МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

рівень вищої освіти____ *перший (бакалаврський) рівень* _____

на тему *Проект системи оборотного водопостачання газоочисток мартенівського цеху*

Виконав: студент *4* курсу, групи *6.1833-с3*

спеціальності *183 Технології захисту навколишнього середовища*
(код і назва спеціальності)

освітньої програми *Технології захисту навколишнього середовища*
(назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Медведенко С.А. _____
(ініціали та прізвище) (підпис)

Керівник *доц., к.т.н Кожемякін Г.Б.* _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ПІБ) (підпис)

Рецензент *ст.викл., к.ф-м.н. Вагін А.В.* _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ПІБ) (підпис)

Запоріжжя
2025

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*
(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. Бєлоконь
"27" 12 2025 року

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

Медведенко Світлані Андріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *Проект системи оборотного водопостачання газоочисток мартенівського цеху*

керівник роботи (проєкту) *доц.,к.т.н. Кожемякін Геннадій Борисович*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" 12 2024 року № *2031-с*

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) *10.06.2024*

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *Витрата стічних вод - 2100 м^3/год, Початковий вміст завісі - 2650 г/м^3, Температура стічних вод- 45°С,*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Технологія мокрої очистки газів мартенівських печей. Джерела утворення забруднених стічних вод. Аналіз існуючих схем очистки стічних вод мартенівського виробництва. Обґрунтування способу очистки стічних вод. Розрахунок очисних споруд систем очистки стічних вод. Охорона праці.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Креслення, презентаційний матеріал: Розріз системи мокрої очистки технологічних газів мартенівських печей. Скрубер Вентурі. Технологічна схема очистки стічних вод. Основні апарати схеми очистки стічних вод. Охорона праці.*

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	*Кожемякін Г.Б., доцент*	
Розділ 2	*Кожемякін Г.Б., доцент*	
Розділ 3	*Кожемякін Г.Б., доцент*	
Нормоконтроль	*Кожемякін Г.Б., доцент*	

7. Дата видачі завдання *15.02.2025*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Загальна частина*	*02.2025-03.2025*	
2	*Спеціальна частина*	*03.2025-04.2025*	
3	*Охорона праці*	*05.2025*	
4	*Креслення*	*05.2024-06.2025*	

Студент _____ *С.А. Медведенко*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *Г.Б. Кожемякін*

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційний проект для здобуття ступеня вищої освіти бакалавр: 67 с., 6 табл., 13 рис., 33 джерел.

ОЧИСТКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ, СКРУБЕР ВЕНТУРІ, МАРТЕНІВСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО, РЕАГЕНТНЕ ГОСПОДАРСТВО, ВІДСТІЙНИК, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВОДООЧИСТКИ, ФІЛЬТР-ПРЕСС

Об’єкти дослідження – система очистки стічних вод мартенівського виробництва;

Предмет дослідження – технологія очищення стічних вод газоочисток мартенівських печей;

Мета роботи – на основі вивчення апаратурно-технологічних схем очистки стічних вод, які експлуатуються у промисловому виробництві, технологій переробки та утилізації шламів мартенівського виробництва проаналізувати умови і причини виникнення промислових стоків, технологічні процеси по зменшенню скидів та розробити технологію очищення стічних вод з метою запобігання забруднення навколишнього середовища, провести розрахунок обладнання, що використовується в процесі очистки, а також підібрати допоміжне обладнання.

Проаналізовані джерела утворення стічних вод мартенівського виробництва, наведено їх фізичні та хімічні властивості. Виконаний аналіз існуючих технологій очищення стічних вод систем очищення газів мартенівських печей. Проведено розрахунки, за результатом яких було підібрано технологічне обладнання для очищення стічних вод, а саме : реагентне господарство, споруди подачі та змішування робочих розчинів реагентів, радіальний відстійник. Виконано розрахунок ділянки згущення та зневоднення вловлених шламів.

ЗМІСТ

ВСТУП …… 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА ……. 9
1.1 Системи очищення газів мартенівських цехів ……..... 12
1.2 Характеристика стічних вод газоочисток мартенівських печей ……. 20
1.3 Способи очищення стічних вод мартенівського виробництва …..…. 26
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА ……..…… 31
2.1 Розрахунок реагентного господарства ……..…….. 31
2.1.1 Склад зберігання флокулянта …… 31
2.1.2 Приготування робочого розчину флокулянта…… 32
2.1.3 Дозування флокулянту ……. 33
2.2 Розрахунок вапняного господарства …..…….…….…….. 34
2.2.1 Склад зберігання вапна ……..…… 34
2.2.2 Приготування робочого розчину вапняного молока …… 34
2.2.3 Дозування вапняного молока ……. 35
2.3 Змішування реагентів …… 36
2.4 Розрахунок камер утворення пластівців ……..……..... 38
2.5 Розрахунок радіальних відстійників ……..……. 40
2.6 Згущення та зневоднення шламів ……..……. 42
2.6.1 Гравітаційне згущення осадів …….. 42
2.3.2 Зневоднення осаду …… 43
3 ОХОРОНА ПРАЦІ …….. 46
3.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища на очисних спорудах ……..…….. 46
3.2 Заходи з безпеки праці на очисних спорудах для мінімізації впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів ……..….. 48
3.3 Заходи безпеки в реагентному господарстві …….……. 50
3.4 Безпечна експлуатація обладнання у відділенні утилізації та зневоднення шламу …… 52
3.5 Технічні заходи з виробничої санітарії на очисних спорудах ……. 53
3.6 Електробезпека на очисних спорудах …… 56
3.7 Пожежна безпека очисних споруд ……..……. 58
3.8 Інженерне обґрунтування системи захисного заземлення …….. 59
ВИСНОВКИ …… 63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ …..……. 64

ВСТУП

Вода грає вирішальну роль багатьох процесах, які у природі, й у забезпеченні життєдіяльності людини. У промисловості воду використовують як сировину і джерело енергії, як холодоагент, розчинник екстрагент, для транспортування сировини і матеріалів.

Бурхливий розвиток промисловості викликає необхідність запобігання негативному впливу виробничих стічних вод на водойми. Багато сучасні технологічні процеси пов'язані зі скиданням стічних вод у водні об'єкти.

У зв'язку з надзвичайною різноманітністю складу, властивостей і витрат стічних вод промислових підприємств необхідне застосування специфічних методів, а також споруд з їх локальної, попередньої та повної очистки.

У складі інженерних комунікацій кожного промислового підприємства є комплекс каналізаційних мереж і споруд, за допомогою яких здійснюється відведення з території підприємства відпрацьованих вод (подальше використання яких або неможливо за технічними умовами, або недоцільно за техніко-економічними показниками), а також споруд за попередньою обробкою і обробкою.

Витрата води у чорній металургії становить близько 15 % загального споживання води всіма галузями промисловості. Основна кількість води використовується на охолодження та очищення відхідних газів, охолодження обладнання (сталеплавильних печей, конверторів, кристалізаторів), пилоподавлення, гідротранспорт, промивання металу після травлення та знежирення, прокатних станів та емульсійних систем. Водообіг у галузі становить 80 %, але в окремих великих підприємствах сягає (92-97) % [11].

При охолодженні та очищенні газів, пилоподавленні та гідро-транспорті в оборотні системи включені споруди очищення та охолодження води. Оборотні системи для запобігання сольовим відкладенням у трубопроводах, каналах, устаткуванні працюють з продуванням, що

становить від 3% до 5% загальної витрати води в системі, іноді досягаючи 10%. До 80 % стічних вод, що скидаються у водоймище, складають продувальні води оборотних систем доменних і мартенівських печей, конвертерів, сталеплавильних печей і станів гарячої прокатки, а також стоки хімводоочищення. Вони містять зважені речовини, олії та мають високу мінералізацію [12].

Скорочення витрати води у металургійному виробництві може бути досягнуто за рахунок:

1) застосування випарного охолодження металургійних печей та кристалізаторів машин для безперервного лиття заготовок;

2) вдосконалення способів охолодження прокатного обладнання та металу - заміна перфорованих труб форсуночним охолодженням;

3) застосування для деяких агрегатів та середовищ повітряного охолодження;

4) впровадження сухих методів очищення газів, пневмотранспорту пилу, його окомкування і утилізації на агломераційних фабриках (рукавні фільтри, електрофільтри, вихрові пиловловлювачі).

На підприємствах чорної металургії є сприятливі умови використання води у замкнутому циклі. Ці умови створюють можливості:

1) послідовного використання води, коли продувальні води оборотних систем з високою вимогою до якості води можуть застосовуватися для підживлення систем оборотного водопостачання з нижчими вимогами до якості оборотної води;

2) роботи оборотних систем на безпродувному режимі за умови стабілізаційної обробки води різних систем;

3) використання у ряді технологічних операцій значних кількостей освітленої оборотної води різних систем;

4) досягнення необхідної якості оборотної води відомими методами при використанні існуючих очисних споруд.

Очищення виробничих стічних вод на металургійних заводах вирішується самостійно окремих виробництв: доменного, сталеплавильного і прокатного виробництв.

Одним з основних напрямів науково-технічного прогресу є створення маловідходних і безвідходних технологічних процесів. В області очищення стічних вод таким напрямом є розробка каналізаційних систем з мінімальним скиданням стічних вод у водоймище або без скидання - безстічних систем.

Найбільш раціональний спосіб скорочення обсягу стічних вод - це створення оборотних та замкнутих систем водопостачання, що виключає скидання води у водойми. При такому водопостачанні передбачається необхідне очищення стічної води, охолодження оборотної води, обробка та повторне використання стічної води.

Створення замкнутих систем технічного водопостачання з вилученням цінних компонентів у першу чергу передбачається при будівництві нових та реконструкції діючих підприємств. Перехід на безстічні системи, каналізації або системи з мінімальним скиданням стічних вод може бути здійснений шляхом багаторазового використання відпрацьованих вод та заміни водяного охолодження на повітряне. При перекладі низки галузей промисловості на безводні технологічні процеси виключається утворення стічних вод.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Мартенівський спосіб отримання сталі здійснюється шляхом окислювальної плавки завантажених у піч залізовмісних матеріалів - чавуну, сталевого брухту, залізняку і флюсів в результаті складних фізико-хімічних процесів взаємодії між металом, шлаком і газовим середовищем печі. Мартенівське виробництво поряд з іншими видами виробництва сталі – друга ланка у загальному виробничому циклі чорної металургії; дві інші основні ланки - виплавка чавуну в доменних печах і прокатка сталевих злитків або заготовок.

Завдяки перевагам, якими мартенівський процес відрізнявся від інших способів масового отримання сталі (велика гнучкість і можливість застосовувати його при будь-яких масштабах виробництва; менш суворі вимоги до вихідних матеріалів; відносна простота контролю та управління ходом плавки; висока якість і широкий асортимент сталі, що виплавляється; порівняно невелика вартість переділу) 20 й сталеплавильним процесом. Однак у зв'язку з бурхливим розвитком у 60-х роках 20 століття кисневоконвертерного виробництва, будівництво мартенівських цехів практично припинилося; відносна частка мартенівської сталі безперервно зменшується [1].

Основний агрегат мартенівського способу виробництва сталі – мартенівська піч. Вона призначена для виплавки сталі з доменного чавуну та металобрухту. Її перевагою перед існували раніше печами, що виплавляли метал, наприклад, бесемерівським конвертором, було те, що в ній можна переплавляти металевий брухт у сталь. Крім того, мартенівська піч дозволяла контролювати якість металу, вносити в нього необхідні добавки і таким чином отримувати сталь різних марок із заданими властивостями.

Мартенівська піч відноситься до типу відбивних печей. Ванна, де йде плавка, викладена вогнетривкою цеглою. Над ванною - сферичне склепіння.

Продукти горіння палива, а разом з ними тепло відбиваються від склепіння і направляються у ванну, де і розплавляють метал. Така конструкція забезпечує рівномірне розподілення тепла по всій площі ванни [2].

Паливом у мартені є газ. Раніше застосовували суміш доменного та коксового газів. Останніми роками дедалі ширше використовується природний горючий газ. Перш ніж потрапити в піч, газ і повітря нагрівають у регенераторах - камерах, викладених вогнетривкою цеглою, а потім подають у верхню частину мартена - головки печі. Вони розташовані з обох торців плавильного простору і служать для змішування палива з повітрям та подачі цієї суміші в плавильний простір, даючи температуру до 1800-2000 ° С. Така температура забезпечує повне розплавлення металу.

Для завантаження сировини у передній стіні мартенівської печі є завалочні вікна, що закриваються товстими сталевими засувками. У задній стіні – випускний отвір. Через нього готову сталь зливають у ківш. Коли йде плавка, випускний отвір забитий «пробкою» з вогнетривкої глини.

Робота в мартенівській печі відбувається у кілька етапів. Спочатку в піч завантажують холодні матеріали (шихту) - залізний брухт, руду, вапно. Коли завантаження закінчується, в піч вводять максимальну кількість газу та повітря, щоб брухт та інші матеріали швидко прогрілися та розплавилися. Після цього до печей підвозять ківші з доменним чавуном та заливають у піч.

Виплавка сталі триває багато годин. На останньому етапі відбувається рафінування сталі (очищення її від шкідливих домішок) та розкислення – видалення з металу кисню. Для цього у ванну додають розкислювачі – феросиліцій, феромарганець, алюміній.

Тривалість плавки становить 3-6 годин, для великих печей - до 12 годин. Готову плавку випускають через отвір, розташований у задній стінці нижньому рівні поду. Отвір щільно забивають вогнетривкими матеріалами, що мало спікаються, які при випуску плавки вибивають. Печі працюють безперервно, до зупинки на капітальний ремонт – 400…600 плавок [1].

Гази, що відходять від печі, мають температуру 1500…1600^{0}С. Потрапляючи в регенератор, гази нагрівають насадку до температури 1250°С. Через один з регенераторів подають повітря, яке, проходячи через насадку, нагрівається до 1200 ^{0}С і надходить у головку печі, де змішується з паливом, на виході з головки утворюється факел, спрямований на шихту. Гази, що відходять, проходять через протилежну головку (ліву), очисні пристрої (шлаковики), службовці для відокремлення від газу частинок шлаку і пилу і направляються в другий регенератор. Охолоджені гази залишають піч через димар. Після охолодження насадки правого регенератора перемикають клапани, і потік газів у печі змінює напрямок [11].

Температура факела полум'я сягає 1800^{0}С. Факел нагріває робочий простір печі та шихту. Смолоскип сприяє окисленню домішок шихти при плавці.

Димові гази, що відходять з робочого простору печі, проходять через головку і по вертикальних каналах потрапляють у шлаковики. У шлаковиках осідає 50-75% плавильного пилу, причому осідає великий пил, дрібніші фракції значною мірою відносяться в трубу (10-25% пилу осідає в насадках регенераторів). На шляху руху димових газів плавильний пил, що міститься в них, реагує з кладками. Цю обставину доводиться враховувати під час вибору матеріалів для кладки вертикальних каналів та шлаковиків.

Зі шлаковиків гази, що відходять, з температурою 1500—1600 °С потрапляють у насадки регенераторів. Об'єм насадки регенераторів і площа поверхні її нагрівання, тобто поверхні цегли насадки, що омивається газами, що взаємодіють, взаємопов'язані. Ці величини визначають спеціальним теплотехнічним розрахунком, від них залежать основні показники роботи печі - продуктивність та витрата палива. Регенератори повинні забезпечувати постійну високу температуру підігріву газу та повітря [3].

Відпрацьовані гази, що містять продукти згоряння та пил, подаються в систему утилізації тепла та очищення газів, а потім викидаються в атмосферу.

1.1 Системи очищення газів мартенівських цехів

З усіх пилогазових викидів зі сталеплавильних агрегатів найбільша кількість припадає на мартенівські печі: 90% оксидів сірки, 85% оксидів азоту і 75% пилу. Основними джерелами димоутворення в мартенівській печі є паливо, газовиділення з сипучих матеріалів при їх нагріванні та розкладанні і вуглекислий газ, що виділяються при окисленні вуглецю шихти, і окис вуглецю [9].

У процесі виплавки сталі в мартенівських печах, особливо із застосуванням кисню, утворюється і викидається в атмосферу велика кількість запиленого газу.

Димові гази від мартенівської печі відводяться в регенератор, поступають у котел-утилізатор, на газоочищення та димососом викидаються через димову трубу в атмосферу.

Температура мартенівських газів у борові перед котлом-утилізатором 500—600 °С, після котла-утилізатора 250 °С.

Окис вуглецю перед направленням газу на очищення допалюють у спеціальній камері. При роботі мартенівської печі на природному газі в ньому може міститися до 110 мг/м^3 оксидів сірки, а при опаленні коксодоменним газом - до 800 мг/м^3. Вміст вологи в газі становить у середньому 60 г/м^3 [4].

На одну тонну садки в мартенівських печах при опаленні їх природним газом утворюється від 1000 до 4000 м^3/год газу, що має на виході з печі температуру 700-800 °С. Для печей, що працюють із подачею мазуту (20-50% по теплу), кількість продуктів згоряння збільшується на 5%. Через підсмоктування повітря до кінця кампанії обсяг газів, що йдуть, збільшується на 10-15%. Кількість димових газів (табл. 1.1) залежить від ємності мартенівської печі та періодів плавки [12].

Таблиця 1.1 – Викиди димових газів мартенівських печей

Ємність мартенівської печі, т	Кількість газів, 10^3 м^3/год	
	Перед котлом- утилізатором	Після котла-утилізатора
100	65	80
200	80	100
300	105	120
400	115	140
500	130	160
600	145	180
900	180	220
2х250 (двованна піч)	180	220

Хімічний склад газу залежить від виду палива, складу шихти і технології плавки. У ньому містяться оксид та діоксид вуглецю, оксиди азоту та сірки, кисень, водень, азот, водяна пара та деякі інші речовини. Кількість оксидів сірки залежить від виду палива і, наприклад, при опаленні коксодоменним газом може досягати 800 мг/м^3. Середній об'ємний склад продуктів згорання печей, що йдуть, працюють на збагаченому киснем дуття, %: 10,5-15,1 CO_2; 16-16,5 H_2O; 62,3-66,1 N_2; 6,5-7,2 O_2; сліди SO_2 [9].

Крім газоподібних домішок, газ, що відходить, містить значні кількості пилу - до 15 г/м^3. У початковий період плавки пил великий, він складається з частинок руди, вапняку та деяких інших компонентів. Пилоутворення пов'язане з розтріскуванням шихти при нагріванні, а також з угаром металу, що оплавляється.

У період плавлення при продуванні ванни киснем виділяється велика кількість дрібнодисперсного пилу (розмір часток <1мкм). Більшість дослідників вважають, що основною причиною утворення пилу (бурого диму) є випаровування металу в зонах високої температури з подальшим окисленням та конденсацією в атмосфері печі.

Запиленість мартенівських газів 10 г/м^3, а газів із двованих печей - до 15 г/м^3. Пил складається переважно з оксидів заліза. Крім того, в ній присутні оксиди кальцію, магнію, марганцю, алюмінію, кремнію, фосфору, сірки.

Щільність мартенівського пилу 4,5-5 г/м^3, насипна щільність 1,5 г/см^3. Кут природного укосу 28-33°; гігроскопічність пилу 3-8% [12]. Дисперсний склад пилу залежить від витрати кисню в печі та технологічного процесу плавки і в період плавлення характеризується такими даними:

Пил, що виноситься з печі, значною мірою осідає газовим трактом: 50-60% у шлаковику, 15-20% у регенераторах, 10-15% у котлі-утилізаторі. Таким чином, запиленність газу після котла-утилізатора (перед газоочисткою) становить 10-15% вмісту пилу в газах, що виходять з печі [11].

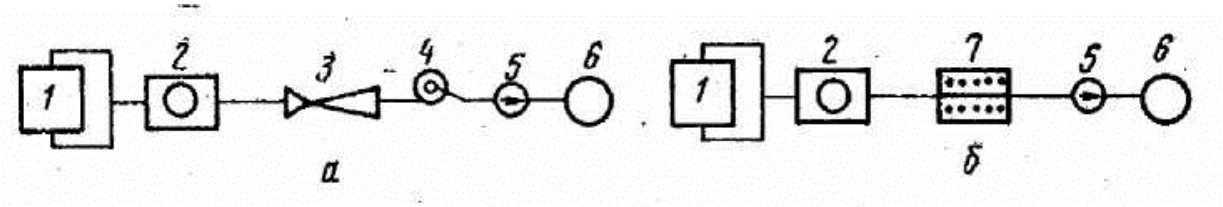
Крім пилу в мартенівських газах, що йдуть, містяться шкідливі газоподібні компоненти: 30-50 мг/м^3 оксидів сірки і 200-400 мг/м^3 оксидів азоту. З газів мартенівських печей, що відходять, газоподібні компоненти не вловлюються.

У мартенівських цехах є й неорганізовані джерела надходження пилу до довкілля. Наприклад, у повітрі міксерного відділення вміст пилу може сягати 13 г/м^3; у місці розвантаження сипких матеріалів у шихтовому дворі 260-460 мг/м^3; у люнкеритній установці у розливному прольоті 100-160 мг/м^3 [8]. Газ, що відводиться від мартенівської печі, перед викидом в атмосферу піддається обов'язковому очищенню. Перед очищенням газ охолоджують у утилізаторах до 220-250 °С [4].

Найбільшого поширення набули дві схеми очищення мартенівського газу: суха в електрофільтрах (рис. 1.1б) і мокра в скруберах Вентурі (рис.1.1а). Ефективність обох апаратів приблизно однакова: і в тому і в іншому випадку запилення очищених за цими схемами газів не перевищує 50 мг/м^3. Цей показник цілком відповідає санітарним та екологічним нормам.

Проведені підрахунки показали, що найменша величина капітальних витрат досягається при встановленні скруберів Вентурі, а мінімальний рівень експлуатаційних витрат – при використанні сухих електрофільтрів.

Для покращення економічних, технологічних показників почали проводити реконструкцію мартенівських печей у двованні агрегати (ДСПА), що працюють значно інтенсивніше.



1-мартенівська піч; 2-котел-утилізатор; 3-труба Вентурі; 4-крапловловлювач; 5-димосос; 6-димова труба; 7-сухий електрофільтр

Рисунок 1.1 – Схеми, що застосовуються для очищення газів, які відходять від мартенівських печей

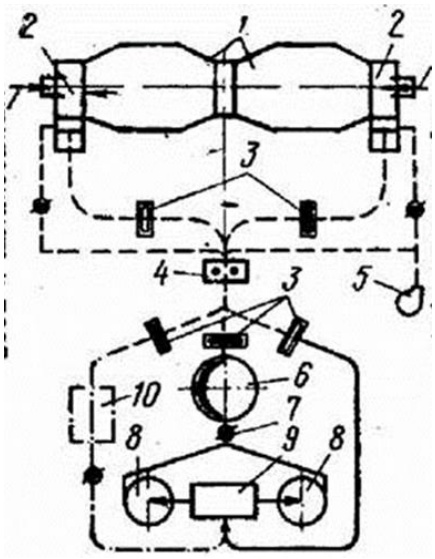
Кількість газів з робочого простору холодної камери ДСПА становить 50 000-60 000 $м^3$/год, їх температура 1400-1500 °С. У газах міститься 4-11% CO_2, 0,2-0,8% CO, 8-17% O_2. Запиленість газів становить 15-25 г/$м^3$ [9].

При очищенні газу, що відходить від двованного сталеплавильного агрегату, застосовуються також суха та мокра схеми очищення.

При мокрому очищенні газу, що відходить від двованного сталеплавильного агрегату, в скруберах Вентурі його спочатку охолоджують до 700-800°С шляхом упорскування води, потім направляють у котел-утилізатор [10]. Охолоджені до 200-250°С гази надходять далі в скрубери Вентурі, після них - в краплеуловлювачі, а звідти за допомогою димососів - в димову трубу. Ефективність уловлювання пилу сягає 99%.

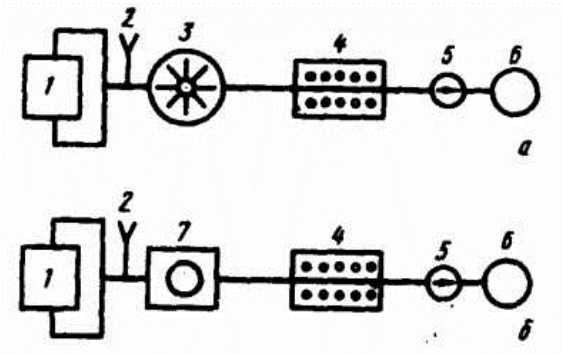
На одному з вітчизняних південних заводів за ДСПА працює мокре газоочищення зі скруберами Вентурі. На цій установці гази охолоджуються до 900-1000°С у шлаковику впорскуванням води. У борові гази охолоджуються до 700°С розведенням їх повітрям, що подається вентилятором через спеціальне сопло. Одночасно відбувається допалювання окису вуглецю [11]. На рис. 1.2 представлено схему роботи описаної системи.

На рис. 1.3 показана принципова схема охолодження і сухого очищення від пилу відпрацьованих газів двованного сталеплавильного агрегату в електрофільтрі з охолодженням газів в скрубері і в котлі-утилізаторі.



1-камери печі; 2-шлаковики; 3-шибери; 4-пальники для допалювання CO; 5-вентилятор для подачі повітря; 6-димова труба; 7-дросельний клапан; 8-димососи; 9-газоочисне встановлення; 10-котел-утилізатор

Рисунок 1.2 - Схема охолодження та мокрого очищення відхідних газів двованної печі

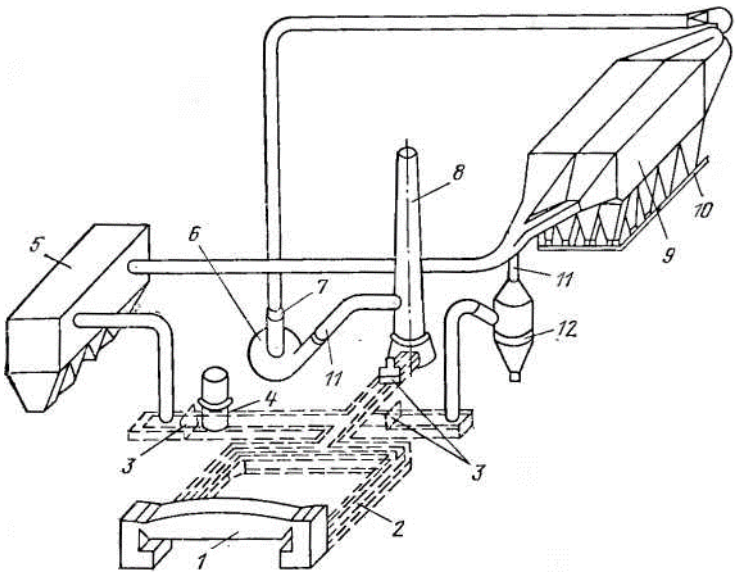


а - з охолодженням у скрубері; б – з охолодженням у котлі-утилізаторі; 1-двованна піч; 2-підведення повітря для допалювання CO; 3-скруббер; 4-сухий електрофільтр; 5-димосос; 6-димова труба; 7-котел-утилізатор

Рисунок 1.3 - Схема охолодження та сухого очищення відхідних газів двованних печей

Після допалювання оксиду вуглецю газ охолоджується в скрубері (до 200 °С), за яким встановлений електрофільтр. При такій схемі очищення, якщо запиленість газу перед скрубером становила до 7 г/м^3, перед електрофільтром вона вже знижувалася до 3 г/м^3, а за ним - до 0,1 г/м^3 [8].

Для знепилення димових газів мартенівських печей використовують сухі горизонтальні електрофільтри, труби Вентурі. Електрофільтри встановлюють після котла-утилізатора (рис. 1.4).

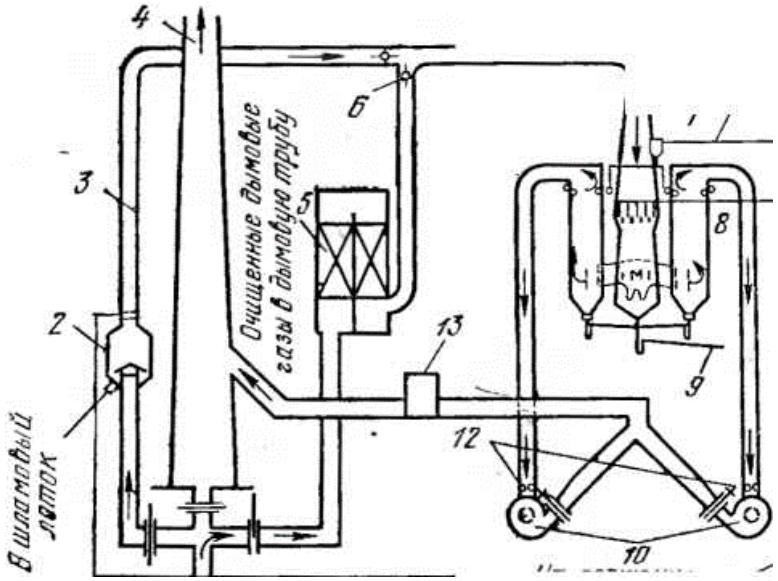


1 - мартенівська піч; 2 - борова; 3 - шибер; 4 - камера для допалювання оксиду вуглецю; 5 - котел-утилізатор; 6 - димосос; 7 - напрямний апарат; 8-димова труба; 9 - електрофільтр; 10 - лінія пневмотранспорту пилу; 11 - дросель-клапан; 12- випарний скрубер

Рисунок 1.4 - Схема очищення мартенівських газів у сухих пластинчастих електрофільтрах

Для безпеки ведення процесу очищення газу в електрофільтрі окис вуглецю, що міститься в мартенівському газі, допалюють у спеціальній камері перед утилізатором котлом. При вмісті CO в газі більше 1% (об'ємн.) подачу напруги на електрофільтр припиняють. Вимірювання концентрації ЗІ в газі проводять автоматичними газоаналізаторами, зблокованими з агрегатами живлення електрофільтра [13]. Швидкість газу в електрофільтрі повинна бути 0,9-1 м/с, температура його перед електрофільтром - не вище 250 ° С, а вологість - межах 60-100 г/м^3. При меншому значенні вологості газоході перед електрофільтром встановлюють форсунки з дрібним розпилом.

Принципова схема установки з Вентурі трубами показана на рис. 1.5.



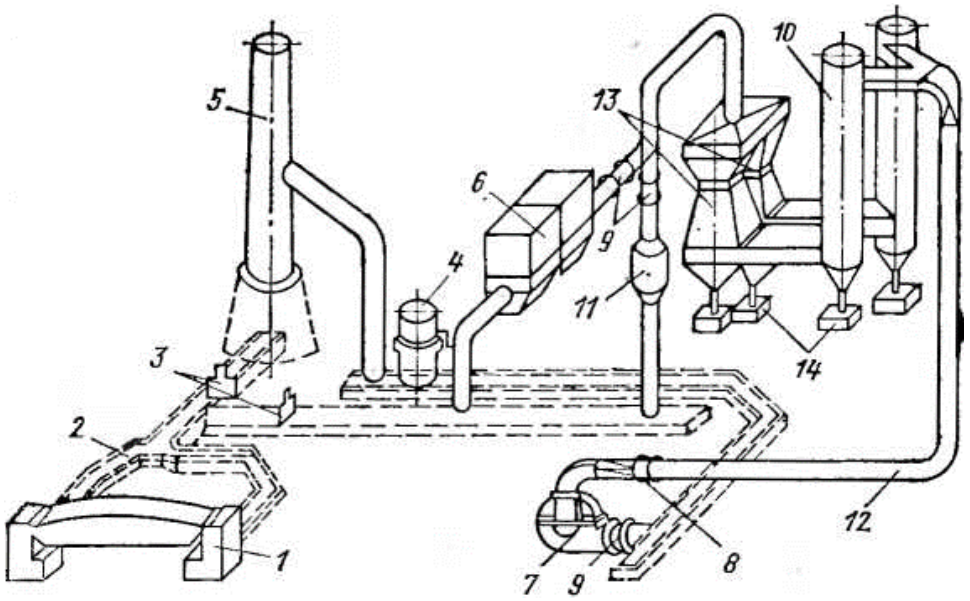
1 - шибер; 2 - зрошувальна камера; 3 - обвідний газохід; 4 - димова труба;
5 - котел-утилізатор; 6 - дросель-клапан; 7 - відцентрові скрубери;
8 - блок труб Вентурі; 9 - шламопровід; 10 - димососи; 11 - насос;
12 - напрямні апарати димососів; 13- пристрій для підігріву газу

Рисунок 1.5 - Схема очищення мартенівських газів у швидкісних пиловловлювачах з круглими трубами Вентурі

Димові гази охолоджуються в котлі-утилізаторі і надходять п блок труб Вентурі. Можуть бути використані труби з круглим і прямокутним перерізом горловини. Використання труб з круглим перерізом горловини вимагає відключення частини з них при зміні кількості газу в процесі плавки. Труби Вентурі з прямокутним перерізом горловини дають можливість здійснювати оптимальний режим роботи системи очищення газу протягом плавлення шляхом регулювання перерізу горловини (рис. 1.6).

Крім розглянутих схем очищення газів, передбачених індивідуально кожної мартенівської печі, застосовують централізовані установки, розраховані кілька печей. Загальне газоочищення складається з трьох блоків: двох робочих і одного резервного. Кожен блок розрахований на очищення газів від трьох мартенівських печей і включає порожнистий скрубер для

охолодження газу, труби Вентурі та відцентрові пило- і бризкоуловлювачі. Мартенівські печі з'єднані з газоочищенням колектором. Таке централізоване газоочищення займає меншу площу, ніж індивідуальні для кожної печі; крім того, вона дешевша і має нижчі експлуатаційні витрати.



1 - мартенівська піч; 2 - борова; 3 - шибер; 4 - пристрій для підігріву газу; 5 - димова труба; 6 - котел-утилізатор; 7 - димосос; 8 - напрямний апарат; 9 - дросель-клапан; 10 - відцентровий скрубер; 11 - зрошувальна камера; 12 - газопровід очищеного газу; 13 - прямокутні труби Вентурі; 14 - гідрозатвор

Рисунок 1.6 - Схема очищення мартенівських газів з використанням труб Вентурі з прямокутним перерізом горловини

При визначенні створюваного димососом необхідного розрідження рекомендується приймати наступні значення гідравлічного опору ділянок газового тракту: борів печі до шиберу котла - утилізатора 600-800 Па; котел-утилізатор 2000-2500 Па [9].

Для забезпечення нормальної роботи мартенівської печі та ефективного очищення газу розрідження, створюване димососом (ексгаустером), повинно бути при сухому очищенні в електрофільтрах не менше 4500 Па, при мокрій -

не менше 15000 Па [5]. Щоб уникнути конденсації водяної пари з газу передбачають теплоізоляцію газоходів чистого газу від краплевідокремлювачів до нагнітача і від нагнітача до димової труби.

1.2 Характеристика стічних вод мартенівського виробництва

У мартенівських цехах стічні води можуть бути наступних видів: від очищення газів мартенівських печей, охолодження та гідроочищення виливниць, установок безперервного розливання сталі та обмивання котлів-утилізаторів тепла.

При охолодженні сталеплавильних агрегатів утворюються умовно чисті стоки, що нагріваються на 12-15 °С. Питомі витрати води на 1 т сталі, що виплавляються, становлять: для мартенівських печей з водяним охолодженням — 10—15 м^3, з випарним охолодженням — 2,5—6 м^3 [6].

Застосування кисню в мартенівському виробництві призвело до необхідності очищення газів, що відходять, що містять велику кількість пилу (до 4 г/м^3).

При мокрому очищенні газів утворюються забруднені механічними та розчинними домішками стічні води, які необхідно очищати з метою можливості їх скидання у водойму або повторного використання.

Витрата води на газоочищення становить 0,3-2,0 м^3 на 1000 м^3 газу, залежно від схеми очищення, що відповідає витраті води 1,6-4,2 м^3/т сталі, що виплавляється. При оборотному водопостачання газоочищення без охолодження води температура оборотної води встановлюється в межах 60-65°С, при цьому втрати води на випаровування становлять від 10 до 15% загальної витрати води [17].

Стічні води забруднені механічними і розчинними домішками Суспензія складається з дуже тонких фракцій через великий відсоток тонкодисперсного пилу газу, що очищається. Середня концентрація завислих твердих речовин у стічній воді газоочищення становить 3 г/л і досягає 17 г/л.

Концентрація завислих речовин у стічній воді газоочищення порівняно з вихідною водою збільшується і значно коливається в різні періоди плавки. Найменша кількість завислих речовин у стічній воді спостерігалася в період заправки — не більше 180 мг/л, у період прогріву 200— 600 мг/л, у період заливки чавуну до 950 мг/л і найбільша кількість завислих речовин у стічній воді (10500—11700 мг/л) спостерігається в періоди плавлення та доведення, коли здійснювалося продування ванни киснем [12]. Середні значення показників якості стічних вод газоочищення за мартенівськими печами наведені в табл.1.2.

Таблиця 1.2 - Середні значення показників якості стічних вод мартенівських газоочисток

Показники	до газоочистки	після газоочистки
Температура, ^{0}C	60—65	30—35
Зважені речовини, мг/л	3000—17000	150—200
Лужність, мг-екв/л	До нуля	3,6-3,8
Сульфати, мг/л	185—192	50—60
Хлориди, мг/л	80-90	30—40
Загальний солевміст, мг/л	До 1600	300—320
Сухий залишок, мг/л	450—900	350—500
Значення pH води	2,8-6,9	7,9—8

Основними хімічними складовими оборотної води є іони кальцію, калію, натрію, сульфати та хлориди.

Завись стічних вод у різні періоди плавки осаджується неоднаково. У періоди прогріву та заливання чавуну завись має колоїдний характер і осаджується вкрай повільно. Також повільно осаджується завись періоду завалки. У періоди плавлення та доведення відбувається інтенсивне її осадження внаслідок виносу суспензії, що містить до 70% загального заліза., тому рекомендується подавати його в систему утилізації металовмісних шламів.

Швидкість осадження зважених речовин для досягнення необхідної якості води становить 0,1-0,3 мм/с без застосування коагуляції і 0,4-0,6 мм/с із застосуванням коагуляції.

Зважені речовини представлені в основному дрібнодисперсною фракцією. Вміст частинок 5 мкм сягає 40%. Питома вага шламу газоочищення мартенівських печей становить 4,5-4,8 г/см^3 [12].

Мартенівські шлами є найбагатшими за вмістом заліза.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад мартенівського шламу

Елементи та сполуки	Вміст, %
Залізо загальне	56.78
Залізо приведене	60.70
Оксид кальцію	2.15
Оксид кремнію	0.67
Оксид алюмінію	2.97
Оксид магнію	0.29
Оксид калію	0.20
Оксид натрію	2.81
Оксид титану (IV)	1.24
Марганец	0.08
Фосфор	0.25
Оксид хрому (III)	0.006
Оксид ванадію (V)	0.81
Сірка сульфидна	0.01
Нікель	0.19
Цинк	1.15
Сурма	0.006
Мыш'як	0.68
Вуглець загальний	0.63
Вуглець твердий	0.07

Високий вміст заліза в мартенівських шламах визначає їхню велику щільність – 4,5-5,0 г/см3; мартенівський шлам - один з найбільш високодисперсних шламів металургійного виробництва (табл. 1.4), що значно ускладнює підготовку їх до утилізації: у них погані седиментаційні та фільтраційні властивості.

Висока масова частка заліза в мартенівських шламах робить їх особливо цінною сировиною для використання у сталеплавильному виробництві. Разом з тим, як і в доменних та конвертерних шламах, тут не

вирішено проблем окускування, видалення шкідливих домішок, крім того, проблемою ефективного зневоднення цих шламів.

Таблиця 1.4 - Гранулометричний склад мартенівського щламу (мас. %)

Клас крупності	Вміст, %
>25	0.1
1.6-25	0.1
1,0-1.6	0.1
0.63-1.0	9.4
0.315-0.63	17.6
0.16-0.315	7.3
0.10-0.16	2.7
0.063-0.10	2.2
0.05-0.063	1.8
0.032-0.050	9.7
0.016-0.032	5.4
0.008-0.016	7.4
менш 0.008	36.2

Кінетика осадження завислих речовин у стічних водах газоочищення мартенівських печей представлена на рис. 1.7. Висота шару обстоювання 180 мм. З графіка видно, що зі збільшенням концентрації суспензії у вихідній воді інтенсивність осадження зростає. Так, криві 3, 4 (проби води, усереднені за період плавки) показують, що за 3 хв відстоювання випадає 78% суспензії, за 20 хв - 95%; швидкість осадження u_0 відповідно 1 мм/с та 0,15 мм/с. Залишкова концентрація суспензії 150 мг/л виходить після 20-хвилин відстоювання [18].

Враховуючи необхідність використання для нейтралізації стічних вод газоочищення мартенівських печей лужних реагентів, з метою інтенсифікації процесу освітлення проводять коагулювання вапном. Як флокулянт використовують поліакриламід. Встановлено, що оптимальною дозою пліакриламіду є 1,0 мг/л [19].

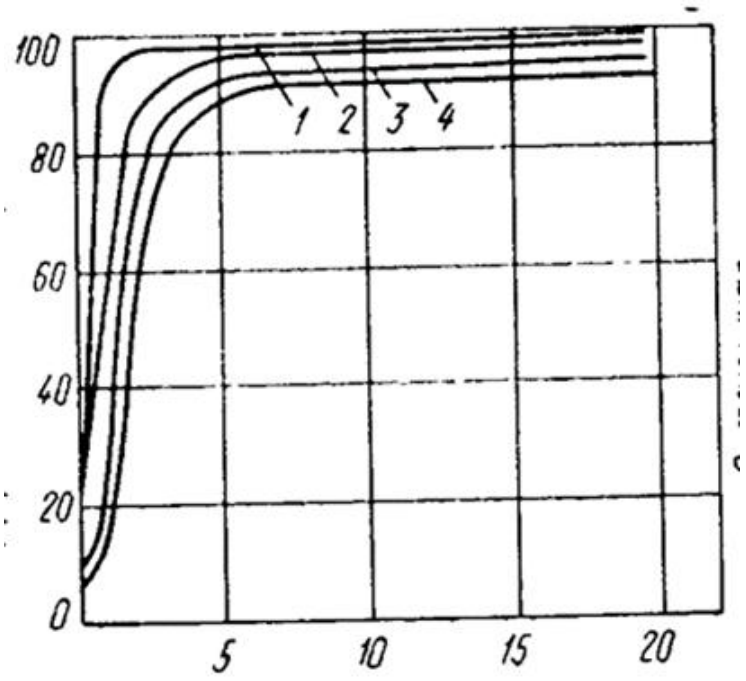


Рисунок 1.7 - Кінетика осадження суспензії у стічних водах газоочищення мартенівських печей при початковій концентрації, г/л:
1 – 10,2; 2 – 7,09; 3 – 5,11; 4 – 4,14

Враховуючи необхідність використання для нейтралізації стічних вод газоочищення мартенівських печей лужних реагентів, з метою інтенсифікації процесу освітлення проводять коагулювання вапном. Як флокулянт використовують ПАА. Встановлено, що оптимальною дозою ПАВ є 1,0 мг/л.

Важливим питанням є вивчення флокулюваності зважених речовин стічних вод газоочисток при відповідному механічному впливі, без застосування реагентів. Інтенсивність флокуляції, величина пластівців, що утворилися, і їх міцність по відношенню до механічного впливу залежать від хімічних властивостей твердої фази і води, гранулометричного складу твердих частинок, від вихідної концентрації суспензії і т.д. При флокуляції необхідно зближення зерен, що осідають, один з одним, тому особливо суттєвий вплив на інтенсивність має ступінь розведення суспензії. Результати флокуляції суспензії стічних вод представлені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 - Результати флокуляції суспензії стічних вод газоочисток

Час повільного перемішування, хв	Час відстоювання, хв	Остаточна концентрація завислих речовин, мг/л	Кількість зависі, що випала	
			г/л	%
0	15	194	4,056	95,5
0,3	14,7	76	4,174	98
1	14	64	4,186	98,5
3	12	74	4,176	98,45
5	10	91	4,147	97,8
7	8	120	4,130	97
0	15	160	0,840	84
1	14	87	0,913	91,3
5	10	73	0,927	92,7

З підвищенням концентрації суспензії у вихідній воді ефект флокуляції зростає (рис. 1.8).

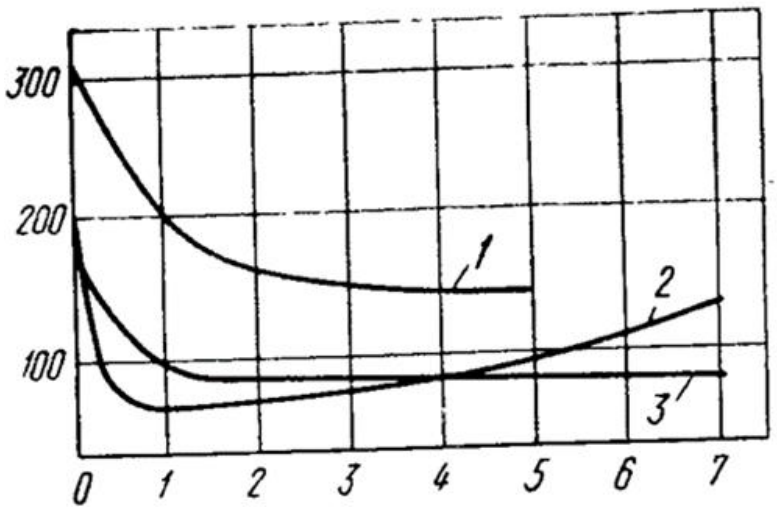


Рисунок 1.8 - Залежність ефективності освітлення стічних вод від тривалості перемішування при початковій концентрації зважування, г/л:
1 - 4,0; 2 - 2,25; 3 - 1,0

Для стічних вод газоочищення мартенівських печей характерна кисла реакція, причому зниження лужності води після очищення газів коливається на різних металургійних заводах у широкому інтервалі від 0,5 до 11 мг-екв/л.

На ступінь підкислення води впливає ряд факторів, вирішальним з яких є вид палива (природний або коксовий газ) – при підтопленні природним газом лужність знижується на 0,5-3,0 мг-екв/л, при підготовці коксовим газом – на 6-11 мг-екв/л [6].

1.3 Способи очищення стічних вод мартенівського виробництва

Водопостачання газоочисток мартенівських цехів слід здійснювати за оборотною схемою. Кількість стічних вод від газоочищення однієї мартенівської печі становить 160-200 $м^3$/год.

На рисунку 1.9 наведена принципова схема водопостачання газоочисток сталеплавильних агрегатів з використанням відкритих гідроциклонів.

Осадження зважених речовин із стічних вод установок газоочищення мартенівського цеху різні періоди роботи печі відбувається нерівномірно. У періоди заправки, завалки, підігріву та заливки чавуну осадження зважених речовин відбувається дуже повільно, при 45 хв відстоювання ефект освітлення становить 44%.

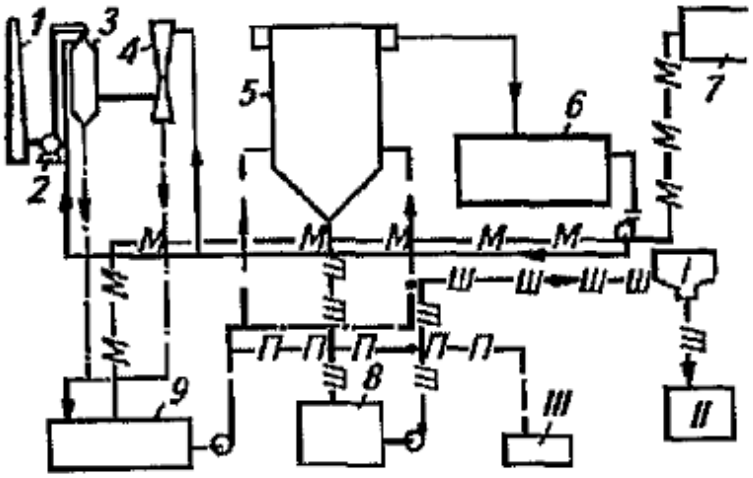
Під час плавки і доведення, що характеризуються найбільшим виносом пилу з печі, осадження завислих речовин відбувається дуже інтенсивно. У перші 5 хв (рис. 1.10) осаджується переважна більшість зважених речовин і ефект освітлення у своїй становить близько 90%.

Для того щоб залишковий вміст зважених речовин в освітленій воді не перевищував 150 - 200 мг/л, необхідно вловлювати частки з гідравлічною крупністю 0,1-0,3 мм/с [4].

Очищення стічних вод рекомендується проводити:

а) у відкритих гідроциклонах з питомими гідравлічними навантаженнями 6-7 $м^3/м^2$·год при роботі без коагуляції і 10-12 $м^3/м^2$·год при роботі з коагуляцією;

б) у флокуляторах гідроциклонного типу з питомими гідравлічними навантаженнями 3-4 $м^3/м^{2\cdot}$год при роботі без коагуляції та 7-8 $м^3/м^{2\cdot}$год при роботі з коагуляцією.



1 – димова труба; 2 – димосос; 3 – скрубер; 4 – труба Вентурі; 5 – відкритий гідроциклон; 6 – ємність для прийому очищеної води; 7 – установка для приготування розчинів для нейтралізації та коагуляції води; 8 – ємність для прийому шламової пульпи; 9 – ємність для прийому стічних вод; I – згущення шламової пульпи; II – зневоднення шламу; III – приготування розчину поліакриламіду; трубопроводи: м – вапняне молоко; п – поліакриламід; шламова пульпа; суцільна лінія – освітлена вода; пунктирна – забруднена вода.

Рисунок 1.9 - Принципова схема водозабезпечення газоочисток мартенівських печей

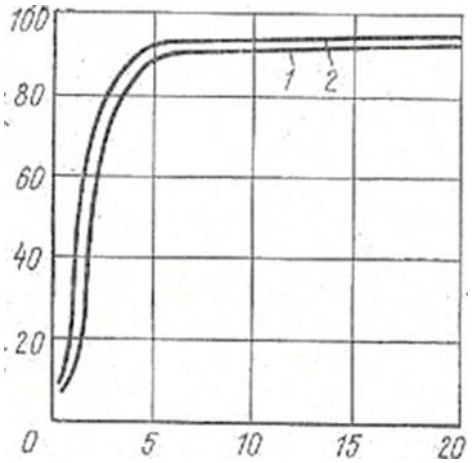


Рисунок 1.10 - Графік кінетики випадання завислих речовин із стічних вод мартенівського газоочищення при початковій концентрації: 1 - 4,14 мг/л; 2 - 5,11 мг/л

При цьому режимі забезпечується вміст у освітленій воді завислих речовин 150-300 мг/л.

Вибір тієї чи іншої споруди здійснюється залежно від техніко-економічних показників та наявності вільних виробничих площ.

Як реагент для коагуляції і нейтралізація стічних вод газоочищення мартенівських печей необхідно застосування вапна при дозі, що компенсує зниження лужності (орієнтовно 50-200 мг/л). Доза вапна уточнюється у процесі пуско-налагоджувальних робіт.

Найбільш інтенсивно відбувається освітлення у разі застосування вапна в комплексі з поліакриламідом. Оптимальною дозою ПАА є 1,0 мг/л.

Концентрація твердого в шламовій пульпі при режимі безперервного її відведення з гідроциклону або флокулятора становить у середньому 100 г/л. При відкачуванні шламової пульпи за допомогою насосів допустима концентрація твердого зростає до 800-400 г/л.

Додаткове згущення пульпи після гідроциклонів слід здійснювати на радіальних згущувачах з навантаженням 0,5-1,0 $м^3/м^2$ на годину.

Шламова пульпа після згущення направляється в корпус зневоднення з подальшою утилізацією осаду.

Охолодження оборотної води не передбачається.

Продувка система оборотного водопостачання газоочищення мартенівських печей повинна становити 1-3% у зв'язку з небезпекою утворення гіпсових відкладень.

Для очищення стічних вод мартенівської газоочищення із середньою концентрацією завислих речовин 5 г/л і максимальною до 17 г/л застосовують радіальні відстійники з гідравлічним навантаженням до 1 $м^3$/год на 1 $м^2$.

Для очищення стічних вод мартенівських газоочисток доцільно застосовувати безнапірні (відкриті) гідроциклони при гідравлічному навантаженні 5-6 $м^3$/год на 1 $м^2$.

Створені компактні установки оборотного водопостачання мартенівських печей, що базуються на застосуванні відкритих гідроциклонів

і флокуляторів різних конструкцій.

Для очищення стічних вод газоочисток мартенівських цехів застосовують відкритий гідроциклон, а також гідроциклон з пристроєм для циркуляції осаду (рис. 1.11).

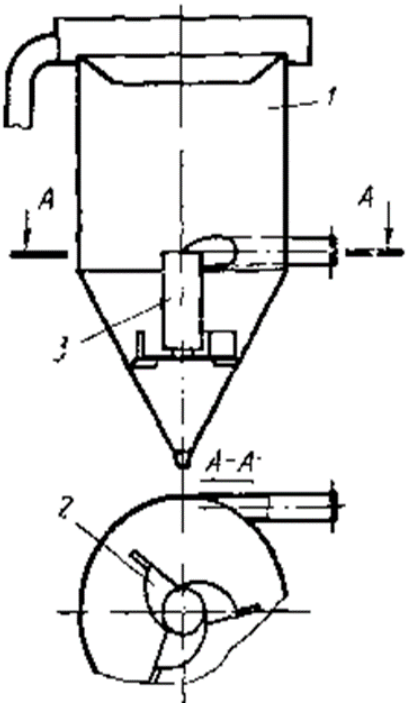


Рисунок 1.11 - Гідроциклон з пристроєм для циркуляції осаду:
1 - корпус; 2 - завихрювач; 3 - труба для підйому осаду;

У нижній частині відкритого гідроциклону відбувається швидке укрупнення частинок за рахунок кінетичної та градієнтної коагуляції. Проте розміри їх малі. У міру переміщення вгору градієнти швидкостей зменшуються і відбувається подальше укрупнення частинок. Одночасно розширюється потік води та зменшуються вертикальні швидкості, що перешкоджає виносу суспензії та призводить до освітлення води. Розширенню потоку сприяє наявність діафрагми у верхній частині гідроциклону. Ефективність освітлення води у відкритому гідроциклоні зростає із збільшенням діаметра апарату (рис. 1.12) [7].

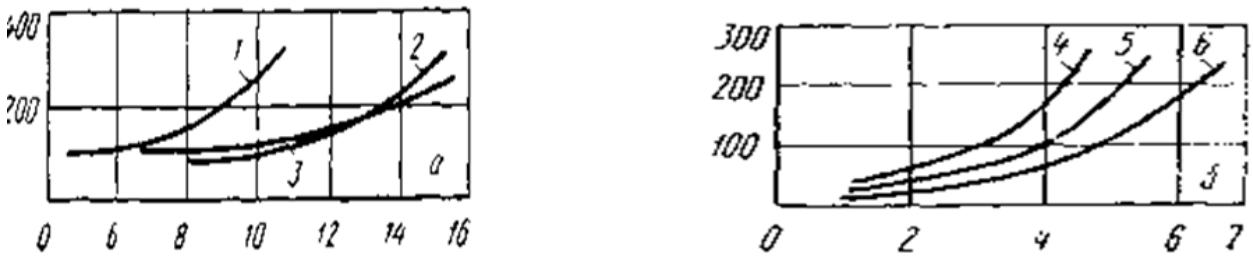


Рисунок 1.12 - Залежність концентрації суспензії у освітленій воді від питомого гідравлічного навантаження для гідроциклону при коагуляції (а) і без неї (б):
1,2 - з плоскою діафрагмою, діаметр відповідно 1250 та 2500 мм;
3 - з конічною діафрагмою, діаметр 1250 мм;
4, 5, 6 - для гідроциклону діаметром відповідно 500» 1250 і 2500 мм

Для інтенсифікації процесу освітлення стічних вод мартенівських газоочисток може бути використана реагентна або магнітна коагуляція. З реагентів найбільш перспективним є поліакриламід, застосування якого при дозі 1мг/л (з розрахунку на основний продукт) підвищує гідравлічне навантаження на радіальний відстійник до 2 $м^3$/год на 1 $м^2$, а на відкритий гідроциклон до 18 $м^3$/год на 1 $м^2$. Застосування магнітної коагуляції дозволяє підвищити гідравлічне навантаження на очисні споруди на 30-50%. використовується технологічна схема, що включає згущення шлаку на циліндричних або магнітних згущувачах (дешламаторах) і фільтрація на фільтр-пресах; при цьому вологість зневодненого шламу не перевищуватиме 20—30%.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок реагентного господарства

2.1.1 Склад зберігання флокулянта

На очисні споруди поліакриламід (ПАА) постачається у вигляді 8% гелеподібної маси, розфасованої у мішки з поліхлорвінілової або поліетиленової плівки, які, у свою чергу, вкладені в зовнішню упаковку з паперу або тканини. Упаковані мішки розміщуються в дерев'яних ящиках загальною вагою 40–50 кг.

Зберігати ПАА необхідно в критих приміщеннях за температури не вище 25–30 °С. Допустимий термін зберігання становить не більше 6 місяців. Заморожування поліакриламіду суворо заборонене.

Приймається доза ПАА в розрахунку 1 мг/л [20]. Розрахунок добової потреби у ПАА в товарній формі з вмістом активної речовини 8% здійснюється за формулою, т/доб:

$$G_ф = \frac{Д_ф \cdot 24Q}{0{,}08 \cdot 10^6} \tag{2.1}$$

де $Д_ф$ – доза поліакриламіду, мг/л;

Q – витрата води, м^3/год.

$$G_ф = \frac{1 \cdot 24 \cdot 2100}{0{,}08 \cdot 10^6} = 0{,}63 \text{ т/доб.}$$

Кількість ящиків ПАА, розраховане на 15-ти добове зберігання, шт:

$$n = 15 \cdot G_ф/0{,}04 = 15 \cdot 0{,}63/0{,}04 = 237 \tag{2.2}$$

Площа складу для ПАА визначається за формулою, м²:

$$F_{ф} = \frac{n \cdot f \cdot \alpha}{n_{я}} \tag{2.3}$$

де n - кількість ящиків ПАА, що розраховані на 15 добове зберігання, шт.;

f – площа ящика з ПАА [21], що дорівнює 0,64 м² ;

α - коефіцієнт, що враховує площу проходів, α =1,15;

$n_{я}$ - кількість встановлених ярусів ящиків ПАА, $n_{я}$ = 5.

$$F_{ф} = \frac{237 \cdot 0{,}64 \cdot 1{,}15}{5} = 34{,}9 \text{ м}^2$$

Приймаємо приміщення складу флокулянту 6х6м, загальною площею 36м².

2.1.2 Приготування робочого розчину флокулянта

Розчин поліакриламіду (ПАА) готують у витратних ємностях, об'єм яких розраховується за формулою, м³:

$$W_{ф} = \frac{Q \cdot t \cdot Д_{ф}}{10000 \cdot b_{Р} \cdot \gamma} \tag{2.4}$$

де $Д_{ф}$ - доза поліакриламіду, мг/л;

Q – витрата води, м³/год;

t – час, на який заготовлюють розчин ПАА [20] 10…12 год;

$b_{р}$ – концентрація розчину ПАА в розчинному баці [20] 0,1 %;

γ – об'ємна маса розчину ПАА [20] 1 т/м³.

$$W_{ф} = \frac{2100 \cdot 12 \cdot 1}{10000 \cdot 1 \cdot 1} = 2{,}52 \text{ м}^3$$

Приймаємо кількість видаткових баків 2, тоді об'єм одного бака дорівнює:

$$W_{ф1} = \frac{W_{ф}}{2} \tag{2.5}$$

де $W_{ф}$ – місткість видаткових баків, м^3.

$$W_{ф1} = \frac{2{,}52}{2} = 1{,}26$$

Приймаємо тип баку з плоским днищем та пропелерною мішалкою робочим об'ємом 1,5м^3 [21] у кількості 2 шт.

2.1.3 Дозування флокулянту

Введення поліакриламіду (ПАА) у воду здійснюється за допомогою насосів-дозаторів, вагових дозувальних пристроїв та аналогічного обладнання.

Необхідну витрату насосів-дозаторів визначають за формулою, м³/год:

$$Q_{нф} = \frac{W_{ф}}{t} \tag{2.6}$$

де $W_{ф}$ - місткість видаткових баків, м^3;

t - час, на який заготовлюють розчин ПАА [20], 10…12 год.

$$Q_{нф} = \frac{2{,}52}{12} = 0{,}21 \text{ м3/год} = 210 \text{ л/год}$$

Приймаємо 3 насоси-дозатори типу НД-120/6 [21] продуктивністю 36-120 л/год, 2 робочих та 1 резервний.

2.2. Розрахунок вапняного господарства

2.2.1 Склад зберігання вапна

Для зберігання вапна необхідно передбачити складське приміщення, що забезпечує запас на 30 діб. Склади повинні розташовуватись безпосередньо поруч із приміщенням, де встановлено баки для приготування розчинів реагентів.

Площа складу для зберігання вапна в сухому вигляді, м²:

$$F_в = \frac{Q \cdot D_в \cdot T \cdot \alpha}{10000 \cdot P_в \cdot \gamma_в \cdot h} = \frac{2100 \cdot 50 \cdot 720 \cdot 1{,}15}{10000 \cdot 70 \cdot 2{,}7 \cdot 1{,}5} = 49{,}2 \quad (2.7)$$

де Q - витрата стічної води, м^3/год;

$D_в$ - розрахункова доза вапна, 50 г/м^3;

T - тривалість зберігання реагенту, T = 30 діб = 720 год;

α - коефіцієнт для обліку додаткової площі, рівний 1,15;

$\gamma_в$ - об'ємна маса реагенту, $\gamma_в$ =2,7 т/м^3;

$P_в$ - вміст вапна в сухому продукті, $P_в$ = 50 %;

h - допустима висота шару реагенту на складі для вапна - 1,5 м.

Приймаємо розмір складу 6х9м, загальною площею 54м^2.

2.2.2 Приготування робочого розчину вапняного молока

Для приготування вапняного молока необхідно передбачити наявність обладнання для гасіння вапна, а також ємностей для приготування готового розчину.

Процес гасіння здійснюється у спеціальних вапногасильних установках, куди на кожну тонну вапна додають від 7 до 10 м³ води.

Масову витрату вапна розраховують за наступною формулою:

$$G_в = D_в \cdot Q = 50 \cdot 2100 = 105000 г/год = 0{,}105 т/год. \quad (2.8)$$

Вибираємо вапногасильний апарат С-322 (продуктивність 1 т/год) – 1 шт.

Із вапногасильних апаратів вапняне молоко подається до баків. Кількість баків має бути не менше двох. Процес приготування вапняного молока здійснюється в розчинних баках, об'єм яких у м^3 розраховується за формулою:

$$W_P = \frac{Q \cdot n \cdot D_в}{10000 \cdot b_в \cdot \gamma} = \frac{37{,}41 \cdot 10 \cdot 2981}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 21 \text{ м}^3, \quad (2.9)$$

де Q - витрата стічних вод, Q =2100 м^3/год;

n - час, на який заготовлюють вапняне молоко, 10 год;

$D_в$ - доза вапна в перерахунку на CaO, г/м^3;

$b_в$ - концентрація вапняного молока, не більше 5%;

γ - об'ємна маса вапняного молока, 1 т/м^3.

Вибираємо бак типу ПМТ-25 (місткість 12,2 м^3).

Кількість баків $N = \frac{W}{W_1} = \frac{21}{12{,}2} = 1{,}7 = 2$ шт.

2.2.3 Дозування вапняного молока

Необхідну витрату насосів-дозаторів визначають за формулою (2.6), м³/год:

$$Q_{нф} = \frac{21}{10} = 2{,}1 \text{ м3/год} = 2100 \text{ л/год}$$

Приймаємо 3 насоси-дозатори типу НД-1200/6И [21] продуктивністю 360-1200 л/год, 2 робочих та 1 резервний.

2.3 Змішування реагентів

Змішування реагентів із водою, що підлягає обробці, здійснюється у гідравлічних змішувачах (вихрових або з перегородками).

Вертикальний змішувач має форму циліндричного або прямокутного резервуара з конічним або пірамідальним дном. Рекомендована витрата води на один змішувач Q_1 дорівнює 0,33 – 0,42 м^3/с.

Кількість змішувачів, шт. :

$$N = \frac{Q}{3600 \cdot Q_1} = \frac{2100}{3600 \cdot 0{,}38} = 1{,}54 \qquad (2.10)$$

Приймається два змішувачі з витратою 0,3 м^3/с

Площа поперечного перерізу верхньої частини змішувача, м^2:

$$F_B = Q_1 / v, \qquad (2.11)$$

де Q_1 - витрата води на один змішувач, до 0,33...0,42 м^3/с;

v - швидкість висхідного руху води під водозбірним пристроєм, рівна 0,03...0,04 м/с.

$$F_B = 0{,}3 / 0{,}035 = 8{,}6 \text{ м}^2$$

Діаметр верхньої частини циліндричного змішувача, м:

$$D_ц = \sqrt{4F_B / \pi} = \sqrt{4 \cdot 8{,}6 / 3{,}14} = 3. \quad (2.12)$$

Висота конічної частини змішувача, м:

$$h_к = (D_Ц - d_П) / (2 \sin \alpha/2), \quad (2.13)$$

де $d_п$ - діаметр трубопроводу, що подає, підбирається для забезпечення швидкості руху потоку в межах 1,2...1,5 м/с;

α - кут між похилими стінками нижньої частини, рівний $30...45^0$.

Діаметр трубопроводу, що подає воду на змішувач, м:

$$d_п = \sqrt{\frac{4Q_1}{\pi \cdot v_п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}3}{3{,}14 \cdot 1{,}35}} = 0{,}53$$

Приймаємо стандартний діаметр трубопроводу 500мм.

Толі висота конічної частини змішувача, згідно (2.13), м:

$h_к = (3 – 0{,}5) / (2 \cdot \sin 30/2) = 2{,}5$

Об’єм конічної частини змішувача, $м^3$:

$$V_К = \pi h_к (D_Ц^2 + d_П^2 + D_Ц \cdot d_П)/12 = 3{,}14 \cdot 2{,}5(3^2 + 0{,}5^2 + 3 \cdot 0{,}5)/12 = 24 \quad (2.14)$$

Об’єм змішувача, $м^3$:

$$V_{зм} = Q_1 \cdot t / 60, \quad (2.15)$$

де t - час змішання, 1,2...2 хв.

$$V_{зм} = 1050 \cdot 2 / 60 = 35 \text{ м}^3$$

Обсяг верхньої частини змішувача, м^3:

$$V_в = V_{зм} – V_к = 35 – 24 = 11 \quad (2.16)$$

Висота верхньої частини, що повинна знаходитися в межах 1...1,5 м:

$$h_в = V_в / F_в = 11 / 8.6 = 1.3 \quad (2.17)$$

Збір води здійснюється у верхній частині змішувача периферійним лотком через затоплені отвори при швидкості руху води через отвір $v_{отв}$ = 1 м/с.

Загальна площа отворів, м^2:

$$f_{отв} = Q_1 / v_{отв} = 0,3 / 1 = 0,3 \quad (2.18)$$

Число отворыв при його діаметрі $d_{отв}$ 50мм складає, шт:

$$n_{отв} = 4Q_1 / (\pi d^2_{отв} \cdot v_{отв}) = 4 \cdot 0,3 / (3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 1) = 153 \quad (2.19)$$

Отвори рівномірно розподіляються по периметру. Швидкість руху води в периферійному лотку $V_Л$ = 0,6 м/с, а ухил дна лотка i = 0,02.

2.4 Розрахунок камер утворення пластівців

У камерах утворення пластівців застосовують механічне чи гідравлічне перемішування.

Вихрові камери утворення пластівців проектують, як правило, вбудованими у відстійники. Площа перетину камери утворення пластівців розраховується за формулою, м^2:

$$f_{к.х.} = Q_1 \cdot t_{к.х} / (60 H_{к.х.}), \quad (2.20)$$

де Q_1 - витрата води на камеру утворення пластівців м^3/год;

$t_{к.х}$ - час перебування води в камері,15...20 хв;

$H_{к.х.}$ - висота камери утворення пластівців 3,5...4 м.

$$f_{к.х.} = 1050 \cdot 16 / (60 \cdot 4) = 70 \text{ м}^2$$

Діаметр камери утворення пластівців, м:

$$d_{к.х.} = \sqrt{4 f_{к.х} / \pi} = \sqrt{4 \cdot 70 / 3{,}14} = 9{,}44 \qquad (2.21)$$

Воду в камеру подають із двох тангенціально розташованих сопів, що знаходяться на глибині 0,5 м від поверхні води і на відстані $0{,}2 d_{к.х.}$ від стінки. Діаметр сопла, м:

$$d_c = 1.13 \sqrt{\frac{Q_1}{2 \cdot \mu_c \cdot v_c}} \qquad (2.22)$$

де μ_c - коефіцієнт витрати сопла, рівний 0,9...0,92;

v_c - швидкість виходу води із сопла, 2...3 м/с.

$$d_c = 1.13 \sqrt{\frac{0{,}3}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 2{,}5}} = 0{,}287$$

Приймаємо стандартний діаметр 300мм.

Діаметр трубопроводу, що підводить, приймають виходячи зі швидкості руху води 0,7...1,2 м/с.

$$d_c = 1.13 \sqrt{\frac{Q_1}{v_c}} = 1{,}13 \sqrt{\frac{0{,}3}{1{,}1}} = 0{,}59$$

Приймаємо діаметр трубопроводу, що підводить 600мм.

У нижній частині камери утворення пластівців встановлюються заспокійливі ґрати для гасіння обертального руху води.

2.5 Розрахунок радіальних відстійників

Діаметр відстійника, м, визначають по формулі:

$$D = \sqrt{\frac{4q}{nk\pi(u_o - \omega)}}, \qquad (2.25)$$

де q - витрата води, м^3/с;

n - кількість відстійників, не менше двох;

u_o - умовна гідравлічна крупність, м/с;

ω - турбулентна складова, м/с , табл.3.4 [20].

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2100}{3600 \cdot 2 \cdot 0{,}45 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}0006}} = 37{,}09 м$$

Приймаємо два стандартні радіальні відстійника діаметром 40м.

Швидкість на половині радіуса, м/с:

$$v = \frac{2q}{n\pi D H_p} = \frac{2 \cdot 2100}{2 \cdot 3600 \cdot 3{,}14 \cdot 40 \cdot 4{,}5} = 0{,}005 м/с, \qquad (2.26)$$

де H_p - робоча глибина відстійника, м.

Теоретична тривалість освітлення води:

$$t = n/q = n\pi D^2 H/(4q) = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 30^2/(4 \cdot 2400) = 1{,}2 год \qquad (2.27)$$

Маса уловленого осаду, т/доб.:

$$G_{сух} = \frac{(C_o - C_к) \cdot Q}{C_o \cdot 1000} = \frac{(2650 - 150) \cdot 2100 \cdot 24}{2650 \cdot 1000} = 47{,}5 \quad (2.28)$$

де C_o - початкова концентрація суспензії, г/м^3;

$C_к$ – кінцева концентрація суспензії, г/м^3;

Q - витрата води, м^3/доб.

Об'єм уловленого осаду, м^3/сут:

$$V_{ос} = \frac{100 \cdot G_{сух} \cdot 1{,}2}{(100 - W_{ос}) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 47{,}5 \cdot 1{,}2}{(100 - 95) \cdot 1{,}003} = 1137, \quad (2.29)$$

де $W_{ос}$ - вологість осаду, %;

ρ - щільність осаду, т/м^3.

Висота відстійника у стінки, м:

$$H_0 = H_p + H_1 + H_2 = 4{,}5 + 0{,}3 + 0{,}5 = 5{,}3, \quad (2.30)$$

де H_1 - висота зони накопичення осаду, рівна 0,3 м;

H_2 - узвишшя борта відстійника над крайкою збірного кільцевого жолоба, дорівнює 0,5 м.

Глибина відстійника в центрі, м:

$$H_ц = H_p + H_1 + i \cdot D/2 = 4{,}5 + 0{,}3 + 0{,}01 \cdot 40/2 = 5, \quad (2.31)$$

де i - ухил днища.

Об’єм осадової частини відстійника, м^3:

$$V_{oc}^{'} = \frac{\pi D^2}{4}\left(H_1 + \frac{iD}{6}\right) = \frac{3{,}14 \cdot 40^2}{4}\left(0{,}3 + \frac{0{,}01 \cdot 40}{6}\right) = 460 \quad . \qquad (2.32)$$

Час вивантаження осаду, год.:

$$t = V_{oc} / (2 \cdot 24 \cdot V'_{oc}) = 1137 / (2 \cdot 24 \cdot 460) = 0{,}05. \qquad (2.33)$$

2.6 Згущення та зневоднення шламів

2.6.1 Гравітаційне згущення осадів.

Питому площу згущення визначають за формулою, м^{2}год/т:

$$S_n = \frac{R_n - R_к}{\rho_m \cdot \rho_p} \qquad (2.34)$$

де R_n та $R_к$ – відношення Ж:Т в вихідній пульпі й у згущеному продукті;

ρ_m – щільність твердої фази, т/м^3;

ρ_p - щільність рідкої фази, т/м^3.

$$S_n = \frac{95/5 - 70/30}{4{,}3 \cdot 1} = 3{,}87 \quad \text{м}^2\cdot\text{год/т}$$

Загальна площа згущення, м^2:

$$S = G_{сух} \cdot S_n \qquad (2.35)$$

де $G_{сух}$ – витрата осаду по сухій речовині, кг/год.

$$S = 47{,}5 / 24 \cdot 3{,}87 = 50{,}5 \text{ м}^2$$

Приймаємо два гравітаційні згущувачі марки Ц-6 з площею згущення 28 м^2, діаметром чану 6м, робочою глибиною 2,5м та потужністю електродвигуна 2,2кВт.

2.6.2 Зневоднення осаду

Зневоднення шламу мартенівських газоочисток здійснюється на фільтр-пресах.

Загальна площа фільтрування, м^2:

$$F_ф = \frac{1000 \cdot G_{сух}}{24 \cdot q_{ос}} \qquad (2.37)$$

де $q_{ос}$ – продуктивність фільтр-преса для даного типу осаду, кг/(м^2·год).

$$F_ф = \frac{1000 \cdot 47{,}5}{24 \cdot 30} = 66 \text{ м}^2$$

Приймаємо 3 фільтри типу ФПАКМ-25М та один резервний фільтр [21].

Технічна характеристика фільтр-преса ФПАКМ-25М:

1.	Концентрація твердої фази, г/л	10-500
2.	Розмір частинок твердої фази не більше, мм	3
3.	Температура середовища, °С	5-80
4.	Максимальний робочий тиск, МПа(кгс/см)	1.2(12)
5.	Тиск промивної рідини для регенерації тканини, МПа	0.3
6.	Робочий тиск у маслосистемі управління, МПа	2(20)
7.	Поверхня фільтрування, м^2	25
8.	Зазор між фільтруючими плитами, мм	45-1,5

9. Максимальна товщина осаду, мм 35
10. Розрахункова кількість фільтруючих плит 16
11. Рекомендовані розміри фільтрувальної тканини:
    - довжина, м 50
    - ширина, мм 1100
    - товщина, мм 1,5-2
12. Потужність електродвигунів, кВт:
    а) станції водонасосної 22
    б) станції маслонасосної:
    - для механізму затиску 4
    - для гідрокерування 1,5
    в) приводу пересування тканини 5,5
    г) активатора 0,75
13. Час затискання та розтискання фільтра-преса, хв 2
14. Живлення від електричної мережі ~50 Гц 380В
15. Маса фільтра, кг 15300
16. Габаритні розміри, мм 4320 х 3820 х 2250

Витрата повітря для просушки осаду м^3/хв визначається за формулою:

$$Q_{пов} = n_ф \cdot F_{ф1} \cdot v_{пов} \qquad (2.38)$$

де $n_ф$ – кількість фільтрів, шт.;

$F_{ф1}$ – площа, фільтрування одного фільтр-пресу, м^2;

$v_{пов}$ – питома витрата повітря, м^3/(м^2·хв).

$$Q_{пов} = 3 \cdot 25 \cdot 0{,}2 = 0{,}15 \text{ м}^3/\text{хв} = 150 \text{ л/хв}$$

Приймаємо повітродувку для просушки типу ВК-1,5 [21] – 1 робоча та 1 резервна.

Витрата води на промивку фільтрувальної тканини, л/хв, визначається за формулою:

$$Q_{вод} = n_{ф} \cdot F_{ф1} \cdot v_{вод} \tag{2.39}$$

де $v_{вод}$ – питома витрата води, л/(м^2·хв).

$$Q_{пов} = 3 \cdot 25 \cdot 4 = 300 \text{ л/хв} = 18 \text{ м}^3\text{/год}$$

Приймаємо насос для промивки фільтрувальної тканини типу ВКС-4/24 два робочих та один резервний.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища на очисних спорудах

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори на очисних спорудах включають [24]:

- Рухомі частини обладнання (такого як насосні установки, силові механізми, скребки, зрошувачі, мішалки тощо);
- Відлітаючі предмети при демонтажі труб або обробці деталей;
- Небезпека ураження електричним струмом через замикання в мережі;
- Низька температура повітря у виробничих приміщеннях;
- Підвищена вологість повітря (особливо у насосних, реагентних відділеннях, на очисних спорудах);
- Підвищені рівні шуму та вібрації (особливо в машинних залах);
- Недостатнє освітлення робочої зони (в колодязях, каналах, камерах тощо);
- Вплив токсичних та інших шкідливих газоподібних речовин, присутніх у колодязях, насосних станціях, каналах.

Окрім вищезгаданого, на підприємстві існують ризики ураження електрострумом, травмування при роботі з вантажопідіймальними механізмами, отруєння при роботі з хімікатами, реагентами тощо.

Рівень виробничого травматизму та кількість професійних захворювань є ключовими індикаторами стану охорони праці. Аналіз таких випадків дозволяє виявити основні причини нещасних випадків.

Нещасні випадки на очисних спорудах умовно поділяють на три основні групи причин:

1. Технічні — недоліки конструкції або несправність обладнання, інструментів, систем, транспорту, відсутність або несправність захисних та блокувальних пристроїв, недосконалість технологій.

2. Санітарно-гігієнічні — негативний вплив технологічних виділень, контакт зі стічними водами, погане освітлення, шум, запиленість і загазованість.

3. Організаційні — відсутність належного контролю за виконанням робіт, порушення техпроцесів, неправильне розміщення обладнання, захаращення робочих зон, недотримання режиму праці, використання працівників не за фахом, відсутність або невідповідність засобів індивідуального захисту, недоліки в навчанні та інструктажі.

Серед причин травм — ігнорування працівниками правил безпеки, халатне ставлення до обов'язків, неуважність, зниження самоконтролю.

Найпоширеніші випадки нещасних подій виникають при:

- Проведенні робіт у загазованих колодязях, камерах і приміщеннях насосних та очисних станцій;
- Обслуговуванні та ремонті електрообладнання без відключення живлення і належного захисту;
- Використанні вантажопідіймальних механізмів (включно з автокранами, талями тощо);
- Контакті з забрудненими стічними водами без спецзасобів, захисного одягу та взуття;
- Відкриванні кришок колодязів без дотримання заходів безпеки.

Систематичний аналіз виробничих травм і захворювань дозволяє впроваджувати ефективні заходи з попередження нещасних випадків.

Робота насосного обладнання та переміщення рідин через трубопроводи створює шум і вібрацію. Джерела шуму — механічні (насоси) та аерогідродинамічні (рух води). За частотними характеристиками — це середньочастотний шум. Максимальний рівень звукового тиску біля насосів сягає 70 дБА, що не перевищує гранично допустимого рівня в 80 дБА [22].

У таблиці 3.1 наведено оцінку факторів виробничого процесу для оператора очисних споруд.

Таблиця 3.1 - Оцінка факторів виробничого й трудового процесу оператора очисних спорудах

№	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норматив значення (ПДК, ПДУ)	Фактич. значення	Шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I	II	III	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3 кислота CaO	 1 2	 0,2 1,0	 - -	 - -	 - -	 75 75
2.	Пил переважно фиброгенного впливу,мг/м^3	4	-				
3	Вібрація, дБ	92	75				75
4.	Шум , дбА	80	70				75
5.	Мікроклімат в приміщенні (теплий період гроку): температура повітря, ^{0}C відносна вологість,%	 18-27 65	 28 70	 1 7,7			 80 90
6.	Тяжкість и напруженість праці	середньої тяжкості IIа, помірно напружена					

Умови та характер праці характеризуються як допустимі, з незначним перевищенням окремих показників. Робоче місце відповідає вимогам технологічної документації. Передбачені пільги та компенсації: додаткова відпустка (3 дні) та видача молока.

3.2 Заходи з безпеки праці на очисних спорудах для мінімізації впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів

З метою забезпечення безпечного виконання робіт і запобігання аваріям із транспортними засобами на території очисних споруд впроваджують низку організаційних і технічних заходів. Підземні ємності покривають шаром ґрунту висотою не менше 0,7 м відносно спланованої поверхні. Додатково передбачають захист територій у місцях можливого наїзду транспорту або роботи механізмів. Відкриті резервуари, якщо їхні стінки виступають над

поверхнею менше ніж на 0,6 м, обов’язково огороджують по зовнішньому периметру.

У місцях перетину з каналами, трубопроводами та іншими небезпечними для пересування об'єктами встановлюють містки шириною не менше 0,6 м, обладнані перилами заввишки 1 м. У зонах підйому або спуску, зокрема до водозабірних споруд чи резервуарів, монтують сходи з надійними поручнями.

Для безпечного доступу в колодязі, камери й інші підземні споруди використовують стаціонарні сходи або металеві скоби. Всі люки, отвори в підлогах, заглиблені ємності, траншеї та котловани повинні бути закриті плитами, кришками або листами рифленого металу, або огороджені суцільною чи ґратчастою огорожею. У темний час доби в небезпечних місцях розміщують червоні сигнальні ліхтарі.

Поглиблення в підлогах також захищають: або перекривають плитами й кришками, або встановлюють перила висотою 1 м із суцільною обшивкою по низу (висотою 0,1 м). У всіх виробничих і допоміжних приміщеннях обладнують системи опалення, вентиляції, водопостачання, каналізації та освітлення згідно з вимогами санітарних норм.

Висота приміщень повинна становити не менше 2,2 м до виступаючих конструкцій перекриття. У місцях регулярного проходу висота до виступаючих комунікацій та обладнання має бути не меншою за 2 м, а в місцях нерегулярного проходу — не менше 1,8 м. Мінімальні розміри проходів: 1 м, дверей — 0,8 м, коридорів — 1,4 м, сходових маршів — 1,05 м.

Приміщення обладнують підйомно-транспортною технікою.

Все електрообладнання пристосоване до умов підвищеної вологості й має бути надійно заземлене, включаючи корпуси електродвигунів, каркаси рубильників, пускачів тощо. Підключення здійснюється різьбовими муфтами, а електропроводка повинна мати цілісну ізоляцію.

Промислове обладнання, включаючи насосні установки, щити, трубопроводи, арматуру та інструменти, розміщують з дотриманням нормативної ширини проходів [23]:

– між агрегатами з двигунами до 1000 В — 1 м,

– понад 1000 В — 1,2 м,

– між агрегатами і стінами в шахтах — 0,7 м,

– в інших приміщеннях — 1 м,

– між компресорами — 1,5 м,

– між обладнанням і щитами керування — 2 м.

Щоб знизити рівень шуму й вібрацій від насосів, їх монтують на віброізолюючих прокладках (гумових чи пластикових). Для зменшення аерогідродинамічного шуму плавно виконують повороти труб, застосовують дифузори та конфузори для з'єднання труб різного діаметра, а потоки зливають під мінімальним кутом і різницею швидкостей. Також автоматизовано керування обладнанням, що зменшує необхідність постійної присутності персоналу в приміщеннях з підвищеним рівнем шуму.

Обслуговуючий персонал регулярно перевіряє герметичність зварних швів і стиків трубопроводів газових систем за допомогою мильного розчину. Для виявлення витоків газу застосовують лампи ЛБВК або газоаналізатори. Використання відкритого полум'я для виявлення газу заборонене. Вхід у загазовані приміщення дозволяється лише в шлангових або кисневих протигазах ізолюючого типу.

3.3 Заходи безпеки в реагентному господарстві

Для забезпечення безпеки при роботі з реагентами та їх зберіганні необхідно обладнати приміщення ефективною вентиляцією, яка забезпечує зниження концентрації шкідливих речовин до допустимих меж. Усі роботи з реагентами мають виконуватись щонайменше двома працівниками, що використовують відповідні засоби індивідуального захисту [25].

Заборонено розбризкувати або проливати реагенти на підлогу, ґрунт, обладнання, тару чи одяг. У разі потрапляння реагентів на будь-які поверхні їх необхідно негайно прибрати та знешкодити відповідно до встановлених інструкцій.

Місця зберігання, завантаження і розвантаження реагентів мають бути оснащені достатньою кількістю засобів для ліквідації розливів або витоків.

Здійснення ремонтних робіт на трубопроводах, арматурі та апаратурі під час роботи насосів забороняється. Якщо система вентиляції зупинена або рівень шкідливих речовин перевищує допустимі значення, роботу в приміщенні слід негайно припинити.

Щоб уникнути гідравлічних ударів, відкривання та закривання запірної арматури повинно відбуватись плавно, без різких дій.

Огляд, очищення та ремонт резервуарів і трубопроводів, що використовуються для реагентів, дозволяється лише після повного їх спорожнення та знешкодження.

Крім загальної вентиляції, у зонах можливого виділення шкідливих речовин необхідно встановити місцеві витяжні пристрої з герметичними укриттями та відсмоктувачами.

У приміщеннях реагентного господарства, включаючи склади, повинні бути впроваджені хімічно стійкі покриття для підлоги, стін та несучих конструкцій. Оздоблювальні матеріали не мають сприяти накопиченню пилу чи парів і повинні легко очищуватись. Підлоги повинні бути обладнані ухилом і водовідвідними канавками, що направляють рідину в дренаж з нейтралізацією.

Під час розвантаження твердих реагентів працівники повинні користуватись засобами індивідуального захисту: респіраторами, захисними окулярами та рукавицями.

Кожен склад має бути чітко промаркований назвою реагенту. Заборонено зберігати різні реагенти без сортування.

Склади повинні бути обладнані звуковою та світловою сигналізацією для індикації зупинки вентиляції, а також мати телефонний зв'язок з керівництвом та пожежною службою.

Відділення для розчинення твердих реагентів мають бути відокремлені від інших виробничих приміщень. У них повинні бути встановлені пиловловлювальні установки та обладнання для прибирання пилу.

Розчинні ємності та відстійники слід розміщувати так, щоб забезпечити можливість повного очищення.

У реагентному відділенні необхідно впровадити автоматизований контроль рівня заповнення баків, а процеси підготовки та транспортування реагентів мають бути механізовані. Ручна праця дозволена лише при незначному обсязі споживання. Вапно слід транспортувати та готувати вапняне молоко механізовано.

Крім того, в реагентному відділенні має бути встановлена сигналізація, що сповіщає про зупинку вентиляторів.

3.4 Безпечна експлуатація обладнання у відділенні утилізації та зневоднення шламу

Радіальні згущувачі, пірамідальні та коритні відстійники повинні бути обладнані захисними огорожами, якщо їх верхній край розміщується менш ніж за 1000 мм від рівня робочого майданчика. У випадку закритих зверху пірамідальних відстійників огородження по периметру не є обов'язковим, проте всі технічні отвори, люки та ревізійні лази мають бути щільно зачинені металевими кришками. Пересування по краях зазначених споруд категорично заборонено [26].

Проводити підтяжку секторів барабанних або дискових вакуум-фільтрів під час їхньої роботи не дозволяється. При експлуатації фільтрувального обладнання очищення рам і фільтрувального полотна від кеку слід здійснювати лише спеціальними лопатками.

У момент роботи затискного механізму фільтр-преса забороняється втручатися в положення рам, плит або серветок. Перед розбиранням фільтр-прес необхідно продути стисненим повітрям для повного видалення залишків рідини; демонтаж допускається тільки за участі не менш ніж двох працівників.

У разі обриву дроту стягування під час обертання барабана вакуум-фільтра ліквідувати несправність заборонено.

Барабанні фільтри, обладнані системою змиву осаду, повинні мати захисне огородження, яке запобігає потраплянню бризок на персонал. Листові фільтри з висувними рамами мають бути забезпечені стаціонарними робочими майданчиками для зручного та безпечного змивання осаду.

3.5 Технічні заходи з виробничої санітарії на очисних спорудах

3.5.1 Мікроклімат

З метою створення безпечних і комфортних умов праці у виробничих приміщеннях необхідно підтримувати оптимальні параметри мікроклімату — температуру, вологість та швидкість руху повітря [27].

Перегрів організму може стати причиною теплового удару при температурі тіла, що досягає 40°C. Натомість, тривале перебування при низьких температурах, особливо в неопалюваних приміщеннях (наприклад, у цехах із зберігання реагентів), призводить до переохолодження та підвищеної сприйнятливості до інфекцій.

Висока вологість, характерна для більшості об’єктів очисних споруд, підсилює негативний вплив як перегрівання, так і переохолодження.

3.5.2 Організація вентиляції та опалення

Серед основних технічних заходів, які спрямовані на зниження впливу несприятливих факторів виробничого середовища, — впровадження автоматизації, механізації та електрифікації робіт, що є трудомісткими або шкідливими з точки зору санітарно-гігієнічних вимог [28]. Важливо також забезпечити герметичність обладнання, трубопроводів і резервуарів, а також дотримання належних умов зберігання матеріалів.

Контроль за концентрацією шкідливих речовин у повітрі на робочих місцях дозволяє підтримувати безпечні умови праці та запобігати перевищенню допустимих норм [29]. У випадках розливу рідин, переміщення сипучих матеріалів, витоків через нещільності або порушення технологічних процесів необхідно використовувати ефективну систему вентиляції.

Вентиляційні системи поділяються на:

- витяжні, що видаляють забруднене повітря;
- припливні, що подають свіже повітря;
- припливно-витяжні, які забезпечують одночасну подачу і видалення повітря.

Для працівників, які перебувають у зонах з підвищеною температурою, організовується подача охолодженої газованої підсоленої води.

У приміщеннях, де можливе раптове викидання шкідливих або різко пахнучих речовин, додатково встановлюють аварійну вентиляцію, яка вмикається вручну або автоматично за сигналом газоаналізаторів.

Для підтримання параметрів мікроклімату можуть застосовуватися системи кондиціонування повітря, які регулюють температуру, вологість і чистоту повітря в автоматичному режимі.

3.5.3 Освітлення виробничих приміщень

Освітлення є одним з ключових чинників, що впливають на створення безпечних і продуктивних умов праці. Недостатній рівень освітленості призводить до швидкої втомлюваності працівників, зниження працездатності, неуважності та може спричинити нещасні випадки [30].

Вдень освітлення забезпечується за рахунок природного світла, що надходить через вікна та інші засклені елементи. У разі недостатньої природної освітленості використовують штучне освітлення, застосовуючи світильники різних типів.

Норми освітленості [31]:

- При постійному спостереженні за процесами — не менше 75 лк;
- При періодичному контролі — не менше 50 лк;
- У медпунктах — 200 лк;
- У гардеробних та вмивальнях — 75 лк;
- У душових — 50 лк;
- У кабінетах охорони праці,
- На панелях приладів і навчальних дошках — 300 лк;

Аварійне освітлення: сходи, підлоги, основні проходи — не менше 0,3 лк, а рівень загального аварійного освітлення має бути не менше 10% від основної норми.

Штучне освітлення буває:

- Робоче — для забезпечення нормальної освітленості в процесі праці;
- Аварійне — вмикається при зникненні основного освітлення.

Працездатність аварійного освітлення регулярно перевіряється, а вмикання здійснюється вручну або автоматично згідно з інструкцією з техніки безпеки.

Мережі аварійного освітлення повинні бути під’єднані до незалежного джерела живлення. Підключення інших споживачів до цієї мережі не допускається.

За станом освітлювального обладнання слід постійно стежити. Чисте скло пропускає до 90% світлового потоку, тоді як забруднене — лише близько 8%. Миття світлових прорізів потрібно проводити не рідше двох разів на рік, а у запилених приміщеннях — частіше, за потреби.

Регулярна заміна ламп, очищення світильників, а також прибирання пилу з поверхонь стін і стелі сприяє підтриманню належного рівня освітленості. Роботи на висоті або з електрообладнанням виконують лише інструктовані працівники, які пройшли відповідну підготовку.

3.6 Електробезпека на очисних спорудах

На очисних спорудах основними споживачами електроенергії є насосне обладнання та система освітлення. Щоб уникнути небезпеки ураження електричним струмом, впроваджуються засоби дистанційного керування, блокування та попереджувальна сигналізація. Ці заходи значно знижують ймовірність випадкового контакту працівників зі струмопровідними частинами обладнання.

Особливу увагу слід приділяти захисту персоналу в ситуаціях, коли внаслідок пошкодження ізоляції напруга може з’явитися на металевих, зазвичай неструмоведучих, частинах. Один із найефективніших способів захисту в такому випадку — захисне заземлення, яке передбачає з'єднання металевих елементів обладнання з землею. Завдяки цьому струм, що проходить через тіло людини при дотику до пошкодженого устаткування, зменшується до безпечного рівня.

Відповідно до Правил безпечної експлуатації електроустановок [33], захисне заземлення обов’язкове для таких об’єктів :

- усіх неструмоведучих металевих частин електроустановок з напругою 500 В і вище (змінного або постійного струму), незалежно від їхнього розміщення (у приміщенні чи на відкритому повітрі);
- електроустановок з напругою понад 36 В (змінного струму) і понад 110 В (постійного струму), якщо вони експлуатуються у вологих або особливо небезпечних приміщеннях, а також на відкритому повітрі;
- корпусів електричних машин і трансформаторів, апаратів, розподільчих пунктів і щитів, елементів освітлювальної арматури, оболонок кабелів, екранів, огорож електроустановок, а також металевих конструкцій підкранових шляхів.

Заземлення не є обов'язковим для електроустановок з напругою до 36 В змінного струму або до 110 В постійного струму (за винятком вибухонебезпечних об'єктів), а також для арматури підвісних і штирових ізоляторів, кронштейнів, освітлювальної арматури, встановленої на дерев'яних конструкціях, якщо це не вимагається умовами блискавкозахисту.

Для підвищення ефективності основних засобів електробезпеки застосовують також додаткові ізолювальні засоби, до яких належать: діелектричні килимки, рукавички, калоші, взуття та ізолюючі підставки. Ці засоби підсилюють рівень захисту та знижують ризик ураження.

Всі засоби захисту підлягають періодичному випробуванню згідно з чинними нормами. Після перевірки на кожному засобі ставиться маркування з датою наступного випробування. Заборонено використовувати захисні пристрої, які не пройшли перевірку або термін випробування яких минув.

У процесі експлуатації споруд широко застосовуються переносні електричні машини. У вологих або сирих приміщеннях дозволяється використовувати обладнання лише II або III класу захисту.

3.7 Пожежна безпека очисних споруд

Рівень пожежної та вибухонебезпеки виробничих будівель і споруд очисної станції визначається специфікою технологічних процесів, які впливають на ймовірність виникнення загорянь і масштаби можливих пожеж.

Основні причини виникнення пожеж на очисних спорудах — це несправність або неправильна експлуатація електрообладнання, а також порушення правил пожежної безпеки під час проведення зварювальних робіт.

До категорії «Д» належать виробництва, де використовуються речовини й матеріали у холодному стані (наприклад, насосні станції, відстійники тощо).

Пожежонебезпечні приміщення класифікуються наступним чином [25]:

- II-I — ремонтні цехи електродвигунів;
- II-IIа — мийні, підготовчі, верстатні, інструментальні та ремонтні дільниці механічних майстерень;
- II-I — приміщення з масляними трансформаторами та КТП на 6 (10) кВ.

Вибір будівельних рішень та обладнання приміщень залежить від категорії виробництва і класу пожежо- та вибухонебезпеки.

Керівник підприємства несе загальну відповідальність за забезпечення пожежної безпеки, тоді як на кожному робочому місці відповідає майстер. Перед початком роботи всі працівники мають пройти вступний інструктаж з питань пожежної безпеки, ознайомитися з протипожежними правилами, а також навчитися користуватися первинними засобами пожежогасіння.

Особливої обережності потребують ситуації з горінням складів, де зберігаються газові балони, адже загорання балонів може призвести до вибуху. У таких випадках слід використовувати пінні вогнегасники, водночас охолоджуючи балони водою.

У кожному приміщенні з потенційною пожежною небезпекою необхідно мати повний комплект ручного протипожежного інвентарю:

лопати, ломи, гаки, ящики з піском, бочки з водою, відра та вогнегасники, які мають регулярно проходити перезарядження. Усе обладнання має бути розміщене в легкодоступних місцях.

Площа станції нейтралізації становить 2160 м², тому передбачено встановлення на поверсі таких вогнегасників: два пінні ОВП-10 і два вуглекислотні ОУ-10.

На підприємствах застосовуються автоматичні системи пожежогасіння водою — спринклерні та дренчерні установки. Спринклерна система — це розгалужена мережа труб, розміщена під стелею, яка приєднана до пожежного водопроводу. У трубах встановлені спринклерні головки з легко плавкими замками. У разі пожежі замок розплавляється, відкриваючи отвір, через який вода розпилюється по приміщенню. Дренчерна система функціонує аналогічно, але приводиться в дію автоматично при виявленні диму, полум’я або підвищення температури, а також може бути увімкнена вручну.

3.8 Інженерне обґрунтування системи захисного заземлення

Трансформатор розміщений у спеціально зведеній будівлі, що окремо розташована поруч із приміщенням очисних споруд. Габарити трансформаторної підстанції складають: ширина — 9 м, довжина — 18 м.

З огляду на те, що на підприємстві використовується трифазна мережа змінного струму напругою 380/220 В з трипровідною системою без нульового проводу, як захист від ураження електричним струмом передбачено застосування захисного заземлення. Електроустановки заземлюються за допомогою спеціальних заземлювальних пристроїв.

Для даного об’єкта підібрана конструкція комбінованого заземлення. Його ефективність оцінюється за опором розтікання струму при замиканні на землю. Передбачено використання вертикальних електродів зі сталевих труб діаметром 25 мм і довжиною 3 м, а також сталевої смуги шириною 50 мм,

прокладеної горизонтально на глибині 1 м. Характер ґрунту — змішаний, з питомим опором $\rho_{гр} = 0{,}9 \cdot 10^4$ Ом·см. Об’єкт розташований у II кліматичному районі, потужність трансформатора з ізольованою нейтраллю — 180 кВА.

Тип заземлювального пристрою обрано контурного типу — він розміщується по периметру підстанції. Вертикальні електроди встановлюються з інтервалом 5 м один від одного.

Для електроустановок з напругою до 1000 В при ізольованій нейтралі допустимий опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати $R_{з.п.} =$ 4Ом. У II кліматичній зоні для комбінованих заземлювачів застосовується кліматичний коефіцієнт $\psi_1 = 1{,}5$. Відповідно, розрахунковий питомий опір ґрунту для розтікання струму дорівнює:

$$\rho = \rho_{гр} \cdot \psi_1 = 0{,}9 \cdot 10^4 \cdot 1{,}5 = 13500 \text{ Ом·см} = 135 \text{ Ом·м} \qquad (3.1)$$

Далі обчислюються окремо опори розтікання вертикальних ($R_в$) і горизонтального ($R_г$) елементів:

Для вертикальних трубчастих електродів (стержневого типу) опір визначається за відповідною формулою залежно від довжини електрода, його діаметра і питомого опору ґрунту.

$$R_B = \left(\frac{\rho}{2\pi l} \right) \cdot \ln\left(\frac{4l}{d} \right), \qquad (3.2)$$

де ρ - питомий опір ґрунту, Ом·м;

l – довжина заземлювача, м;

d – діаметр заземлювача, м.

Підставляємо значення, отримуємо:

$$R_B = \left(\frac{135}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3}\right) \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 3}{0.025}\right) = 44{,}0 Ом$$

Для горизонтального заземлювача у вигляді сталевої смуги враховується його довжина, глибина укладання та ширина.

$$R_Г = \left(\frac{\rho}{2\pi l}\right) \cdot \ln\left(\frac{L_Г}{dt}\right), \quad (3.3)$$

де $L_г$ – сумарна довжина заземлювача, м;

$$L_Г = n \cdot l = 12 \cdot 3{,}0 = 36 м; \quad (3.4)$$

n – кількість електродів;

t- глибина розташування електроду в землі, м;

При цьому розрахунковий діаметр для смуги становить d = 0,5 · b = 0,025 м.

Враховуючи, що обрано контурне заземлення з 12 вертикальними електродами, при кроці між ними а = 5 м, співвідношення $а/l_в = 5/3 = 1{,}7$.

$l_В$ – шаг між електродами, $l_В = L_г/п = 36/12 = 3$ м

Згідно з нормативними таблицями визначено коефіцієнти використання електродів:

- для вертикальних —0,68,
- для горизонтального — 0,40.

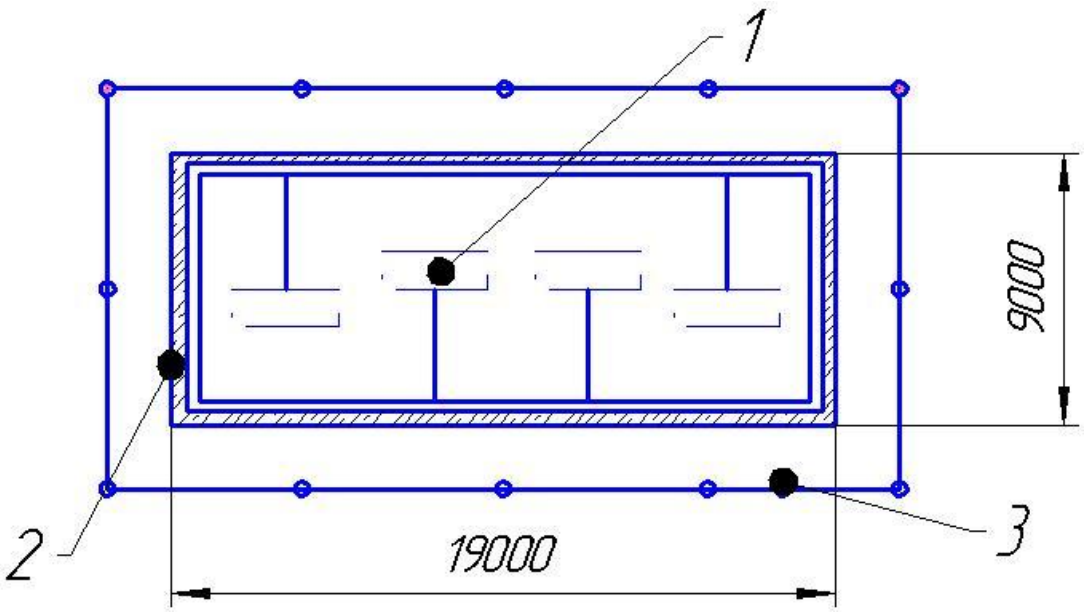
Сумарний опір розтікання комбінованого заземлювача розраховується з урахуванням цих коефіцієнтів.

$$R = \frac{R_B \cdot R_Г}{(R_B \eta_Г + R_Г \eta_B n)} \quad (3.5)$$

$$R = \frac{44{,}0 \cdot 6{,}1}{44{,}0 \cdot 0{,}40 + 6{,}1 \cdot 0{,}68 \cdot 12} = 3{,}98 Ом$$

За підсумками розрахунку загальний опір становить R = 3,98 Ом, що відповідає нормативу ($R < R_{доп}$).

Таким чином, проєктований заземлювальний пристрій являє собою контур з 12 вертикальних стержневих електродів довжиною 3 м і діаметром 25 мм, а також горизонтальної сталевої смуги перерізом 4×50 мм, прокладеної на глибині 1 м. Схематичне зображення заземлювальної системи наведено на рисунку 3.1.



1 – трансформатор очисних спорудах; 2 – будівля підстанції; 3 - електроди

Рисунок 3.1 - Схема контурного заземлювача

ВИСНОВКИ

Проведено огляд сучасних методів і способів мокрої очистки технологічних газів мартенівського виробництва.

Встановлено основні технологічні параметри процесу очищення газів, що впливають на формування стічних вод.

Окреслено головні кількісні та якісні характеристики стічних вод і наявних у них забруднюючих речовин.

Здійснено аналіз наявних технологій очищення стічних вод мартенівського виробництва.

Розроблено технологічну схему обробки стічних вод системи мокрої очистки технологічних газів мартенівських печей із подальшою підготовкою вловленого шламу до утилізації.

Виконано вибір і розрахунок основного обладнання для очищення води, а також підібрано та розраховано допоміжне устаткування.

Проаналізовано основні шкідливі та небезпечні фактори виробничого середовища на станції очищення стічних вод і запропоновано заходи для їх усунення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник для металург. спец. вищ. навч. закл./Д. Ф. Чернега та ін. Київ: Вища шк., 2006. 503 с.

2. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній і комплексів металургійних цехів: монографія. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2009. 430 с.

3. В.В. Шаравара. Охорона атмосферного повітря: теорія і практикум. Навчальний посібник. − Кам'янець-Подільський, 2012. 356с.

4. Теоретичні основи охорони навколишнього середовища / І.А. Василенко, М.І. Скиба, О.А. Півоваров, В.І. Воробйова. Дніпро: Акцент ПП, 2017. 204 с.

5. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Технічні засоби очищення газових викидів. Навч.посіб. – Вінниця: ВНТУ, 2005. 158с.

6. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 2. Методи очищення стічних вод : підручник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В., Сакалова Г. В. та ін. – Херсон : Олді-плюс, 2019. – 298 с.

7. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: навч.посіб. / Одеськ.держ.екол.ун-т. Одеса: ТЕС, 2018. 228с.

8. Гічов Ю.О. Очищення газів. Частина ІІ: Конспект лекцій. – Дніпро: НМетАУ, 2015. 46с.

9. Денисов С.І. Уловлювання та утилізація пилів та газів: навч. посібник. Київ: Вища школа, 1992. 333 с.

10. Захист навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування: навч. посібник / Н.А. Шаройко та ін. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 395с

11. Самойленко Н.М., Аверченко В.І., Байрачний В.Б. Системи технологій та промислова екологія. Металургійний та енергетичний комплекс Ч. І.: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», Лідер, 2020. 212 с.

12. Екологічні аспекти металургійних технологій (1 ч.): навч. посібник/Грес Л.П. та ін. Дніпро: Україн. держ. ун-т науки і технол., 2022. 106 с.

13. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери: навчальний посібник/Северин Л.І. та ін. Вінниця: ВНТУ, 2012. 388 с.

14. Крусір Г.В., Мадані М.М., Гаркович О.Л. Техніка та технології очищення газових викидів: навчальний посібник. Одеса: ОНАХТ-Одеса, 2017. 207 с.

15. Клименко В.В., Кравченко В. І., Телюта Р. В. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах та установках: навчальний посібник. Кропивницький: ПП Ексклюзив – Систем, 2020. 2019 с.

16. Гічов Ю.О., Бойко В.М., Адаменко Д.С. Котли-утилізатори та їх тепловий розрахунок: навч. посібник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2004. 46. с.

17. Гіроль М.М., Гіроль А.М., Гіроль А.М. Технології водовідведення промислових підприємств. Навч.посіб. Рівне: НУВГП, 2013. 625с.

18. Л.Ф. Долина, П.Б. Машихіна, В.А. Козачина. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення: Монографія: – Дніпро: Журфонд, 2021. 220 с.

19. Процеси та апарати природоохоронних технологій. Підручник : Т.2 / Л. Д. Пляцук, Р. А. Васькін, В. П. Шапорев та ін. Суми : Сумський державний університет, 2017. 521 с.

20. Технології захисту гідросфери : метод. вказівки до практ. занять / Кожемякін Г.Б., Прутцьков Д.В., Вагін А.В. – Запоріжжя : ЗНУ, 2023. – 73 с.

21. Теоретичні основи та техніка захисту водного басейну : метод. вказівки до викон. курс. проекту та лаб. робіт / Г. Б. Кожемякін, К. В. Бєлоконь. – Запоріжжя : ЗДІА, 2011. – 96 с.

22. Полєтаєв В.П., Крюковська О.А. Охорона праці в галузі (для спеціальності «Металургія чорних металів») : навчальний посібник/під ред. д.т.н., проф. А. П. Огурцова. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 363 с.

23. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібн. ч.4: Енергетичний комплекс/В.О. Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Ліра ЛТД, 2004 256с.

24. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник / Т. С. Айрапетян; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х: ХНАМГ, 2010. 280 с.

25. НПАОП 27.0-7.04-21 Мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості: Наказ Мінекономрозвитку від 19.03.2021 № 569 «Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості» // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0606-21#Text

26. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці: навч. посібник, [для студ. вищ. навч. закл.]. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 280 с.

27. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: Постанова МОЗ України №42 від 01.12.99 / База даних «Законодавство України»/ВР України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text

28. Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 380 с

29. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування": Наказ Мінрегіонбуду України від 25.01.2013 № 24 Про затвердження ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування"/ База даних «Законодавство України»/ВР України. URL:https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024858-13#Text

30. Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Пістун. Охорона праці: навч. посібник /2-ге вид., стереотип. Суми: Унів. книга, 2007. 495 с.

31. ДБН В.2.5.-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Мінбуд України, 2006 76 с.

32. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ України №37 від 01.12.99/ База даних

«Законодавство України»/ВР України. URL:https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text

33. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»: Наказ Мінсоцполітики № 4 від 09.01.98/ База даних «Законодавство України»/ВР України. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text