

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота
бакалавра

До захисту
[Signature]
12.05.23р.

на тему Вдосконалення системи очищення колошникового газу

Виконала: студент 4 курсу, групи 6.1830-с

Спеціальності 183 Технології захисту

навколишнього середовища

освітньої програми Технології захисту

навколишнього середовища

Авраменко А.Т.

Керівник доцент, к.т.н. Манідіна Є.А.

Рецензент проф., д.т.н. Белоконь Ю.О.

м. Запоріжжя
2023

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
 Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища
 Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Белоконь
 " 24 " 12 2023 року

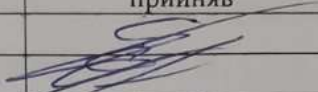
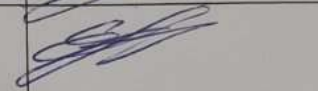
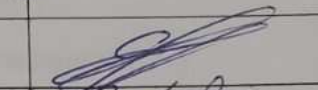
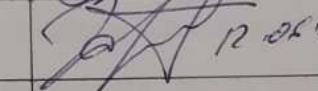
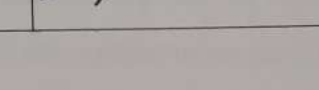
ЗАВДАННЯ
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Авраменко Анастасії Тимурівні
 (прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи Вдосконалення системи очищення колошникового газу
керівник роботи Манідіна Євгенія Анатоліївна, к.т.н.,
затвердені наказом вищого навчального закладу від «29» грудня 2022 року
№1893-с
- 2 Строк подання студентом роботи 16.06.2023 р.
- 3 Вихідні дані до роботи технологічні гази агломераційного виробництва,
витрата колошникового 116729,98 нм³/год, температура 215 С, запиленість –
24 г/м³, 21,7 % CO₂; 26,3 % CO; 10 % H₂, 41,1 N₂, щільність часток пилу до
3200 мг/нм³.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) аналіз системи газоочищення та оборотного циклу доменних
печей, аналіз сучасних конструкцій систем газоочищення доменних печей,
розрахунок газоочисного обладнання, розрахунок ГУБТ, економічне
обґрунтування прийнятих рішень, охорона праці та техногенна безпека.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення, презентаційний матеріал, а саме: об'єкт, предмет дослідження, мета роботи, схема процесу очищення доменного газу, недоліки системи газоочищення доменного газу, апарати газоочищення, висновки.

7. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Загальна частина	Манідіна Є.А., доцент	
Технологічна частина	Манідіна Є.А., доцент	
Економічне обґрунтування прийнятих рішень	Манідіна Є.А., доцент	
Охорона праці та техногенна безпека	Манідіна Є.А., доцент	
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	 12.04.23

7. Дата видачі завдання 17.04.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	1.05 - 10.05	Виконано
2	Реферат	14.06 - 16.06	Виконано
3	Загальна частина	1.05 - 10.05	Виконано
4	Технологічна частина	10.05 - 05.06	Виконано
5	Економічне обґрунтування прийнятих рішень	05.06 - 14.06	Виконано
6	Охорона праці та техногенна безпека	05.06 - 14.06	Виконано
7	Висновки	14.06 - 16.06	Виконано

Студент

А.Т. Авраменко

Керівник роботи

Є.А Манідіна

РЕФЕРАТ

68 с., 9 табл., 22 рис., 17 джерел

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра:

ДОМЕННА ПІЧ, ДОМЕННИЙ ГАЗ, РАДІАЛЬНИЙ
ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ, ЦИКЛОН, СКРУБЕР ВЕНТУРИ, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР

Об'єкт дослідження – ливарний двір доменного цеху.

Предмет дослідження – система газоочищення доменного цеху.

Мета роботи – вдосконалення системи очищення колошникового газу.

В роботі розглянуто існуючий стан газоочищення доменного газу на ПрАТ «Запоріжсталь» та систем очищення колошникового газу, що експлуатуються, на підприємствах пострадянського простору, Європи, Японії та Китаю. Виконано аналіз апаратів очищення сухого та мокрого типу застосовуваних для очищення доменного газу. Наведено розрахунки пропонованого рукавного фільтра газоочищення доменного газу. Виконано аналіз скорочення водозабору з р. Дніпро та скидання до неї освітлених оборотних вод, зменшення кількості води оборотного водопостачання в результаті переходу на сухий спосіб очищення. Встановлено, що удосконалення системи очищення доменного газу із застосуванням циклону, рукавного фільтра матиме значний еколого-економічний ефект.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Аналіз системи газоочищення та оборотного циклу доменних печей ПрАТ «Запоріжсталь»	8
1.2 Аналіз сучасних конструкцій систем газоочищення доменних печей та пропонується система очищення доменного газу в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»	21
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	39
2.1 Розрахунок діаметра циклону для газоочищення колошникового газу	39
2.2 Застосування сухої системи очищення з рукавним фільтром	40
2.3 Розрахунок ГУБТ	47
3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	58
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	58
4.2 Заходи з поліпшення умов праці. Виробнича санітарія	60
4.3 Електробезпека	63
4.4 Пожежна безпека	64
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	67

ВСТУП

Основна частка енерговитрат на виробництві металопродукції в Україні припадає на доменне виробництво – 60% [1]. Витрата енергії на виробництво 1 т чавуну в Україні становлять 644,8 кг умовного палива та перевищують показники передових країн Японії та США у 2 та 1,2 рази відповідно. Аналіз енергоспоживання при виробництві чавуну показує, що одним з основних факторів, що викликає зростання питомих витрат електричної енергії є експлуатація газоочищення колошникового (доменного) газу з оборотним циклом. Удосконалення конструкції печі, завантажувальних пристроїв, конструкцій повітрянагрівачів, вдування пиловугільного палива та інших технічних рішень спільно із застосуванням шихтових матеріалів високої якості призводить до поступового зменшення енергетичних ресурсів при виробництві чавуну [4,5,6].

Впровадження енергозберігаючих технологій зі зменшенням антропогенного впливу на навколишнє природне середовище в доменному виробництві досягає за рахунок модернізації схеми очищення доменного газу.

Існуючі мокрі газоочищення доменного газу характеризуються високими експлуатаційними витратами з допомогою змісту оборотного циклу шламового господарства. Як зазначається в роботі [7] витрати енергії на мокре очищення газу від пилу в 2,5-3,0 рази більше, ніж на сухий, а підготовка до повторного використання сухого пилу в 7,0-8,0 разів менше, ніж шламу .

Ряд робіт виконаних на заводі «Шальверке Бремен» (Німеччина), ВАТ «Нижньотагільський металургійний завод» (ВАТ НТМК), ВАТ «Северсталь», ЗАТ «Донецьксталь-МОЗ», Руставському металургійному заводі , ВАТ «Тулачермет», ВАТ «Новоліпецький металургійний завод» (ВАТ НЛМК), ПАТ «Єнакіївський металургійний завод» (ПАТ «ЄМЗ») спрямовані на збільшення ефективності роботи сухих апаратів очищення та вдосконалення конструкцій та режимів роботи мокрих апаратів очищення. Збільшення ефективності роботи сухих апаратів за рахунок реконструкції радіальних пиловловлювачів або

застосування апаратів інерційного очищення забезпечують зменшення навантаження на радіальні відстійники та потужності корпусів зневоднення шламів.

У роботах [1-6] представлені дані про роботу "сухих" газоочищення колошникового газу з рукавними фільтрами на металургійних підприємствах Китаю, Японії та росії.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз системи газоочищення та оборотного циклу доменних печей ПрАТ «Запоріжсталь»

Завданням доменного процесу є відновлення заліза в чистому вигляді з його оксидів. Виробництво чавуну в доменній печі є безперервним технологічним процесом, що не допускає перебоїв завантаження шихти, випуску чавуну і відведення доменного (колошникового) газу, що утворюється. Безперервно утворюється в фурменній зоні в результаті повітря, що вводиться в піч, відновний газ під власним тиском у вигляді доменного газу відводиться від печі, захоплюючи при цьому колошниковий пил. В умовах комбінату весь газ після очищення використовується в ТЕЦ, доменному та обтискному цехах, ЦГПТЛ, УЖДТ (гараж-розморожувач у зимовий час близько 1%), розподіл колошникового газу по споживачах представлено на рис.1.1. Винесення частини шихтових матеріалів (колошникового пилу) з доменної печі газом, що відходить, відбувається в основному з двох причин: по-перше, в результаті захоплення дрібних фракцій шихтових матеріалів потоком газу і, по-друге, в результаті сублімації (перетворення в пароподібний стан під дією високих температур) деяких матеріалів, що містяться в шихті (наприклад, сполук кремнію, алюмінію, магнію, кальцію, цинку або різних органічних сполук, що вносяться кокосом та промасленою металевою струшкою).

Вихід доменного газу та його параметри залежать від конкретних умов роботи доменних печей (якості сирих матеріалів та коксу, ступеня збагачення дуття киснем, витрати пилувугільного палива, тиску газу на колошнику, температури завантажуваного агломерату та ін) і характеризуються: питомим виходом газу від 140 до 185 м³/м³ корисного обсягу доменної печі на годину; температурою неочищеного домену до 350-400 °С; надлишковим тиском газу на колошнику до 0,25 МПа (в умовах комбінату не більше 0,13 МПа) із вмістом пилу в неочищеному газі 18-28 г/м³.

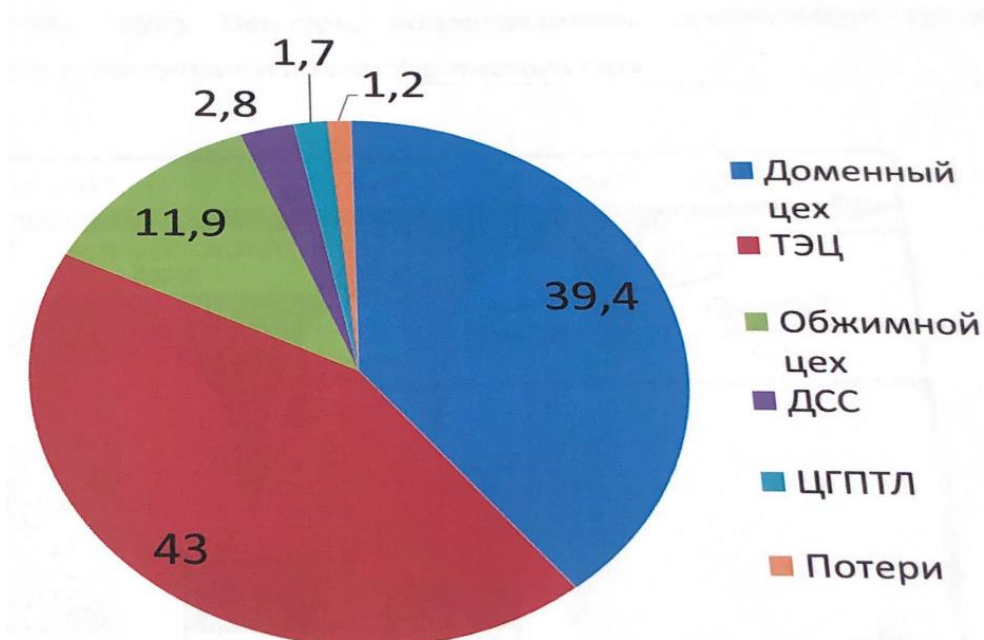
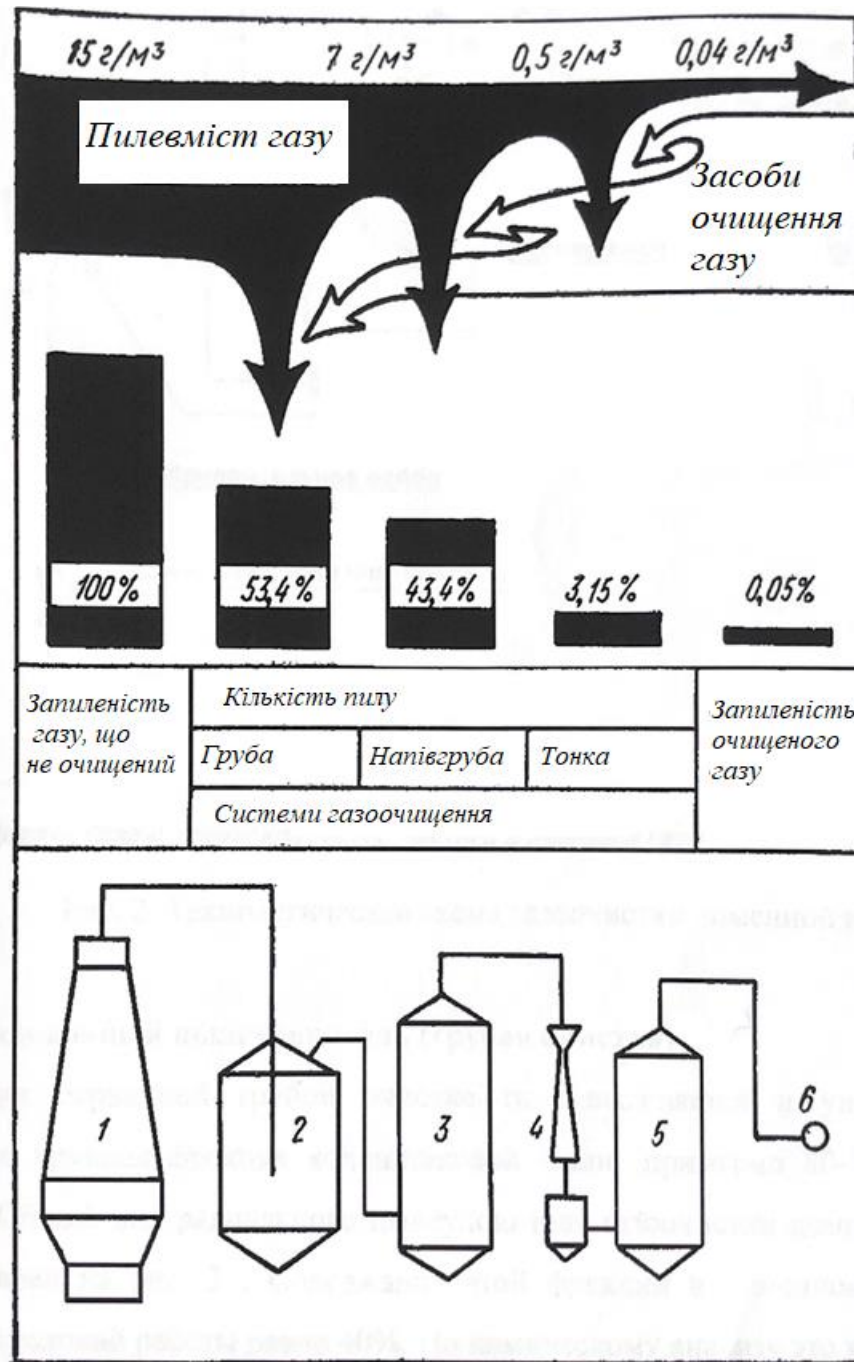


Рисунок 1.1 – Розподіл доменного газу по споживачам, %

Система очищення доменного газу, що застосовується на комбінаті «Запоріжсталь», є класичною схемою очищення доменного газу. Система очищення доменного газу в ХХ столітті склалася таким чином, що апарати газоочищення можна чітко розділити на три послідовні групи: первинного грубого очищення, напівтонкого очищення та остаточного тонкого очищення газу. Відокремлення газоочисних апаратів у зазначені групи насамперед на основі властивостей колошникового пилу та рівня розвитку техніки пиловловлення.

Застосовувані апарати та ефективність уловлювання пилу представлена на рис.1.2 [12]. Технологічна схема газоочищення доменної печі представлена на рис.1.3.

Газ від колошника доменної печі по похилим газопроводам надходить на відсічний клапан, встановлений над пиловловлювачем, потім газ проходить послідовно радіальний пиловловлювач, скруббер високого тиску, гусак, трубу Вентурі, водовідділювач, дросельну групу, краплеуловлювач і надходить у газ.



1–доменна піч; 2–сухий радіальний пиловловлювач; 3 – скруббер високого тиску; 4 – труба Вентурі; 5 – краплеуловлювач; 6 – дросельна група, краплеуловлювач, мережа чистого газу

Рисунок 1.2 – Схематичний процес очищення доменного газу

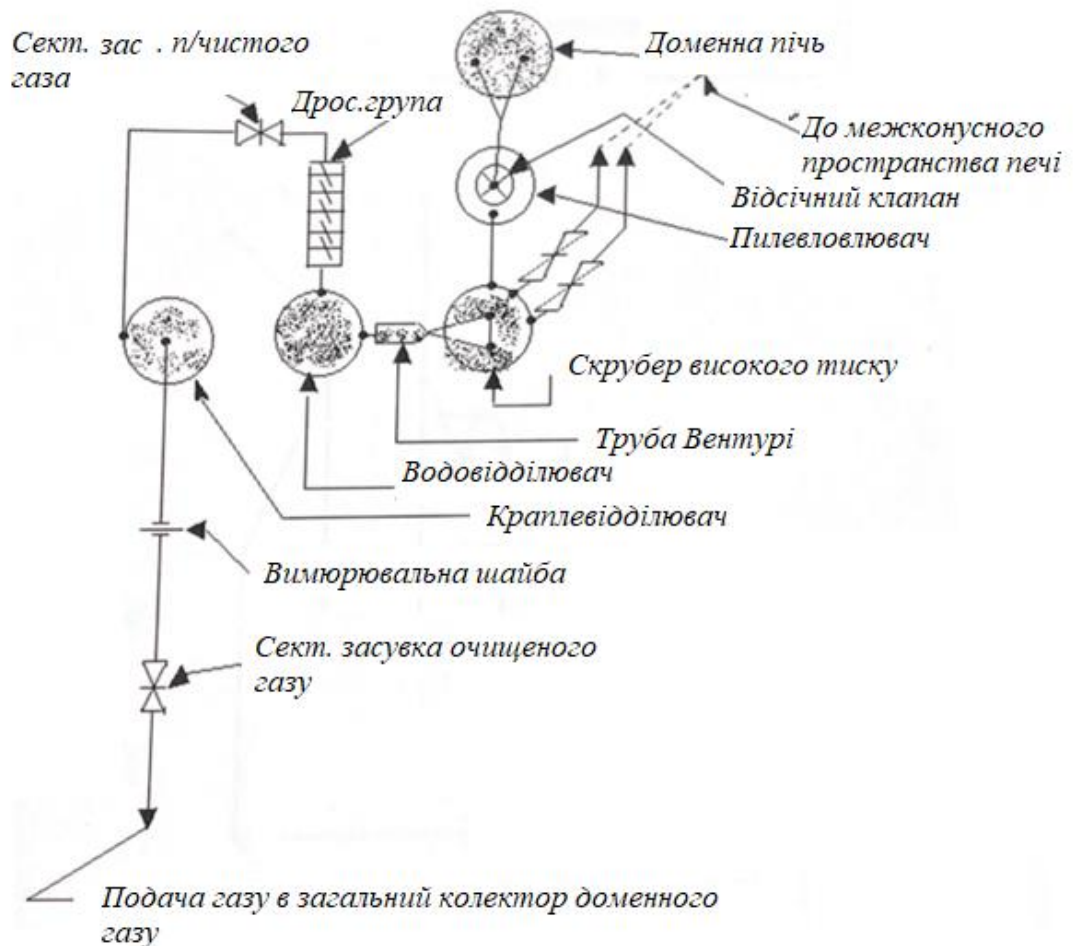


Рисунок 1.3 – Технологічна схема газоочищення доменної печі

Радіальний пиловловлювач (грубе очищення). При первинному грубому очищенні газу виділяється і вловлюється найбільша фракція колошникової пилу (приблизно 80-100 мкм і більше). Загальний вигляд радіального пиловловлювача газоочищення доменної печі представлений на рис. 1.4. Зміст цієї фракції в доменному газі для середніх умов роботи дорівнює 40%. За хімічним аналізом це переважно кокс і залізняк. При цьому очищенні застосовується прості, надійні та економічні, так звані сухі пиловловлювачі, що використовують для осідання пилу власну енергію порошин без витрат додаткових зусиль. Пиломіст доменного газу після першого ступеня не перевищує 9-15 г/м³. Перший ступінь очищення газу вигідно відрізняється від наступних найбільшою простотою та надійністю газоочисних апаратів.

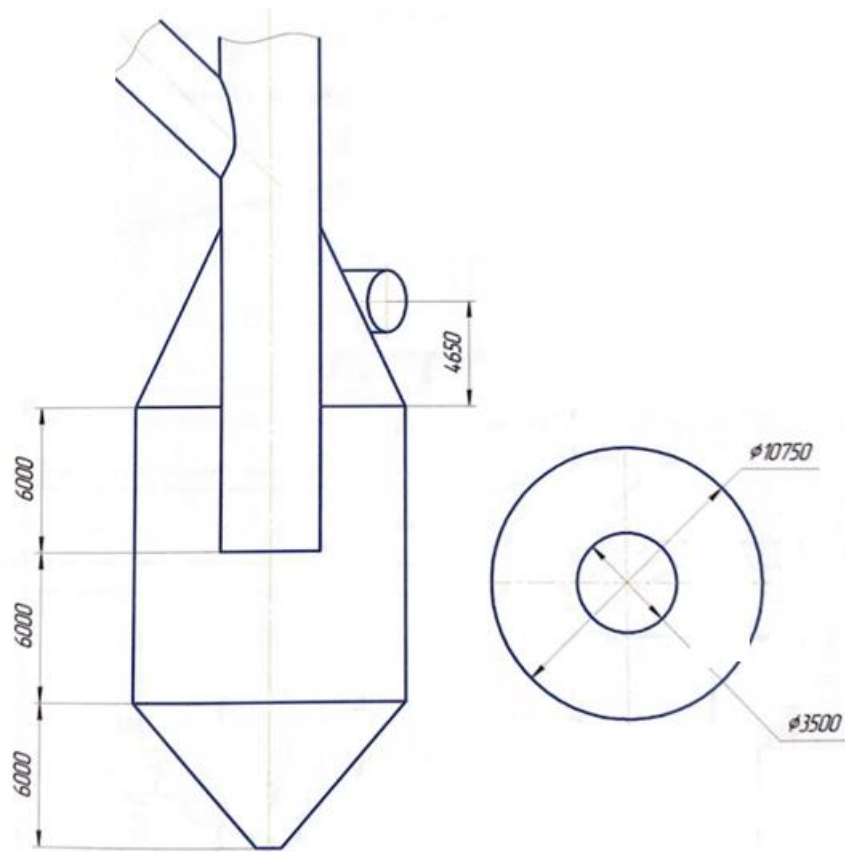
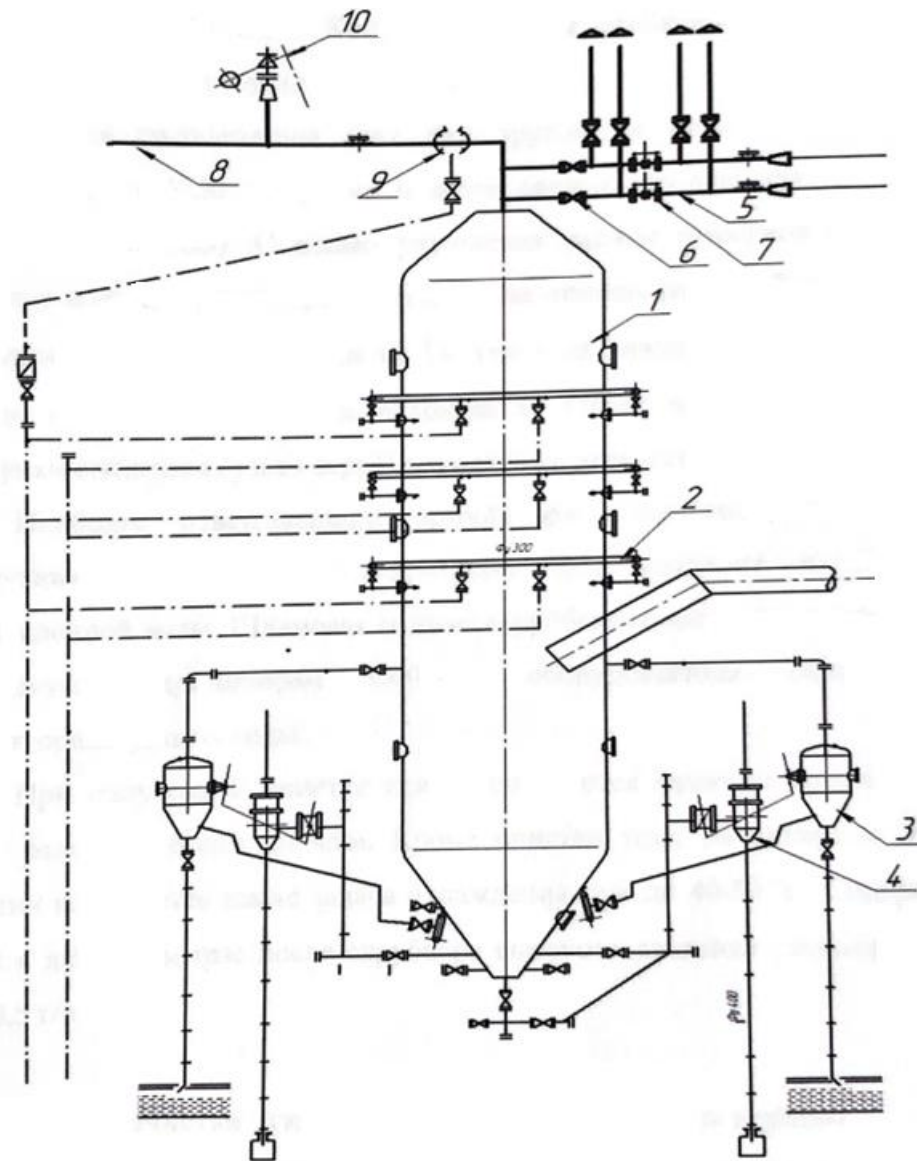


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд радіального пиловловлювача

Порожнистий форсунковий скруббер (напівтонке очищення). Доменний газ, проходячи первинні пиловловлювачі, практично не охолоджується і надходить в апарат напівтонкого очищення (порожнистий форсунковий скруббер рис.1.5) при температурі близько 200-300 °С.

Введення гарячого сухого газу, що містить ще порівняно велику кількість пилу, в апарат мокрого напівтонкого очищення-скруббер високого тиску необхідно здійснювати так, щоб виключити налипання сухого пилу на зволожені поверхні та утворення в результаті цього настилів, що, як правило, завжди призводить до порушень роботи газоочисного апарату.



1 – форсунковий порожнистий скруббер; 2 – зрошення скрубера; 3 –поплавковий привід дросельного клапана водяного затвора; 4 – дросельний клапан; 5 – байпасні трубопроводи; 6 – засувка 7 – листова засувка; 8 – газопровід; 9 – зрошення гуся газопроводу; 10 – атмосферний клапан.

Рисунок 1.5 – Форсунковий полий скруббер

Зрошення скрубера високого тиску здійснюється трьома кільцями \varnothing 250 мм, обладнаним евольвентними форсунками з діаметром сопла \varnothing 40 мм. Кільця, зрошення забезпечуються водою за двома самостійними водоводами \varnothing 300 мм.

Кільця розташовані один над одним на відмітках +17850 мм, +22300 мм, +26750 мм (тут і далі дані вказані для газоочищення доменної печі №3). Крикриттям засувок \varnothing 250 мм на $\frac{1}{4}$ штока на нижньому та на $\frac{1}{2}$ на середнє кільце

зрошення. Від стояка водоводу \varnothing 150 мм подається вода на дві форсунки зрошення гуся скрубера з \varnothing 25 мм верхнього отвору сопла.

Найбільш відповідальним пристроєм всіх апаратів мокрого пиловловлення є гідрозатвор для видалення відпрацьованої зашламленої води. Шламова вода зі скрубера відводиться в шламопровід по двох гідрозатворах \varnothing 400 мм, обладнаних поплавцевими регуляторами рівня води.

При напівтонкому очищенні газу вловлюються фракції колошникового пилу розміром понад 20 мкм. Крім очищення газу, на апарати другого ступеня покладається завдання охолодження газу до 40-50 °С. Вміст пилу в доменному газі після скрубера високого тиску зменшується до 0,3-0,5 г/нм³.

Тонке очищення (скрубер Вентурі, дросельна група). Основними агрегатами тонкого очищення газу є скрубер Вентурі з великим перепадом тиску та дросельна група з краплеуловлювачем. При тонкій очистці повинен забезпечуватися мінімальний вміст пилу в газі (не більше 4мг/нм³).

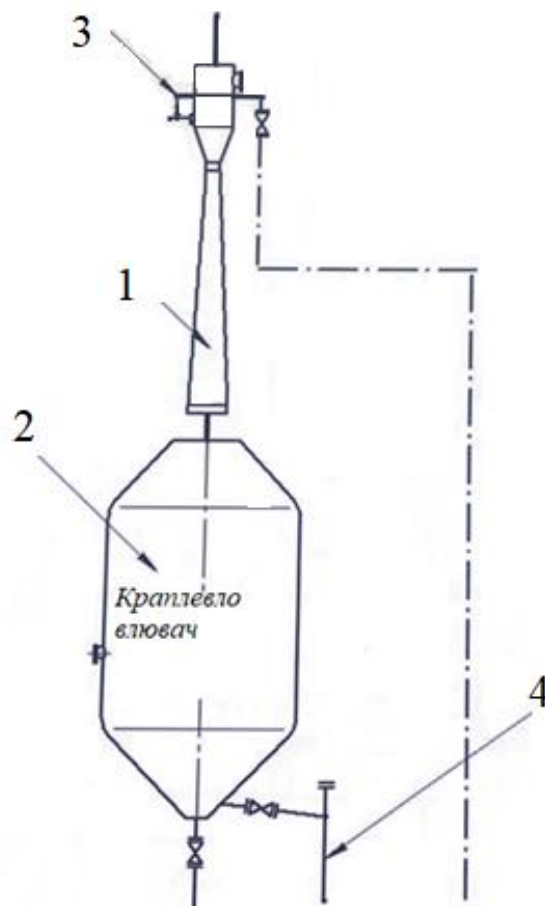
Скрубер Вентурі складається з труби Вентурі і вологовідділювача (рис 1.6) циліндричну горловину, де досягається максимальна швидкість газу і високий ступінь турбулентності (перемішування) газу і частина - дифузор, в якому швидкість газу зменшується.

Зрошення труби Вентурі здійснюється від стояка водоводу \varnothing 150мм 5 форсунками \varnothing 25мм. У конфузор подають зрошуючу воду, яка дробиться газовим потоком на дрібні краплі. Завдяки високій турбулентності частинки пилу в горловині стикаються з краплями води і поглинаються ними. Таким чином, в газовому потоці після труби Вентурі замість дрібних важковіддільних частинок пилу містяться значно більші утворення, які можна порівняно легко відокремити від газу. Відділення газового потоку від крапель води з частинками пилу відбувається у вологовідділювачі при низьких швидкостях руху потоку.

Додаткове тонке очищення газу від пилу відбувається в дросельній групі, основне призначення якої – створення підвищеного тиску газу в печі. Тиск газу тракті газоочистки після дросельної групи має бути трохи більше 2000 мм вод.ст. і залежить від кількісного відбору споживачами доменного газу від мережі та

режиму роботи печі. Дросельний пристрій являє собою два фланці, між якими розташовані п'ять паралельних патрубків різного діаметра, призначених для проходу газу.

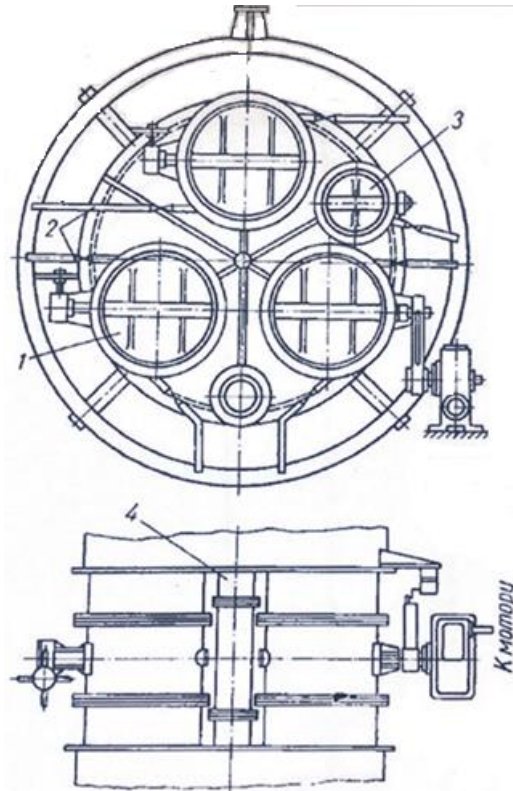
Дросельна група представлена на рис.1.7. У патрубках швидкість газу збільшується, а очищення газу здійснюється за принципом скрубера Вентурі. Зрошення дросельної групи здійснюється від водоводу $\text{Ø}150$ мм п'ятьма форсунками $\text{Ø}25$ мм. Після дросельної групи газ тангенціально вводиться в краплеуловлювач (рис.1.8). У загальній технологічній схемі очищення краплеуловлювач є ланкою, що замикає. Каплеуловлювач служить для уловлювання та відокремлення від газу крапельної вологи. Газ до краплеуловлювача підводять тангенціально, в результаті чого потік, що піднімається вгору, набуває обертального руху.



1 – труба Вентурі; 2 – вологовідділювач; 3– зрошення труби Вентурі; 4 – скидання шламової води в конус скрубера

Рисунок 1.6 – Труба Вентурі та вологовідділювач

Розвивається при цьому відцентрова сила відкидає зважені крапельки води на стінки краплеуловлювача, по яких вода стікає вниз, і відводиться в шламопровід по двох гідрозатворах сифонного типу $\varnothing 200\text{мм}$. Уловлювання крапель води після дросельної групи здійснюється в краплеуловлювачі.



1 – клапани діаметром 750 мм; 2 – форсунки; 3 – клапан діаметром 400 мм;
4 – перепускна труба

Рисунок 1.7 – Дросельна група

Схема водопостачання зрошення скрубера високого тиску, труби Вентурі та дросельної групи представлена на рис. 1.9. Водопостачання газоочищення здійснюється освітленою водою по двох водоводах під тиском 5,2-5,5 атм від зворотного циклу газоочисток доменних печей (далі ЗЦГДП) станції цеху водопостачання. Для збільшення тиску води, що подається на газоочистку використовуються підкачують електронасоси типу 1 1250-63, потужність 110 кВт - подача оборотної води на скрубер.

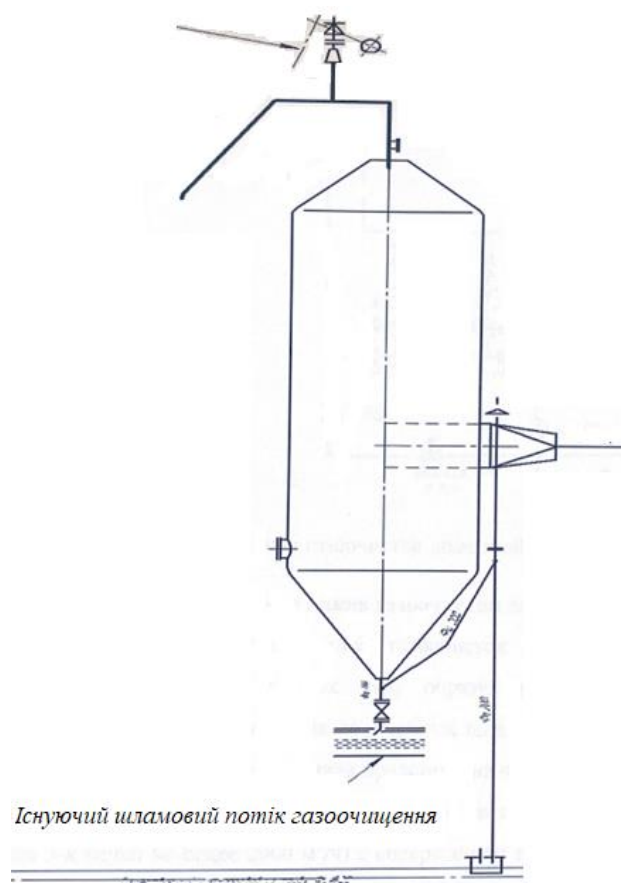


Рисунок 1.8 – Краплевловлювач

Для подачі технічної води на дросельну групу, трубу Вентурі та гусак скрубера електронасос типу К100-65-250, потужністю 45 кВт. Аварійне водопостачання газоочищення здійснюється від водоводу технічної води доменного цеху $\text{Ø}500\text{мм}$ (чистий цикл) під тиском 5,2 атм.

Характеристика оборотного циклу газоочищення доменних печей. Оборотний цикл водопостачання газоочисток доменних печей призначений для очищення стічних вод, що утворюються в процесі виробництва чавуну та зневоднення отриманих шламів з повторним їх використанням. Схема зворотного циклу представлена на рис.1.10.

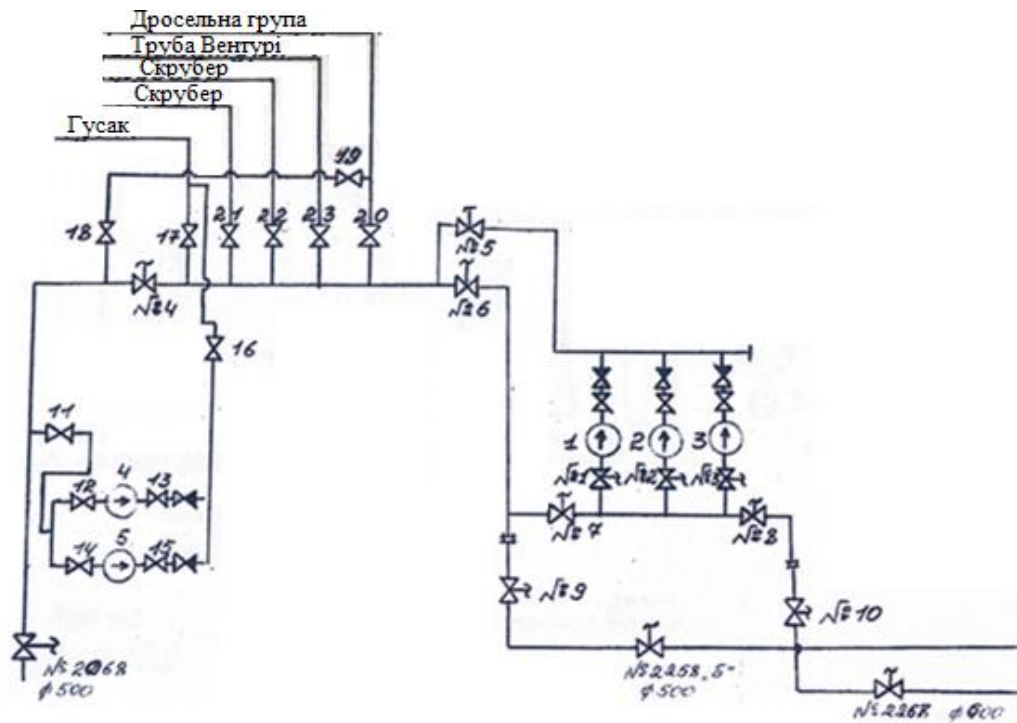


Рисунок 1.9 – Схема водопостачання газоочищення доменної печі

Стічні води в кількості 3000-4000 м³/г (при роботі 4-х доменних печей, для 3-х печей не більше 2900 м³/г) із вмістом завислих частинок до 3 г/л самопливом по двох відкритих лотках надходять у приймальну шламову камеру насосної станції. Насосами типу Грк-1600/50 шламова вода подається в розподільчу камеру, звідки надходить на гідроциклони-флокулятори діаметром 12 м, в яких відбувається процес освітлення стічних вод доменного виробництва. Після освітлення вода з вмістом завислих частинок до 200 мг/л по двох колекторних трубопроводах Ду 1000 мм надходить на 3-х секційні вентиляторні градирні для охолодження.

Охолоджена вода самопливом по двох закритих лотках Ду=1000 мм надходить у приймальну камеру насосної освітленої води, звідки насосами Д 4000/95, Д 1250/125 подається на газоочищення доменних печей для повторного використання.



Рисунок 1.10 – Схема оборотного циклу водопостачання газоочисток доменних печей

Шламова пульпа в кількості 200-300 м³/год від гідроциклонів із вмістом твердих частинок 80-100 г/л самопливом по трубопроводах Ду 150 мм надходить у згущувачі Ду 18 м, де відбувається її згущення до вмісту твердих частинок 300-500 г/л. Згущена шламова пульпа насосами ГрАК 170/40 подається у відділення зневоднення шламів на вакуум-фільтри Ду63-2,5 де шлам зневоднюється до вологості 25%. Кек, що утворився, після процесу фільтрації вивантажується в ж.д. вагони та вивозиться на рудний двір для складування та подальшого використання в агломераційному виробництві. Для інтенсивності процесу освітлення шламових вод передбачено обробку води реагентом (відпрацьованої емульсії ЦХП-1) у кількості 25-30 м³/добу.

Таким чином, аналіз існуючої системи газоочищення та оборотного циклу показав наступне:

1. Існуюча схема очищення доменного газу характеризується громіздким і низькоефективним апаратом сухого очищення (радіальний пиловловлювач з ефективністю очищення газу від пилу не більше 50%).

2. На очищення «мокрим» способом (полий форсунковий скруббер, труба Вентурі, дросельна група) витрачається до 1000 м³/год (за проектом 1200 м³/год) води на газоочищення однієї доменної печі. При цьому з газом виноситься близько 54 000 м³/міс. За рахунок повного насичення водяною парою колошниковий газ втрачається до 25 % калорійності.

3. Оборотний цикл газоочищення доменних печей пов'язаний з експлуатацією великої кількості комунікацій (шламопроводів та трубопроводів) апаратів (гідроциклонів-флокуляторів, згущувачів, вакуум-фільтрів, вентиляторна градирня), які споживають 1,599 МВт/год електроенергії. у зв'язку з використанням для охолодження та очищення на скруберах високого тиску оборотної води (надходить від ОЦГДП) та технічної води для зрошення "гусака" , дросельної групи всіх газоочисток та труби Вентурі ГОДП №2 (надходить з головної насосної станції ЦВС) на оборотному циклі утворюється дисбаланс (за рахунок переходу в шламовий лоток технічної води). Дисбаланс близько 400 м³/год за системою трубопроводів надходить у шламонакопичувач і скидається до р. Дніпро.

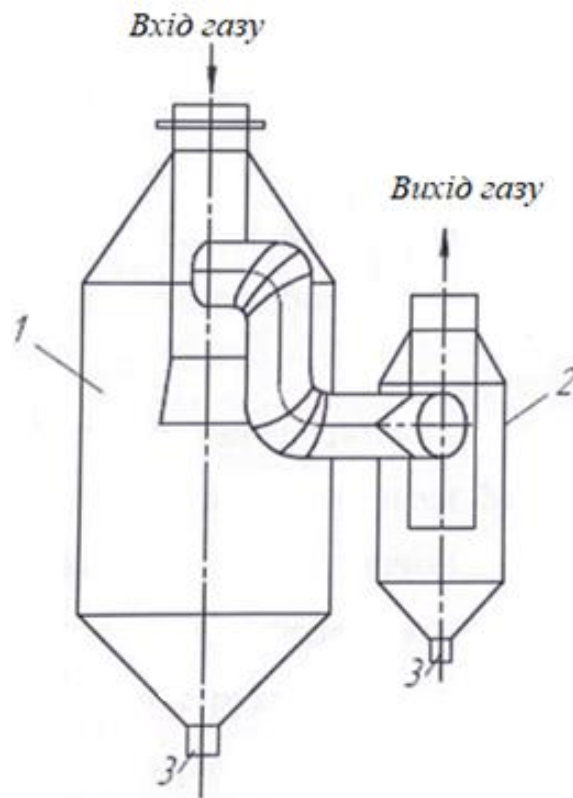
4. При охолодженні оборотної води на градирні в атмосферу випаровується 1,77% загальної кількості води. На відкритих гідроциклонах-флокуляторах та згущувачах додатково випаровується 1,23%. Близько 3% оборотної води випаровується щорічно на ділянці ОЦГДП (максимальна температура води на виході з газоочищення 78°C)

5. Переведення системи очищення на "сухий спосіб" із застосуванням рукавних фільтрів дозволить виключити оборотний цикл водопостачання газоочищення доменних печей (СБРС освітленої води в р. Дніпро та випаровування в атмосферу), підвищить калорійність колошникового газу.

1.2 Аналіз сучасних конструкцій систем газоочищення доменних печей та пропонується система очищення доменного газу в умовах ПрАТ «Запоріжсталь»

Модернізація першого ступеня очищення (огляд). На ЗАТ «Донецьксталь»-МОЗ була проведена реконструкція першого ступеня очищення доменного газу. У газовідвідний тракт після радіального пиловловлювача був встановлений циклон. На рис.1.11 представлена спільна схема роботи двох апаратів.

Як показали випробування, проведені в ЗАТ "Донецьксталь"-МОЗ", при встановленні додаткового циклону ефективність уловлювання сухого колошникової пилу збільшується від 50-55 до 70-75% і вдвічі зменшується пилове навантаження на скруббер високого тиску. При цьому зменшується практично вдвічі кількість мокрих шламів, що направляються на шламонакопичувач.



1- радіальний пиловловлювач; 2-циклон; 3- пристрій вивантаження пилу

Рисунок 1.11 – Схема роботи пиловловлювачів в умовах ЗАТ «Донецьксталь»-МОЗ»

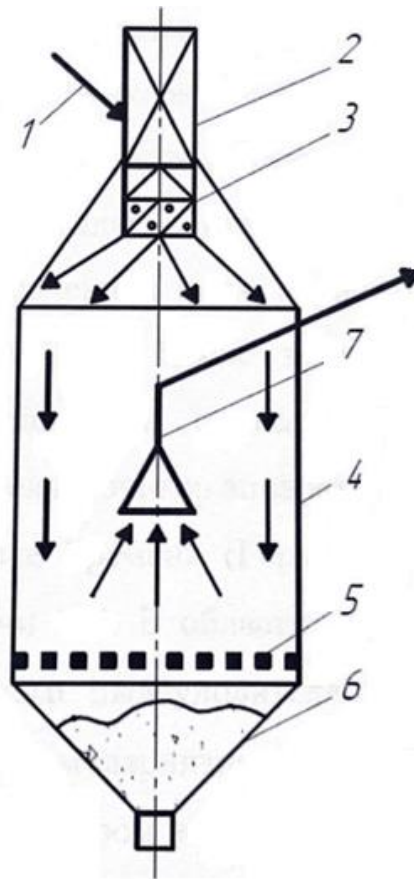
На доменній печі №9 об'ємом 5000 м³ ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на першому ступені встановлено два паралельно працюючі радіальні пиловловлювачі. Ступінь очищення газу в радіальних пиловловлювачах не перевищує 50%, сухі пиловловлювачі ловлять частинки пилу фракції > 80 мкм.

Застаріла схема першого ступеня очищення, що забезпечує ККД 80-80% з радіального та тангенційного пиловловлювача, в даний час працює тільки на доменній печі №4 ВАТ «Нижньотагільський металургійний комбінат». На думку авторів, цей тандем є рудиментом екстенсивної технології. У існуючих умовах матеріаломісткість і капіталомісткість такої схеми апаратів сухого очищення доменного газу дуже велика і її використання є економічно недоцільним.

Експлуатація двох вузлів вивантаження ускладнює обслуговування даної схеми роботи сухих пиловловлювачів. Збільшує втрати колошникової пилу під час вивантаження.

Витрати на будівництво двох послідовно встановлених апаратів сухого очищення вище одного ефективнішого. В даний час активно почали застосовувати на першому ступені очищення доменного газу апарати з ефективністю очищення понад 75%. Розглянемо докладніше ці приклади.

У ВАТ "Новолипецький металургійний комбінат" (далі ВАТ НМЛК) (у системі газоочищення доменної печі №5 об'ємом 3200 м³ був впроваджений удосконалений сухий радіальний пиловловлювач. Авторами розроблена нова конструкція пиловловлювача, яку можна застосовувати для реконструкції існуючих або при новому будівництві з Суть новизни полягає в установці завихрювача 3 на введенні колошникового газу в пиловловлювач, розділової решітки 5 між камерою сепарації пилу і бункером для виключення її вторинного захоплення. Газ виводиться з пиловловлювача знизу вгору через коаксі його куполом. Пиловловлювач працює наступним чином. Колошниковий газ надходить у нього через завихрювач 3, в якому потік газу прискорюється до 20-25 м/с розділяється лопатями на струмені, які по спіральних траєкторіях надходять на периферію пиловловлювача.



1 – введення колошникового газу; 2 – відсічний клапан дзвонового типу; 3 – завихрювач; 4 – камера сепарації пилу; 5 – розділові ґрати; 6 – бункер з пристроєм вивантаження пилу; 7 – виведення доменного газу.

Рисунок 1.12 – Схема осадження пилу в пиловловлювачі з завихрювачем

Частинки пилу струменями газу прямують від центру до периферії камери і під впливом відцентрових, гравітаційних та інерційних сил по стінках опускаються в бункер, з якого пил періодично видаляється. Перед роздільними ґратами 5 потік газу повертається на 180° швидкість газу знижується до оптимальної розрахункової 3 м/с (для нових установок пиловловлювачів). Піднімається вгору потік газу надходить у розтруб газопроводу і виводиться з пиловловлювача через патрубок 7 під куполом.

Схема руху газу в апараті дозволяє вловлювати >20 мкм, а в існуючих радіальних пиловловлювачів (при швидкості газового потоку в поперечному перерізі 0,6-1,0 м/с) уловлюються частинки більше 80 мкм. Роздільна решітка 5 перешкоджає вторинному захопленню газовим потоком пилу, накопиченої в

бункері 6, що в сукупності забезпечує високу ефективність пиловловлювача з досягненням ККД до 80%.

При впровадженні даного пиловловлювача в умовах доменної печі №5 ВАТ НЛМК кількість уловленого пилу першим ступенем очищення було збільшено майже в 3 рази [10]. Після кількох років експлуатації, модернізований пиловловлювач призвів до аварійної ситуації. Внаслідок падіння завихрювача в бункер апарату.

На заводі «Штальверці Бремен» (Німеччина) у 1999 р. вироблено модернізація доменної печі №2. В області очищення колошникового газу здійснили заміну радіального пиловловлювача на осьовий циклон фірми «Пауль Вюрт» (Люксембург) і модернізували скруббер із трубою Вентурі з регульованим кільцевим зазором та зовнішнім краплеуловлювачем. Загальний вид газоочищення доменного газу представлено на рис. 1.12а. Відділення частинок пилу в осьовому циклоні відбувається під впливом відцентрових сил у потоці газу, що обертається з великою швидкістю. Це сприяє уловлюванню більш дрібних частинок порівняно з радіальним пиловловлювачем. [11]. Схема руху доменного газу осьовому циклоні представлений на рис. 1.12б. Режим роботи циклонів попередньо обробляються з допомогою математичних моделей (Computational Fluid Dynamics CFD), що дозволяє з високою ймовірністю спрогнозувати ступінь очищення осьового циклону. Результати вимірювань ступеня осадження пилу після двох років експлуатації осьового циклону показали, що ступінь очищення в апараті перевищує 85%.

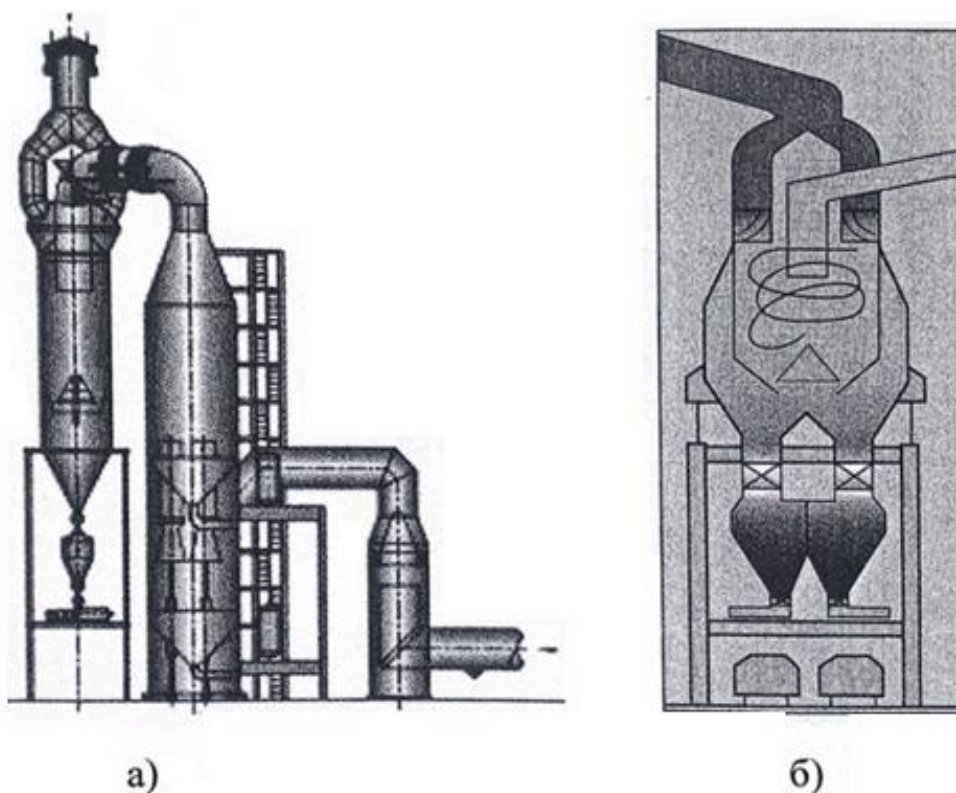


Рисунок 1.13 – Загальний вид газоочищення на заводі «Штальверке
Бремен»

Відомо, що фірма "Пауль Вюрт" отримала замовлення на нову доменну піч на заводі компанії ArcelorMittal у Монлеваді. На першому ступені очищення колошникового газу буде встановлено нову розробку фірми - аксіальний циклон. В літературі поки що відсутні технічні показники даного пиловловлюючого обладнання.

Фірма «Даніелі Корус» (Нідерланди розробила циклон [15]) очищення доменного газу. У циклоні газ подається через один або два тангенційні впускні отвори (рис. 1.14).

Ефективність пиловловлення циклону значною мірою залежить від гранулометричного складу частинок пилу. Частинки < 5 мкм не видаляються через малу масу. Частинки з розміром від 5 до 30 мкм відокремлюються частково, а частинки > 30 мкм відокремлюються майже зі 100% ефективністю. Моделювання руху частинки пилу розміром 5 та 30 мкм у циклоні «Даніелі Корус» представлено на рис. 1.14. У циклонах даної конструкції можливе досягнення 85% найвищої загальної ефективності відділення пилу.

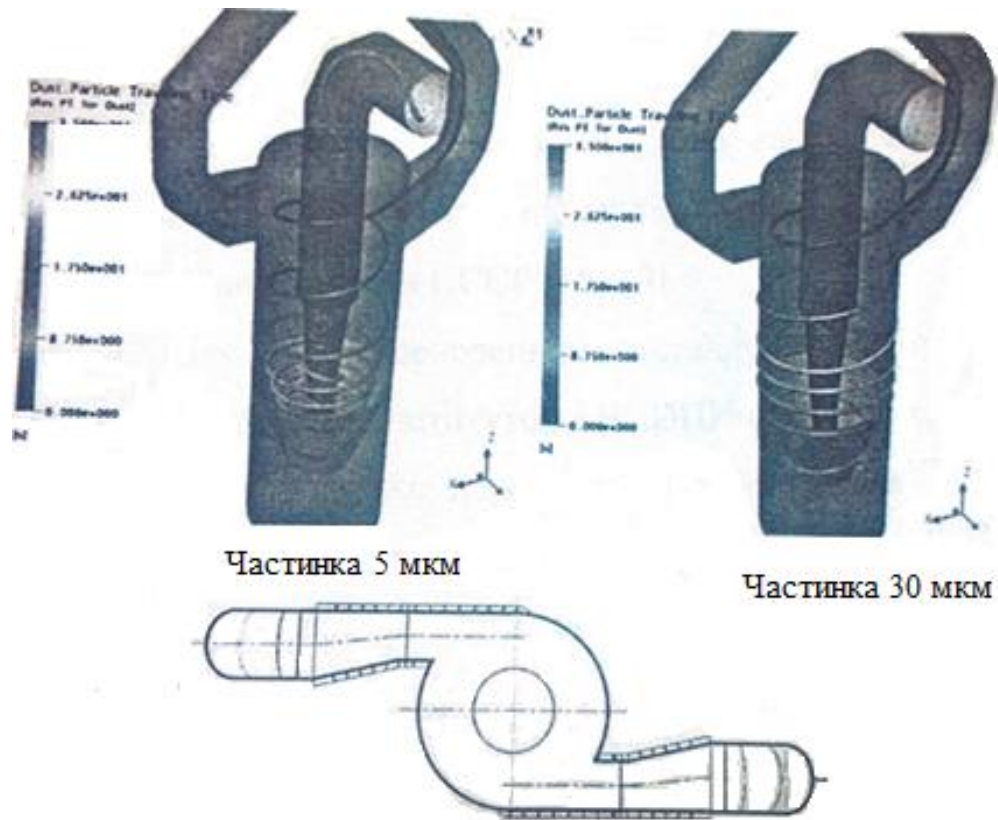


Рисунок 1.14 – Загальний вигляд та моделювання руху частинки пилу розміром 5 та 30 мкм у циклоні «Даніелі Корус».

Модернізація апаратів тонкої очистки газів (огляд). У літературі [7-9, 12, 13] докладно описані способи зниження металомісткості та витрати .Води на очищення мокрих апаратів пиловловлювання в системах газоочищення доменних печей При цьому не вирішено проблем з високим гідравлічним опором скрубберів Вентурі (різних типів) та високими експлуатаційними витратами пов'язаними з експлуатацією оборотного циклу водопостачання газоочищення доменних печей.

У даному розділі будуть розглянуті питання дослідно-промислового освоєння та впровадження систем сухого очищення доменного газу із застосуванням рукавних фільтрів.

Спроби здійснити в колишньому СРСР тонке сухе очищення доменного газу від пилу в електрофільтрах (сухого типу, деякий час працювали мокрі, електрофільтри типу ДМ) були здійснені в 1979-1981 рр. Будівництво на Новолипецькому металургійному комбінаті (ВАТ НЛМК) ГУБТ-12 та

електрофільтрів за доменною піччю No6 було розпочато навесні 1981 р., але восени роботи були припинені у зв'язку із припиненням фінансування Мінчерметом СРСР [16, 19].

У 1975 році на Череповецькому металургійному заводі (ВАТ «Сіверсталь») всесоюзним інститутом «ВНИТИчерметенергоочистка» було проведено напівпромислові випробування металотканевого фільтра (на той час були відсутні високотемпературні фільтрувальні матеріали) на доменному газі [20]. Рукави з металевої тканини марки С200 діаметром 135 мм, довжиною 2200 мм зварювали на установці для мікроплазмового зварювання, а потім монтували на жорстких металевих каркасах, що забезпечують надійний натяг тканини. Газ, що надходить на установку, відбирали з газопроводу після пиловловлювача, а очищення подавали в газопровід чистого газу після дросельної групи. Продуктивність фільтра змінювали від 1500 до 3000 нм. Тиск доменного газу на вході у фільтр становив 1,55 ат, температура 250- 280 °С.

Дослідженнями було визначено оптимальний режим роботи фільтра, та установка була переведена на цей режим з наступними параметрами:

Початкова запиленість, г/нм ³	2-3
Кінцева запиленість, мг/нм ³	5
Питоме газове навантаження (швидкість фільтрування), м ³ /(м ² -хв)	0.9
Температура газів на виході, °С	150
Опір фільтра, мм.вод.ст.	250-300.

Наведені параметри не ускладнюють умови роботи існуючих доменних газоочисток. Температура доменного газу при цьому залишається високою.

На підставі техніко-економічного розрахунку встановлено, що використання металотканевого фільтра в доменному виробництві застосуванням ГУБТ може бути для типової печі обсягом 2000 м³ економічний ефект понад 100 тис. руб. на рік (розрахунок 1975).

Проведені випробування металотканевого фільтра показали можливість та доцільність очищення доменного газу в такому фільтрі. Збереження високої

температури після очищення дозволяє ефективно використовувати потенційну енергію доменного газу ГУБТ.

За практичними даними на заводі в м. Оіта (Японія) для сухого очищення газу перед ГУБТ за доменною піччю об'ємом 5070 м³ паралельно мокрому газоочищенню встановлено рукавний фільтр, рукави виготовлені з термостійкого нейлону. Фільтр складається з 6 камер по 6 секцій у камері та по 137 рукавів у секції. Большаков В.І. у своїй роботі вказує про застосування сухого газоочищення доменної печі Nel об'ємом 4884 м³ на заводі Nippon Steel (NSK) у м. Оіта (Японія) з рукавними фільтрами.

З метою підвищення потужності ГУБТ перед турбінами розпочали встановлювати пиловловлювачі сухого типу. В 1982 р. на металургійному заводі м. Кокура (Японія) перед ГУБТ встановлені тканинні фільтри. Схема промислової установки сухого очищення доменного газу в тканинних фільтрах очищає 233,3 тис. м³/год доменного газу. Робоча температура газу становить 204 °С. Максимально припустимий перепад тиску на фільтрі 2,5 кПа. Запиленість очищеного газу становить 3 мг/м³. Термін служби фільтрувальних рукавів два роки. Підвищення температури доменного газу на вході до ГУБТ з 46 до 100 °С, обумовлене заміною мокрого газоочищення сухим, дозволило збільшити потужність турбіни з 4 до 5,8 МВт-год.

Технологія сухого газоочищення стосовно колошникового газу розроблена в Китаї і успішно застосовується вже більш ніж на 40 доменних печах обсягом 1000-5500 м³ [18]. Перша система газоочищення з рукавними фільтрами була випробувана на доменній печі обсягом 300 м³ у 1981 р. і незабаром почала застосовуватись на печах малого та середнього обсягу, а у 90-х роках минулого століття – на печах обсягом до 2500 м³. У першому десятилітті ХХІ століття рукавні фільтри (зі скловолоконної тканини) вперше застосовували для очищення колошникового газу доменної печі об'ємом понад 3000 м³.

Внаслідок вдосконалення техніки та технології газоочищення під час будівництва низки нових доменних печей у Китаї повністю відмовилися від мокрого газоочищення. «Сухе» газоочищення має значні економічні, екологічні

та соціальні переваги порівняно з мокрим. В умовах доменного виробництва компанії TISCO «сухе» газоочищення за рахунок скорочення споживання та обробки води дозволяє заощаджувати понад 45000 дол./міс. Деякі технічні характеристики систем сухого газоочищення доменних печей Китаю наведено у табл. 1.1.

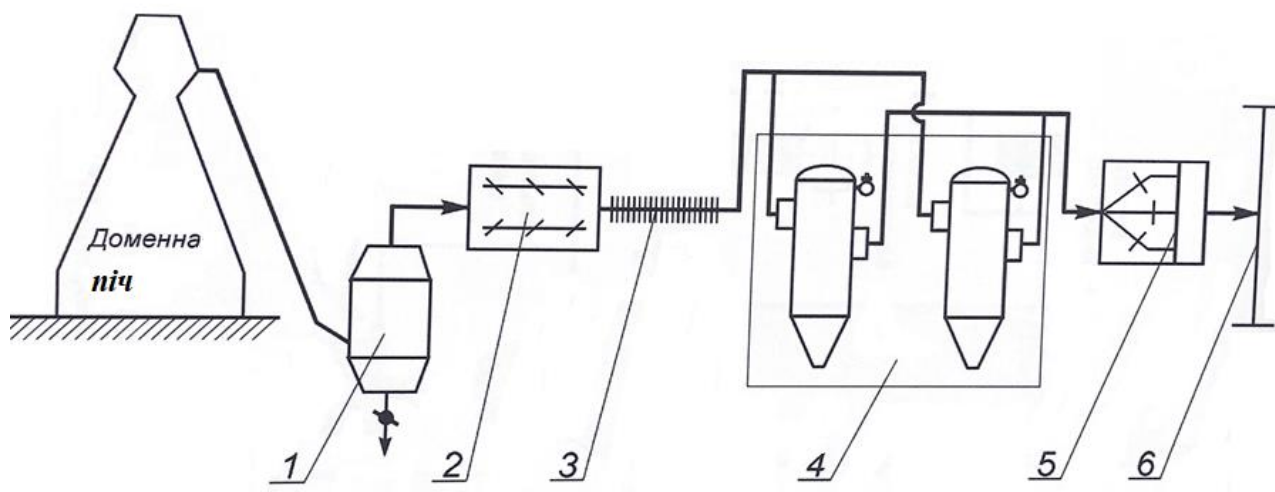
Перший у Росії проект сухого газоочищення був розроблений та впроваджений спільними зусиллями ТОВ НІШ «Дніпроенергосталь» (ТОВ НІШ «ДЕС») та ВАТ «Косогірський металургійний завод» (далі ВАТ «КМЗ») На ВАТ «КМЗ» було змонтовано та пущено в експлуатацію два комплекси сухого газоочищення - для печей обсягом 500 та 1100 м³ (у грудні 2009 року та у лютому 2010 року відповідно) [23].

Схема газовідвідного тракту газоочищення доменної печі №1 ОАО "КМЗ" представлена на рис. 1.15. Розташування основних вузлів секції рукавного фільтра показано на рис. 1.16. Технічні параметри секції рукавного фільтра представлені табл.1.2

Таблиця 1.1 – Технічні параметри систем сухого газоочищення деяких доменних печей у Китаї

Технічні характеристики систем газочистки	Завод , доменна піч			
	Shouqin, №1	Shouqin, №2	Qiangang, №2	Jingtang №1
Об`єм ДП, м ³	1200	1800	2650	5500
Вихід КГ, м ³ /год	230000	350000	500000	870000
Тиск КГ, МПа	0,17	0,25	0,25	0,28
Температура КГ, °С	100-250	100-250	100-250	100-250
Кількість секцій у фільтрі, шт	10	14	14	15
Діаметр секцій, мм	4000	4000	4600	6200
Число рукавів у секції, шт	248	248	250	409
Діаметр та довжина рукавів, мм	130* 6000	130* 6000	160* 7000	160* 7000
Загальна площа фільтрування, м ²	6080	8512	12320	21586
Швидкість фільтрування (нормальні умови/робочі умови) м ² /м ³ мин	0,63/0,4	0,69/0,32	0,68/0,31	0,59/0,23
Залишкова запиленість, мг/м ³	≤5	≤5	≤5	≤5

Швидкість фільтрування колошникового газу на газоочисних металургійних заводах Китаю дещо занижена, що при будівництві призводить до подорожчання (і збільшення площі газоочищення), але забезпечує менші експлуатаційні витрати (у тому числі на заміну фільтрувального матеріалу).



1 – інерційний пиловловлювач; 2 – охолоджувач доменного газу; 3 – радіаторний охолоджувач; 4 – рукавний фільтр; 5 – дросельна група; 6 – загальнозаводський колектор доменного газу

Рисунок 1.15 – Схема газового тракту доменної печі № 1 ВАТ «КМЗ»

Запилений газ підводиться в нижню циліндричну частину рукавного фільтра. Поступово просмоктуючи через фільтрувальні рукави, газ проходить через тканину. Пил осаджується на зовнішній частині фільтрувального рукава, а чистий газ через камеру чистого газу надходить у газохід чистого газу і потім збірний колектор і через дросельну групу - в загальнозаводський газохід чистого доменного газу.

Регенерація рукавного фільтра здійснюється за досягненням верхнього значення опору фільтра подачею імпульсу стисненого азоту усередину фільтрувальних рукавів.

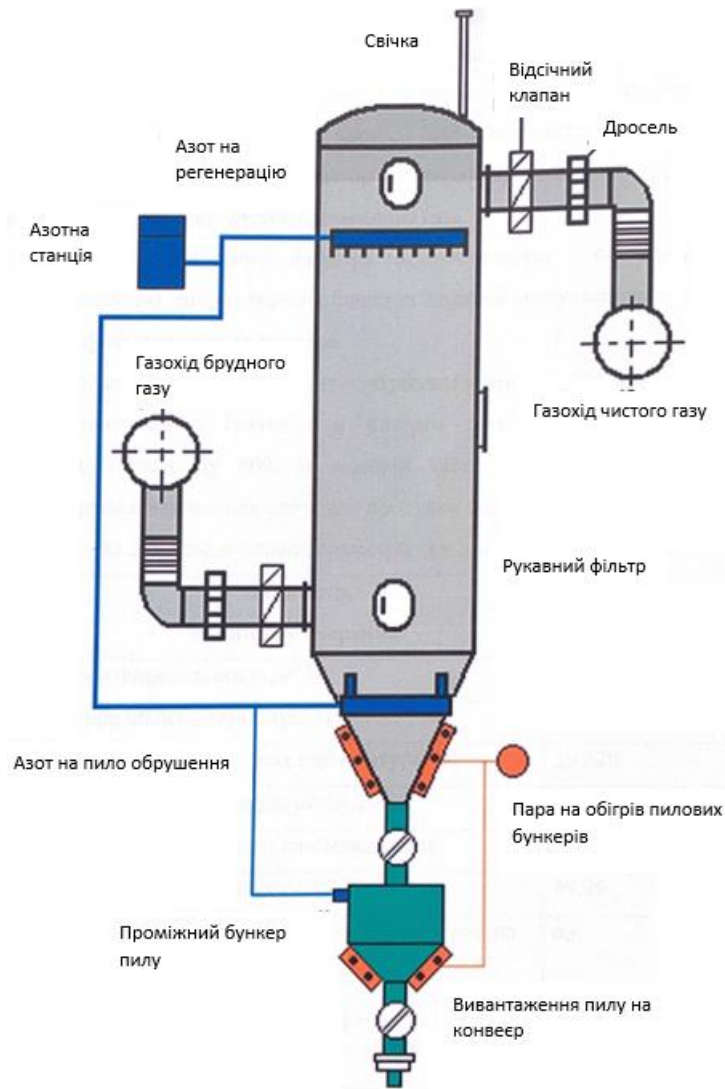


Рисунок 1.16 – Розташування основних вузлів секції рукавного фільтра конструкції ТОВ НВП "Дніпроенергосталь"

Регенерація фільтра відбувається із закритим клапаном чистого газу. Обслуговування камер брудного та чистого газу здійснюється через герметичні люки Ду 600. У верхній частині корпусу кожної секції передбачена свічка продувки для продування секцій пором.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики секції рукавного фільтра

№	Параметр, одиниця виміру	Значення
1	Продуктивність, м ³ /год	20000-26500
2	Опір фільтра, Па	До 3000
3	Максимально робоча температура, °С	До 220
4	Вхідна концентрація пилю, г/м ³	До 40
5	Вихідна концентрація пилю, мг/м ³	Не более 4,0
6	Ефективність очищення, %	99,99
7	Тиск азоту, що подається на регенерацію в рукавний фільтр, кг/см ²	6,0
8	Діаметр секції рукавного фільтра, мм	3220

Загальний вид газоочищення доменної печі з рукавним фільтром за умов ВАТ «КМЗ» представлений на рис. 1.17.

Детальних даних про результати експлуатації газоочищення із застосуванням рукавних фільтрів в умовах доменної печі ВАТ "КМЗ" у літературі немає.

У журналі «Новини чорної металургії за кордоном» (№2 за 2013 р., с. 105) опубліковано інформацію про замовлення турецької металургійної компанії «Kardemir» у компанії Siemens VAI Metals Technologies двоступінчастої установки пиловловлення сухого типу для доменної печі №5 продуктивністю 1,2 млн. тонн на рік. На офіційному сайті компанії Siemens VAI (далі Сіменс ФАІ) представлено загальний вигляд доменної печі з газоочищенням (рис.1.19).

На VI Міжнародному Конгресі з агло-коксо-доменного виробництва «Проблеми доменного та суміжних виробництв у сучасних умовах.



Рисунок 1.17 – Загальний вид газоочищення доменної печі з рукавним фільтром в умовах ВАТ «Косогірський металургійний комбінат»

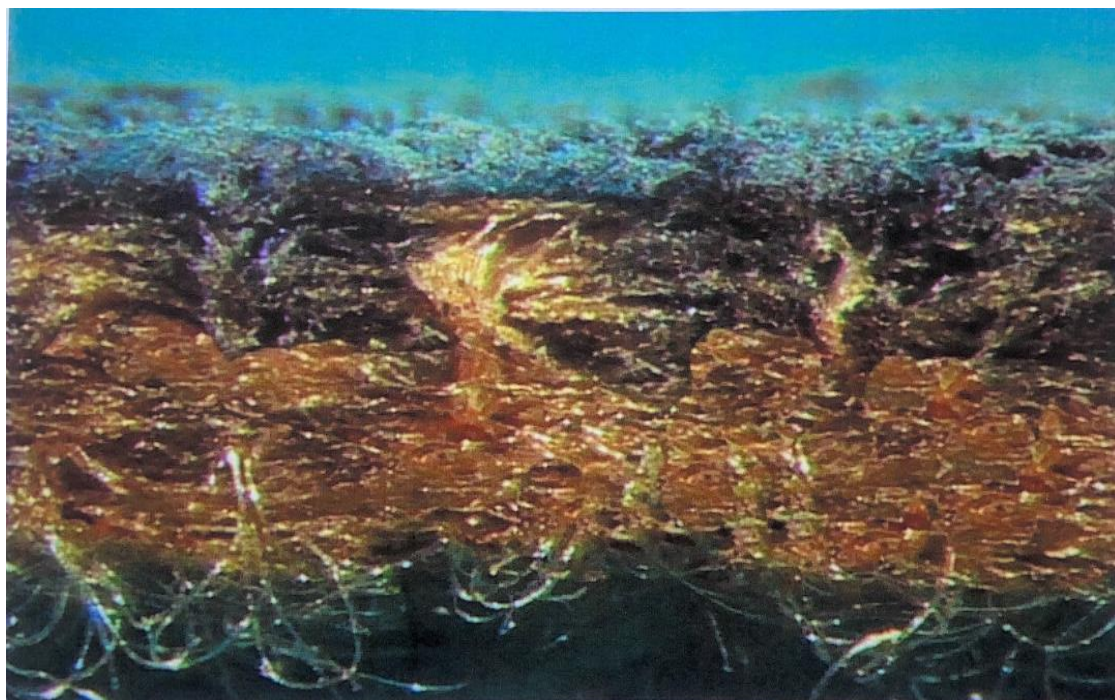


Рисунок 1.18 – Розріз фільтрованого матеріалу



Рисунок 1.19 – Загальний вид газоочищення SIMETAL MERIM доменної печі №5 компанії Kardemir

Технології використання різних видів палива та сировини» (20-24 травня 2013 року Ялта, Україна) компанія Сіменс ФАІ (24) представила доповідь нової технології SIMETAL MERIM – Максимізоване скорочення емісій та рекуперація енергії процесів виробництва рідкого чавуну.

Сіменс ФАІ розробила нову систему очищення колошникового газу з циклоном для сепарації великого пилу та тканинним фільтром для тонкого знепилення. При застосуванні цієї системи очищення вихідна потужність турбіни для утилізації колошникового газу може бути збільшена приблизно на 20-30%. За результатами ТЕО витрати на спорудження такої системи «на чистому місці» виявилися б приблизно на 30% нижчими в порівнянні з установкою скрубберної системи, що включає систему видалення та очищення стічних вод. Площа для встановлення системи SIMETAL MERIM займає лише 40% площі, необхідної для встановлення мокрого очищення.

Високоєфективне грубе знепилювання проводиться у циклоні Сіменс ФАІ, в якому видаляються 85% пилу. Новий дизайн циклону (рис. 1.20), що відрізняється трьома впускними отворами, має певні переваги перед колишнім

виконанням з одинарним впускним отвором. Головна перевага дизайну з трьома впускними отворами полягають в тому, що завдяки компоунванні з множинними

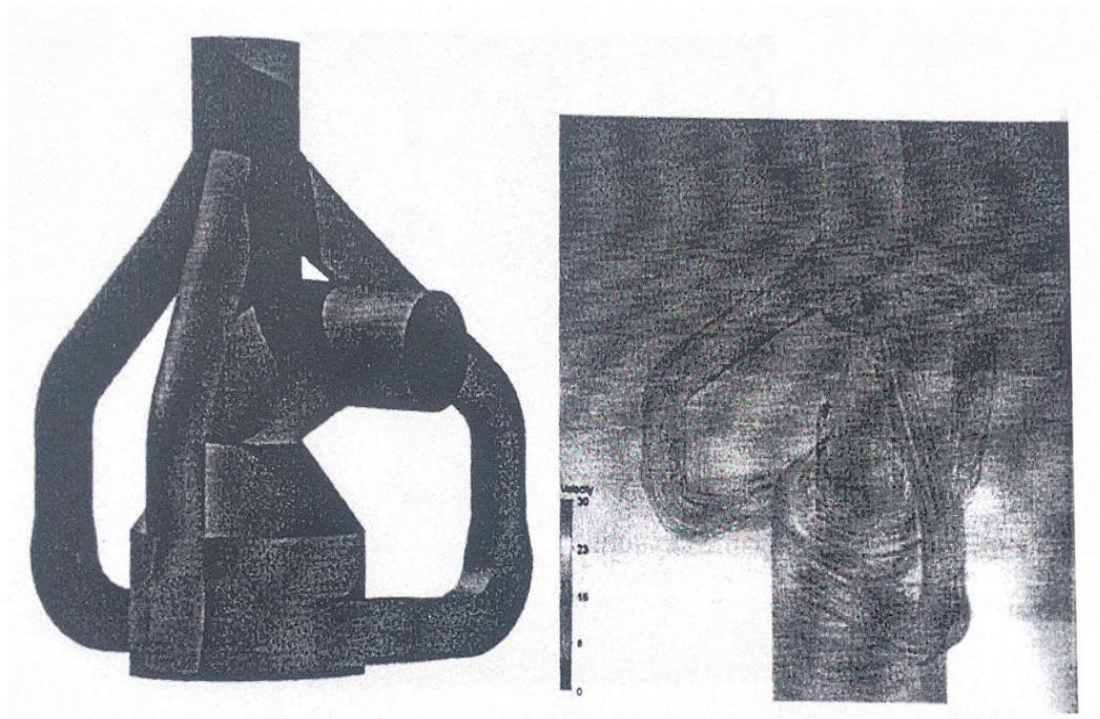


Рисунок 1.20 – Циклон із трьома впускними отворами конструкції Сіменс ФАІ

отворами забезпечена можливість центрального спирання спускної труби по ємності циклону, в той час як при колишньому виконанні тільки патрубків, що підводить, служить в якості опори, що сприймає вагове навантаження від труби. Таким чином, у конструкції нового виконання втілена значно покращена система спирання, звідки і витікає друга її перевага, а саме - значне полегшення обслуговування впускних патрубків циклону, вільних від додаткового вагового навантаження. Далі забезпечено зручність демонтажу, ремонту та заміни окремих патрубків та ізоляційних клапанів циклону, у той час як при виконанні з одинарним впуском ремонт останнього є більш трудомісткою операцією, вже не кажучи про зупинку або ремонт стопорного клапана. Тонке знепилення проводиться в нещодавно розробленій системі рукавних фільтрів (рис. 1.21). Газ, що містить тонкий пил, надходить у ряд стійких до тиску фільтрувальних ємностей. Усередині цієї системи пил збирається у спеціально розроблених забезпечуючих фільтрувальних середовищах, високоефективних незначне

падіння тиску, а також досягнення концентрації пилю в очищеному газі значно нижчому, ніж 5 мг/нм^3 .

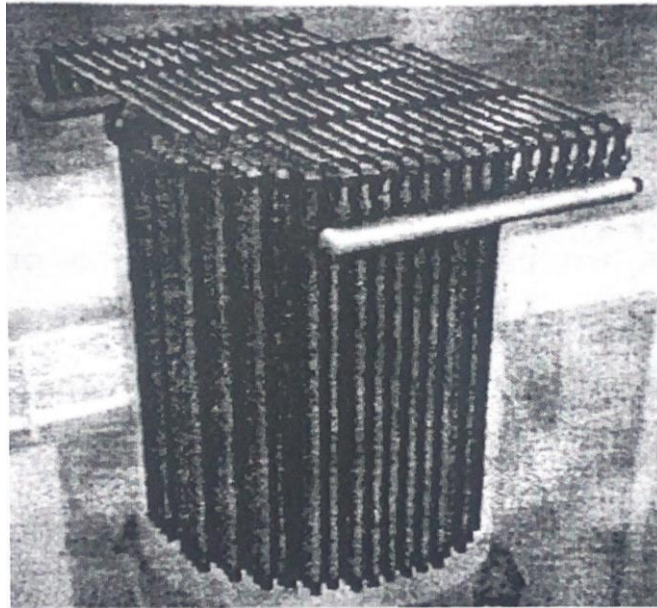


Рисунок 1.21 – Система рукавів у секції рукавного фільтра Сіменс ФАІ

Віддалений пил збирається на дні фільтра і прямує пневмотранспортом у систему бункерів для зберігання.

Очищений колошниковий газ з боку фільтрувальних ємностей збирається в головному збірному каналі, через який потік газу направляється прямо на турбіну для утилізації колошникового газу, який газ високої енергоємності перетворюється в електрику.

Поряд із згаданими вище вигодами змогли бути виявлені також і певні обмеження. Зокрема, коливання температури, що спостерігаються, можуть являти собою велику проблему, оскільки рукавні фільтри працюють належним чином тільки в температурному вікні $80 \text{ }^\circ\text{C}$ - $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Для вирішення цього питання Сіменс ФАІ розробила концепцію кондиціювання колошникового газу, що дозволяє зрізати піки високих та низьких температур. Ця концепція включає систему пальників та вдосконалену систему оббризування шихти, яка дає можливість формування впливів високих та низьких температур.

Удосконалена система оббризування шихти виконана в складі високопродуктивних розпилювальних форсунок, що генерують надтонкий

аерозольний туман. В силу швидкого випаровування водяних крапель створюється можливість швидкого регулювання температури колошникового газу для захисту всієї установки газоочищення від високотемпературних впливів.

Шихтовий палик встановлений над верхнім шаром шихти і спалює суміш природного (за погодженням із замовником можливе застосування коксового газу) і навколишнього повітря для нагрівання колошникового газу під час фаз. Завдяки використанню час низькотемпературних високошвидкісних пальників можливе досягнення оптимізованого розподілу гарячого газу, що забезпечує оптимальний нагрів колошникового газу. Конденсаційна волога в газоходах та одиницях обладнання газоочищення може бути попереджена, внаслідок чого значно знижується ризик забивання, а також виникнення корозії.

Для цілей подальшого дослідження системи фільтрів сухого знепилення на доменній печі була встановлена пілотна система, розрахована на обробку газу, що відходить в обсязі 6000 н м³/год. Температура обробки становила до 220 °С і пилове навантаження варіювало в діапазоні від 20 г/н м³ до 40 г/н м³. У ході випробувань було досягнуто концентрації пилу в очищеному газі < 2 мг/н м³, ніж демонструються фактичні можливості системи рукавних фільтрів у плані виконання вимог очищення колошникового газу.

Газоочищення з рукавними фільтрами компанії Сіменс ФАІ на заводі Kardemir за літературними даними має бути введено в експлуатацію в середині 2013 року.

Пропозиція щодо модернізації пиловловлюючих апаратів газоочищення доменної печі в умовах комбінату «Запоріжсталь»

Заміна радіального пиловловлювача на циклон

Швидкість в пиловловлювачі 0,6-1 м/с.

Циклони мають більш високу швидкість руху газу в апараті (2-4,5 м/с) і за рахунок використання відцентрової сили забезпечують ступінь уловлювання від пилу до 85%.

За даними додатка №2 ступінь очищення колошникового газу в радіальному пиловловлювачі від пилу в умовах комбінату «Запоріжсталь» становить 50%.

ПКУ розроблено проєкт ПК07653-ТХЗ «ДП -4 Відновлювальний ремонт пиловловлювача», пиловловлювач для газоочищення доменної печі №4. Внутрішній діаметр пиловловлювача 10980 мм (включаючи футерування 114 мм). Загальний вигляд пиловловлювача представлений на рис. 1.22.

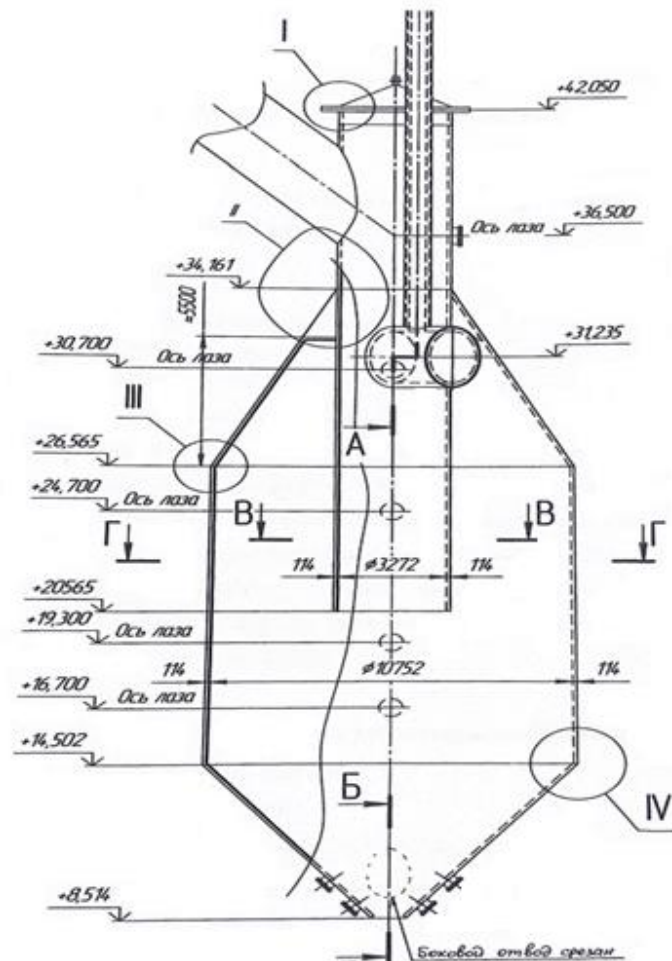


Рисунок 1.22 – Загальний вигляд пиловловлювача газоочистки ДП №4

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок діаметра циклону для газоочищення колошникового газу

Задаємо оптимальну швидкість газу циклоні $W_{\text{опт}} = 2,5$ м/с.

Визначаємо необхідну площу перерізу циклону, м²:

$$F_{\text{ц}} = \frac{L}{W_{\text{опт}}},$$

де L – витрата колошникового газу, т/год, беремо середню продуктивність 156729,98 м³/год = 43,54 м³/с.

$$F_{\text{ц}} = \frac{156729,98}{2,5} = 17,41 \text{ м}^2$$

Визначаємо діаметр циклону, м:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{F_{\text{ц}}}{0,785}} = \sqrt{\frac{17,41}{0,785}} = 4,71$$

Приймаємо діаметр циклону 4,7 метрів.

Діаметр циклону вдвічі менший за діаметр радіального. пиловловлювача (6 м у циклону і 10,98 м у пиловловлювача).

При початковій запиленості колошникового газу 24 г/м³ (середнє значення за 20 місяців) розрахуємо запиленість після першого ступеня очищення у разі застосування циклону (ефективність очищення 85%, ефективність розрахована за виробничими даними складає 50%):

$$Z_2 = Z_1 \cdot (1 - \eta),$$

де Z_1, Z_2 – запиленість на вході в циклон і на виході відповідно;

η – ефективність очищення

$$Z_2 = 24 \cdot (1 - 0,85) = 3,6 \text{ г/м}^3$$

Зниження запиленості з 12 до 3,6 г/м³ дозволить значно скоротити пилове навантаження на фільтрувальні рукави та збільшить їх термін служби. З метою забезпечення тривалого терміну експлуатації весь газовідвідний тракт (газопровід колошникового газу, що підводить і що відводить патрубки циклону) повинен бути прорахований за допомогою математичних моделей (Computational Fluid Dynamics CFD).

2.2 Застосування сухої системи очищення з рукавним фільтром

Рукавні фільтри знайшли широке застосування у металургійній, цементній, хімічній та інших галузях промисловості за рахунок досягнень у галузі створення фільтрувальних матеріалів з різними властивостями. Приклади експлуатації фільтрів (із зазначенням розмірів рукавів та площі фільтрування) у сухих системах очищення доменного газу на заводах Китаю та Росії (ВАТ «КМЗ») дозволили розрахувати багатосекційний рукавний фільтр для умов доменних печей ПрАТ «Запоріжсталь».

Технологічний розрахунок багатосекційного рукавного фільтра.

Вихідні дані

Температура газу перед фільтром, $t_{\phi} = 215^{\circ}\text{C}$

Середній медіанний діаметр частинок пилу [3], $d_m = 12 \text{ мкм}$

Концентрація пилу в газі на вході в рукавний фільтр, $Z_c = 3,6 \text{ г/м}^3$

Діаметр трубопроводу, що підводить $D = 2,1 \text{ м}$

Тиск доменного газу на вході в рукавний фільтр, кПа:

$$P_{\phi} = P_2 - \Delta P_2 = 229,94 - 0,09 = 229,65,$$

де ΔP_2 – втрати тиску на радіальному пиловловлювачі, Па.

Об'ємна витрата доменного газу на вході у фільтр, м³/с:

$$V_{\phi} = V_o(t_{\phi} + 273)101,3/273P_{\phi}3600$$

$$V_{\phi} = 200\,000 \cdot (215+273)101,3/273 \cdot 229,65 \cdot 3600 = 43,8$$

Приймаємо питома газове навантаження [4]:

$$W = 1,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ хв.} = 0,025 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ с}$$

Площа необхідної активної поверхні, що фільтрує, м^2 :

$$F_a = V_{\phi}/W$$

$$F_a = 43,8/0,025 = 1752$$

За активною площею фільтруючої поверхні вибираємо фільтр ФРИР - 950×2 з площею фільтрування $F_a' = 1900 \text{ м}^2$ [4]. Фільтрувальний матеріал – TFL/PTFE 754 MPS CS18 на основі політетрафторетилену з термостійкістю 250°C (пікова термостійкість 280°C).

Фактичне питома газове навантаження фільтра:

$$W' = V_{\phi}/F_a'$$

$$W' = 43,8/1900 = 0,023 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ с} = 1,38 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ хв.}$$

Фактичне питома газове навантаження не перевищує максимальне для даного фільтра (1,5...2,0 $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ хв.}$) [4].

Густина доменного газу на вході в рукавний фільтр, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho_{\phi} = 1,254 \cdot 229,65 \cdot 273/101,3(215+273) = 1,590$$

Швидкість газу на вході у фільтр, $\text{м}/\text{с}$:

$$v_{\phi} = V_{\phi} / 0,785D^2$$

$$v_{\phi} = 43,8 / 0,785 \cdot 2,1^2 = 12,6$$

Коефіцієнт місцевого опору для корпусу фільтру[2]:

$$\zeta_{\kappa} = 1,5$$

Гідравлічний опір корпусу фільтра, Па:

$$\Delta P_{\kappa} = \frac{\zeta_{\kappa} \rho_{\phi} v_{\phi}^2}{2} = 1,5 \cdot 1,590 \cdot 12,6^2 / 2 = 189$$

Приймаючи граничний загальний опір фільтру $\Delta P_{\phi} = 2200$ Па [2], знаходимо гідравлічний опір фільтрувальної перегородки, Па:

$$\Delta P_n = \Delta P_{\phi} - \Delta P_{\kappa} = 2200 - 190 = 2010$$

Пористість шару пилу:

$$\varepsilon_n = 1 - 79d_m^{0,47} = 1 - 79(12 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0,62$$

Пористість тканини [2] $\varepsilon_t = 0,83$.

Коефіцієнти фільтрації:

$$A = 0,475(1 - \varepsilon_n)^2 / \varepsilon_m^{3,24} \varepsilon_n^3 d_m^{1,77}$$

$$B = 817(1 - \varepsilon_n) / d_m^2 \varepsilon_n^2 \rho_n$$

$$A = 0,475(1 - 0,62)^2 / 0,83^{3,24} 0,62^3 (12 \cdot 10^{-6})^{1,77} = 2,7 \cdot 10^8$$

$$B = 817(1 - 0,62) / (12 \cdot 10^{-6})^2 0,62^2 3200 = 3,01 \cdot 10^9$$

Час міжрегенераційного періоду:

$$\tau_p = [\Delta P_n / (W' \mu) - A] / BW Z_c$$

$$\tau_p = (2010 / 0,023 \cdot 25 \cdot 10^{-6} - 2,7 \cdot 10^8) / 3,01 \cdot 10^9 \cdot 0,023 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 6050 \text{ с} = 1,68 \text{ ч}$$

Гідравлічний опір фільтрувальної тканини, Па:

$$\Delta P' = AW' \mu = 2,7 \cdot 10^8 \cdot 0,023 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 155$$

Маса пилу, затриманої 1 м² площі поверхні, що фільтрує, кг:

$$M = Z_c W' \tau_p = 7,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,023 \cdot 6050 = 1,07$$

Гідравлічний опір шару пилу, Па:

$$\Delta P'' = VMW' \mu = 3,01 \cdot 10^9 \cdot 1,07 \cdot 0,023 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 1852(19)$$

Сумарний опір тканини і шару пилу, Па:

$$\Delta P_n = \Delta P' + \Delta P'' = 155 + 1852 = 2007 \quad (20)$$

Тиск газу на виході з фільтру, кПа:

$$P_{вф} = P_{ф} - \Delta P_n - \Delta P_k = 229,65 - 2 - 0,19 = 227,46$$

Ступінь очищення газу в рукавному фільтрі [4] :

$$\eta_{ф} = 99,5\%$$

Концентрація пилу в доменному газі на виході з рукавного фільтра, мг/м³ :

$$Z_2 = Z_c(1 - \eta_\phi) = 3600(1 - 0,995) = 5,0$$

Технічна характеристика фільтра ФРІР- 950×2 [4]

- Продуктивність по газу , тис. м³(н) / год. 171 ... 228
- Допустиме питоме газове навантаження , м³/м²хв . 1,5 ... 2,0
- Площа фільтрації , м² 1900
- Гідравлічний опір фільтра , Па , не більше 2500
- Тиск стисненого повітря , МПа , не менше 0,5
- Витрата стисненого повітря , м³(н) / год. , не більше 108
- Кількість фільтрувальних рукавів , шт. 896
- Діаметр (внутрішній) рукава , мм 135
- Довжина рукава , мм 5200
- Маса фільтра , кг 56000
- Концентрація пилу в газі на вході у фільтр , г/м³ , до 10

Фільтр рукавний з імпульсною регенерацією (ФРІР) призначений для очищення технологічних газів та аспіраційних викидів від дрібнодисперсного пилу, що не є пожежо-і вибухонебезпечним. Область застосування фільтрів ФРІР – кожна з галузей промисловості , технологія якої припускає утворення запилених газів або повітря .

Фільтр ФРІР складається з корпусу і механічного устаткування. Корпус є несучою конструкцією. Він розділений на камери чистого і брудного газу горизонтальними перегородками - рукавними дошками з отворами для кріплення фільтрувальних рукавів.

Фільтрувальні рукава розміщуються в камері брудного газу. Їх кріплення одностороннє , з боку чистого газу.

Верхня частина камери чистого газу обладнана знімними кришками, що забезпечують доступ до рукавів при проведенні технічного обслуговування . Камера брудного газу являє собою єдину секцію без перегородок.

Вибухобезпека роботи фільтра на доменному газі

Перевіримо безпеку застосування стисненого повітря для регенерації при роботі фільтра на доменному газі. Температура samozаймання доменного газу складає 500 ... 600 °С [5] , що значно вище температури газу на вході у фільтр (215°С) . Знайдемо концентрацію кисню в доменному газі при використанні стисненого повітря для імпульсної продувки , об. % :

$$C(O_2) = 21V_c / (V_c + V_o),$$

де V_c – витрата стисненого повітря, м³(н)/год. З технічної характеристики фільтра $V_c = 108$.

$$C(O_2) = 21 \cdot 108 / (108 + 200\ 000) = 0,011\%$$

Така концентрація кисню не представляє небезпеки навіть при наявності джерела запалювання.

Так як рукавний фільтр при очищенні доменного газу повинен працювати під підвищеним тиском, передбачено зміцнення його корпусу ребрами жорсткості у вигляді двотаврів або швелерів.

В результаті розрахунків пропонується впровадити рукавний фільтр типу ФРИР- 950×2.

Рукавний фільтр при детальному опрацюванні генерального плану може бути розміщений в умовах ПрАТ «Запоріжсталь» (для рукавного фільтра може бути використане існуюче місце мокрих газоочищення з урахуванням будівель насосних та приміщень КВП газоочищення – під час капітального ремонту, або спочатку місце мокрого газоочищення доменної печі №1 та створення колекторної схеми з подальшим підключенням на час зупинок печей більше 2-х діб).

Охолодження газу перед фільтром може здійснюватися за трьома варіантам:

- 1) використовувати концепцію Сіменс ФАІ (використовувати колошник для подачі води та пальників);
- 2) використання газоходу із введенням у нього форсунок тонкого розпилу (Технічне рішення, яке знайшло застосування на ВАТ «КМЗ»);
- 3) охолодження та підігрів здійснювати в малогабаритному скрубєрі з повним випаровуванням (з досвіду роботи газоочисток у Китаї).

Залежно від хімічного складу та способу обробки пилу (окомкування, холодне брикетування або ін.) уловлений рукавним фільтром продукт може бути утилізований в агломераційному, доменному чи сталеплавильних виробництвах.

Враховуючи вищевикладене, наразі опрацьовано всі технічні рішення для впровадження системи сухого газоочищення із рукавними фільтрами на комбінаті «Запоріжсталь», які забезпечать безперебійну роботу доменної печі. Рукавні фільтри ефективно працюють при різних швидкостях фільтрування (коливання виходу колошникового газу) та їхня ефективність буде забезпечена на рівні не менше 99,9 %.

Таким чином, в результаті проведеного теоретичного аналізу було вирішені наступні завдання:

1. На газоочистках доменних печей розроблено, впроваджено та успішно експлуатуються циклони Для очищення колошникової пилу з ефективністю до 85%. Циклони мають меншу металоємність у порівнянні з існуючими радіальними пиловловлювачами.

2. Рукавні фільтри знайшли широке застосування в системах очищення доменного газу в Китаї та Японії, існує досвід впровадження сухої системи очищення колошникового газу на території росії. В умовах доменного виробництва компанії TISCO (Китай) сухе газоочищення за рахунок скорочення споживання та обробки води дозволяє заощаджувати понад 45000 дол/міс.

3. Зроблено розрахунок діаметра циклону та кількість секцій рукавного фільтру для впровадження в умовах доменного виробництва комбінату «Запоріжсталь».

2.3 Розрахунок ГУБТ

Вихідні дані

Таблиця 2.1 – Склад колошникового газу

Компонент	Вміст у колошниковому газі, %
CO ₂	21,7
CO	26,3
H ₂	10,9
N ₂	41,1
Всього	100

Тиск газу на виході з рукавного фільтру $P_{вф} = 227,46$ кПа

Температура газу перед турбіною $t_1 = 190$ °С

Втрати тиску на тракті доменного газу від рукавного фільтру до ГУБТ $\Delta P_T = 0,06$ кПа

Тиск газу перед турбіною, кПа

$$P_1 = P_{вф} - \Delta P_m$$

$$P_1 = 227,46 - 0,06 = 227,4$$

Вміст у газі двохатомних газів, об.%

$$C_2 = C_{CO} + C_{H_2} + C_{N_2} = 26,3 + 10,9 + 41,1 = 78,3$$

Показник адіабати для доменного газу

$$k = C_2 k_2 + (1 - C_2) k_3 ,$$

де $k_2 = 1,40$ – показник адіабати для двохатомних газів, $k_3 = 1,33$ – для трьохатомних [1]

$$k = 0,783 \cdot 1,4 + (1 - 0,783) 1,33 = 1,38$$

Виходячи з умов транспортування і спалювання доменного газу у споживачів, приймаємо тиск газу на виході з турбіни, кПа [6]:

$$P_2 = 115$$

Відношення тисків газу у початку і в кінці процесу розширення

$$\varepsilon = P_1 / P_2 = 227,4 / 115 = 1,98$$

Визначаємо перепад температур газу при його розширенні у турбіні в залежності від відношення тисків і показника адіабати [6]

$$\Delta t_m = 0,18 T_1,$$

$$\Delta t_m = 0,18 \cdot (210 + 273) = 87$$

Температура газу на виході з турбіни, °С

$$t_2 = t_1 - \Delta t_m = 210 - 87 = 123$$

Теплоємність доменного газу на вході і виході з ГУБТ [6], кДж/кг·К

$$C_d = 1,063 + 3,18 \cdot 10^{-4} t$$

$$C_1 = 1,063 + 3,18 \cdot 10^{-4} t_1 = 1,063 + 3,18 \cdot 10^{-4} \cdot 210 = 1,130$$

$$C_2 = 1,063 + 3,18 \cdot 10^{-4} t_2 = 1,063 + 3,18 \cdot 10^{-4} \cdot 123 = 1,102$$

Приймаємо к.к.д. турбіни $\eta = 0,89$ [6], тоді питома робота газу при його розширенні у турбіні, кДж/кг:

$$l = (C_1 t_1 - C_2 t_2) \eta$$

$$l = (1,130 \cdot 210 - 1,102 \cdot 123) 0,89 = 90,6$$

Масові витрати доменного газу, кг/с:

$$G = V_o \rho_o / 3600$$

$$G = 200\,000 \cdot 1,254 / 3600 = 69,7$$

Потужність турбіни, кВт:

$$N = G l = 69,7 \cdot 90,6 = 6\,315$$

Вибираємо ГУБТ-8М (табл.2.2)

Таблиця 2.2 – Параметри роботи ГУБТ-8М[7]

Показник	Розмірність	Значення
Абсолютний тиск газу перед турбіною	кПа	225,9 227,4
Абсолютний тиск газу після турбіни	кПа	115
Температура газу перед турбіною	°С	210
Температура газу після турбіни	°С	123
Витрати газу на турбіну за нормальних умов	тис. м ³ (н)/год.	200
Потужність, проектна	МВт	8,0
Потужність, розрахункова	МВт	6,3
Коефіцієнт корисної дії	%	89
Частота обертання ротору	об./хв.	3000
Габаритні розміри	м×м×м	6,4×2,1×2,8
Маса	кг	54 00

3 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Попередня вартість виконання проєктних робіт, постачання обладнання (системи охолодження та підігріву КГ, циклону, рукавного фільтра з системами транспортування уловленого продукту) та будівельно-монтажних робіт (без урахування демонтажу існуючого обладнання) для систем очищення доменного газу 4-х доменних печей комбінату «Запоріжсталь» може скласти 320- 350 млн. грн. (залежно від постачальників обладнання циклон, рукавний фільтр, система охолодження та підігріву колошникового газу). Дані будуть уточнені після виконання техніко-економічного обґрунтування спеціалізованою організацією та детального опрацювання комерційною дирекцією та дирекцією з капітального будівництва та інвестицій.

За рахунок впровадження сухої системи очищення колошникового газу на всіх доменних печах річна економія за рахунок скорочення електроенергії, стиснутого повітря, забору води з р.Н. Дніпро та скидів, оплата екологічного податку становитиме 19441 тис. грн./рік без ПДВ. Термін окупності може бути розрахований, залежно від термінів застосування сухих систем очищення. в умовах комбінату був проведений аналіз та розрахунки

експлуатаційних витрат та показники роботи газоочищення доменних печей газового цеху, ділянки оборотного циклу водопостачання газоочищення доменних печей цеху водопостачання, витрати на забір технічної води

Розрахунки зі збільшення калорійності доменного газу, зниження забору води. Р. Дніпро та скидів освітленої води, кількість оборотної води, що випаровується, скорочення витрат на електроенергію для подачі води на газоочищення, витрата стисненого повітря ОЦГДП, транспортування та очищення шламу наведено нижче.

Витрати на електроенергію насосів ОЦГДП та ГОДП

Сумарне споживання електроенергії шламових насосів, насосів освітленої води та дренажних та вакуумних насосів, приводів водоочисних апаратів ОЦГДП становить 1,599 МВт-год (середнє значення за 20 місяців).

Споживання електроенергії насосів підвищення тиску води на зрошення в апаратах очищення дільниці ГОДП газового цеху становлять 0.36 МВт-ч.

Годинне споживання електроенергії ОЦГ ДП та ГОДП для подачі води на мокре очищення за годину складають, МВт-год:

Споживана годинна електроенергія $1,599 + 0,360 = 1,959$.

Річна електроенергія, що споживається (при зупинках доменних печей на 4 години подача води не припиняється) на подачу води складає:

$$(1,959 \cdot 24) \cdot 365 = 17160,84 \text{ МВт}\cdot\text{год}$$

Тариф для споживачів 2 класу напруги на травень 2023 року становить **1,515 без ПДВ, грн/кВт·година [14].**

Вартість електроенергії складає:

$$17160840 \cdot 1,515 = 17,7 \text{ млн. грн. / рік. без НДС}$$

Вартість електроенергії для подачі води на зрошення та здійснення оборотного циклу водопостачання газоочищення доменних печей становить **17,7 млн. грн./рік. без НДС.**

Розрахунок збільшення теплотворної здатності доменного газу при сухому способі очищення

У літературі є різні дані щодо збільшення калорійності колошникового газу в результаті переходу на «сухий» спосіб очищення.

Відомо, що застосування сухого очищення (рукавні фільтри з імпульсною регенерацією рукавів) без використання води для зрошення дозволяє підвищити теплотворну здатність доменного газу на 25-30%. В наслідок насичення водяними парами калорійність доменного газу знижується на 90-170 кДж/м (проти сухим газом).

Середня за 20 місяців за трьома доменними печами калорійність колошникового газу становить 798 ккал/м (практичні дані ПрАТ «Запоріжсталь»).

Варіант 1. Збільшення калорійності колошникового газу на 25% [22, 23]:

$$Q_{\text{Нсух.ДГ}} = Q_{\text{Нмокр.ДГ}} \cdot K_{\text{вл}} ,$$

де $Q_{\text{Нсух.ДГ}}$ – калорійність «сухого» колошникового газу ккал/м (при «сухому» способі очищення з рукавним фільтром за рахунок зменшення вмісту вологи в газі);

$Q_{\text{Нмокр.ДГ}}$ – калорійність «мокрого» (існуюча) колошникового газу ккал/м;

$K_{\text{вл}}$ – коефіцієнт збільшення калорійності доменного газу, при збільшенні калорійності на 25% $K_{\text{вл}} = 1,25$.

$$Q_{\text{Нсух.ДГ}} = 798 * 1,25 = 998$$

Різницю (Δ , ккал/м) у калорійності між «сухим» та «мокрим» колошниковим газом визначаємо за формулою:

$$\Delta = Q_{\text{Нсух.ДГ}} - Q_{\text{Нмокр.ДГ}} = 998 - 798 = 200$$

Варіант 2. Збільшення калорійності колошникового газу 90-170 кДж/м³:

$$\Delta_{90} = 90/4,19 = 21 \text{ і } \Delta_{170} = 170/4,19 = 40,$$

де 4,19 – коефіцієнт перерахунку під час переходу на ккал від кДж.

Варіант 3. Розрахунок зміни калорійності колошникового газу при перерахунку на вологий доменний газ (приймаємо для розрахунку вміст вологи в доменному газі до очищення 50, а після очищення 150 г/м³), методика

розрахунку. Для розрахунку приймаємо склад наступний склад колошникового газу, %: CO - 26; CO₂ – 19; H₂ – 3,6; N₂– 51,4.

Калорійність визначаємо за формулою:

$$Q_H = 126,45 \cdot CO + 107,6 \cdot H_2;$$

Перерахунок компонентів доменного газу із сухого газу на вологий здійснюємо за такою формулою:

$$a_{i_{\text{влажн}}} = \frac{a_{i_{\text{сух}}}}{1 + \frac{0}{0,804}}$$

Результати розрахунку зведено до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад та збільшення калорійності колошникового газу (кг)

№ , п/п	КГ	Вміст компонентів в КГ , %					Калорійність КГ Q _H , кДж/м ³	Калорійність КГ Q _H , ккал/м ³
		CO	CO ₂	H ₂	N ₂	H ₂ O		
1	Сухий	26	19	3,6	51,4	0	3675	877
2	Вологий (50 г/м ³)	24,5	17,9	3,4	48,4	5,8	3464	827
3	Вологий (150 г/м ³)	21,9	16,0	3,0	43,4	15,7	3092	738

Зміна калорійності , ккал/м³:

$$\Delta = Q_{H_{\text{сух.ДГ}}} - Q_{H_{\text{мокр.ДГ}}} = 827 - 738 = 89$$

Так як хімічний склад при розрахунках відрізняється від середнього, при калорійності 798 ккал/м³, визначимо процентну зміну калорійності:

$$\Delta\% = \frac{\Delta}{Q_{H_{\text{мокр.ДГ}}}} \cdot 100\% = \frac{89}{738} \cdot 100\% = 12$$

Збільшення калорійності колошникового газу на 12%, ккал/м³:

$$Q_{\text{Нсух,ДГ}} = 798 \cdot 1,12 = 894,$$

$$\Delta = 894 - 798 = 96.$$

Результати розрахунку збільшення калорійності за 3 варіантами представлені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Еквівалентна місячна економія при зміні калорійності колошникового газу під час переходу на «сухий» спосіб очищення

Натуральний вихід КГ, тис. м ³ /міс.*	Збільшення калорійності сухого КГ, ккал/м ³	Збільшення калорійності сухого КГ		
		ккал/міс	Еквівалентна економія тис.м ³ природного газу/міс (при Q _н = 8050 ккал/м ³)	Еквівалентна економія при перерахунку на вартість природного газу, тис.грн
360000	21 ^[17]	7560000	939,130	3586,239
360000	40 ^[17]	14400000	1788,820	6830,931
360000	96 ^[розр.]	24560000	4293,168	16394,230
360000	200 ^[22,23]	72000000	8944,099	34154,650

* Вихід колошникового газу при виробництві 265 тис. тонн чавуну доменного цеху (середнє значення за 20 місяців):

Як видно з таблиці, навіть незначна зміна калорійності колошникового газу (на 21 ккал/м³) може дати еквівалентну економію 939 тис.м³ природного газу/міс., а при затвердженні директора Інституту чорної металургії Національної академії наук України Большакова В.І. збільшення калорійності на 25% пропорційно еквівалентної економії при перерахунку на вартість природного газу **34 млн грн/міс**, умовах роботи трьох доменних печей комбінату «Запоріжсталь».

Скорочення забору та транспортування води.

У загальному балансі комбінату газоочищення доменних печей споживають близько 3% технічної води та 10% оборотної води. При цьому на насосах та очисних спорудах ОЦГДП витрачається 1,599 МВт год електроенергії, а на насосах ГОДІІ газового цеху 0,36 МВтч або 1,411 ГВт-год/міс. (без обліку витрат електроенергії на забір води із нар. Дніпро, роботу насосів головної насосної станції та перекачування освітленої води в шламонакопичувач).

При очищенні колошникового газу вола у вілі водяної пари переходить у газ, при цьому з колошниковим газом витрачається не менше **54000 м³ води/місяць**.

При очищенні та охолодженні шламової води на гідроциклонах-флокуляторах, згущувачах та градирні в атмосферу випаровується близько 3 % від загальної кількості води, що надходить на ділянку ОЦГДП. Середньомісячна кількість втрат води на випаровування становить **49680 м³/міс**.

В результаті надходження шламової води, яка складається з оборотної та технічної води на оборотному циклі утворюється дисбаланс. При аналізі дисбалансу спільно з фахівцями цеху водопостачання було розраховано кількість води, що скидається в шламонакопичувач (на трубопроводі відсутній прилад обліку) **178 000 м³/міс**. Впровадження хоча б однією «сухою» системи очищення доменного газу виключить скидання від оборотного циклу водопостачання газоочищення доменних печей у р. Дніпро (виключення дисбалансу).

Виключення технічної води із системи мокрого пиловловлення газоочисток доменних печей не може бути реалізовано. Це пов'язано з особливостями охолодження води (всього обсягу) на дросельній групі і ускладнить безперебійну роботу газоочисних апаратів у зв'язку із заростанням карбонатними відкладеннями трубопроводів, що підводять до форсунок.

При фактичному споживанні технічної волі газоочистками **195 000 м³/міс.** втрати води з колошниковим газом, викидами в атмосферу та скиданням у шламовий накопичувач складають, м³/міс.:

$$\text{Втрати води} = 54\,000 + 50\,000 + 178\,000 = 282\,000$$

Плата за забір води з нар. Дніпро складає 312,3 грн. за 1000 м.

Оплата на паркан свіжої води (без урахування витрат на електроенергію перекачувальних насосів ЦВС (за винятком ОЦГД!)), які пов'язані з втратами води, становитимуть:

Оплата за підживлення $282 \cdot 312,3 = 88\,000$ грн/міс.

Оплата за забір води з р. Дніпро на рік становить:

$$88\,000 \cdot 12 = 1\,056 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на стиснене повітря на рік становлять:

$$(428 \cdot 12) \cdot 130,55 = 670\,000 \text{ грн / рік}$$

Екологічний податок

Оплату за скидання шкідливих речовин у р. Дніпро розраховується як екологічний податок за забруднення водного обла тасу в задоволеній оборотній воді газоочищення доменних печей, яка надходить у шламонакопичувач, вміст суспензії становить не більше 200 мг/л. Оплата екологічного податку за скидання в шламонакопичувач від ОЦГДІ ЦВС при скиданні 178 000 м³/міс. складає близько 15000 грн.

Сумарне скорочення існуючих експлуатаційних витрат на мокре очищення, тис, грн./рік без ПДВ:

$$\Sigma = C_{\text{електроенергії}} + C_{\text{забір води}} + C_{\text{ст.вода}} + C_{\text{еконалог}}$$

$$\Sigma = 17\,700 + 1\,056 + 670 + 15 = 19\,441 \text{ тис. грн / рік *}$$

* у розрахунку не наведені дані щодо ФОП та витрат на ремонт, технічне обслуговування, технічний ремонт та заплановані інвестиції в оновлення застарілого обладнання ділянки ОЦГДП ЦВС; витрати на перекачування води, що забирається з р. Дніпро до головної насосної станції та подачу технічної води від головної насосної станції до дільниці ГОДІ. Повністю скоротити витрати електроенергії по ОЦГДІ до 1,599 МВт-год можливо після переходу всіх газоочисток доменних печей на сухий спосіб очищення.

Висновки за розділом 3:

1. Модернізація існуючих «мокрих» газоочисток доменних печей на «сухі» із застосуванням рукавних фільтрів вимагають великої кількості інвестицій.

2. Впровадження сухої системи очищення може бути економічно виправдане збільшенням калорійності доменного газу (еквівалентна економія при перерахунку на вартість природного газу може досягти 34 млн. грн./міс.), зменшенням споживання електроенергії насосами для подачі води та шламу (1.411 ГВт-год/міс. або 17,7 млн. грн./рік. без ПДВ), стисненого повітря (670 000 грн./рік), виведення ділянки з чисельністю 37 чол., зменшення витрат на паркан (1056 тис. грн./рік) та транспортування технічної води.

3. Оплата екологічного податку за забруднення водного об'єкта до 15 000 грн/міс. не привертає в даний час на себе уваги, але при цьому експлуатація газоочищення доменного газу з оборотним циклом водопостачання негативно впливає на повітряний басейн (викиди в атмосферу пари оборотної шламової води 49 680 м³/міс. від градирень, гідроциклонів і згущувачів) і скидів в шламонакопичувач 178 000 м³/міс. освітленої води.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Доменні процеси пов'язані зі шкідливими та небезпечними виробничими факторами, такими як велика кількість тепла, пилу та високий рівень шуму.

Доменні печі є високотемпературними установками, а наявність великої кількості залишкового тепла призводить до значного підвищення температури повітря. Негативний вплив високої температури повітря ще більше посилюється впливом променистого тепла. Джерелами променистого тепла є розплавлений чавун і шлак, вогнетривка футеровка печей, нагріта до високих температур, і поверхні розплавленого шлаку, які відкриті при відкритому вікні печі. Працівники біля доменної печі регулярно піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочому місці підручного сталевара становить приблизно 560 Вт/м^2 залежно від розміру, температури та відстані джерела випромінювання, при нормі 140 Вт/м^2 (ДСНЗ.3.6.042-99) [15]. Надмірний тепловий вплив на організм людини може призвести до перенапруження функцій терморегуляції та викликати порушення теплового балансу [16].

Тепловий вплив на організм людини може викликати швидко втому, зниження працездатності, ослаблення опірності організму до шкідливих впливів і цілий ряд захворювань, таких як тепловевиснаження, тепловий удар, теплові судоми і катаракта очей.

Ще одним шкідливим фактором доменного виробництва є наявність високої концентрації пилу в повітрі робочої зони від 16 до 19 мг/м^3 , що в $4,6$ рази перевищує норму. Доменний пил є фіброгенним. Такий пил шкідливий для організму людини і може викликати подразнення шкіри, очей, ясен і вух. Пил, що проникає в легені, може викликати певні професійні захворювання [31].

Доменні печі мають такі шкідливі виробничі фактори, як шум і вібрація. Це пов'язано з рухом великих машин і механізмів, падінням великих матеріалів

з великої висоти і горінням металів у печі. Негативний вплив шуму на організм людини багатогранний. Все це знижує працездатність людини, продуктивність, якість роботи і безпеку. На робочому місці фактичний рівень шуму може досягати 86 дБА, тоді як референтне значення становить 80 дБА. Тривалий вплив інтенсивного шуму (вище 80 дБА) може призвести до часткової або повної втрати слуху.

Вплив шуму на організм людини не обмежується органами слуху. Шумові подразники передаються по волокнах слухового нерва до центральної нервової системи та вегетативної нервової системи, впливаючи через них на внутрішні органи і викликаючи значні зміни у функціональному стані організму, а також впливають на психологічний стан людини, викликаючи тривогу і збудження.

Вібрації, присутні в доменних цехах, мають незначний вплив на працівників доменних печей і не перевищують нормативних значень [17]. Оцінка факторів виробничого та трудового процесу на доменних печах представлена в таблиці 4.1.

Згідно з табл. 4.1, умови праці на робочому місці підручного сталевара класифікуються як шкідливі та важкі. На робочому місці присутній один виробничий фактор першого ступеня, два фактори другого ступеня та один небезпечний фактор третього ступеня. Третя категорія важкості праці.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого й трудового процесу

Професія: підручний сталевара

№	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норматив. значення (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас Шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Тривалі дії факто змiну,
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ 2 клас безпеки марганцю оксиди 3 клас безпеки азоту діоксид ангідрид сірчаний вуглецю оксид	0,3 2,0 10,0 20,0	0,28 1,6 6,8 13,5				80
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	18,5		4,6 p		80
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	85				80
4	Шум, дБА	80	86	6			80
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
6	Мікроклімат в приміщенні в теплий період року						
	- температура повітря, °С	15...26	37			10	90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2...0,6	0,45	1,5p			90
	- відносна вологість повітря, %	<75	44				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	560		560		90
7	Атмосферний тиск						
8	Важкість праці	3	3				

4.2 Заходи з поліпшення умов праці. Виробнича санітарія

У цеху використовується найрізноманітніше устаткування, експлуатація якого супроводжується інтенсивним шумом, що значно погіршують умови праці. Правильна організація праці й відпочинку в гучних приміщеннях сприяє

профілактиці професійних захворювань. Не допускається вплив шуму протягом більш ніж 50-60 % робочого часу [31].

Для видалення надлишкового тепла використовується вентиляція і провітрювання, а всі джерела тепла покриваються ізоляцією. Поширеним методом захисту від радіації є екранування, яке може бути відбиваючим, поглинаючим або екрануванням теплового випромінювання. Спецодяг працівників повинен бути незаймистим, стійким до теплового випромінювання, міцним і повітропроникним.

Опалення основних виробничих приміщень передбачається повітряне, сполучене із припливною вентиляцією. Приплив здійснюється великими установками, розташованими групами.

Доменне виробництво генерує велику кількість залишкового тепла, що вимагає значного повітрообміну, особливо в літні місяці. Природна вентиляція в доменних цехах забезпечується різницею температур в середині і зовні (тепловий напір) і дією вітру (вітровий напір). Для вентиляції у вертикальних стінах будівлі передбачаються отвори, нижній рівень яких (для припливу повітря в теплу пору року) не вище 1,8 м, а верхній (для припливу повітря в зимку і влітку) – не вище 4 м. На даху будівлі встановлені аераційні ліхтарі.

Механічна вентиляція в доменних цехах забезпечується великими централізованими вентиляторами.

Відповідно до вимог гігієнічних нормативів, параметри якості повітря робочої зони виробничих приміщень доменного виробництва наведені в таблиці 5.2 (ДСНЗ.3.6.042-99).

Одним з важливих параметрів виробничої обстановки є раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці й може стати причиною нещасних випадків і захворювань очей. Розрізняють природне й штучне освітлення.

Таблиця 4.2 – Значення нормованих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

Характеристика виробничих приміщень за надлишковими тепловиділеннями (більш або менш 23 Вт/м ³)	Категорія роботи по тяжкості	Період року (теплий, холодний)						Температура повітря поза постійних робочих місць, Т, °С	
		На постійних робочих місцях							
		Температура повітря, t, °С		Відносна вологість повітря, φ, %		Швидкість руху повітря, W, м/с			
Більш 23 Вт/м ³	3 Важка	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
		Холодний період							
		16-18	13-19	40-60	75	0,3	Не більше 0,4	19-22	12-20
		Теплий період							
		18-20	15-26	40-60	75	0,4	0,2-0,6	22-24	13-28

Природне освітлення в приміщенні створюється сонячним світлом через світлові ліхтарі і поділяється на бічне, верхнє (з аераційних ліхтарів) і комбіноване (з настінних світлових ліхтарів і аераційних ліхтарів одночасно).

Штучне освітлення необхідне для роботи в темних приміщеннях або там, де природного освітлення не достатньо.

Штучне освітлення характеризується номінальними значеннями напруги, потужності, світлового потоку та лінійних розмірів.

Високотемпературні робочі місця характеризуються наявністю в полі зору об'єктів, що світяться (полум'я, розплавлений або нагрітий метал або шлак). Яскравість полум'я, розплавленого металу або шлаку зазвичай значно перевищує яскравість навколишнього фону і є шкідливою для очей. Умови праці вимагають дивитися на поверхню, що світиться, щоб контролювати процес, судити про температуру і якість металу або шлаку. Необхідність для очей постійно адаптуватися при переході від поверхні, що світиться, до навколишнього темного фону і назад може призвести до зниження зорової функції, сліпоті, появи безперервних зображень і труднощів з ідентифікацією інших об'єктів.

Для забезпечення ясного розрізнення після фіксації очима поверхонь, які світяться, необхідно створювати певну яскравість поля адаптації (тобто забезпечити певний рівень освітленості навколишнього фону), уникати різкої відмінності на робочих поверхнях і в полі зору, що оточує робочі поверхні.

Відповідно до цього для робіт із предметами, які самі світяться, (VII розряд) встановлена мінімальна загальна освітленість лампами розжарювання 150 лк (ДБН В.2.5-28-2006). Застосування ламп без захисної арматур не допускається. У доменному цеху використовуються лампи розжарювання НГД 127-100 (напруга на лампі 127 В, потужність 100 Вт), світильник «Універсаль». Їх коефіцієнт запасу становить $K = 1,3$ [36].

Аварійне освітлення влаштовують із незалежним джерелом живлення. Аварійне освітлення для продовження робіт створює на робочих поверхнях освітленість не менш 5% від прийнятих норм для загального освітлення. Для евакуації людей аварійне освітлення створює освітленість на підлозі основних проходів і ступенях сходів у приміщеннях не менш 0,5 лк і на відкритих територіях не менш 0,2 лк [35].

4.3 Електробезпека

З урахуванням середовища у виробничих приміщеннях доменного цеху його можна віднести до особливо небезпечних приміщень по ураженню електричним струмом. Тут присутні наступні фактори: підвищена температура повітря, струмопровідні підлоги, можливість одночасного дотику до металевих конструкцій електричного устаткування й металевим конструкціям, які з'єднані із землею (НПАОП 40.1-1.01-97).

Для живлення електроустаткування, яке використовується в доменному цеху, застосовується напруга не більш 380 В (3 фази) [17].

Перед початком роботи необхідно перевірити справність устаткування, інструмента, огорожень, захисного заземлення, вентиляції. Під час роботи необхідно дотримувати всіх правила використання технологічного

устаткування, дотримуватися правил безпечної експлуатації транспортних засобів, вантажопідйомних механізмів, дотримуватися вказівок про безпечний зміст робочого місця.

В аварійних ситуаціях необхідно неухильно виконувати всі правила, що регламентують поведінку персоналу при виникненні аварій і ситуацій, які можуть привести до аварій з нещасним випадком.

Робоча ділянка повинна бути оснащена необхідними попереджувальними плакатами, устаткування повинне мати відповідне фарбування, повинна бути виконана розмітка проїзної частини проїздів [36].

В умовах доменного цеху найбільшу небезпеку представляє вплив електричного струму й електричної дуги.

Поразка людини електричним струмом можливо при влученні його в зону дії електричної дуги або при включенні в електричне коло електроустановки. Тому в електроустановках напругою вище 1000 В передбачають заходи, що виключають можливість дотику або небезпечного наближення до струмоведучих частин.

Для забезпечення надійної й безпечної роботи електроустановок справний стан ізоляції є однією з головних умов. У доменному цеху присутній захисне занулення, як засіб захисту від електричного струму [17].

4.4 Пожежна безпека

Основними пожежними небезпеками на доменних печах є вибухи газу, а також вибухи металу і шлаку [17]. Ці явища відрізняються від звичайних пожеж тим, що характеризуються безпосередньою загрозою життю працівників. На доменних цехах, де використовуються високотемпературні технологічні процеси, потенціал виникнення звичайних пожеж відносно низький, оскільки всі будівельні елементи виготовлені з негорючих матеріалів.

Крім того, велика кількість пилу виноситься з доменної печі разом з доменними газами, що утворюються при випаровуванні сировини і

конденсації летких речовин. Доменний пил є самозаймистим і часто призводить до вибухів газу в пиловловлювачах і забруднення газопроводів [17].

Для запобігання пожежам і вибухам під час експлуатації будівель і технічних установок необхідно вживати відповідних заходів ще на стадії проєктування. Оскільки найбільшу небезпеку становить виникнення пожежі та вибух у виробничих приміщеннях, розробка профілактичних заходів зазвичай починається з визначення категорії приміщення за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки: до категорії А відноситься апаратура доменного цеху, заповнена коксовим або природним газом. До категорії Б слід віднести систему газоочищення доменного газу, міжконусний простір колошника, а також установки для вдмухування вугільного пилу, відділення кульових млинів, де готують пил, розподільчо-дозувальні відділення. До категорії Г відносять ливарний двір, тобто ділянки виробництва по обробці неспалених речовин у гарячому або розплавленому стані, що й супроводжуються випромінюванням тепла й виділенням полум'я й іскор.

Усі кабельні та інші електротехнічні приміщення обладнані автоматичною пожежною сигналізацією. Приймально-контрольні прилади цієї сигналізації зазвичай розташовуються на пульті управління піччю або в черговому приміщенні машинного відділення [16]. Чистота території, справність обладнання та шляхів евакуації мають важливе значення для пожежної безпеки. Головною і суттєвою вимогою пожежної безпеки є безумовне і точне дотримання працівниками правил експлуатації обладнання, технологічних інструкцій, інструкцій з техніки безпеки і вимог трудової дисципліни. У доменних печах найбільш корисними є системи газового пожежогасіння з кабельним пуском. Газові системи пожежогасіння досить ефективні при гасінні пожеж, особливо на ранніх стадіях [16]. Нормативи первинних засобів пожежогасіння в доменному виробництві на одну доменну піч включають один пінний вогнегасник, шість вогнегасників ВВ-8 і чотири ящики з піском [17].

ВИСНОВКИ

В результаті вирішення поставлених завдань в кваліфікаційній роботі були отримані наступні результати

1. Заміна існуючих радіальних пиловловлювачів на циклони дозволить збільшити кількість уловленого великого колошникового пилю до 85% порівняно з існуючим ступенем очищення 50%.

2. Переведення всіх доменних печей на сухе очищення із застосуванням рукавних фільтрів забезпечить:

- **виключення скидів** освітленої води в р. Дніпро при очищенні колошникового газу **на 2136000 м³/рік** (при роботі трьох доменних печей);

- **зменшити** забір технічної води з нар. Дніпро **на 282 000 м³/міс.** (на 4% по комбінату) та скоротити використання оборотної води **на 19860 000 м³/рік** (на 10% по комбінату);

- підвищення калорійності доменного газу до 25% (пропорційно еквівалентної економії при перерахунку на вартість природного газу **34 млн. грн./міс.**);

- зменшення споживання електроенергії насосами для подачі води ташламу 1,411 ГВт-год/міс. чи **17,7 млн. грн./рік. без НДС;**

- виведення з експлуатації ділянки ОЦГДП (штатна чисельність 37 людина, витрати становлять **1 700 000 грн. / міс.**);

- сухе очищення дозволить прискорити впровадження ГУБТ у доменному виробництві з **виробленням екологічно чистої електроенергії від 20 до 30 кВт-год/тонну** виробленого чавуну за рахунок утилізації надлишкового тиску колошникового газу;

3. Впровадження найпередовіших технологій у галузі пиловловлення дозволить скоротити собівартість продукції та покращити екологічну ситуацію в регіоні.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Большаков В.І., Блакитних Г.М., Лаврик А.І., Сталінський Д.В., Каненко Г.М. Оцінка ефективності застосування газових утилізаційних турбін на доменних печах України. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2007. № 5. С.13-18.
2. Осипенко В.Д., Чиненів Д.В., Манідін В.С. Перспективність застосування сухого способу очищення газу при установці газоутилізаційних безкомпресорних турбін доменними печами. Бюлетень «Чорна металургія». 2006. № 6. С. 71-74.
3. Пліскановський С.Т., Полтавець В.В. Обладнання та експлуатація доменних печей : підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2004. 496 с.
4. Бізнес-портал АТ «Українська гірничо-металургійна компанія». URL: <http://www.ugmk.info> (дата звернення 05.06.2023).
5. Інформаційний портал фондового ринку України Fixygen. URL: <http://www.fixygen.info> (дата звернення 05.06.2023).
6. Інформаційна агенція «Інтерфакс-Україна». URL: <http://www.Interfax.com.ua> (дата звернення 05.06.2023).
7. Шатоха В., Пліскановський С., Харахулах В. Сучасний стан та перспективи розвитку чорної металургії України. *Чорні метали*. 2006. №1 С. 28-31.
8. Рукавні фільтри. Призначення і принцип дії. URL: <https://abtechnologies.com.ua/korysni-instrumenty/rukavni-filtri-priznachennya-i-printsip-diyi/>.
9. ArcelorMittal розпочне модернізацію доменної печі №2 у Домброва-Гурнича. URL: <https://gmk.center/ua/news/arcelormittal-rozpochne-modernizaciju-domennoi-pechi-2-u-dombrova-gurnicha/>
10. Горючі вторинні енергетичні ресурси. URL: <https://msd.in.ua/goryuchi-vtorinni-energetichni-resursi/>.

11. Рукавні фільтри з імпульсною продувкою. URL: <https://ventilator.ua/category/rukavnye-filtry-s-impulsnoj-produvkoj/>.
12. Вторинні енергоресурси промислових. URL: https://nmetau.edu.ua/file/18._gichov_yu.o._vtorinni_energoresursi_promislovih_idpriemstv._chastina_ii.pdf.
13. Доменний газ. URL: <https://docs.dtkk.ua/doc/1078.3772.0>.
14. Зміни тарифів на розподіл. URL: <https://hoe.com.ua/post/nevdovzi-zminitsja-tarif-na-rozpodil.html>.
15. ДСНЗ.3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>.
16. Жидецький, В.Ц. Основи охорони праці : +CD-ROM : підручник для ВНЗ: [затв. М-вом освіти і науки, молоді та спорту України]. Київ: Знання, 2010. 373 с.
17. Геврик, Є.О. Охорона праці: навч. посібник для ВНЗ: [рек. М-вом освіти і науки України]. Київ: Ельга, Ніка-Центр, 2004. 279 с.