та розливочних ковшів; можливі прогари футеровки вагранки; шумове навантаження; наявність заглиблень більше 600 мм; ураження електричним струмом [11].

У цеху, що розглядається, є надлишки явного тепла, категорія важкості робіт середня ПБ. Фактичні та нормативні параметри мікроклімату наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фактичні та нормативні параметри мікроклімату

Значення	Сезон року	Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
		Нормативна	Фактична	Нормативна	Фактична	Нормативна	Фактична
оптимальні	холодний та перехідний	17-19	25	60-40	60-40	0,2	0,2
	теплий	20-22	30-35	60-40	60-40	0,3	0,3
допустимі	холодний та перехідний	15-21		75		0,3	
	теплий	не більш 28 ⁰ С		при 26 ⁰ С не більш 65 при 25 ⁰ С не більш 70 при 24 ⁰ С не більш 75		0,3-0,7	

З таблиці видно, що фактичні параметри мікроклімату у даному цеху перевищують допустимі за температурним показником та не відповідають

вимогам нормативних документів.

Як було вказано раніше, у повітря цеху викидаються пил та газу. Їх вплив на людину полягає у наступному: пил впливає на бронхо-легеневу систему: кашель, біль під час дихання, подразнення слизових оболонок; хронічний бронхіт, порушення функцій легенів, атрофія та ерозії слизової оболонки носа й носоглотки, катар бронхів, трахеї, загострення туберкульозу легенів, напади бронхіальної астми, алергічні реакції. Пил може сорбувати й нести на собі канцерогенні, мутагенні, токсичні речовини. Підсилює вплив газоподібних речовин.

Оксид вуглецю вступає у реакцію з гемоглобіном, позбавляє тканини кисню, викликає кисневу недостатність, головний біль, запаморочення, розвиток серцево-судинних хвороб, може викликати удушся.

Двоокис сірки подразнює слизові оболонки, викликає ларингіти, бронхіти, астму, розлади легеневої діяльності, посилення респіраторних захворювань.

Двоокис азоту викликає подразнення слизових оболонок, респіраторні захворювання, вплив на кров'яну систему, гепатотоксичний ефект. При взаємодії з органічними речовинами може викликати біологічні мутації.

Основними джерелами шуму при роботі системи очистки пилогазових викидів коксової вагранки є пальники камери допалювання. Рівень звуку по шкалі А шумоміру при роботі пальників повинен складати 80 дБ, що відповідає вимогам охорони праці.

Згідно з Правилами устрою електроустановок [12], цех у відношенні безпеки поразки людей електричним струмом можливо віднести до особливо небезпечних, тому що існує одночасно декілька умов підвищеної безпеки для персоналу (ці приміщення є жаркими – з підвищеною температурою повітря, пильними).

Підвищена температура прискорює старіння ізоляції, що приводить до зниження її опору та навіть до руйнування. При підвищеній температурі повітря знижується опір тіла людину внаслідок змочування шкіри людини

потом. Із цих причин підвищена температура повітря знижує безпеку експлуатації електроустаткування. Наявність провідного пилу в кількостях, достатніх для того, щоб вона проникала під кожухи електроустаткування й осідала на проводах, приводить до того, що по пилу проходить струм, створюються витоки та замикання на землю, а також між фазами. Приміщення, у яких виділяється технологічний пил у таких кількостях, що вона може проникати під кожухи та осідати на проводах, називаються пильними приміщеннями.

Джерелами поразки електричним струмом можуть бути струмоведучі частини електроустаткування з живлячою напругою до 6 кВ. При випадковому дотику до них, а також до металевих частин, що знаходяться під напругою при ушкодженні ізоляції; або при порушенні правил техніки безпеки. Результат поразки електричним струмом залежить від сили і тривалості впливу, роду, частоти, і шляху проходження струму в тілі людини, опору тіла; індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища [13].

Світлова обстановка у виробничому приміщенні та на робочому місці характеризуються наступними параметрами: світловим потоком, освітленістю, силою світла та яскравістю джерела світла [14]. Головним є вплив освітлення на органи зору. При недостатній або змінній освітленості органам зору потрібно постійно пристосовуватися, що можливо завдяки властивостям очей – акомодатції та адаптації.

Згідно з ДБН В.2.5-28-2006 [11] розряд зорової роботи у цеху може складати IV, VII, VIII. Характеристика зорової роботи: загальне спостереження за ходом виробничого процесу, робота з виробами в гарячих цехах та зорова робота середньої точності.

Згідно з проведеним аналізом шкідливих та небезпечних виробничих факторів пропонуються ряд заходів зі зменшення чи усунення їх впливу на персонал.

3.2 Заходи зі зниження шкідливостей та небезпечностей у сталевасноливарному цеху

Для попередження негативного впливу неблагоприємних факторів на обслуговуючий персонал заплановано наступні заходи:

Для видалення надлишку тепла, що надходить від кожухів устаткування, поверхні рідкого металу, для нормалізації умов праці передбачена аерація приміщення. Необхідний для цього повітрообмін становить $L = 230000 \text{ м}^3/\text{год}$. Висота цеху $H=10,5 \text{ м}$, відстань від витяжних прорізів до центру нижніх прорізів – $h = 8,5 \text{ м}$. Атмосферний тиск $P_a = 99300 \text{ Па}$. Зовнішня температура повітря $t_n = 14 \text{ }^\circ\text{C}$, робочої зони $t_{р.з.} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, температурний градієнт у цеху $\Delta t = 0,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{м}$. Необхідно визначити необхідну площу нижніх (приточних) і верхніх (витяжних) прорізів, $X = 20\%$, $\alpha = 200$.

Температура повітря, що відводиться з приміщення:

$$t_{yx} = t_{pz} + \Delta t \cdot (H - 2), \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.1)$$

де t_{yx} – температура повітря, що відводиться, $^\circ\text{C}$;

t_{pz} – нормативна температура повітря у приміщенні, $^\circ\text{C}$;

H – висота цеху, м.

$$t_{yx} = 22 + 0,5 \cdot (10,5 - 2) = 26,25 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура повітря в приміщенні:

$$t_{cp} = \frac{t_{pz} + t_{yx}}{2} \quad (3.2)$$

$$t_{cp} = \frac{22 + 26,25}{2} = 24,1 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Повний тепловий тиск:

$$P_n = h \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_{cp}), \text{ Па} \quad (3.3)$$

де P_n – повний тепловий тиск, Па;

h – відстань від витяжних прорізів до центру нижніх прорізів, м;

g – прискорення вільного падіння, дорівнює 9,8.

ρ_n, ρ_{cp} – густина повітря при t_n та t_{cp} .

$$P_n = 8,5 \cdot 9,81 \cdot (1,197 - 1,189) = 0,667 \text{ Па.}$$

Надлишковий тиск на рівні центру нижнього прорізу дорівнює $X\%$ від повного тиску:

$$\Delta P_1 = (X/100) \cdot P_n, \text{ Па} \quad (3.4)$$

де ΔP_1 – надлишковий тиск на рівні центру нижнього прорізу, Па.

$$\Delta P_1 = (20/100) \cdot 0,667 = 0,133 \text{ Па.}$$

Надлишковий тиск на рівні центру верхнього прорізу:

$$\Delta P_2 = P_n - \Delta P_1 \quad (3.5)$$

$$\Delta P_2 = 0,667 - 0,133 = 0,534 \text{ Па.}$$

Швидкість повітря у нижніх прорізах:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_1}{\rho_n}}, \text{ м/с} \quad (3.6)$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,133}{1,197}} = 0,471 \text{ м/с.}$$

Потрібна площа проточних прорізів:

$$S_1 = \frac{L}{3600 \cdot v_1 \cdot \mu_1}, \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

де μ – коефіцієнт витрати, що залежить від конструкції стулок і ступеню їх розкриття. Орієнтовно можна прийняти $\mu = 0,63 \cdot \sin\alpha = 0,63 \cdot \sin 25 = 0,24$ ($\alpha=25^\circ$ – кут повороту стулок).

$$S_1 = \frac{230000}{3600 \cdot 4,71 \cdot 0,24} = 565 \text{ м}^2.$$

Швидкість повітря у верхніх прорізах:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_2}{\rho_{yx}}}, \text{ м/с}, \quad (3.8)$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,534}{1,181}} = 0,69 \text{ м/с}.$$

Площа витяжних прорізів:

$$S_1 = \frac{L}{3600 \cdot v_2 \cdot \mu_1}, \text{ м}^2 \quad (3.9)$$

$$S_1 = \frac{230000}{3600 \cdot 0,69 \cdot 0,24} = 386 \text{ м}^2.$$

Враховуючи специфіку металургійного виробництва, у цьому випадку найбільш доцільним засобом для створення сприятливих умов праці є повітряне душирування із зосередженою подачею охолодженого повітря.

Визначити параметри душируючого патрубку, що обслуговує робочу зону шириною $B = 4$ м і довжиною $A = 25$ м; $t_{p.z} = 25$ °С; інтенсивність опромінення $1-3$ ккал/(см²·хв), $m = 0,7$. По номограмі знаходимо $V_{\min} = 3,3$ м/с, $V_{\max} = 5$ м/с; $n = 3,3 : 5 = 0,66$; кут установки насадка 40° ; $t = 15$ °С. Приймаємо конструкцію душируючого патрубку з $\alpha = 0,07$.

Знаючи довжину ділянки робочої зони, що душується, A и ширину

його V , визначають граничну довжину ділянки, що обслуговується однією приточною насадкою A_{\max} :

$$A_{\max} < 0,42 \sqrt{F_{\text{п}}} / \alpha (1 + \sqrt{1/(1-n)}) \quad (3.10)$$

де $F_{\text{п}}$ – площа поперечного перетину приміщення, що обслуговується одним струменем, м^2 ; α – коефіцієнт турбулентності струменя, що залежить від конструкції насадки (для циліндричної труби з конфузоровим не менше одного діаметра й кутом розкриття $\beta = 150^\circ$ $\alpha = 0,07$; для труби без насадка $\alpha = 0,08$); n – коефіцієнт рівномірності розподілу швидкостей повітря в робочій зоні.

$$A_{\max} = 0,42 \cdot \sqrt{100} / 0,07 \cdot (1 + \sqrt{1/(1-0,66)}) = 22,5 .$$

Горизонтальна відстань від приточної насадки до початку ділянки, що душирується:

$$l_1 = 0,5 \cdot A \cdot (\sqrt{1/(1-n)} - 1), \text{ м} \quad (3.11)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 22,5 \cdot \sqrt{1/(1-0,66)} - 1 = 8,1 \text{ м}.$$

Висота розташування приточного патрубку:

$$h = 0,08 \cdot n \cdot (2 \cdot l_1 + A_{\max}) \cdot (\alpha + 0,3 \cdot \text{tg}\varphi), \text{ м} \quad (3.12)$$

$$h = 0,08 \cdot 0,66 \cdot (2 \cdot 8,1 + 22,5) \cdot (0,07 + 0,3 \cdot 0,842) = 5,8 \text{ м}.$$

Загальна висота розміщення патрубку над підлогою:

$$5,8 + 1,5 = 7,3 \text{ м}.$$

Швидкість повітря на виході з насадка:

$$V_{0 \max} = V_{\min} \cdot [1 + m'/(1-m)], \text{ м/с} \quad (3.13)$$

де m' – коефіцієнт, що дорівнює 0,95.

$$V_{0 \max} = 3,3 \cdot [1 + 0,95 \cdot (1 - 0,66)] = 12,5 \text{ м/с.}$$

Діаметр вихідного перетину насадка:

$$d_0 = 5 \cdot h \cdot v_{\max} / v_0 \cdot [1 + (\text{tg}\varphi / 3,4 \cdot \alpha)]^2, \text{ м/с} \quad (3.14)$$

де v_0 – знижена швидкість виходу повітря з патрубку, що забезпечує необхідну швидкість у зоні душирування.

$$d_0 = 5 \cdot 5,8 \cdot 5 / 3,3 \cdot (1 + 0,842/3,4 \cdot 0,07)^2 = 12,5 \text{ м/с.}$$

Кількість повітря, що подається одним насадком:

$$L = 0,78 \cdot v_0 \cdot d_0^2, \text{ м}^3/\text{годину} \quad (3.15)$$

$$L = 0,785 \cdot 12,5 \cdot 2,1 \cdot 3600 = 156 \text{ 000 м}^3/\text{год.}$$

Мінімальна температура в робочій зоні:

$$t_{\min} = t_{\pi} - v_{\max} / [v_0 \cdot (t_{\pi} - t_0)], \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.16)$$

де t_0 – температура повітря, що виходить з душируючого патрубка, $^{\circ}\text{C}$;

t_{π} – середня температура повітря, яке підсмоктується приточним струменем з оточуючого середовища, $^{\circ}\text{C}$:

$$t_{\pi} = (t_{p.z} - t_{v.z})/2 \quad (3.17)$$

де $t_{p.z}$ и $t_{v.z}$ – температура відповідно робочої та верхньої зон, $^{\circ}\text{C}$.

$$T_{\min} = 26,5 - 5 / [12,5 - 15] = 22 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Обладнання одного патрубка для душирування зони довжиною 25 м є неекономічним; доцільніше встановити два або три душируючих патрубка.

Наведений розрахунок швидкості руху повітря та температури його слухний у випадку короткочасового перебування робітника в зоні теплового опромінення. При опроміненні робітника тепловим потоком інтенсивністю 1 кал/(см²·хв.) та більше повітряний душ без додаткових заходів

малоефективен [11].

Для зниження виробничого шуму вентиляційні установки розташовані у окремому приміщенні, технологічне устаткування (пальники) мають рівень шуму, що не перевищує норми. Пил від ломки футеровки виводиться природним шляхом крізь аераційні ліхтарі. Для виключення прогару футерування у зоні виплавки передбачено водяне охолодження кожуха вагранки. Для вловлювання розжарених часток та пилу, що викидаються з вагранки під час роботи, на верхній частині димової труби встановлено іскрогасник, місце випуску чавуну обладнане зонтом з азбестовими шторками, від якого газу відсмоктуються вентилятором та видаляються до атмосфери. Заглиблення нижче 600 мм мають огороження висотою 1 м. Передбачено занулення та заземлення корпусів електроустаткування, корпусів світильників, вирівнювання потенціалів.

Працівники, що обслуговують дільницю, забезпечуються засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) безкоштовно. Вони видаються відповідно до штатного розписання. Річна потреба у засобах індивідуального захисту для робочих основних професій приведена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Норми видачі ЗІЗ робітникам

Професія	Найменування спецодягу та інших ЗІЗ	Строки носки по місяцях	Кількість працівників	Річна потреба, шт.
1	2	3	4	5
Вагранник	Куртка з сукна	18	2	36
	Брюки з сукна	9		18
	Чоботи кирзові	12		24
	Рукавиці брезентові	1		2
	Шляпа войлочна	12		24
	Окуляри захисні	до зносу		до зносу
Вогнетривник	Костюм сукняний	12	3	36
	Черевики шкіряні	12		36
	Рукавиці брезентові	2		6
	На дільницях гарячого ремонту додатково:	12		
	Шолом сукняний	12		36
	Валянки	12		36

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5
Заливальник	Костюм з сукна	12	3	36
	Валянки або черевики шкіряні з металевим носком	12		36
	Рукавиці брезентові	1		3
	Окуляри захисні	до зносу		до зносу
Майстер	Костюм бавовняний	12	2	24
	Черевики шкіряні	12		24
	Рукавиці комбіновані	3		6
Завальник шихти у вагранки	Костюм брезентовий	12	3	36
	Черевики шкіряні з металевим носком	12		36
	Рукавиці брезентові	2		6
	Окуляри захисні	до зносу		до зносу

3.3 Пожежна безпека

Виробничий процес у цеху по вибуховій, вибухонебезпечній та пожежній небезпеці відноситься до категорії «Г», тому що у технологічному процесі задіяні речовини та матеріали у гарячому, розпеченому і розплавленому стані, процес обробки котрих супроводжується виділенням променистого тепла, іскор та полум'я. Приміщення цеху побудовано з неспалюваних матеріалів та має I ступінь вогнетривкості. Для попередження розповсюдження пожежі конструкції будівлі обладнанні протипожежними перепонами – поперечними та продольними [15].

В таблиці 3.3 приведено норми розрахунку первинних засобів пожежегасіння для цеху очистки стічних вод.

Порівняння нормативних вимог та фактичної кількості первинних засобів пожежегасіння показало їх відповідність існуючим нормативам.

Цех відноситься до II категорії блискавкозахисту, тому що є приміщенням класу В-1а, для котрих блискавкозахист є обов'язковим у місцях з середньою тривалістю грози 10 годин на рік.

Таблиця 3.3 – Норми необхідних первинних засобів пожежегасіння для сталелитного виробництва

Категорія приміщення	Гранична захищена площа, м ²	Клас пожежі	Пінні та водяні вогнегасники місткістю 10 л	Порошкові вогнегасники з величиною заряду, кг			Хладонові вогнегасники місткістю 2(3) л	Вуглекислотні вогнегасники місткістю, л	
				2	5	10		2 (3)	5 (8)
Г	800	В	2+	-	2++	1+	-	-	-
		С	-	4+	2++	1+	-	-	-
	1800	А	2++	4+	2++	1+	-	-	-
		Д	-	-	2+	1++	-	-	-
		Е	-	2+	2++	1+	2+	4+	2++

ВИСНОВКИ

1. В даний час для плавки чавуну і сталі найбільше поширення одержали плавильні агрегати, що використовують вогневі методи, печі-вагранки (76%). При плавці чавуну у вагранках виділяються у великих кількостях забруднюючі речовини, такі як: пил, монооксид вуглецю, сірчистий ангідрид, оксиди азоту, вуглеводні, що негативно впливають на здоров'я людини і навколишнє середовище.

2. До ділянок підвищеного забруднення у ливарних цехах варто віднести вагранки, ливарний проліт, відділення очищення, відділення підготовки і сушіння формувальних мас. У загальних викидах в атмосферу на вагранки доводиться 3% пилу і 0,5% чадного газу.

3. У повітрі ливарного цеху може міститися в значних концентраціях монооксид вуглецю, що утворюється при неповному згорянні палива в різних печах і сушилах, на ділянках заливання форм і охолодження виливків. Найбільші забруднювачі, що утворюються від вагранок у повітря, це пил, монооксид вуглецю, діоксид сірки, діоксид азоту, вуглеводні. Концентрація цих речовин у повітрі всіх основних відділень ливарного цеху досягає величин, що значно перевищують гранично припустимі норми.

4. Усе різноманіття існуючих апаратів пиловловлення можна звести до чотирьох основних груп: сухі, мокрі, фільтруючі й електричні. Вибір способу очищення газових викидів залежить головним чином від фізичних і хімічних властивостей пилових часток, їх дисперсного складу й аеродинамічної характеристики, кількості і температури газів, що виділяються, особливостей технологічного режиму роботи устаткування, інтенсивності виділення пилу, а також необхідної ефективності пиловловлення. Видалення шкідливих газових складових можна здійснити трьома методами: адсорбцією, абсорбцією і допалюванням (каталітичним чи термічним).

5. Тип та послідовність апаратів у системи очистки залежить від багатьох факторів: кількісний та якісний склад викидів, їх температура,

обсяг, вже існуюче очисне обладнання та інше.

6. Сталефасоноливарний цех ВАТ «Інтерпайп НТЗ» призначений для випуску чавунного лиття. Цех відноситься до допоміжного виробництва. У ливарному цеху ВАТ «Інтерпайп НТЗ» є дві коксові вагранки, призначені для плавки чавуну продуктивністю 7 т/год. Вагранки працюють по черзі. Вони обладнані копильниками ємністю 7 т.

7. При заливанні форм чавуном і при охолодженні і вибиванні виділяється пил, монооксид вуглецю, сірчистий ангідрид, оксиди азоту, що відсмоктуються витяжною вентиляцією. При сушінні після ремонту ковшів і копильнику виділяються: монооксид вуглецю, оксиди азоту, що віддаляються в атмосферу через аераційні ліхтарі плавильної ділянки.

8. При роботі вагранок спостерігається перевищення ГДК робочої зони по оксиду вуглецю в 3 рази. У зв'язку із цим необхідно вдосконалення системи газоочищення.

9. Зараз блок коксових вагранок №1 і №2 плавильної ділянки ливарного цеху обладнані сухими пиловловлювачами (пилоосаджувальні камери), але не мають камер для допалювання. Над місцями випуску чавуну виконано зонти з азбестовими шторами. Ефективність очищення від пилу становить 69%, немає очищення викидів від монооксиду вуглецю, оксидів азоту та сірки.

10. Запропоновано застосувати метод допалювання, апарати – камери допалювання. При допалюванні ваграночних газів проводиться окислення монооксиду вуглецю до діоксиду вуглецю. Запропоновано кілька можливих варіантів модернізації існуючої системи пилогазоочистки: очищення в сухих пиловловлювачах з допалюванням газів; очищення в мокрих іскрогасниках; очищення в установках зі скруберам Вентурі;

11. Для очищення ваграночних газів від шкідливих забруднюючих речовин найбільше поширення одержали методи мокрого очищення, а апарати – порожні скрубери. У зв'язку з цим, для забезпечення більш високої ефективності вловлювання пилу можливе застосування двоступінчатої

системи очищення зі скруберами Вентурі. Розрахована ефективність двоступінчатої системи, що дорівнює 98,2%.

12. Розглянуті схеми очищення ваграночних газів дозволяють значно знизити кількість зважених речовин, що викидаються в атмосферу, і практично виключити викиди чадного газу. Враховуючи той факт, що 2-й та 3-й запропоновані варіанти потребують переведення сухої газоочистки на мокру, крім того, перевищення ГДК та ГДВ за викидами пила немає навіть при існуючому ступені очистки, зупинимося на першому варіанті – сухий пиловловлювач – допалювання СО в камері допалювання за допомогою інжекційних пальників – камера охолодження (гравітаційний пиловловлювач) – димова труба.

13. Запропонована установка для технічного допалювання відхідних газів з вертикально розміщеними насадками. Вона дозволяє краще змішувати забруднений газ з продуктами горіння паливного газу при підвищеній швидкості та турбулентності потоку. Також дозволяє отримувати однорідну суміш газів і тим самим досягати більшої повноти спалювання шкідливих домішок при зниженій температурі допалювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Самойленко Н.М., Аверченко В.І., Байрачний В.Б. Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс : навч. посіб. Харків : НТУ «ХП», Лідер, 2020. 212 с.
2. Іваненко О.І., Носачова Ю.В. Техноекологія: Підручник. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2017. 294 с.
3. Запольський А.К., Салюк А.І. Основи екології: Підручник за ред. К.М.Ситника. 3-тє вид., стер. Київ : Вища шк., 2005. 382с.
4. Апостолюк С.О., Джигирей В.С., Соколовський І.А. Промислова екологія: навч.посіб. Київ : Знання, 2012.430с.
5. Клименко М. О., Прищепа, А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля. НУВГП, Рівне, 2023.
6. Клименко М.О., Залеський І.І. Техноекологія: навч. Посібник. Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне. Київ : Видавничий центр «Академія», 2011. 256 с.
7. Клименко М.О., Залеський І.І. Техноекологія: підручник. Херсон : ФОП Грінь Д.С., 2017. 331 с.
8. Филиппчук В.Л., Клименко М.О., Ткачук К.К., Проценко С.Б., Радовенчик В.М., Залеський І.І. Промислова екологія. Рівне : НУВГП. 2013. 493 с.
9. Білявський Г. О., Бутченко Л. І. Основи екології : теорія та практика. навч. посібник. Київ : Лібра, 2004. 368 с.
10. Мельник Л.Г. Основи екології: екологічна економіка та управління природокористуванням. Суми : Університетська книга, 2006. с. 236-658
11. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : УАД, 2006. 336 с.
12. Сақун М.М., Москалюк І.В. Основи охорони праці. Навчально-методичний посібник. Херсон : «Южполиграфсервис», 2013. 67 с.

13. Зеркалов Д.В. Наукові основи охорони праці. Київ : «Основа», 2015. 934 с.
14. Запорожець О.І., Протоєрейський О.С., Франчук Г.М., Боровик І.М. Основи охорони праці. Підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с.
15. Білим П.А. Основи пожежної безпеки : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 Цивільна безпека. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 45 с.