Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

Кваліфікаційна робота

на тему *«Розробка системи очистки газів міксерного відділення мартенівського цеху»*

Виконав: студент *2* курсу, групи *8.183З-дн*

спеціальності
183 Технології захисту навколишнього середовища
освітньої програми
Технології захисту навколишнього середовища

спеціалізації

(шифр і назва)
П.О. Одинцова

Керівник *доцент, д.хім. н. Прутцьков Д.В.*

Рецензент *доцент, к.т.н. Бєлоконь К.В.*
(прізвище та ініціали) (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 *другий магістерський рівень*
(другий (магістерський) 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
«___» _____2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Одинцова Поліна Олегівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *« Розробка системи очистки газів міксерного відділення мартенівського цеху»*

керівник роботи *Прутцьков Дмитро Володимирович, д.хім.н., професор*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *"__"____* 2024 року *№ __*

2. Строк подання студентом роботи *04.02.2025*

3. Вихідні дані до роботи – об'ємна витрата газу при нормальних фізичних умовах (НФУ) 67000 нм^3/год, температура газу перед рукавним фільтром 126,3 ºС, розрідження перед рукавним фільтром (зонт та І розрахункова ділянка) 0,6 кПа, густина частинок пилу 2840 кг/м, пористість тканини лавсан 0,75, барометричний тиск 100 кПа, запилення газу перед фільтром при (НФУ) 3,0 г/м^3, середній медіанний діаметр 2,4 мкм.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *вступ, загальна частина, спеціальна частина, охорона праці та техногенна безпека, організаційно-економічна частина, висновки, перелік джерел посилань.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкови креслень)
презентаційний матеріал на 10 слайдах (на 10 сторінках)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Загальна частина	*Прутцьков Д.В., професор*	
Спеціальна частина	*Прутцьков Д.В., професор*	
Контрольно-вимірювальні прилади та автоматика	*Прутцьков Д.В., професор*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Прутцьков Д.В., професор*	
Організаційно-економічна частина	*Прутцьков Д.В., професор*	
Нормоконтроль	*Вагін А.В., доцент*	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Загальна частина*		
3	*Спеціальна частина*		
4	*Охорона праці та техногенна безпека*		
5	*Організаційно-економічна частина*		
6	*Висновки*		
7	*Презентація*		

Студент _____ *Поліна ОДИНЦОВА*

Керівник роботи _____ *Дмитро ППРУТЦЬКОВ*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

Реферат

Кваліфікаційна робота: 95 стор., 13 табл., 7 рис., 15 джерел.

МАРТЕНІВСЬКИЙ ПРОЦЕС, ЧАВУН, МІКСЕРНЕ ВІДДІЛЕННЯ, МІКСЕР, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, АЕРАЦІЯ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Об’єкт роботи – ділянка газоочищення міксерного відділення мартенівського цеху.

Предмет роботи – система очищення газів міксерного відділення мартенівського цеху.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка системи очистки газів міксерного відділення мартенівського цеху.

У загальній частині розглянуто мартенівське виробництво, описано обладнання міксерного відділення та характеристика технологічного процесу. Дана характеристика пилогазових викидів міксерного відділення. У спеціальній частині зроблено обґрунтування системи газоочищення пилогазових викидів міксерів, виконано розрахунок газоочисного устаткування і газовідвідного тракту. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуто шкідливі та потенційно небезпечні фактори виробничого середовища, запропоновано заходи захисту від них. В організаційно-економічній частині наведено основні положення з організації праці, виконано розрахунок капітальних вкладень та експлуатаційних витрат.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 9
1.1 Короткий опис мартенівського процесу 9
1.2 Способи зберігання та доставки чавуну в сталеплавильні цехи 14
1.3 Конструкція стаціонарних міксерів 18
1.4 Технологічний процес роботи міксерного відділення мартенівського цеху 21
1.4.1 Прийом чавуну в міксери 22
1.4.2 Зберігання чавуну у міксерах 23
1.4.3 Видача чавуну з міксерів 24
1.5 Характеристика пилогазових викидів міксерного відділення 25
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 27
2.1 Аналіз існуючих схем очищення газів міксерного відділення мартенівського цеху 27
2.2 Вибір та обґрунтування способу та технологічної схеми очищення газів 30
2.2.1 Принцип роботи рукавного фільтра 31
2.3 Розрахунок рукавного фільтра 42
2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту 48
2.5 Вибір тягодуттьового обладнання 55
2.6 Розрахунок параметрів димової труби 59
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 63
3.1 Безпека процесів міксерного відділення мартенівського цеху та його обладнання 63
3.2 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища 64
3.3 Технічні рішення щодо виробничої санітарії 67
3.4 Заходи з техніки безпеки 72

3.5 Заходи пожежної безпеки 73
3.6 Інженерна розробка заходів захисту від надлишкового тепла у міксерному відділенні мартенівського цеху 74
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 78
4.1 Розрахунок виробничої потужності та виробничої програми газоочисної установки міксерного відділення мартенівського цеху 78
4.2 Організаційна структура управління міксерним відділенням мартенівського цеху 80
4.3 Розрахунок чисельності робочих 82
4.4 Розрахунок капітальних вкладень 85
4.5 Розрахунок експлуатаційних витрат 88
4.6 Визначення економічної ефективності від впровадження проєкту 89
ВИСНОВКИ 92
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 94

ВСТУП

Захист довкілля від шкідливих викидів одна із найгостріших проблем сучасності. Забруднення атмосфери та світового океану вже зараз загрожує існуванню рослинності та тваринам. У планах економічного та соціального розвитку країни зазначено необхідність збільшення випуску високоефективних пиловловлювачів; вдосконалення технологічних процесів з метою скорочення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище та поліпшення очищення газів від шкідливих домішок.

Серед проблем захисту навколишнього середовища найбільш актуальною є охорона повітряного басейну, оскільки забруднене повітря погіршує екологічні умови, призводить до передчасного зношування основних фондів промисловості, об'єктів житлово-комунального господарства тощо.

Вирішення проблеми очищення газів зазвичай зводилося до уловлювання (знешкодження) шкідливих домішок з газів. Проте, друга частина цієї проблеми – використання уловлених продуктів та інших відходів виробництва – не завжди залишалася вирішеною.

В даний час на підприємствах чорної металургії, зокрема у сталеплавильних цехах, викидається в атмосферу велика кількість пилу, оксиду вуглецю та діоксиду сірки. Крім того, у викидах міститься значна кількість вуглеводнів, фтористого водню, сірководню, ціанистих сполук та ін.

При сучасному рівні розвитку техніки пиловловлення фахівці мають можливість великого вибору обладнання, апаратів та технічних рішень, що забезпечують заданий ступінь очищення газів та утилізації уловлених напівпродуктів практично для будь-якого технологічного процесу.

Спеціалізованими підприємствами серійно випускається сучасна високопродуктивна газоочисна техніка – електрофільтри, рукавні фільтри, скрубери Вентурі, фільтри-туманоуловлювачі та ін.

Організація систем знешкодження багатокомпонентних газоподібних викидів є складним науково-технічним завданням, вирішення якого, як правило, пов'язане з великими витратами матеріальних, технічних і людських ресурсів на спорудження газоочисних установок та їх експлуатацію.

Тому завдання створення та впровадження високоефективного обладнання для утилізації та знешкодження викидів, проєктування газоочисних споруд з урахуванням екологічних, економічних та соціальних інтересів є вельми актуальним.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Короткий опис мартенівського процесу

Металургійний комбінат ВАТ «Запоріжсталь» є підприємством з повним металургійним циклом і включає такі виробництва: агломераційне, доменне, мартенівське, прокатне. Одним із основних на підприємстві є мартенівський цех. До складу мартенівського цеху входять: шихтовий двір, міксерне відділення, пічний проліт, розливний проліт, 7 мартенівських печей 500 т, 1 піч 250 т і двованний сталеплавильний агрегат по 250 т.

Вихідними матеріалами для виробництва сталі: металевий і чавунний брухт, металева стружка, залізна руда, окалина, легуючі добавки – феровмісні сплави та крем'яні відходи, флюсуючі матеріали – вапняк, вапно, боксит, заправні матеріали – доломіт та магнезитовий порошок. Вихідна сировина для отримання сталі надходить у шихтове відділення мартенівського цеху. Всі матеріали складаються окремо в спеціально призначені ями, звідки вони завантажуються в мульдові склади для завантаження сталеплавильних печей. Міксерне відділення є проміжною ланкою між доменним та мартенівським цехами. Міксерне відділення мартенівського цеху служить для приймання, зберігання та усереднення за складом та температурою рідкого чавуну, що надходить з доменного цеху.

Виплавка сталі виробляється в мартенівських печах скрап-рудним процесом на рідкому чавуні. Для інтенсифікації виплавки сталі на всіх печах використовується кисень.

Мартенівську плавку можна поділити на кілька періодів:

1) заправлення печі; 2) завалка шихти; 3) плавлення шихти; 4) кипіння ванни, розкислення та легування; 5) випуск плавки.

Після випуску плавки піч оглядають та виправляють помічені неполадки. Особливо уважно оглядають подину печі. За час плавки ті

частини задньої та передньої стінок, а також укосів печі, які стикалися зі шлаком і зазнавали його впливу, зазвичай потребують профілактичного ремонту. За допомогою заправних машин на ці місця накидають заправні матеріали (зазвичай доломіт чи магнезит). Ця операція називається заправкою печі; вона проводиться обов'язково після кожної плавки. Початком періоду заправки вважається початок випуску попередньої плавки. Заправну машину слід подавати до печі до початку випуску плавки. Заправлення печі необхідно проводити в мінімально короткий час при високій температурі робочого простору, не допускаючи його охолодження, що сприяє кращому приварюванню заправних матеріалів, зменшенню їх витрати, підвищенню стійкості печі, зниженню втрат тепла, гарячому ходу наступних періодів плавки, скорочення тривалості плавки. Торкретування печі рекомендується проводити в період доведення плавки або на випуску, при цьому не допускаючи загущення шлаку заправними матеріалами. Ділянки, що знаходяться нижче рівня шлаку, заправляються в міру оголення стін та укосів під час випуску плавки [1].

При продувці ванни киснем завалка шихти проводиться в наступному порядку: на подину завалюється легковаговий брухт, потім вапняк, скрап і «козли», обріз слябів і бій злитків. Допускається завалення вапняку пошарово з металобрухтом. Шихта завалюється рівномірно по ванні. Не допускається завалка великовагового брухту поблизу газових пальників і в районі занурення кисневих фурм, щоб уникнути виведення їх з ладу.

Завалку всіх шихтових матеріалів необхідно проводити якнайшвидше при максимальному тепловому навантаженні без зниження температури склепіння печі нижче 1500 °С, для чого: завалку брухту в піч проводять, як правило, двома завалочними машинами одночасно; перерви при зміні складів із шихтою не повинні перевищувати 10-15 хвилин; кришки завалочних вікон відкривати під час завалки на мінімальний час.

Для забезпечення швидкої заливки чавуну з подальшим енергійним перебігом реакцій у ванні та спуском шлаку необхідний обов'язковий прогрів

шихти без закозлення та її місцевого розплавлення. Прогрів шихти вважається закінченим при невеликому її осіданні, легкому оплавленні кромок та зникненні плям на поверхні брухту.

Заливку чавуну проводять «під смолоскип» через два жолоби, встановлені в крайні вікна завалки. Тривалість заливання чавуну витримують не більше 15 хвилин на одножолобних печах та 25 хвилин – на двожолобних печах. Забороняється заливати чавун у піч за відсутності порожніх шлакових чаш, а також при поганому прогріванні шихти.

Все необхідне для заливки кількість чавуну подається до печі одночасно.

Продування ванни киснем починають після зливу всього чавуну в піч. На початку продування кисневі фурми необхідно опускати обережно, щоб уникнути натикання на скрап і виведення їх з ладу.

Через 10-15 хвилин після зливу всього чавуну в піч починають спуск шлаку. Своєчасне видалення шлаку - найважливіша умова отримання шлаку необхідної основності до моменту розплавлення, максимального видалення сірки та фосфору з металу та мінімальних втрат заліза зі шлаком, що збігає.

В кінці плавлення за 20-30 хвилин до повного розплавлення, відбирається попередня проба металу для визначення вмісту вуглецю та сірки.

Якщо попередня проба показує, що вміст вуглецю по розплавленню буде нижче встановленої межі для даної марки сталі, допускається доливання рідкого чавуну в кількості, що не викликає перевантаження печі та сталерозливних ковшів (не більше 5% від ваги садки).

Ознакою розплавлення вани є відсутність місцевого бурління на її поверхні.

Полірування плавки починається тільки після повного розплавлення, отримання необхідного складу металу та шлаку до моменту розплавлення та необхідної температури металу. У період полірування беруться проби металу кожні 10 – 15 хвилин, для контролю вуглецю і марганцю.

Шлак у період доведення обов'язково скачують у тих випадках, коли спуск його під час плавлення не забезпечує отримання необхідного вмісту сірки та фосфору в готовій сталі та потрібно обов'язкове оновлення шлаку. Шар шлаку в печі під час доведення повинен бути 50 – 100 мм.

З метою покращення видалення сірки та фосфору з металу в період доведення повинно бути спущено шлаку у кількості не менше ¼ чаші.

Після видалення шлаку відбирається проба металу і, якщо необхідно, проводиться подальше полірування ванни твердими окислювачами. Одночасно додається вапно для наведення шлаку необхідної основи. Присадка вапна має бути закінчена не пізніше 15 хвилин до початку чистого «кипіння».

Показниками нормального проведення полірування є:

- швидкість вигоряння вуглецю; у цей період має бути не нижче 0,25 % на годину для 500-т печей;
- температура металу; до моменту початку кипіння має бути на 10-30°С нижче необхідної перед випуском плавки.

Призначення періоду чистого кипіння – нагрівання металу та шлаку до необхідного складу на момент розкислення.

Початок періоду чистого кипіння визначається утворенням сформованого рідкорухливого шлаку.

Кінцевим періодом чистого кипіння є початок випуску плавки або присадки розкислювачів у піч.

Тривалість періоду чистого кипіння повинна бути в межах 30 - 60 хвилин.

Вміст вуглецю в металі до початку чистого кипіння повинен бути вищим за середньозаданий не менше ніж на 0,1 % для сталей із вмістом вуглецю в ковшовій пробі 0,12 % і менше; на 0,2% - для решти марок сталі.

На початку чистого кипіння через кожні 10 - 15 хвилин і безпосередньо перед випуском плавки (розкислення в печі), відбираються проби металу для контролю вмісту вуглецю та марганцю (сірки та інших елементів на розсуд

майстра). На момент випуску плавки повинні бути відомі результати аналізу хімічним способом останніх двох проб металу.

Швидкість вигоряння вуглецю в період чистого кипіння має бути не меншою: до 0,12 % С – 0,07 % на годину; 0,12% і більше – 0,20% на годину.

Перед випуском плавки (розкисленням у печі) відбирається проба шлаку визначення основності і вміст FeO.

Основність шлаку під час доведення повинна підвищуватися і на момент випуску бути щонайменше 2,5. Рекомендується основність шлаку 2,5-3,5.

Температура металу перед випуском повинна бути в межах: для сталі менше 0,12 % С – 1610 – 1620 °С; 0,12 % і більше – 1605 – 1615 °С.

Продування ванни киснем припиняти при вмісті вуглецю в металі не менше 0,08%.

При проведенні розкислення мартенівської сталі розкислювачі в метал зазвичай вводять у два прийоми: частина розкислювачів - у піч, частина - на струмінь металу, що витікає під час випуску з печі в ківш, або безпосередньо в ківш. При введенні в піч частина розкислювачів потрапляє в шлак, частина залишається на межі шлаку з металом. В результаті знижується активність оксидів заліза в шлаці, у верхніх шарах ванни зростає концентрація елементів-розкислювачів, внаслідок чого потік кисню в глиб ванни з атмосфери печі та з шлаку на якийсь короткий час припиняється. Надрівноважний кисень, що був у ванні, продовжує ще деякий час взаємодіяти з розчиненим у металі вуглецем, але оскільки приплив нових порцій кисню у ванну припинено, загальний вміст кисню знижується і кипіння ванни припиняється (тобто ванна заспокоїлася). Такий стан ванни продовжується протягом 10-20 хв залежно від місткості печі та кількості введених розкислювачів. За цей час необхідно уточнити та скоригувати склад ванни, потім випустити плавку. Якщо з якихось причин плавка з печі не випущена, то процес передачі кисню з атмосфери печі у ванну, що безперервно триває, приведе до поверхневого окислення ванни і вона знову

закипить, тому тривалість періоду розкислення суворо регламентується технологічною інструкцією.

Чад розкислювачів і легуючих добавок при введенні в піч вище, ніж при введенні їх в ківш, тому основну масу розкислювачів і легуючих добавок вводять в ківш (і на струмінь металу, що падає в ківш).

При розкисленні в ковші розмір шматків розкислювачів та легуючих повинен бути не більше 50 мм; вага шматків чушкового алюмінію – трохи більше 4 кг.

Розкислювачі та легуючі, які вводять у піч повинні бути сухими.

Введення розкислювачів у ківш відбувається рівномірно за допомогою бункерів-дозаторів.

Для забезпечення однорідності складу металу присадку розкислювачів в ківш необхідно починати при наповненні ковша металом на 1/5 висоти, проводити рівномірно і закінчувати при наповненні на 1/2 висоти.

Тривалість випуску плавки має бути 15-25 хвилин.

Витримка металу в ковші від кінця випуску до початку розливки має бути не більше 20 хвилин. Затримка плавок на стенді не дозволяється [1].

Сталь випускають у розливний ківш, а потім розливають у металеві виливниці. Після затвердіння металу одержують сталеві зливки, які надалі піддаються обробці тиском, прокатці.

1.2 Способи зберігання та доставки чавуну в сталеплавильні цехи

Застосовують два способи зберігання та транспортування рідкого чавуну в сталеплавильні цехи:

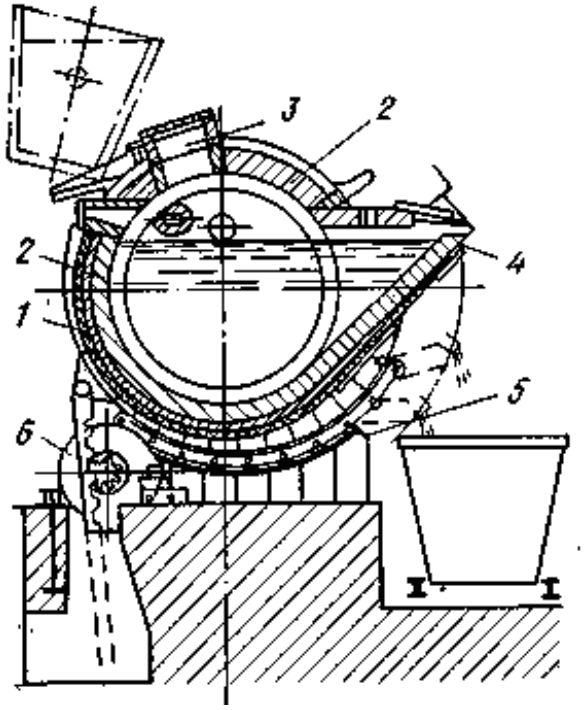
- чавуновозами невеликої місткості (до 140 т) від доменного до сталеплавильних цехів на невеликі відстані до стаціонарних міксерів великої місткості (до 2500);
- пересувними міксерами великої (до 600 т) місткості, що транспортують рідкий метал на великі відстані [2].

Склад та температуру чавуну кількох плавок (випусків з доменної печі) необхідно вирівняти. Для цієї мети служать спеціальні агрегати-міксери. Використання міксера дозволяє мати певний запас чавуну, що гарантує ритмічну роботу сталеплавильного цеху. Якщо доменний цех не забезпечує випуск чавуну строго певного складу і температури, і сталеплавильному цеху необхідно весь час мати певний запас рідкого чавуну, будують спеціальне міксерне відділення, в якому встановлюють один або два стаціонарні міксери. Місткість типових стаціонарних міксерів становить 600, 1300 та 2500 т.

У міксер з одного боку заливають чавун, що надходить у чавуновозних ківшах з доменного цеху, а з іншого (протилежного) боку при необхідності чавун з нього зливають у ковші для подачі до сталеплавильних агрегатів. Міксерне відділення пов'язане естакадою з робочим майданчиком сталеплавильного цеху. По естакаді склади з чавуновозними ковшами транспортуються безпосередньо до печей чи конвертерів. Міксери, в яких проводять певні технологічні операції (наприклад, видалення кремнію), називають активними (на відміну від звичайних, які можна назвати неактивними) [3].

Міксер (рис. 1.1) виготовляють у вигляді посудини циліндричної бочкоподібної форми з кожухом із сталевого листа, футерованим зсередини вогнетривкою цеглою. Склепіння міксера, що не стикається з чавуном, викладають із шамотної цегли, стінки та дно – з магнезитової цегли. Товщина футерування становить 650-700 мм, стійкість футерування міксерів дорівнює 0,5-1,5 років.

У верхній частині міксера розташований люк для заливання чавуну; у бічній частині – носок для зливу чавуну. Для зменшення теплових втрат люк та носок мають кришки. Чавун зливають через зливний носок, повертаючи міксер навколо горизонтальної осі. З цією метою міксер встановлений на роликових катках та забезпечений механізмом повороту.



1 – кожух; 2 – футерування; 3 – заливний отвір; 4 – зливний носок; 5 – роликові опори; 6 – механізм повороту

Рисунок 1.1 – Міксер

Для запобігання охолодженню чавуну та забезпечення нагріву вогнетривкої кладки міксери опалюються природним газом за допомогою пальників, встановлених у торцях та зливному носку (пропускна здатність відповідно по 15 та 100 м^3/год) [3].

Роль міксера зводиться не лише до зберігання запасу чавуну. У міксері відбувається вирівнювання хімічного складу та температури чавуну різних плавок. Постійність складу та температур чавуну значно полегшує роботу мартенівських печей.

Для забезпечення досить хорошого усереднення не допускається випорожнення міксера більш ніж на 50% його ємності, а чавун у міксері має бути близько 7 годин.

При витримці в міксері з чавуну видаляється сірка внаслідок її взаємодії з марганцем по реакції:

$$[FeS] + [Mn] = (MnS) + Fe - 124730 \text{ Дж}$$

Сульфід марганцю малорозчинний в металі і переходить в шлак. ; CaO 20-35; MgO 3-15; $A1_2O_3$ 4-8; MnO 2-10; S до 2. Через високий вміст SiO_2 (30-35%) шлак інтенсивно роз'їдає основну футеровку міксера, тому в міксер рекомендується завантажувати вапно або доломіт. Сірка, а також кремнезем, що містяться в міксерному шлаку, є небажаними компонентами. Теоретично цей шлак не повинен потрапляти до сталеплавильного агрегату, оскільки зазвичай він майже не містить заліза і в ньому істотна кількість SiO_2 і сірки. Крім того, цей шлак, по суті, є баластом. У зв'язку з цим шлак з міксера періодично видаляють (через носок машинами гребкового типу) [1].

Витрата палива на пальники невелика і продукти згоряння виходять прямо в міксерне відділення.

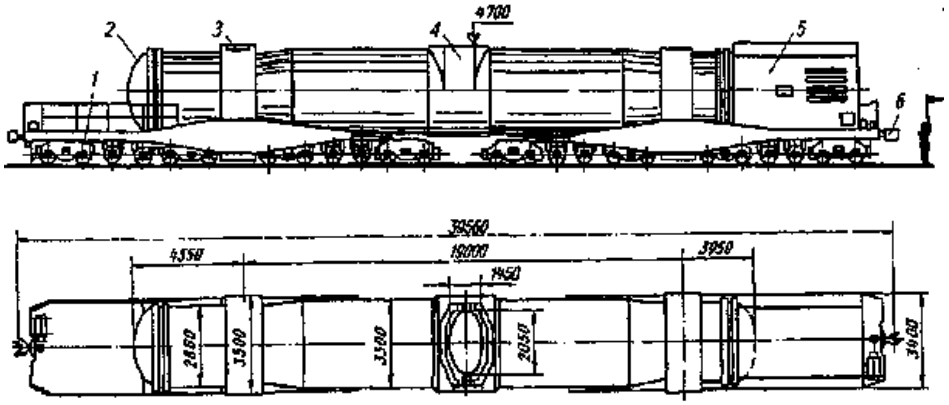
До переваг стаціонарних міксерів відносяться: можливість запасу чавуну, необхідного для ритмічної роботи цеху, гарне перемішування і усереднення складу чавуну і його температури. Однак в умовах сучасних високопродуктивних цехів проявилися й основні недоліки стаціонарних міксерів: 1) необхідність істотних витрат на будівництво міксерного відділення та відповідного обладнання; 2) втрати тепла чавуну під час переливів; 3) недостатнє усереднення складу і температури чавуну. Заведено вважати, що задовільне усереднення складу і температури чавуну в міксері має місце в тому разі, якщо тривалість перебування чавуну в міксері становить ~8 год (тобто якщо чавун у міксері оновлюється повністю не більше ніж тричі на добу) [1].

У міру вдосконалення роботи сучасних потужних доменних печей об'ємом 4000-5000 $м^3$ покращується забезпечення постачання сталеплавильного цеху чавуном постійного складу і температури. пересувними міксерами (рис. 1.2). До переваг пересувних міксерів у порівнянні зі стаціонарними відносяться: 1) зниження капітальних витрат при будівництві та зменшення термінів будівництва;

2) зменшення втрат тепла чавуну на 25-30 ºС внаслідок виключення одного переливу (це дозволяє збільшити частку брухту в металозавалці

приблизно на 2%); 3) можливість прийому всієї плавки доменної печі в один ківш-міксер, що дозволяє спростити організацію робіт у доменному цеху; 4) поліпшення умов організації позадоменної обробки чавуну.

Основним недоліком пересувних міксерів є неможливість усереднення складу та температури чавуну різних плавок [1].



1 - дванадцятивісний візок; 2 - торцева кришка; 3 - бандаж; 4 - горловина; 5 - кабіна приводу; 6 - автозчеплення

Рисунок 1.2 – Пересувний міксер ємністю 600 т конструкції ВНДІметмашу

1.3 Конструкція стаціонарних міксерів

Форма міксера визначається умовами мінімальної тепловіддачі та раціонального конструктивного розміщення заливного та випускного отворів. Розрізняють такі основні форми міксерів: короткі циліндричні (з ставленням довжини міксера до діаметра L/D = 1-1,3), циліндричні довгі (L/D ≥ 1,3) і бочкоподібні.

Найбільшого поширення набули циліндричні короткі міксери з опуклим дном. У порівнянні з іншими вони мають деякі переваги: зменшуються теплові втрати, покращуються умови перемішування чавуну і

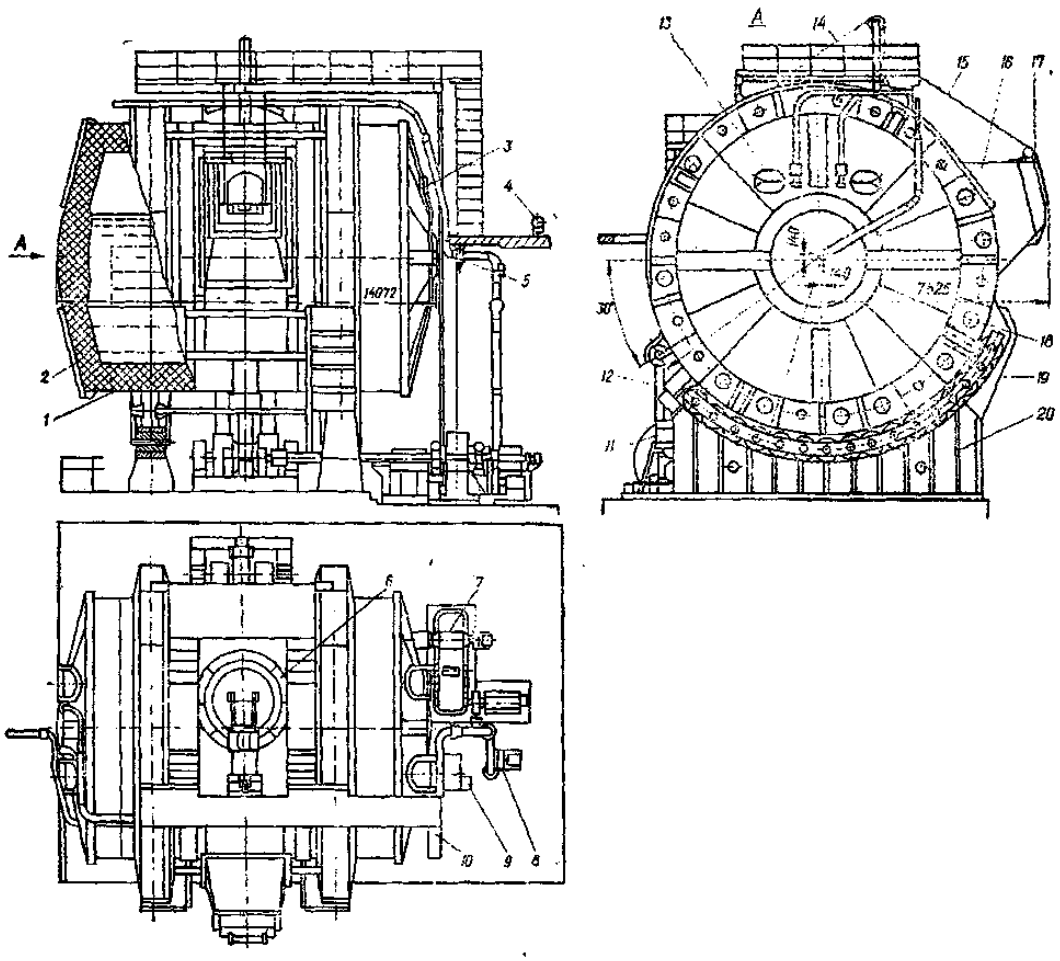
підвищується термін служби футерування.

На ВАТ «Запоріжсталь» у міксерному відділенні мартенівського цеху застосовується міксер типовий стаціонарний із корисною місткістю 1300 т.

Типовий міксер конструкції НКМЗ (Новокраматорський машинобудівний комбінат) місткістю 1300 т представлений на рис. 1.3 Корпус 1 міксера є металевим кожухом, всередині футерованим вогнетривкою цеглою. Між кожухом та футеровкою розміщений шар теплоізоляційного матеріалу. Кожух утворюють кльопана циліндрична обичайка і два торцеві сферичні дна 2, виготовлені з листового гнутого металу. Для зручності проведення робіт, пов'язаних з ламкою та кладкою футерування міксера, днища виконуються відокремленими та з'єднуються з обичайкою болтами. У верхній частині днищ передбачені оглядові вікна 13, що закриваються кришками, та встановлені газові пальники 3 для підігріву чавуну. Заливний отвір міксера забезпечено швидкозмінюваною футерованою обіймою і зверху закривається поворотною кришкою 6, врівноваженою противагою. Зливний носок 16 викладений всередині вогнетривкою цеглою, обігрівається газовим пальником і закривається заслінкою 17.

Опорно-поворотна частина складається з двох ексцентричних опорних бандажів 18, закріплених на корпусі міксера, двох обійм 19 з опорними роликами та дугоподібних опор 20, встановлених на фундаменті. У кожній обіймі укладено шістнадцять ребордних і безребордних роликів, що чергуються. Бандажі виконані секційною конструкцією. Кожен бандаж складається із чотирьох частин, з'єднаних болтами. Між собою бандажі пов'язані гвинтовими стяжками. Ексцентричні бандажі зміщують геометричний центр корпусу міксера на 140 мм нижче осі обертання і на таку ж величину до носку. Внаслідок цього, при повороті міксера на злив металу виникає відновлюючий момент від ваги корпусу і металу, що забезпечує самоповернення у вихідне положення при припиненні подачі електроенергії або виході з ладу механізму повороту. Розтискання колодок гальма в приводі

здійснюється важільно-канатним механізмом 4 ручного керування гальмами.



1 – корпус міксера; 2 – торцеві сферичні днища; 3-пальники; 4 – важільно-канатний механізм; 5 – вертлюгові з'єднання; 6 – поворотна кришка; 7 – привід; 8 – вентилятор; 9, 10 - барабанні лебідки; 11 - вузол рейкової обійми, що гойдається; 12 – рейковий механізм повороту; 13 – оглядові вікна; 14 - канатна система; 15 - канат; 16 – зливний носок; 17 - заслінка; 18 – опорні бандажі; 19 - обійми з опорними роликами; 20 - дугоподібні опори

Рисунок 1.3 – Стаціонарний міксер місткістю 1300 т

Обмеження зворотного ходу міксера та фіксування корпусу під час проведення капітальних ремонтів виробляються пружинними буферними пристроями, встановленими на дугоподібних опорах. Поворот міксера здійснюється рейковим механізмом 12, що складається з вузла 11 рейкової

хиткої обійми і приводу 7. Приводи всіх механізмів міксера розташовані осторонь корпусу на фундаментних рамах в безпечному і зручному для обслуговування місці.

Кришка отвору заливки міксера повертається механізмом, що складається з барабанної лебідки 9 і канатної системи 14 з напрямними блоками, встановленими на верхньому майданчику корпусу. Лебідка оснащена електродвигуном потужністю 5 кВт, гальмом та циліндричним редуктором. Механізм переміщення заслінки носка міксера складається з барабанної лебідки 10, каната 15 і системи направляючих блоків. Обертання барабан отримує від електродвигуна потужністю 2,2 кВт через черв'ячний редуктор.

Газ у пальники надходить від цехової магістралі, а повітря подається вентилятором 8. Підведення газу та повітря здійснюється трубопроводами, розташованими по осі обертання міксера, через вертлюгові з'єднання 5 і розведення труб на корпусі.

1.4 Технологічний процес роботи міксерного відділення мартенівського цеху

Продуктивність мартенівських печей залежить від організації та своєчасної подачі чавуну, а також від рівномірності його складу та сталості температури. Таким чином, міксерне відділення мартенівського цеху служить для приймання, зберігання та усереднення за складом та температурою рідкого чавуну, що надходить з доменного цеху. Чавун у відділення надходить у ківшах, потім краном знімається із залізничної платформи та заливається у міксер. У міру потреби в чавуні печей мартенівського цеху чавун з міксера зливається в ковші і транспортується до мартенівського цеху.

Шлаки в міксері формуються за рахунок футеровки міксера та

заливальних ковшів, а також за рахунок потрапляння в міксер доменного шлаку. Тому склад міксерного шлаку не може мати постійного характеру. Склад шлаку коливається у таких межах, %: 18,0-35,0 SiO_2; 2,5-5,0 $A1_2O_3$; 3,0-7,0 CaO; 0,2-1,0 MgO; 3,0-7,0 FeO; 0,2-1,0 MnO; 3,0-7,0 MnS.

Міксер має люк для заливки чавуну, розташований у верхній частині, і носок для зливу чавуну в бічній частині.

Нахиляється міксер поворотним механізмом за допомогою електроприводу. Електропривід поворотного механізму складається з двох двигунів постійного струму; для 1300 міксера встановлюються двигуни потужністю по 50 кВт кожен. Середня окружна швидкість носка міксера становить 0,1 м/с.

Для компенсації втрат тепла через стінки міксера і збереження температури чавуну міксер обігрівається пальниками, встановленими в торцевих стінках; крім того, для запобігання утворенню настилів чавуну в зливному носку є додатковий пальник. Для опалення міксера використовують природний газ. Пропускна здатність пальників відповідно 50 та 100 $м^3$/год.

У табл. 1.1 наведено коротку технічну характеристику та основні проєктні параметри міксерів.

1.4.1 Прийом чавуну в міксери

З надходженням чавуну до міксерного відділення повинен бути відомий його хімічний склад; зливати в міксер чавун із невідомим хімічним складом забороняється.

Підготовка ковшів до зливу чавуну в міксер (пробивка скоринки шлаку і металу, а також розчищення і підмазування носка льоточною масою доменного цеху) проводиться міксеровим на спеціальному майданчику до підйому ковшів до заливного отвору міксера. Заливний отвір міксера повинен своєчасно очищатися від настилів і щільно закриватися

футерованою кришкою.

Таблиця 1.1 – Коротка технічна характеристика міксерів

	Найменування	Міксер №1	Міксер №2
1	Ємність, т	1300	1300
2	Довжина бочки по внутрішній поверхні кладки, мм	7050	7000
3	Діаметр бочки по внутрішній поверхні кладки, мм	5986	6050
4	Футерування бочки: Товщина робочого шару з магнезитової цегли, мм	460	460
	Товщина неробочого шару з шамотної цегли, мм	230	230
	Товщина трепельної засипки, мм	65	65
	Товщина азбестової ізоляції, мм.	10-15	10-15
5	Футерування склепіння: Товщина робочого шару з шамотної цегли, мм	600	600
	Товщина шару кладки з трепельної цегли, мм	65	65

Щоб уникнути потрапляння чавуну на бочку міксера, його злив повинен проводитися в центр заливного отвору рівномірним спокійним струменем, що не виходить по ширині за межі носка; злив чавуну з переповнених ковшів, а також з несправними та неочищеними носками забороняється.

Рекомендується в міксер №1 зливати чавун із вмістом сірки за плавковим аналізом не більше 0,030%, призначений для виплавки якісної сталі; в міксер №2 – решта чавуну із вмістом сірки понад 0,030 % для виплавки рядової сталі [4].

1.4.2 Зберігання чавуну у міксерах

Для кращого усереднення чавуну за хімічним складом та температурою й забезпечення максимальної стійкості футерування потрібно підтримувати

незнижуваний запас чавуну в міксері не менше 600 т і встановлювати обмежувач.

Температура рідкого чавуну в міксерах повинна підтримуватися в межах 1320-1380 °С шляхом періодичного регулювання витрати палива на пальники. Вимірювання температури здійснюється через зливний носок міксера за допомогою ручної термопари зануренням в середині кожної зміни.

Для зниження вмісту сірки в чавуні проводиться примусове завантаження шлаку з міксера. Контроль хімічного складу чавуну здійснюється за пробами, що відбираються з міксерів через кожні дві години. У пробах визначається вміст кремнію, марганцю та сірки. Відбір проб проводиться прогрітою ложкою розмірами: діаметр не менше 150 мм, глибина 50-80 мм. Ложка попередньо замочується у вапняному розчині та просушується. Для виливки проб застосовується масивна роз'ємна чавунна виливниця, що забезпечує одночасне отримання двох дисків діаметром 35 мм, товщиною 8 мм і двох стрижнів діаметром 6 мм.

Перед відбором проби для аналізу виливниця розігрівається шляхом виливки холостої проби чавуну. Проби відбираються до початку підігріву міксера газом (для спуску шлаку) і не раніше, ніж через 15-20 хвилин після зливу чавуну в міксер. Відбір проб чавуну проводиться з поверхні шару, очищеного дерев'яним гребком від шлаку. Зі зливного носка нахиленого міксера ложка занурюється в чавун ребром на глибину не менше 250 мм; при потраплянні в ложку шлаку чавун у виливницю не заливається. Перед заливкою виливниці витримка чавуну у ложці не допускається. Затверділу пробу вилучають із виливниці, відбивають диски зі стриженьками від лійки і негайно відправляють у хімічну лабораторію на аналіз [4].

1.4.3 Видача чавуну з міксерів

Перед видачею чавуну з міксера чавуновозні ковші ретельно оглядають – вони мають бути у справному стані.

Для забезпечення гарної організації струменя рідкого чавуну при зливі його з міксерів, а потім в сталеплавильні печі треба своєчасно видаляти настили в зливних носках міксерів, а зливні носки ковшів підмазувати зі спеціального вогнетривкого майданчика льотковою масою доменного цеху.

Перед початком зливу рідкого чавуну до ківша подається звуковий сигнал, що попереджає про поворот бочки міксера. Видача чавуну з міксерів здійснюється згідно з заявкою за телефоном плавильного майстра або старшого майстра зміни із зазначенням номера печі, марки сталі та необхідної кількості чавуну. При зливі чавуну з міксера або переливі його з ковша в ківш не допускається потрапляння шлаку і «козлів» в ківш; не допускається також переповнення чавуновозних ковшів - рівень чавуну повинен бути на 250-400 мм нижче за верхній край ковша. Тривалість часу від кінця наповнення ковша чавуном до початку заливання в сталеплавильні печі не повинна перевищувати 20 хвилин [4].

1.5 Характеристика пилогазових викидів міксерного відділення

Міксерне відділення є суттєвим джерелом забруднення повітряного басейну у мартенівському виробництві. Основними складовими пилу міксерних відділень є плавильний пил, що складається здебільшого з оксидів заліза, і графітна спель, що має велику цінність як сировина для отримання гостродифіцитної графітової продукції.

Пилогазовиділення з міксерів відбувається при проведенні наступних технологічних операцій: заливання чавуну в міксер, завантаження шлаку і злив чавуну з міксера в ківш. Відведення запилених газів від міксера проводиться за допомогою спеціальних аспіраційних систем.

Запиленість газів, що надходять на очищення, залежить від операції, що виконується на міксері. Під час зливу металу концентрація пилу зростає. Це пояснюється тим, що в початковий момент часу відбувається інтенсивне дроблення струменя рідкого металу в ковші та утворення великої кількості

дрібних крапель. При цьому збільшується площа активної поверхні взаємодії рідкого металу з киснем повітря та інтенсифікується процес пилоутворення. Середнє запилення газів, що надходять на очищення, становить 3 г/м^3.

Дисперсний склад пилу міксерного відділення комбінату ВАТ «Запоріжсталь» представлено у табл. 1.2. Фізичні параметри пилу наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.2 – Дисперсний склад пилу міксерного відділення

мкм	<0,005	0,005-0,1	0,1-0,2	0,2-0,4	0,4-1,0	1,0-2,5	>2,5
% по масі	1,99	14,77	39,31	19,26	18,87	4,91	0,89

Таблиця 1.3 – Фізичні параметри уловленого пилу міксерного відділення

№ п/п	Найменування параметрів	Одиниці виміру	Значення величин
1	Справжня щільність	г/см^3	2,84
2	Об'ємна щільність без утряски з утряскою	 г/см^3 г/см^3	 0,6 0,8
3	Кут природного укосу	град	38
4	Середній медіанний діаметр	мкм	2,4

При зливі чавуну з міксера в ківш крім пилу в пилогазоповітряній суміші містяться також газоподібні речовини.

Хімічний склад газу: CO – 0,2 %; CO_2 – 14 %; N_2 – 65,8 %; O_2 – 18 %; H_2O – 2 %; SO_2 – 80 мг/м^3; NO_x – 70 мг/м^3.

Хімічний склад графітовмісного пилу, %:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	S	FeO	C
3,9	1,67	20,48	1,98	0,87	0,1	18,8	52,2

Температура газів при заливанні чавуну в міксер 30-40 °С, при зливі чавуну з міксера – 70-130 °С. Кількість пилогазоповітряної суміші, що

відбирається зонтом та надходить на очищення, становить 100 тис $м^3$/год [5].

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз існуючих схем очищення газів міксерного відділення мартенівського цеху

При заливці та зливі чавуну утворюється велика кількість технологічних газів, що мають високу температуру. Для їх локалізації та очищення у приміщенні міксерного відділення працює газоочисна установка. Запилений газ відсмоктується за допомогою зонтів та надходить на очищення.

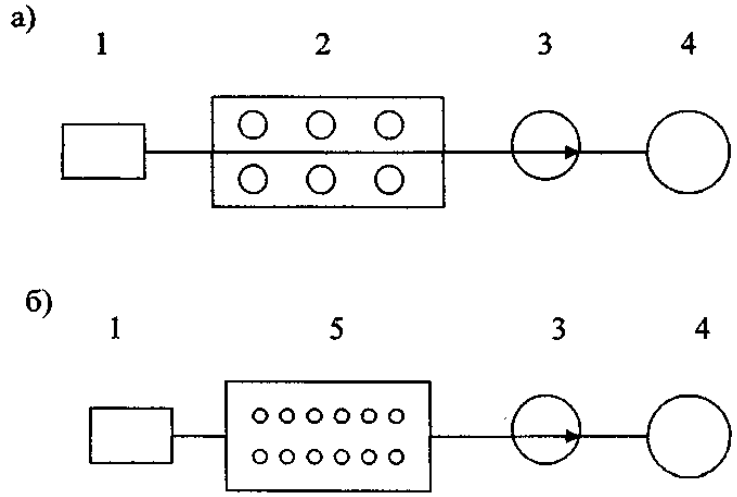
За літературними даними [6] знепилювання аспіраційних викидів для міксерів ємністю 600 і 1300 т рекомендується проводити в циклонах типу ЦН-15 і СКЦН-34 відповідно, а для міксерів ємністю 2500 т - в циклонах типу ЦН-15 та тканинних фільтрах або електрофільтрах (другий ступінь). Небезпека займання тканини виключається, оскільки розпечені частинки чавуну, тальку та графітної спелі повністю вловлюються в циклонах. Небезпека пробою електрофільтрів також виключена, тому що після першого ступеня в газі немає графітної спелі, що має високу електропровідність. Однак із високою ефективністю циклони здатні вловлювати пил лише розміром 15 – 20 мкм і більше [6]. Оскільки середній медіанний діаметр пилу міксерного відділення становить 2,4 мкм, то застосування циклонів для уловлювання цих частинок недоцільно.

Скрубери Вентурі можуть працювати з високою ефективністю: η = 96-98 % на пилу із середнім розміром частинок 1-2 мкм та вловлювати високодисперсні частинки пилу (аж до субмікронних розмірів) у широкому діапазоні початкової концентрації її в газі – від 0,05 до 100 г/$м^3$. Але використання мокрої очистки в скруберах Вентурі для уловлювання пилу міксерного відділення мартенівського цеху є неможливим, так як цей пил

гідрофобний і погано змочується водою.

Газоповітряна суміш міксерного відділення, що надходить на очищення, в основному складається з графітового пилу, який у сухому вигляді надалі можна використовувати в сталеплавильному виробництві, тому для очищення газів міксерного відділення застосовують в основному установки сухого очищення в електрофільтрах та рукавних фільтрах.

Дані схеми очищення газів міксерного відділення наведено рис. 2.1.



а – суха очистка в електрофільтрі; б – суха очистка в рукавному фільтрі; 1 – міксер; 2 – електрофільтр; 3 – димосос; 4 – димова труба; 5 – рукавний фільтр

Рисунок 2.1 – Схеми очищення газів, що застосовуються у міксерному відділенні

Ефективність роботи електрофільтра і рукавного фільтра приблизно однакова і дозволяє знизити концентрацію пилу в газах, що відходять, до 100 мг/м^3, що відповідає санітарним нормам [7].

При швидкості руху газу електрофільтрі 1,3 м/с, ці апарати забезпечують ефективність очищення 98-99 %, а залишкова запиленість становить 60-80 мг/м^3.

Електричний режим роботи електрофільтра одна із основних чинників,

що визначають ефективність очищення газів. Чим вище струм, що проходить через фільтр, і напруга його живлення, тим краще очищення.

Очищення газів в електрофільтрах має такі переваги:

1) залежно від вимог виробництва можливо сконструювати електрофільтр будь-якої продуктивності (від одиниць до кількох мільйонів кубічних метрів на годину) та на бажаний ступінь очищення газів (до 99 і навіть 99,9 %);

2) в електрофільтрах можна вловлювати частки розміром від 100 до 0,01 мкм, причому процес очищення повністю автоматизується і здійснюється зазвичай при меншій витраті електроенергії, ніж в інших апаратах.

Найбільш істотним недоліком цих апаратів є те, що в електрофільтрі можуть осаджуватися лише речовини, що знаходяться у зваженому стані, тобто у вигляді пилу або туману. У ньому не можна відокремити один газ від іншого або від пари без попередньої конденсації цієї пари у возгін або туман або без здійснення хімічних реакцій з переведення уловлюваного компонента з газу в твердий стан. Слід зазначити, що ефективність роботи електрофільтра залежить від сталості параметрів газів, що очищаються, зокрема від температури і запиленості. У газах, що відходять від міксерів мартенівського цеху, міститься вибухонебезпечний оксид вуглецю (CO), але оскільки його вміст невеликий (0,2%), можливість вибуху виключається. Отже, основним недоліком, що виключає використання електрофільтра для очищення газів, що відходять від міксерів, є зміна температури та запилення, що негативно позначається на ефективності роботи електрофільтра.

Тому фільтри тканин найбільш перспективні для очищення газів, що відходять від міксерів. Тканинні фільтри мають такі переваги:

1) фільтри здатні вловлювати частинки всіх розмірів, включаючи субмікронні;

2) хороший ступінь очищення при малих концентраціях зважених частинок в газах, що очищаються (частка міліграмів на 1 $м^3$ газів, що

очищаються);

3) у фільтрах використовуються хімічно стійкі матеріали;

4) можливість очищення газів, нагрітих до високої температури (залежно від матеріалу тканини фільтра);

5) можливість повної автоматизації процесу очищення газів;

6) стабільність процесу очищення і менша залежність від зміни фізико-хімічних властивостей частинок, що вловлюються, і витрати газів, ніж при очищенні в електрофільтрі;

7) простота експлуатації.

На ВАТ «Запоріжсталь» у міксерному відділенні мартенівського цеху використовується графітоуловлююча установка, із застосуванням як очисний апарат рукавного фільтра типу ФРКДІ-1100. Відбір газів при зливі чавуну з міксера здійснюється через зонт, встановлений над зливним носком міксера. Вловлена зонтом пилогазоповітряна суміш газоходом надходить на очищення в рукавний фільтр. Очищена пилогазоповітряна суміш за допомогою димової труби діаметром 1500 мм і висотою 40 м викидається в атмосферу. Ручний фільтр ФРКДІ-1100, що використовується на підприємстві, встановлений давно. Він фізично та морально застарів та його ефективність очищення не перевищує 96%. Тому в дипломному проєкті пропонується зробити заміну на сучасніший рукавний фільтр типу ФРІР. Так як корпус фільтра ФРКДИ-1100 знаходиться в хорошому стані, то пропонується його подальше використання та провести заміну окремих вузлів фільтра. Уловлений у рукавному фільтрі графітовмісний пил використовується в мартенівському цеху в розливному відділенні. Його додають у мастильну суміш, призначену для змащення сталевипускних жолобів.

2.2 Вибір та обґрунтування способу та технологічної схеми очищення газів

Враховуючи всі вищерозглянуті недоліки очищення газів міксерного відділення в циклонах, скруберах Вентурі та електрофільтрах даним дипломним проєктом пропонується схема очищення газів міксерного відділення мартенівського цеху в рукавному фільтрі, оскільки:

- робота рукавного фільтра менше залежить від зміни фізико-хімічних властивостей частинок, що вловлюються, ніж при електроочищенні;

- внаслідок відсутності шламового господарства значно знижуються витрати на очищення газу;

- пил у сухому вигляді легше утилізувати та підготувати до подальшого використання.

Так як досвід експлуатації рукавних фільтрів типу ФРКДІ свідчить про низьку ефективність системи регенерації, тому проєктована схема передбачає заміну основних вузлів рукавного фільтра ФРКДІ-1100, що використовується в установці графітоуловлюючого міксерного відділення мартенівського цеху ВАТ «Запоріжсталь». При цьому пропонується провести заміну окремих вузлів фільтра із застосуванням основних технічних рішень, характерних для фільтрів рукавних типу ФРІР з імпульсною регенерацією рукавів. Пропонується максимально використовувати основні конструктивні елементи та окремі вузли раніше встановленого фільтра ФРКДІ-1100: корпус фільтра, бункера пилу, система видалення уловленого пилу.

Принципова схема графітоуловлюючої установки міксерного відділення мартенівського цеху, запропонована дипломним проєктом, представлена на рис. 2.2. Відповідно до цієї схеми уловлена зонтом пилогазоповітряна суміш газоходом надходить у рукавний фільтр, де очищається. Уловлений пил осідає на рукавах і при регенерації обсипається в пиловий бункер. Очищений газ газоходом вентилятором через димову трубу викидається в атмосферу.

2.2.1 Принцип роботи рукавного фільтра

Принципова схема роботи рукавного фільтра представлена рис. 2.3. Запилений газ надходить до камери «брудного газу». Напрямок руху потоку газу в колекторі організовано таким чином, щоб в міжрукавний простір кожної секції рукавного фільтра надходив запилений газ і, розподіляючись по секції, мав би складову векторів руху вертикально вниз.

Крім того, технологічну схему руху брудного газу в корпусі рукавного фільтра прийнято, виходячи з наступних вимог:

- зниження швидкості газового потоку до 3-4 м/с на вході в рукавний простір в камери брудного газу;

- зміни напрямку руху газового потоку спочатку зверху вниз, а потім знизу вгору при одночасному зменшенні швидкості руху. Ця частина корпусу фільтра одночасно виконує роль осадової камери видалення з газового потоку великих частинок пилу і шлаку;

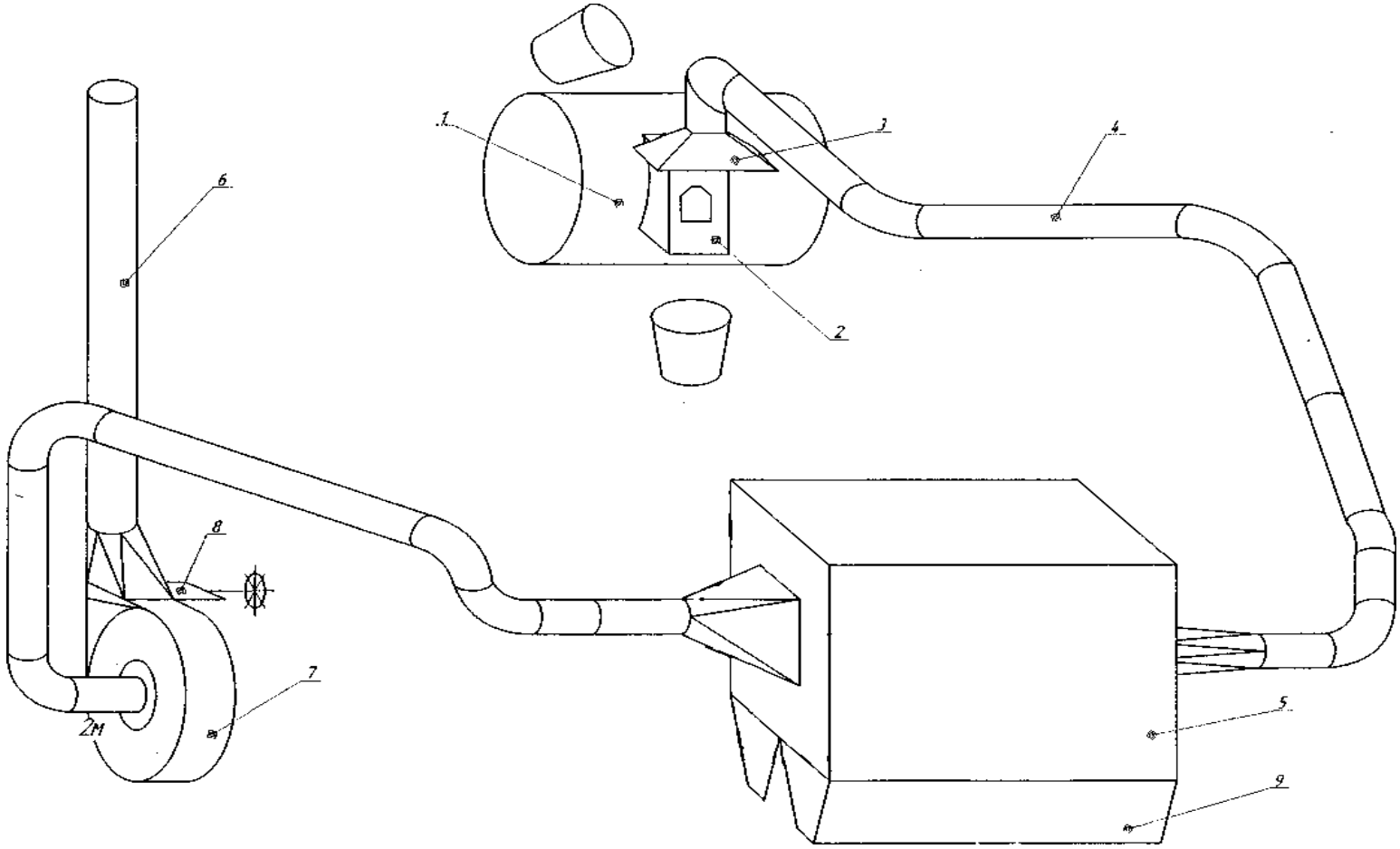
- підведення брудного газу до верхньої частини рукавів і подальший рух газового потоку між рукавами зверху вниз. Подібна схема руху брудного газу в міжрукавному просторі збігається з напрямом осідання пилу під час регенерації рукавів.

Описана вище технологічна схема руху газового потоку є важливою технічною перевагою ФРІР фільтра в порівнянні з фільтрами інших конструкцій.

Також рукавні фільтри ФРІР мають такі переваги перед іншими серійно випускаємими: менші габарити при тій же продуктивності; закріплення рукавів проводиться з одного боку у верхній частині фільтра, що гранично спрощує заміну рукавів; підвищена ремонтопридатність фільтра; ефективність імпульсної регенерації, що здійснюється за допомогою клапанів з підвищеною швидкодією; розміщення на відкритому повітрі з укриттям тільки верхньої частини фільтра [5].

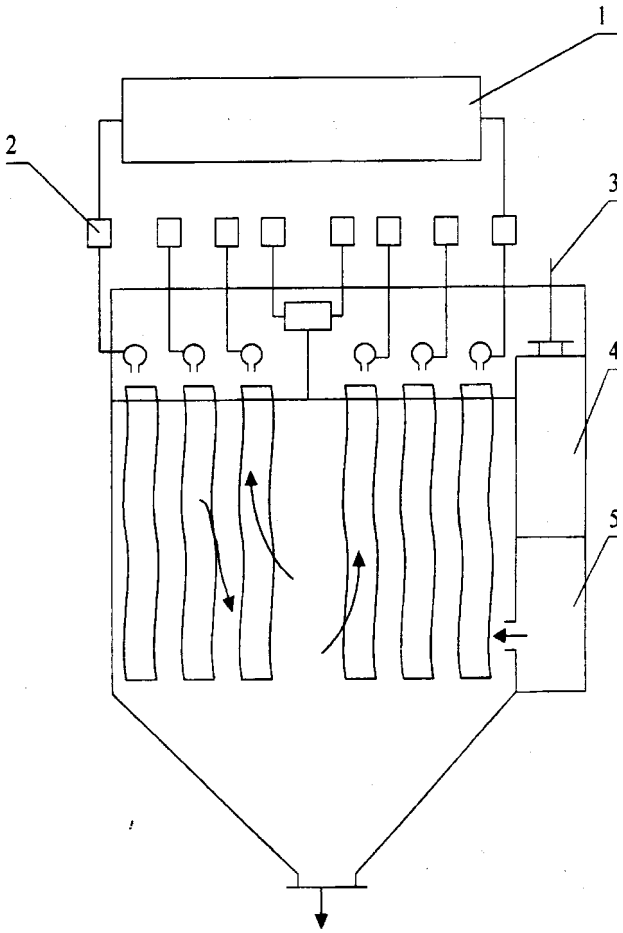
З міжрукавного простору фільтра запилений газ проходить через фільтрувальні рукави у напрямку ззовні у середину. При цьому пилоподібні забруднення відокремлюються перегородкою із фільтрувального полотна.

Встановлені всередині фільтрувальних рукавів дротяні каркаси зберігають форму рукава, не даючи можливості скластися.



1 – міксер; 2 – зливний носок; 3 – витяжний зонт; 4 – газохід; 5 – рукавний фільтр; 6 – димова труба; 7 – вентилятор; 8 – шибер; 9 – пиловий бункер

Рисунок 2.2 – Схема графітоуловлюючої установки за міксером



1 – накопичувач стисненого повітря; 2 – мембранні клапани; 3 – відсічний клапан; 4 – колектор чистого газу; 5 – колектор брудного газу

Рисунок 2.3 – Принципова схема роботи рукавного фільтра типу ФРІР

Для відновлення фільтруючої здатності рукавів періодично здійснюється їхня регенерація. Через рівні інтервали часу (встановлюються в процесі пусконалагоджувальних робіт) при короткочасному відкритті продувних клапанів з накопичувачів стисненого повітря подається стиснене повітря в розподільні колектори протягом імпульсу з надлишковим тиском 0,4-0,5 МПа.

Потім через сопла спеціальної форми роздаточних колекторів стиснене повітря з великою швидкістю спливає у фільтрувальні рукави.

Продувне повітря у вигляді ударної хвилі потрапляє у фільтрувальний рукав. При цьому наростає відповідний протитиск. Рукав, який до подачі імпульсу прилягав до корпусу дротяного каркаса, різко роздмухується до

повного об'єму і в кінцевому положенні різко гальмується, частинки при цьому продовжують по інерції свій шлях і відриваються від зовнішньої поверхні фільтрувального полотна. З внутрішнього середовища фільтрувального полотна частинки пилу видмухуються коротким, але сильним продувним струменем назад у бік «брудного газу». Виділений пил падає у бункер фільтра. Після закриття продувного клапана очищені рукави готові до нормального процесу фільтрування. Відповідно до заданої тривалості такту всі ряди рукавів будуть у певній послідовності у положенні регенерації на час тривалості імпульсу. Тривалість імпульсів та тактів регулюється за допомогою блоку автоматики (контролера), узгоджуючи їх із різними експлуатаційними умовами. Головним параметром введення рукавного фільтра у режим регенерації є підвищення опору вище деякої величини перепаду тиску (β). При зниженні тиску нижче цієї величини процес регенерації припиняється, і система автоматики перетворюється на режим «очікування». Розмір перепаду тиску визначається в процесі пусконалагоджувальних робіт залежно від досягнення проєктної продуктивності фільтрувальної установки. Пил, уловлений у рукавному фільтрі, накопичується в бункерах. Видалення пилу з бункерів проводиться за допомогою системи пилоприбирання. Управління регенерацією фільтра здійснюється системою автоматики. Система передбачає пряму зміну гідравлічного опору фільтра за допомогою диференціального манометра з вторинним записуючим приладом. Опосередковано визначається відношення гідравлічного опору фільтра до витрати газу, що очищається.

Система імпульсної регенерації фільтра ФРІР розрахована на роботу у 3-х режимах:

1. Критерієм роботи системи є гідравлічний опір фільтра (ΔР=1,2-2,5 кПа). Потрібне значення $\Delta P_{кр}$ вибирається при налагодженні та встановлюється вручну. Дискретність установки величини $P_{кр}$ становить 0,1 кПа.

2. Критерієм роботи системи є величина, що визначається ставленням

гідравлічного опору фільтра до витрати газу Q через нього α=(P/Q)кр. Межі вимірювання P/Q складають від 1,5 до 4,0 Па (тис.м^3/год). Величина $(\Delta P/Q)_{кр}$, при якій починається регенерація, визначається при налагодженні фільтра. Дискретність установки відповідає дискретності зміни P/Q=0,25 Па (тис.м^3/год). Досягнення $\alpha=\alpha_{кр}$ допускається за умови $P \leq P_{кр}$.

3. Регенерація здійснюється за циклічною часовою програмою.

Перемикання режимів регенерації роблять тумблерами, розміщеними на блоці управління регенерацією. Усі режими регенерації можуть здійснюватися без переривання фільтрації та з перериванням.

Основними конструктивними елементами рукавного фільтра ФРІР є корпус, система регенерації, фільтрувальні рукави, дротяний каркас, система повітропостачання.

Корпус є конструкцією рукавного фільтра, в якому розміщено механічне обладнання. Корпус рукавного фільтра служить для розміщення та закріплення на ньому всіх вузлів та механізмів і має бути міцним, герметичним, стійким до корозії, забезпечувати мінімальну теплопередачу.

Формою корпус рукавного фільтра типу ФРІР виконаний прямокутним. Прямокутний корпус забезпечує можливість просто та економічно розміщувати в них рукави, що дозволяє збирати із секцій компактний корпус. Дворядне розташування секцій прямокутного компонування дає можливість розташовувати колектори запиленого та очищеного газу між рядами секцій, зменшуючи при цьому витрати металу та трудомісткість виготовлення фільтрів.

Матеріалом для виготовлення корпусу відповідно до умов експлуатації та для забезпечення необхідної міцності та захисту від впливу навколишнього середовища є вуглецева сталь.

Корпус фільтра має камери брудного та чистого газів, розділені горизонтальними перегородками – рукавними дошками з отворами для кріплення фільтрувальних рукавів. Фільтрувальні рукави розміщуються у камері брудного газу за допомогою рукавних дощок. Кріплення рукавів

одностороннє зі сторони камери чистого газу. Верхня частина камери чистого газу обладнана кришками, що знімаються для доступу до фільтрувальних рукавів. Камера брудного газу є єдиною секцією без перегородок. Камера чистого газу розділена вертикальними перегородками на 4 секції за кількістю можливої установки відсікових клапанів. Вихід чистого газу загальний.

Нижня частина корпусу рукавного фільтра закінчується пірамідальним бункером для збору уловленого пилу з гвинтовим конвеєром діаметром 250 мм [5], розміщеним у овальний короб із фланцями для приєднання до щілинного бункеру. Обертання шнека забезпечується мотор-редуктором. Кут нахилу стінок бункера повинен бути більше кута природного нахилу пилу, що уловлюється, щоб уникнути його зависання. Тому кут нахилу стінок бункера становить 60º-65º [5]. У нижній частині бункера передбачені фланці для встановлення шлюзових живильників. Корпус рукавного фільтра обладнаний сходами, майданчиками та огорожами, що дозволяють забезпечити доступ до механічного обладнання. Корпус рукавного фільтра має бути теплоізольованим.

У рукавному фільтрі типу ФРІР із прямокутним корпусом використовують пірамідальні бункери для кожної секції. Перевага пірамідальних бункерів, у порівнянні з щілинними бункерами полягає в простоті експлуатації рукавного фільтра і в підвищенні надійності їх роботи, так як конвеєр для переміщення пилу не знаходиться в середовищі очищаємого газу.

Корпус прямокутного рукавного фільтра виготовлений зварним у вигляді двох блоків: основної частини корпусу та бункера з рамою.

Для забезпечення жорсткості конструкції корпусу в місцях з'єднань встановлюють кутки або збирають корпус елементів гнутого профілю повернутими полицями назовні, що полегшує складання і контроль герметичності, але погіршує зовнішній вигляд апарата.

Для обслуговування і догляду за фільтрувальними рукавами корпусу

забезпечують монтажними і оглядовими люками круглої форми з кришками, що герметично закриваються.

Для доступу до монтажних та оглядових люків, системи та механізмів для регенерації рукавів передбачені майданчики та сходи, розташовані зовні по периметру корпусу апарату, а також усередині корпусу в нижній та верхній частинах.

Корпуси всмоктувальних фільтрів типу ФРІР розраховують на розрідження 3 кПа.

Газ, що очищається, має температуру вище, ніж повітря в навколишньому приміщенні, тому корпус рукавного фільтра покривають тепловою ізоляцією. Теплоізоляція служить для того, щоб не відбувалося охолодження газу нижче точки роси 40°, що призводить до різкого зниження пропускної здатності фільтра за рахунок конденсації вологи, що призводить до залипання пилом фільтрувальних елементів. Конденсація вологи на внутрішніх поверхнях апарату викликає їхню інтенсивну корозію.

При закритих знизу рукавах газ може подаватися у фільтр через колектор, розташований на одному з торців фільтра.

Колектори чистого газу та продувного повітря спільно з випускними клапанними коробками кріплять на кришці фільтра. Колектори виконують із листової сталі циліндричними.

Для рукавного фільтра типу ФРІР здійснюють імпульсне продування стисненим повітрям. До складу пристроїв системи регенерації входять: накопичувач стисненого повітря, продувні клапани, роздаткові колектори.

Система регенерації є комплексом пристроїв для подачі імпульсів стисненого повітря всередину фільтрувальних рукавів з метою видалення пилу з їх зовнішньої поверхні. До складу пристроїв системи регенерації входять: - накопичувач стисненого повітря; клапани продувні; колектори роздаткові. Накопичувач стисненого повітря виготовляється із гарячекатанної труби діаметром 325х10. Виготовлення посадкових місць для продувних клапанів проводиться методом гарячої витяжки. Після

виготовлення накопичувач стисненого повітря спочатку випробовується на міцність гідравлічним тиском 0,9 МПа протягом 10 хвилин. Падіння напруги не допускається. Після монтажу імпульсних клапанів накопичувач стисненого повітря перевіряється на щільність тиском стисненого повітря 0,6 Мпа. Допустиме падіння тиску 0,5 атм. Клапан продувний швидкодіючий призначений для утворення імпульсів стисненого повітря у процесі регенерації рукавів.

Технічна характеристика продувного клапана представлена табл. 2.1.

Управління роботою продувних клапанів здійснюється за допомогою пневморозподільника, що встановлюється у верхній частині клапана.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика продувного клапана

Найменування параметра	Одиниці вимірювання	Величина
Робочий тиск стисненого повітря	МПа	0,1-0,6
Умовний параметр прохідного перерізу	мм	70
Тривалість повного відкриття	мс	Не більше 10
Тривалість повного відкриття-закриття	мс	Не більше 100-200
Кількість відмов	Цикл	Не меньше 5х10

Колектор роздавальний забезпечує подачу імпульсів стисненого повітря безпосередньо у фільтрувальні рукави. По осі кожного рукава над відкритою частиною розміщено сопло діаметром 12 мм для виходу стисненого повітря. Сопла встановлені на збірному колекторі, забезпеченому швидкодіючим електромагнітним мембранним клапаном, що забезпечує періодичну подачу імпульсів стисненого повітря через сопла в кількості 55…70 л при тиску 0,25…0,3 МПа протягом 0,1…0,3 с. При цьому очищений газ ежектується в рукав, в результаті він різко роздмухується і з нього пил опадає в пиловий бункер. Для демонтажу горизонтальної частини колектора

під час заміни фільтрувальних рукавів служать швидкороз'ємні фланцеві з'єднання.

Стиснене повітря до швидкодіючих продувних клапанів подається трубопроводами, що монтуються на майданчику обслуговування.

На вході трубопроводу на майданчик обслуговування обладнується вузол введення, на якому встановлюються відключаючі пристрої і контрольно-вимірювальні прилади (контроль тиску, температури). На розподільчих лініях стисненого повітря встановлюються редукційний клапан та запірні пристрої. Стиснене повітря, що подається на продувні клапани, повинно бути осушене і очищене не нижче 10 класу за ГОСТ 17433-80. Щоб уникнути утворення «точки роси» в рукавному фільтрі, повітря, що подається на регенерацію, піддається попередньому осушуванню. Осушування повітря здійснюється в серійно випускаємій установці А800У-02.

Найбільш відповідальний вузол рукавного фільтра, що визначає якість очищення газів - фільтрувальні елементи.

Фільтрувальні елементи виконані у вигляді циліндричних рукавів. Зшивається рукав трирядковим поздовжнім швом. У горловину рукава вшито металеве кільце, що захищає рукав від ковзання вниз через отвір у рукавній дошці. У нижній частині рукава вшито дно. Як фільтруючий матеріал у дипломній роботі запропоновано лавсанове волокно, яке відповідає наступним вимогам: еластичне, стійке до стирання, злипання, вигину. Лавсанові фільтрувальні тканини за тривалої експлуатації витримують температуру 130 ^{o}C.

Дротовий каркас призначений для встановлення його усередину рукава з метою запобігання останнього від складання під впливом газового потоку, що йде зовні всередину рукава. Каркас дротяний є металевою звареною конструкцією, що складається з дротяних стрижнів, опорних кілець і дна. Дротовий каркас виготовляється складовим із двох ланок із швидкороз'ємним з'єднанням. Конструкція з'єднання забезпечує прямолінійність каркасу в

зібраному вигляді, легкість його збирання та розбирання без застосування будь-яких пристроїв та інструментів. Поверхня каркаса має антикорозійне покриття.

Жорсткокаркасні фільтруючі елементи мають цілу низку переваг перед безкаркасними фільтруючими елементами. Жорсткий каркас дозволяє надати фільтруючому елементу будь-яку форму (в даному випадку циліндричну), яка не змінюється ні в процесі фільтрації, ні в процесі регенерації. Крім того, забезпечує постійне натягнення фільтруючого елемента і здійснюють фільтрацію газу зовні всередину фільтруючого елемента.

2.3 Розрахунок рукавного фільтра

Вихідні дані:

– об'ємна витрата газу при нормальних фізичних умовах (НФУ), $Q'_{0\,г}$ нм^3/год	67000
– температура газу перед рукавним фільтром t, ºС	126,3
– Розрідження перед рукавним фільтром (зонт та І розрахункова ділянка) $p_г$, кПа	0,6
– густина частинок пилу $\rho_п$, кг/м^3	2840
– пористість тканини лавсан ε_m	0,75
– Барометричний тиск $p_{бар}$, кПа	100
– Запилення газу перед фільтром Z_1 при (НФУ), г/м^3	3,0
– Середній медіанний діаметр d_m, мкм	2,4

Визначаємо щільність газу за нормальних фізичних умов (НФУ).

$$\rho_{oг} = \frac{1}{100}\sum a_i \cdot \rho_{oi} \ , \qquad (2.1)$$

де a_i - вміст і-того компонента в об'ємних відсотках;

ρ_{oi} – густина і-того компонента при НФУ, кг/м^3.

Склад газу за даними підприємства та щільності компонентів газової фази за нормальних фізичних умов (НФУ) [6] наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення густини ρо при НФУ для деяких газів

Компонент	CO	CO_2	O_2	N_2	H_2O
Об'ємний вміст, % об.	0,2	14	18	65,8	2
Щільність газу при НФУ, кг/м^3	1,250	1,976	1,429	1,251	0,804

$$\rho_{0\,г} = \frac{1}{100} \times (0{,}2\times1{,}250+14\times1{,}976+18\times1{,}429+65{,}8\times1{,}251+$$

$$+2\times0{,}804) = 1{,}376\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$$

Пористість пилу розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon_n = 1-79\times d_m^{0,47}, \tag{2.2}$$

де d_m - середній медіанний діаметр частинок пилу, мкм.

$$\varepsilon_n = 1-79\times\left(2{,}4\cdot10^{-6}\right)^{0,47} = 0{,}820.$$

Об'ємна витрата газу, що надходить на очищення в рукавний фільтр за робочих умов дорівнює, м^3/год:

$$Q_p = Q_{0\,г}\times\frac{(273+t_г)}{273}\times\frac{101{,}3}{(p_{бар}-p_г)}, \tag{2.3}$$

де $Q_{0\,г}$ – витрата газу за нормальних фізичних умов (НФУ), нм^3/год;

$t_г$ - температура газу, ºС;

$p_г$ - розрідження газу, кПа;

$p_{бар}$ - атмосферний тиск, кПа.

$$Q_p = 67000{,}0 \times \frac{(273+126{,}3)}{273} \times \frac{101{,}3}{(100-0{,}6)} = 101360 \ \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 28{,}2 \ \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Щільність газу за робочих умов дорівнює, кг/м^3:

$$\rho_г = \rho_{0\,г} \times \frac{273}{(273+t_г)} \times \frac{(p_{бар} - p_г)}{101{,}3}, \qquad (2.4)$$

де $\rho_{0\,г}$ – густина газу за нормальних фізичних умов (НФУ), кг/нм^3.

$$\rho_г = 1{,}376 \times \frac{273}{(273+126{,}3)} \times \frac{(100-0{,}6)}{101{,}3} = 1{,}086 \ (\text{кг/м}^3).$$

Для прийнятих до встановлення рукавних фільтрів типу ФРІР питоме газове навантаження (рівне швидкості фільтрації) $v_ф$ становить 0,7 ... 1,8 $\frac{м^3}{м^2 \cdot хв}$ [6]. Приймаємо $v_ф$ = 1,8 $\frac{м^3}{м^2 \cdot хв}$. Тоді необхідна площа фільтрації F_a дорівнює:

$$F_a = \frac{Q_p}{v_ф} = \frac{101360}{1{,}8} = 940 \ \text{м}^2.$$

Приймаємо до встановлення рукавний фільтр ФРІР-950 із площею фільтрації 950 м^2 [6].

Визначаємо фактичну швидкість фільтрації у рукавному фільтрі:

$$v_ф^{'} = \frac{Q_p}{F_a''} = \frac{101360}{950} = 1{,}78 \ \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \times \text{хв}} = 0{,}030 \ \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Динамічну в'язкість окремих компонентів, що входять до складу газу, що відбирається від міксера за робочих умов, визначаємо за формулою, Па·с:

$$\eta_i = \eta_{0\,i} \times \left(\frac{273 + c_i^{'}}{273 + t_г + c_i^{'}}\right) \times \left(\frac{273 + t_г}{273}\right)^{1{,}5}, \qquad (2.5)$$

де $c'_{i\,i}$ – константа Сезерленда;

$\eta_{0\,i}$ – динамічна в'язкість окремих компонентів газової суміші при НФУ.

Значення коефіцієнта динамічної в'язкості за нормальних фізичних умов та постійної Сезерленду для компонентів газової суміші наведено в табл. 2.3 [5].

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнта динамічної в'язкості η та постійної Сезерленда c' для деяких газів за нормальних фізичних умов

Компонент	CO	CO_2	O_2	N_2	H_2O
Коефіцієнт динамічної в'язкості, $\eta\times10^6$, Па×с	16,6	13,7	20,3	17	10
Постійна Сезерленда	100	254	131	114	961

$$\eta_{CO} = 16{,}6\times10^{-6}\times\left(\frac{273+100}{273+126{,}3+100}\right)\times\left(\frac{273+126{,}3}{273}\right)^{1{,}5} = 21{,}94\times10^{-6};$$

$$\eta_{CO_2} = 13{,}7\times10^{-6}\times\left(\frac{273+254}{273+126{,}3+254}\right)\times\left(\frac{273+126{,}3}{273}\right)^{1{,}5} = 19{,}55\times10^{-6};$$

$$\eta_{O_2} = 20{,}3\times10^{-6}\times\left(\frac{273+131}{273+126{,}3+311}\right)\times\left(\frac{273+126{,}3}{273}\right)^{1{,}5} = 27{,}36\times10^{-6},$$

$$\eta_{N_2} = 17\times10^{-6}\times\left(\frac{273+114}{273+126{,}3+114}\right)\times\left(\frac{273+126{,}3}{273}\right)^{1{,}5} = 22{,}67\times10^{-6};$$

$$\eta_{H_2O} = 10\times10^{-6}\times\left(\frac{273+691}{273+126{,}3+961}\right)\times\left(\frac{273+126{,}3}{273}\right)^{1{,}5} = 16{,}05\times10^{-6}.$$

Молярна маса газової суміші дорівнює:

$$M = \frac{1}{100}\sum a_i \cdot M_i\,, \qquad (2.6)$$

де M_i – молярна маса окремих компонентів газової суміші,

a_i - об'ємний вміст окремих компонентів газової суміші, %.

$$M = \frac{1}{100} \times (0,2 \times 28,01 + 14 \times 44,01 + 18 \times 32,0 + 65,8 \times 28,02 + 2 \times 18,02) = 30,77 \ \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.$$

Динамічну в'язкість газової суміші визначаємо за виразом:

$$\frac{M}{\eta} = \sum \frac{a_i \cdot M_i}{\eta_i} \tag{2.7}$$

$$\frac{M}{\eta} = \left(\frac{0,002 \cdot 28,01}{22,94} + \frac{0,14 \cdot 44,01}{19,55} + \frac{0,18 \cdot 32}{27,36} + \frac{0,658 \cdot 28,02}{22,67} + \frac{0,02 \cdot 18,02}{16,05} \right) \cdot 10^6 =$$

$$= 1,364 \times 10^6.$$

Звідси:

$$\eta = \frac{M}{M / \eta} \tag{2.8}$$

$$\eta = \frac{30,77}{1,364 \times 10^6} = 22,56 \times 10^{-6} \text{ Па·с}.$$

Визначаємо коефіцієнти фільтрації А та В:

$$A = 0,475 \times \frac{(1 - \varepsilon_n)^2}{(\varepsilon_m)^{3,24} \cdot \varepsilon_n^3 \cdot d_m^{1,77}}. \tag{2.9}$$

$$A = 0,475 \times \frac{(1 - 0,820)^2}{(0,75)^{3,24} \times (0,820)^3 \times (2,4 \times 10^{-6})^{1,77}} = 627,4 \times 10^6;$$

$$B = \frac{817 \times (1 - \varepsilon_n)}{(d_m)^2 \times \varepsilon_n^3 \times \rho_n}. \tag{2.10}$$

$$B = \frac{817 \times (1 - 0{,}820)}{(2{,}4 \times 10^{-6})^2 \times (0{,}820)^3 \times 2840} = 16{,}3 \times 10^9.$$

Визначаємо гідравлічний опір тканини Δp_1, кПа:

$$\Delta p_1 = A \times v'_{\phi} \times \eta. \qquad (2.11)$$

$$\Delta p_1 = 627{,}4 \times 10^6 \times 0{,}03 \times 22{,}56 \times 10^{-6} = 424 \text{ (Па)}.$$

Тоді час міжрегенераційного періоду дорівнює:

$$t_p = \frac{\Delta p / (v'_{\phi} \times \eta) - A}{B \times v'_{\phi} \times Z_1}, \qquad (2.12)$$

де Δp - опір фільтра. Гідравлічний опір рукавного фільтра типу ФРІР трохи більше 2000 Па [6]. Приймаємо гідравлічний опір рукавного фільтра ФРІР-950 рівним 1,8 кПа.

$$t_p = \frac{1800 / (0{,}02 \times 22{,}56 \times 10^{-6}) - 627{,}4 \times 10^6}{16{,}3 \times 10^9 \times 0{,}03 \times 3 \cdot 10^{-3}} = 1385 \text{ с} = 0{,}38 \text{ год.}$$

Маса уловленого пилу на 1 м^2 площі фільтруючої поверхні M_1 дорівнює, кг:

$$M_1 = Z_1 \times v'_{\phi} \times t_p; \qquad (2.13)$$

$$M_1 = 3{,}0 \times 10^{-3} \times 0{,}03 \times 1385 = 0{,}125.$$

Гідравлічний опір шару пилу Δp_2 дорівнює, кПа:

$$\Delta p_2 = B \times M_1 \times v_{ф}^{'} \times \eta\,; \qquad (2.14)$$

$$\Delta p_2 = 16{,}\times 10^9 \times 0{,}125 \times 0{,}03 \times 22{,}56 \times 10^{-6} = 1376 \text{ (Па)}.$$

Сумарний опір тканини та шару пилу дорівнює, Па:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = 424 + 1376 = 1800 \text{ (Па)}.$$

Ступінь очищення від пилу в рукавному фільтрі $\eta_{оч}$ не менше 99 %. Приймаємо ступінь очищення, що дорівнює 99,5 %. Запиленість газу на виході з апарата Z_2 становить не більше, г/м^3:

$$Z_2 = Z_1 \times (1 - \eta_{оч}) = 3{,}0 \times (1 - 0{,}995) = 0{,}015. \qquad (2.15)$$

2.4 Аеродинамічний розрахунок газового тракту

Вихідні дані:

– об'ємна витрата газу при нормальних фізичних умовах (НФУ), нм^3/год 67000

– температура газу t, ºС 130

– розрідження в газоході (на вході в зонт) $p_г$, Па 200

– барометричний тиск $p_{бар}$, кПа 100

Схема газовідвідного тракту представлена на рис. 2.4. Розбиваємо тракт на розрахункові ділянки. Розрахунковим вважається ділянка, на якій витрати газу та поперечний розмір газоходу незмінні.

Перша розрахункова ділянка (від зонта до рукавного фільтра) має довжину l_1 = 2+11+10+10+2+2=37 м, довжина другої розрахункової ділянки (від рукавного фільтра до димососа) становить l_2 = 2+2+7+6+ 2 = 19 м.

Температура газу в кінці розрахункової ділянки визначається за формулою:

$$t^0_{к\,i} = t^0_{н\,i} - \Delta t^0_l \times l_i, \qquad (2.16)$$

де Δt^0_l – падіння температури на 1 м довжини газоходу. Падіння температури на 1м довжини газоходу приймаємо Δt^0_l = 0,1 ºС [7];

$t^0_{н\,i}$ – температура на початку розрахункової ділянки, ^{0}С;

l_i – довжина розрахункової ділянки, м.

Температура наприкінці І розрахункової ділянки складає:

$$t^0_{к1} = 130 - 37 \cdot 0{,}1 = 126{,}3 \text{ ºС};$$

Середня температура на І розрахунковій ділянці дорівнює:

$$\overline{t^0_i} = 0{,}5 \cdot (t^0_{н\,i} + t^0_{к\,i}), \qquad (2.17)$$

$t^0_{к\,i}$ – температура наприкінці розрахункової ділянки, ºС.

$$\overline{t^0_i} = 0{,}5 \cdot (130 + 126{,}3) = 128{,}15^0\text{С}.$$

Щільність газу на І розрахунковій ділянці визначаємо відповідно до виразу:

$$\rho_{г\,i} = \rho_{0\,г} \cdot \frac{273}{\left(273 + \overline{t^0_{г\,i}}\right)} \cdot \frac{\left(p_{бар} \pm p_{гi}\right)}{101{,}3} \qquad (2.18)$$

де $\overline{t^0_{г\,i}}$ – середня температура газу на розрахунковій ділянці, ºС;

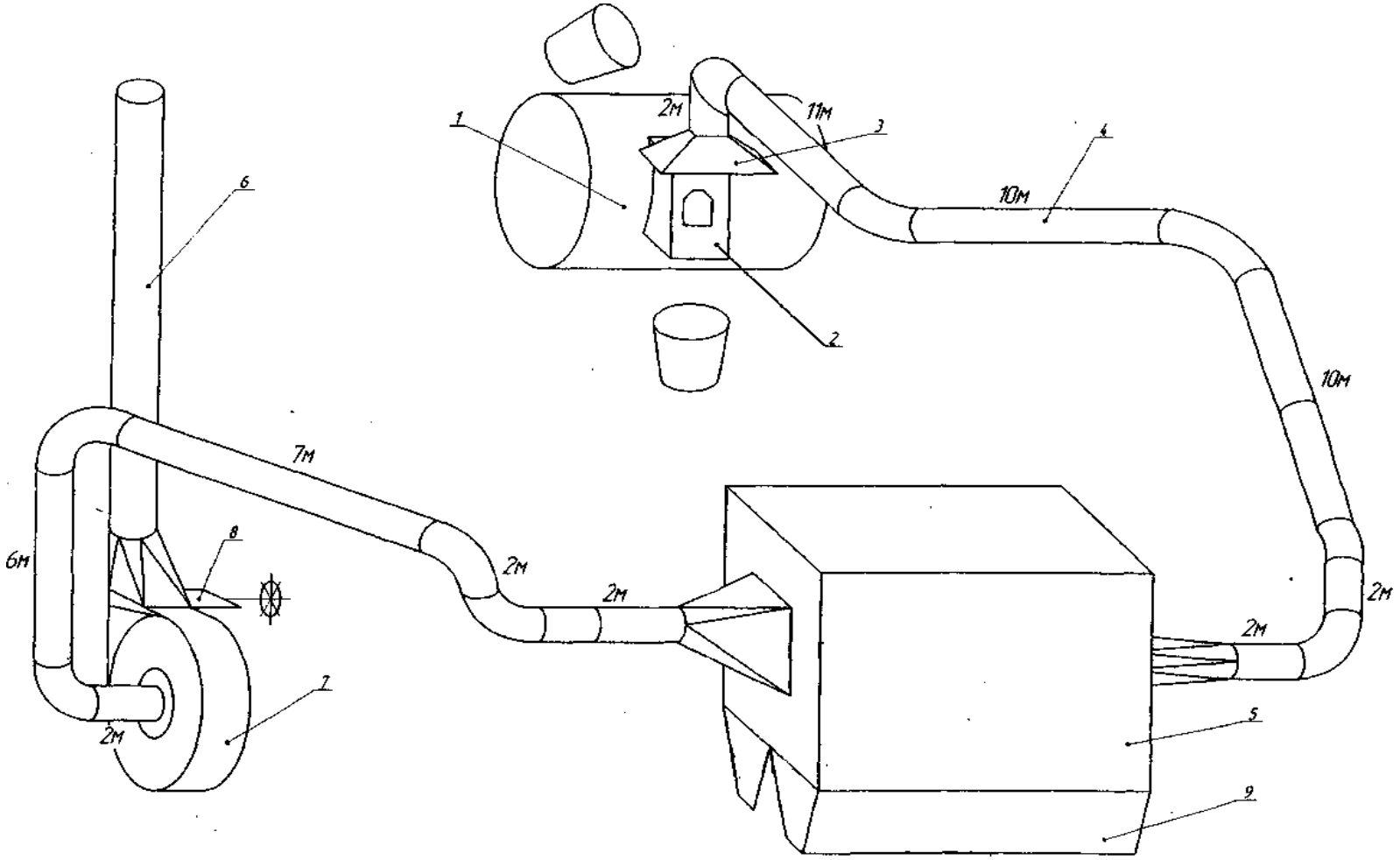
$p_{бар}$ – атмосферний тиск, Па;

$p_{г\,i}$ – надлишковий тиск газу (або розрідження) на розрахунковій ділянці, Па; розрідження на вході в зонт 200 Па.

$$\rho_{г1} = 1{,}376 \cdot \frac{273}{\left(273 + \overline{128{,}15}\right)} \cdot \frac{\left(100 - 0{,}2\right)}{101{,}3} = 0{,}923 \text{ кг/м}^3.$$

Витрата газу на І розрахунковій ділянці за робочих умов визначаємо за формулою (2.3):

$$Q_p = 67000{,}0 \times \frac{(273+128{,}15)}{273} \times \frac{101{,}3}{(100-0{,}2)} = 99930 \ \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 27{,}8 \ \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$



1 – міксер; 2 – зливний носок; 3 – витяжний зонт; 4 – газохід; 5 – рукавний фільтр; 6 – димова труба; 7 – вентилятор; 8 – шибер; 9 – пиловий бункер

Рисунок 2.4 – Схема газовідвідного тракту для аеродинамічного розрахунку

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості об'ємної витрати, м:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p\,i}}{\pi \times v_i}} \tag{2.19}$$

Швидкість руху газу в трубопроводах брудного та чистого газу приймається в межах 15... 20 м/с. Так як пил дрібнодисперсний, можна прийняти v_i =18 м/с.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 27{,}8}{3{,}14 \times 18}} = 1{,}4.$$

Сумарні втрати тиску (енергії 1м^3 газу) Δp складаються із втрат тиску на тертя за довжиною (лінійні втрати) $\Delta p_{тр}$ та втрат тиску на окремих місцевих опорах $\Delta p_{м}$.

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м} = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{тр\,i} + \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{м\,i} \tag{2.20}$$

де i – номер розрахункової ділянки;

m – кількість розрахункових ділянок.

Втрати тиску на тертя за довжиною розрахункової ділянки визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_{тр} = \lambda_i \times \frac{l_i}{d_{e\,i}} \times \rho_{i\,г} \times \frac{v_i^{\,2}}{2}, \tag{2.21}$$

де λ_i – коефіцієнт гідравлічного тертя, що залежить від внутрішньої поверхні трубопроводу; з наближенням λ можна розрахувати за виразом [5]:

$$\lambda = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{d}} \tag{2.22}$$

l_i - довжина розрахункової ділянки, м;

d_{ei} – еквівалентний діаметр трубопроводу на ділянці. Для круглого трубопроводу еквівалентний діаметр дорівнює діаметру трубопроводу $d_{эі}=d_i$;

$\rho_{гі}$ – густина газу на ділянці, кг/м^3;

v_i – середня швидкість на ділянці, м/с.

Втрати тиску на місцевих опорах визначаємо за формулою Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_м = \sum \zeta_i \times \rho_{г\,i} \times \frac{v_i^2}{2}, \qquad (2.23)$$

де $\sum \zeta_i$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

Тоді, $$\lambda_2 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{1{,}4}} = 0{,}032;$$

$$\Delta p_{l1} = 0{,}032 \times \frac{37}{1{,}4} \times 0{,}923 \times \frac{18^2}{2} = 126 \text{ Па}$$

На ділянці № 1 з місцевих опорів є вхід у трубу $\zeta_{тр}$=0,5, дві засувки $\zeta_{зад}$=0,06, дифузор $\zeta_{диф}$=0,14, 4 плавні повороти на 90° і 1 на 135°. Коефіцієнт опору повороту можна визначити за формулою [6]: $\zeta_{90} = 0{,}05+0{,}19 \cdot \frac{d}{R}$. Якщо прийняти для всіх розрахунків d/R=1, то:

$$\zeta_{90} = 0{,}05+0{,}19 \cdot 1 = 0{,}24.$$

Коефіцієнт повороту на будь-який кут можна визначити за виразом: $\zeta_\alpha = \zeta_{90} \cdot \frac{\alpha}{90}$. Таким чином, $\zeta_{135} = 0{,}24 \cdot \frac{135}{90} = 0{,}36$. Тоді за формулою 2.23 визначаємо:

$$\Delta p_{м1} = (0{,}5+2\times0{,}06+4\times0{,}24+0{,}36+0{,}14) \times 0{,}923 \times \frac{18^2}{2} = 311 \text{ Па}.$$

За формулою 2.20 визначаємо сумарні втрати тиску на другій розрахунковій ділянці:

$$\Delta P_1=\Delta P_{l1}+\Delta P_{м1}=126+311=437 \text{ Па}$$

На II розрахунковій ділянці (від рукавного фільтра до димососу) за формулами 2.16, 2.17 визначаємо кінцеву та середню температури на цій ділянці:

$$t^0_{к4} = 126,3 – 19\cdot0,1 = 124,4 \text{ °C}$$

$$\overline{t^0_4} = 0,5\times(126,3 + 124,4) =125,35 \text{ °C}$$

Для розрахунку опору ділянки № 2 необхідно перерахувати витрату та щільність газу за робочих умов, оскільки змінилася температура газів (t_2=125,35). Тому розраховуємо за формулами 2.3 та 2.18 щільність та витрату газів на другій розрахунковій ділянці:

$$\rho_{г2} = 1,376\times \frac{273}{\left(273+\overline{125,35}\right)} \times \frac{\left(100-2,4\right)}{101,3}=0,909 \text{ кг/м}^3,$$

$$Q_p = 67000,0 \times \frac{\left(273+125,35\right)}{273} \times \frac{101,3}{\left(100-2,4\right)} =$$

$$= 101320 \ \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 28,1 \ \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Діаметр газопроводу ділянки № 2 визначаємо за формулою 2.19:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4\times 28,1}{3,14\times 18}}=1,4 \text{ м}$$

Втрати тиску на тертя за довжиною для другої ділянки становитимуть:

$$\Delta p_{l2} = 0,032\times \frac{19}{1,4} \times 0,909 \times \frac{18^2}{2}= 64 \text{ Па}.$$

На даній розрахунковій ділянці місцевими опорами є: три плавні повороти на 90^0 ζ_{90}=0,24, плавний поворот на 70^0 ζ_{70}=0,19, дві засувки $\zeta_{зас}$=0,06, 2 конфузори $\zeta_{кон}$=0,14 та $\zeta_{кон}$=0,25 , дифузор $\zeta_{диф}$=0,01. Тоді за формулою 2.23 визначаємо:

$$\Delta p_{м2} = (2\times0,06+3\times0,24+0,19+0,14+0,25+0,01)\times 0,909\times\frac{18^2}{2}=211 \text{ Па}.$$

За формулою 2.20 визначаємо сумарні втрати тиску на другій розрахунковій ділянці:

$$\Delta P_2=\Delta P_{l2}+\Delta P_{м2}=64+211=275 \text{ Па}$$

Опір газового тракту в цілому складатиметься з опору його ділянок, опору рукавного фільтра та опору зонта. Усі результати розрахунку занесено до табл. 2.4.

2.5 Вибір тягодуттьового обладнання

Димосос вибираємо на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту. Продуктивність димососу Qд приймаємо із запасом 10% [6]: незалежно від температури газів, але з поправкою на барометричний тиск $p_{бар}$ =100 кПа:

$$Q_д = 1,1\times Q_р\times\frac{101,3}{p_{бар}}. \qquad (2.24)$$

На другій розрахунковій ділянці, де встановлюємо димосос $Q_р$ = 28,1 м^3/с при робочих умовах.

$$Q_д = 1,1\times 101320\times\frac{101,3}{100} = 112723 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Додатковий тиск для димової труби $\Delta P_{дт}$=0,2 кПа.

Тиск (розрідження), що створюється димососом, приведений до умов

каталогу, за яким вибирається димосос $\Delta p_{кат}$, приймається рівним [6]:

Таблиця 2.4 – Результати аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту

Ділянка	Витрати газу при ДФУ Q_p, м^3/с	Середня температура, t^0, ^{0}С	Щільність газу $\rho_г$, кг/м^3	Довжина ділянки l, м	Діаметр газоходу d, м	Витрати тиску				
						Вид місцевого опору	$\sum\zeta$	ΔP_l, Па	$\Delta P_м$, Па	$\Delta P_\sum$, кПа
зонт										0,2
№ 1	27,8	128,15	0,923	37	1,4	вхід у трубу 2 засувки 4 повороти на 90^0 поворот на135^0 дифузор	0,5+ 2·0,06+ 4·0,24+ 0,36+ 0,14=2,08	126	311	0,4
Рукавний фільтр										1,8
№ 2	28,1	125,35	0,909	19	1,4	2 конфузора 2 засувки 3 повороти на 90^0 поворот на 70^0 дифузор	0,14+0,25 + 2·0,06+ 3·0,24+ 0,19+ 0,01=1,43	64	211	0,3
$\Delta P\sum$										2,7 кПа

$$\Delta p_{кат} = \beta_2 \times \Delta p_{тр} \times K_p, \quad (2.25)$$

де β_2 – коефіцієнт запасу тиску. Приймаємо коефіцієнт запасу тиску β_2 = 1,2 [6].

Δртр – сумарний опір газовідвідного тракту, отриманий внаслідок аеродинамічного розрахунку. $\Delta p_{тр}$ = 2,7 кПа.

K_p – коефіцієнт перерахунку.

Коефіцієнт K_p визначається за формулою [6]:

$$K_p = \frac{\overline{T_{гi}}}{T_x} \times \frac{101,3}{p_{бар}} \times \frac{\rho_{0гi}}{\rho_{0в}}, \quad (2.26)$$

де T_x – температура, на яку складено характеристика вентилятора (димососа), К;

$\overline{T_{гi}}$ – середня температура газу на останній розрахунковій ділянці газоходу, К. $\overline{T_{гi}} = (\overline{t^0_{гi}} + 273)$;

$\rho_{0гi}$ – щільність газу при НФУ на останній розрахунковій ділянці, кг/м^3;

$p_{бар}$ – атмосферний тиск, кПа;

$\rho_{0в}$ – щільність повітря за нормальних фізичних умов (НФУ), кг/м^3.

Аеродинамічні характеристики димососів у [6] дано при температурі T_x = (273+200). Щільність газу за нормальних фізичних умов визначено у пункті 2.3. Вона дорівнює $\rho_{0\ г}$ = 1,376 кг/м^3; $t_{кат}$ =200ºС [7]. Середня температура газу на другій розрахунковій ділянці $\bar{t}_г$ = 124,4 ^{0}С.

Тоді:

$$K = \frac{(273+124,4)}{(273+200)} \times \frac{101,3}{100} \times \frac{1,376}{1,293} = 0,906.$$

$$\Delta p_{кат} = 1,2 \times (2,7+0,2) \times 0,906 = 3,15 \text{ кПа} = 321 \text{ мм вод. ст.}$$

Приймаємо до встановлення відцентровий димосос одностороннього всмоктування Д-18 [7] з такими характеристиками:

– витрата газу $Q_{кат}$ – 112723 м^3/год = 31,3 м^3/с;

– тиск, що створюється (розрідження) 321 мм в. ст. = 3150 Па;

– коефіцієнт корисної дії $\eta_{пд}$ = 0,706;

– число обертів n = 740 об / хв.

Потужність димососу визначаємо за формулою, кВт:

$$N = \frac{Q_{кат} \times p_{кат}}{\eta_{кат} \times K} \times 10^{-3}. \quad (2.27)$$

$$N = \frac{31{,}3 \times 3150}{0{,}706} \times 10^{-3} = 139{,}65 \text{ (кВт)}.$$

2.6 Розрахунок параметрів димової труби

Димова труба необхідна для створення ефективної тяги та здійснення розсіювання шкідливих викидів. Висота димової труби за заводськими даними H = 40м, D = 1,5м.

Температура газів на основі труби $t_{осн}$ = 124,4 ^{0}C, тоді температура газів у горловині труби: $t_{горл}$ = 124,4 – 0,5 · 124,4 = 62,2 ^{0}C. Оскільки знизилася температура газів та їх розрідження, необхідно перерахувати щільність і витрата газів перед димососом:

$$\rho_{Г.Д} = 1{,}376 \cdot \frac{273(100 - 2{,}9)}{(273 + 124{,}4) \cdot 101{,}3} = 0{,}906 кг / м^3$$

За такої щільності газів витрата газів дорівнює:

$$Q_{Р.Д} = Q_2 \cdot \frac{\rho_{Г.2}}{\rho_{Г.Д.}} \quad (2.28)$$

$$Q_{Р.Д} = 28{,}1 \cdot \frac{0{,}909}{0{,}906} = 28{,}2 м^3 / с$$

Щільність газів в основі та на виході димової труби, кг/м^3:

$$\rho_{1осн} = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + t_{осн}}; \qquad \rho_{2горл} = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + t_{горл}} \tag{2.29}$$

$$\rho_{1осн} = 1{,}376 \cdot \frac{273}{273 + 124{,}4} = 0{,}945 кг/м^3;$$

$$\rho_{2горл} = 1{,}376 \cdot \frac{273}{273 + 62{,}2} = 1{,}121 кг/м^3;$$

Тоді витрата газу в основі та на виході димової труби складе:

$$Q_{1осн} = Q_{Р.Д} \cdot \frac{\rho_{Г.Д}}{\rho_{1осн}} = 28{,}2 \cdot \frac{0{,}906}{0{,}945} = 27 \text{ м}^3/\text{с} \tag{2.30}$$

$$Q_{2горл} = Q_{1осн} \cdot \frac{\rho_{1осн}}{\rho_{2горл}} = 27 \cdot \frac{0{,}945}{1{,}121} = 22{,}8 \text{ м}^3/\text{с} \tag{2.31}$$

Швидкість газів на виході з труби, м/с:

$$W_2 = \frac{4 \cdot Q_{2горл}}{\pi \cdot D^2_{горл}} \tag{2.32}$$

$$W_2 = \frac{4 \cdot 22{,}8}{3{,}14 \cdot 1{,}5^2} = 12{,}9 м/с$$

Гідравлічний опір димової труби, Па:

$$\Delta p_{тр} = \lambda \times \frac{H}{D_{горл}} \times \rho_2 \times \frac{w_2^{\,2}}{2}, \tag{2.33}$$

де λ – гідравлічний коефіцієнт тертя; λ = 0,03.

$$\Delta p_{тр} = 0{,}03 \times \frac{40}{1{,}5} \times 1{,}121 \times \frac{12{,}9^2}{2} = 75 \text{ Па}$$

Динамічний тиск газів, який необхідний для створення швидкості W_2, Па:

$$P_{дин} = \frac{W_2^2}{2} \cdot \rho_{горл}; \quad (2.34)$$

$$P_{дин} = \frac{12{,}9^2}{2} \cdot 1{,}121 = 93 \text{ Па}.$$

Опір виходу газів в атмосферу:

$$\Delta P_{вих} = \zeta_{вих} \cdot \frac{W_2^2}{2} \cdot \rho_2 \quad (2.35)$$

де $\zeta_{вих}$ – коефіцієнт опору виходу газів в атмосферу.

$$\Delta P_{вих} = 1{,}15 \cdot \frac{12{,}9^2}{2} \cdot 1{,}121 = 107 \text{ Па}$$

Сумарний опір димової труби:

$$\Delta P_{\sum} = \Delta P_{тр} + P_{дин} + \Delta P_{вих} = 75 + 93 + 107 = 275 \text{ Па} \quad (2.36)$$

Самотяга димової труби визначається за формулою, Па:

$$P_т = q \cdot H \cdot (\rho_в - \rho_{горл}) \cdot B/101, \quad (2.37)$$

де H – висота труби, м;

$\rho_в$ – густина навколишнього повітря в даних умовах, кг/м^3:

$$\rho_в = 1{,}293 \cdot \frac{273}{273 + 27} = 1{,}177 \text{ кг/м}^3$$

В – атмосферний тиск, кПа.

$$P_т = 9{,}81 \cdot 40 \cdot (1{,}177 - 1{,}121) \cdot 100/101{,}3 = 22 \text{ Па}.$$

Додатковий тиск:

$$P_{дод} = P_т - \Delta P_{\sum} = 22 - 275 = -253 \text{ Па}.$$

$P_{дод} < 0$, означає, що самотяга труби не забезпечує подолання сумарного опору, тому $P_{дод}$ слід врахувати в сумарному аеродинамічному опорі газового тракту.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Безпека процесів міксерного відділення мартенівського цеху та його обладнання

Міксерне відділення – це проміжна ланка між доменним та мартенівським цехами. Міксерне відділення мартенівського цеху служить для приймання, зберігання та усереднення за складом та температурою рідкого чавуну, що надходить з доменного цеху.

У міксерному відділенні встановлено два міксери з механізмами їх повороту і механізмами відкривання кришок заливальних отворів і зливних носків, два міксерні (заливальні) крани, машини для скачування шлаку з міксерів, розташовані навпроти зливних носків, машина для скачування шлаку з чавуновозних ковшів, устаткування для вловлення графітового пилу, ваги для зважування рідкого чавуну, стенди для шлакових ковшів та тельфер для проведення ремонтних робіт. Система уловлювання графіту оснащена зонтами, розташованими над зливними носками міксерів. Залізничні колії служать для подачі чавуновозів, що прибувають з доменого цеху. Рейкові шляхи широкої колії призначені для пересування самохідних чавуновозів, що доставляють чавун до мартенівських печей.

Пост управління міксером повинен бути розташований осторонь зливного носка міксера і в такому місці, звідки забезпечується видимість операцій зі зливу чавуну в міксера. Розташовувати пост управління навпроти зливного носка міксера забороняється. Приміщення поста керування має бути виконане з негорючого матеріалу і мати припливну вентиляцію. Двері посту не повинні виходити у бік зливного носка міксера. Вікно посту, повернене до зливного носка міксера має бути засклено теплозахисним склом. Опалення міксера проводиться природним газом за допомогою пальників, встановлених у торцях та зливному носку [8].

Ширина майданчиків, містків та сходів для обслуговування міксерів

має бути не менше 1 м.

Заливку чавуну в міксер дозволяється проводити з ковшів, наповнених до рівня, що не перевищує 250 мм від верху. Носки ковшів повинні бути очищені від скрапу та заправлені. Заливання чавуну в міксер має проводитися в центр вікна рівномірним струменем з мінімальної висоти. Про майбутню заливку чавуну повинен бути поданий звуковий сигнал. Зливати чавун у міксер із ковшів із застиглою кіркою забороняється.

Підготовка ковшів до зливу чавуну в міксер (пробивка скоринки шлаку і металу, а також розчищення та підмазування носка льотковою масою доменного цеху) проводиться міксеровим на спеціальному майданчику до підйому ковшів до заливного отвору міксера. Заливний отвір міксера повинен своєчасно очищатися від настилів і щільно закриватися футерованою кришкою.

Щоб уникнути попадання чавуну на бочку міксера, його злив повинен проводитися в центр заливного отвору рівномірним спокійним струменем, що не виходить по ширині за межі носка; злив чавуну з переповнених ковшів, а також з несправними та неочищеними носками забороняється.

Стан і справність футерування міксера повинні перевірятися міксеровим із записом результатів огляду в журналі. Вікно та кожух міксера необхідно очищати від настилів та скрапу.

Конструкції та обладнання у міксерному відділенні повинні регулярно очищатися від графіту [9].

3.2 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

Окремі операції міксерного відділення, такі як заливка та розливання чавуну, повертання міксера та очищення газів від пилу, супроводжується шкідливими виробничими факторами – виділенням великих кількостей тепла, пилу та газів, підвищенням рівня шуму. Для робочого місця

міксерового відповідно до гігієнічної класифікації дана гігієнічна характеристика трудового процесу та оцінка факторів виробничого середовища, подана в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого трудового процесу міксерового міксерного відділення мартенівського цеху

№ з/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії фактора
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3:						
	1 клас небезпеки	0,010	0,011	1,1			91,2
	Ангідрид хромовий	0,050	0,156		3,1		91,2
	Марганцю оксиди аерозоль 2 клас небезпеки						
	3-4 клас небезпеки	10,0	11,25	1,1			91,2
	Ангідрид сірчистий	2,0	3				91,2
	Азоту діоксид	20,0	1,695				91,2
	Вуглецю оксид	6,0	18,1	2,5			91,2
	Заліза оксид		15,13				
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м^3:						
	Кремнію діоксид кристалічний при вмісті в пилі від 2 до 10%	4,0	83,66			20,9	91,2
3	Шум, дБА	80,0	87,0	7,0			-
4	Мікроклімат у приміщенні:						
	Температура повітря, ^{0}C	26,0	39,0			13,0	91,2
	Швидкість руху повітря, м/с	0,6	1,340	2,2			91,2
	Відносна вологість повітря, %	55,0	26,0				91,2
	Інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140,0	5130,0			5130,0	88,1
5	Важкість і напруженість праці	Категорія робіт важка, III напружена					

Джерелами інтенсивних теплових випромінювань у міксерному відділенні є нагріті чавун, шлак та міксери. Потоки теплових випромінювань у гарячих цехах створюють переважно інфрачервоні промені довжиною хвилі до 10 мкм. Верхня межа оптимального опромінення менше ніж 140 Вт/м^2. Інтенсивність випромінювання у міксерному відділенні досягає 5130 Вт/м^2 і відноситься до факторів ІІІ класу 3 ступеня небезпеки [10].

Інфрачервоні випромінювання впливають на функціональний стан людини, її центральну нервову систему, серцево-судинну систему. Відзначається різке почастішання серцебиття, підвищення максимального та зниження мінімального артеріального тиску, почастішання дихання, підвищення температури тіла та посилення потовиділення, захворюваність серцево-судинної системи та органів травлення. При тривалому перебуванні людини в зоні інфрачервоного випромінювання, як і при систематичному впливі високої температури, відбувається порушення водно-сольового балансу, що спричиняє так звану судомну хворобу. Порушення теплового балансу викликає захворювання, яке називається тепловою гіпотермією або перегрівом. При тривалому підвищеному інтенсивному опроміненні може виникнути катаракта очей [11].

Для покращення умов праці в гарячих цехах та захисту працюючих від теплового впливу застосовують такі способи: теплоізоляція поверхонь, що випромінюють тепло; екранування джерел чи робочих місць; теплоізоляцію та охолодження робочих місць; природну вентиляцію; спецодяг та індивідуальні захисні пристрої – щитки, окуляри, екрани [11].

Шкідливим фактором є наявність високих концентрацій графітового пилу в повітрі робочої зони. Гранично допустима концентрація нетоксичного пилу повітря робочої зони виробничих приміщень становить 4 мг/м^3, а фактичне значення сягає 83,668 мг/м^3, тобто перевищує нормативне в 20,9 разів і належить до ІІІ класу ІІІ ступеня небезпеки.

Найбільш ефективними засобами боротьби з пилом є аспірація пилу із місць її утворення. Також необхідно застосовувати засоби індивідуального

захисту органів дихання, такі як респіратор ШБ-2 «пелюстка», який усуває вплив пилу на організм працюючих.

Одним з основних заходів щодо запобігання можливому отруєнню такими газами, як CO, SO_2, NO_2 та ін. є своєчасне виявлення місць їх виділення або скупчення. Працівники санітарно-технічних лабораторій та газорятувальні служби щодобово за встановленим графіком контролюють склад повітряного середовища у всіх газонебезпечних місцях. При виявленні виділень або скупчень газу негайно вживають заходів щодо припинення допуску до газонебезпечних зон людей і локалізації джерела виділення газу.

Невід'ємною частиною технологічного процесу є різне обладнання, машини, агрегати, механізми, наслідком роботи яких є зростання шуму. Нормативне значення шуму на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємств встановлено 80 дБА, а фактичне становить відповідно 87 дБА і відносяться до III класу 3 ступеня небезпеки.

3.3 Технічні рішення щодо виробничої санітарії

Відповідно до вимог санітарних норм для мартенівського виробництва, в якому технологічні процеси є джерелами виділення виробничих шкідливостей у довкілля, передбачається встановлення санітарно-захисної зони. Розмір санітарно-захисної зони визначається потужністю виробництва та характером шкідливих виділень. Санітарні норми проєктування промислових підприємств (СН 245-71) передбачають п'ять класів виробництв із відповідними розмірами санітарно-захисних зон. Мартенівське виробництво належить до I класу, для якого ширина санітарно-захисної зони дорівнює 1000 м [8].

Мартенівський цех, до складу якого входить міксерне відділення, розташовується з підвітряної сторони стосовно житлового району та адміністративно-побутових будівель.

Вентиляційні пристрої у приміщеннях міксерного відділення повинні

забезпечувати стан повітряного середовища у робочій зоні відповідно до санітарних норм. Значення прийнятих допустимих параметрів повітряного середовища у робочій зоні виробничих приміщень міксерного відділення мартенівського цеху представлені у табл. 3.2 [8].

Для покращення мікроклімату на робочому місці міксерового в міксерному відділенні передбачено природну вентиляцію приміщення відділення та механічну подачу повітря установками з обробкою повітря на типових кондиціонерах до постійних робочих місць.

Таблиця 3.2 – Допустимі параметри повітряного середовища у робочій зоні міксерного відділення

Період року	Характеристика виробничих приміщень за надлишковим тепловиділенням,м	Категорія робіт по тяжкості	Температура повітря, ^{0}C	Відносна вологість повітря	Швидкість руху повітря, м/с
Холо-дний	> 23 Вт/м^3	III б	13-19	Не більше 75	Не більше 0,5
Теплий	> 23 Вт/м^3	III б	15-26	Не більше 75	0,2-0,6

Розташування та влаштування вентиляційних укриттів над вікном заливки, зливним носком міксера і машиною для скачування шлаку забезпечує уловлювання графіту і газів при заливці чавуну в міксер, зливі чавуну з міксера і скачуванні шлаку [12].

Температура повітря в приміщенні як в зимовий, так і в літній час вище за температуру навколишнього зовнішнього повітря. Нагрів повітря у виробничому приміщенні відбувається внаслідок надходження тепла від устаткування, оброблюваних матеріалів та людей [13].

Нормалізація метеорологічних умов у виробничих приміщеннях безпосередньо пов'язана із необхідністю підтримання температури повітря

шляхом опалення. У тих приміщеннях металургійних цехів, де температура повітря підтримується завдяки тепловим виділенням від технологічного обладнання та оброблюваних матеріалів, передбачається резервне опалення, що дозволяє підтримувати в холодну пору року температуру не менше 5 ^{0}C при проведенні ремонтних робіт [13].

Природне освітлення у приміщенні створюється сонячним світлом через світлові отвори і поділяється на бічне, верхнє та комбіноване (бічне та верхнє). Бокове освітлення забезпечується через світлові отвори в стінах, верхнє – через світлові отвори в аераційних ліхтарях, комбіноване – одночасно через світлові отвори у стінах та аераційних ліхтарях. Електричне освітлення необхіднедля проведення робіт у темний час доби чи місцях без достатнього природного освітлення. Непостійність природного світла викликає необхідність нормувати природне освітлення за допомогою коефіцієнта природного освітлення. При виборі рішень щодо освітлення в міксерному відділенні були прийняті до уваги наступні фактори:

- відсутність точних зорових робіт і вкрай несприятливі умови середовища зумовлювали вибір як джерела світла виключно лампи розжарювання;

- у місцях зручних для обслуговування при великій кількості пилу застосовуємо пиленепроникні світильники типу СГ та ПГТ;

- аварійне освітлення передбачаємо практично у всіх виробничих та прохідних приміщеннях. Аварійне освітлення завжди становить 0,3 лк, а коефіцієнт запасу дорівнює 1,7 для всіх випадків;

- для забезпечення можливості виконання ремонтних робіт, огляду внутрішніх порожнин застосовується переносне освітлення.

Відповідно до СНіП II-4-79 «Природне та штучне освітлення» роботи відносяться до VIII розряду зорової роботи, до підрозряду а. На робочому місці застосовується суміщене освітлення. Визначаємо нормоване значення коефіцієнта природного освітлення (КПО):

$$e_н = e \cdot m \cdot c, \qquad (3.1)$$

де е – значення КПО; з урахуванням характеру зорової роботи е = 0,9% [13];

m – коефіцієнт світлового клімату; для IV поясу m = 0,9 [13];

с- коефіцієнт сонячності клімату, с = 0,75 [13].

$$e_н=0,9\cdot 0.9\cdot 0,75=0,608\%.$$

Для штучного освітлення в міксерному відділенні мартенівського цеху застосовуються лампи розжарювання ФРЛ-500М, напругою 500Вт та світильники ГсР-400Вт. Коефіцієнт запасу світильників залежно від запиленості дорівнює 1,7 [12].

Мартенівський цех з міксерним відділенням має приміщення, в яких розміщуються вбиральні, душові, умивальні приміщення. Допоміжні приміщення розміщуються у прибудовах до виробничих будівель та в окремих будинках. Висота поверхів допоміжних будівель 3,3 м. Санітарно-побутові приміщення розташовуються таким чином, щоб унеможливити вплив на ці приміщення виробничих шкідливостей. Усі санітарно-побутові приміщення повинні регулярно провітрюватися і щодня прибиратися. Якщо неможливе природне провітрювання, то влаштовується вентиляція. Санітарно-побутові приміщення опалюються від центральної системи опалення.

Джерелами шуму та вібрації у міксерному відділенні є обладнання, машини, агрегати, механізми нахилу міксерів. Тривалий вплив шуму на організм людини призводить до професійних захворювань органів слуху, пов'язаних із частковою або повною втратою слуху, різними захворюваннями центральної нервової системи та серцево-судинними розладами. Виробничі інтенсивні шуми пригнічуюче діють на психіку людини і викликають швидку втому. Виробничі шуми є причиною різкого зниження зору, послаблення пам'яті та зниженої реакції на попереджувальні сигнали. Також порушуються функції кишково-шлункового тракту, підвищується внутрішньочерепний тиск, відбуваються порушення в обмінних процесах організму. Через несприятливий вплив шуму на працюючу людину

відбувається зниження продуктивність праці, збільшується брак у роботі, створюються передумови виникнення нещасних випадків. На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємств гранично допустимий рівень звуку встановлено 80 дБА, для якого ймовірність пошкодження слуху практично дорівнює нулю за будь-якого етапу роботи. Для захисту виробничого персоналу від шуму обладнання його повністю закривають герметично звукоізолюючим кожухом, який виготовляють зазвичай із сталевих листів завтовшки 2-3 мм, а внутрішні поверхні облицьовують звукопоглинаючими матеріалами. Звукоізолюючий кожух встановлюють на пружних прокладках, а машину ретельно віброізолюють від фундаменту, не допускаючи жорстких контактів між машиною та кожухом. Отвори для циркуляції повітря та проходу комунікацій забезпечуються глушниками шуму або герметизуються сальниками [12].

У міксерному відділенні джерелами теплових випромінювань є нагрітий чавун, шлак та міксери.

У міксерному відділенні захисту від теплових випромінювань підлягають такі конструкції: підкранові балки над міксерами, колони майданчика на ділянці зливу чавуну та шлаку та конструкції розливного майданчика, пост управління та кабіна кранового машиніста.

Підвищений тепловий вплив на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може спричинити порушення теплового балансу організму. Посилене потовиділення при напруженій м'язовій роботі в умовах підвищеного температурного режиму призводить до втрати кров'ю хлористого натрію, що є основним утримуючим елементом води у крові.

Для зниження шкідливого впливу тепла на організм людини стінки, колони, кабіни кранівників та пост управління міксерового мають бути теплоізольовані, а над міксерами мають бути влаштовані зонти з витяжними трубами.

3.4 Заходи з техніки безпеки

У роботі міксера можливі неполадки та відмова у роботі. Розвиток можливої аварії може бути локалізовано або припинено при правильних діях щодо усунення несправності. Відділення складається із двох міксерів, а між ними ззаду розміщений пульт управління. Вся високовольтна апаратура винесена в окрему будівлю – високовольтний розподільний пристрій. Від розподільчого пристрою до трансформатора струм подається високовольтним підземним кабелем. До основного електрообладнання міксерного відділення належать автоматичні вимикачі потужності, трансформатори, коротка мережа, автоматичні регулятори повороту міксерів, їх нахилу та ін.

Небезпека електричних уражень у міксерному відділенні створює різне обладнання: електричний привід (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електроустаткування підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрішньозаводський транспорт, зварювальні апарати, освітлювальні установки, електричний ручний інструмент тощо.

На рівень електротравматизму впливають недоліки в конструкції та монтажі обладнання, неправильна експлуатація, недостатній інструктаж тощо. Також можливий дотик до струмоведучих частин пускорегулюючих та захисних апаратів. Міксерне відділення мартенівського цеху ВАТ «Запоріжсталь» оснащено великою кількістю панелей, електричних приладів, електроапаратури, електродвигунів (Д-816, Д-812, Д-808, ДП-21, Д - 12, П - 22, MTKF - 111-6, MTKF - 211-6, ВАТ-2-315-8, 4-АМ-250-М8) та ін. Для роботи електрообладнання потрібна напруга 380 В. Електричний струм використовується для освітлення приміщень; необхідну напругу 220 В. Таким чином, міксерне відділення відноситься до категорії з підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Вибираємо мережу для живлення електрообладнання міксерного відділення трифазну чотирипровідну з глухозаземленою нейтраллю.

Внутрішньоцехова електрична мережа виконана із ізольованих проводів та кабелів, захисні оболонки яких за механічною міцністю відповідають умовам їх експлуатації у міксерному відділенні.

Ефективним заходом захисту для трифазних чотирипровідних мереж напругою до 1000В з глухозаземленою нейтраллю є захисне занулення та автоматичне захисне відключення. Для безпечного обслуговування електроустановок мережі необхідно періодично перевіряти ізоляцію на електроміцність, щоб визначити величину струмів витоку в мережі та запобігти можливості пробою на корпус [12].

3.5 Заходи пожежної безпеки

Причинами виникнення пожеж у міксерному відділенні можуть бути недоліки в будівельних конструкціях, спорудах, плануванні приміщень, влаштуванні комунікацій, дефекти обладнання, порушення режимів технологічних процесів, неправильне ведення робіт, необережність і недбалість персоналу, самозаймання, розряди атмосферної і статичної електрики.

У міксерному відділенні передбачено встановлення пожежної сигналізації, яка призначена для автоматичного виявлення та видачі сигналів про пожежу, включення апаратури аварійної сигналізації, формування управлінських сигналів для системи оповіщення про пожежу, відключення вентиляції технологічних блокувань.

Найбільш поширені, надійні та дешеві автоматичні установки водяного гасіння. Як вогнегасні засоби в них використовуються крапельні водяні струмені, водно-хімічні піни та емульсії, повітряно-механічні піни з додаванням змочувачів.

Для гасіння пожеж застосовують хімічні пінні вогнегасники ВХП-10 та вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 та ВВ-8, а також пересувні ВВ-25 та ВВ-80.

3.6 Інженерна розробка заходів захисту від надлишкового тепла у міксерному відділенні мартенівського цеху

У міксерному відділенні відбувається виділення великої кількості тепла від нагрітого чавуну, шлаку та міксерів. Тож у дипломному проєкті проводиться розрахунок аерації видалення надлишкової теплоти. У міксерному відділенні об'ємом 3300 м^3 встановлені два міксери з тепловиділяючою поверхнею 8м^3. Температура рідкого чавуну усередині міксера $T_{вн.}$ = 1380 °С. Стінки міксерів - вогнетривка цегла (шамот), товщиною δ_1 = 345 мм, кожух міксера сталевий, товщиною δ_2 = 3 мм. Температура повітря у відділенні $T_{мотд}$ = 39 °С.

Визначаємо необхідний повітрообмін за теплонадлишками, кг/год:

$$G = \frac{Q_{над}}{C \cdot \left(t_{вих} - t_{прит}\right)}, \quad (3.2)$$

де $Q_{над}$ - надлишки тепла, кДж/год;

С - теплоємність повітря, = 1,005 кДж/кг·К;

$t_{вих}$ - температура повітря, що виходить з приміщення, ° С;

Температура повітря залежить від кількості явного тепла, повітрообміну, висоти цеху та ін. Її можна визначити з формули:

$$m = \frac{t_{р.з.} - t_{прит}}{t_{вих} - t_{прит}}, \quad (3.3)$$

де m - коефіцієнт, що залежить від відношення площі, займаної тепловиділяючим обладнанням, до площі приміщення; для міксерного відділення m=0,4 [13];

$t_{р.з.}$ - температура повітря в робочій зоні, ºС; $t_{р.з.}$ = 30 ºС.

$$m = \frac{30 - 27}{t_{вих} - 27} = 0{,}4, \rightarrow t_{вих} = 34{,}5\ ^{o}C.$$

Тепловиділення від міксерів визначаються за формулою, Вт:

$$Q_{над} = R \cdot (T_{вн} – T_{м.отд.}) \cdot S, \quad (3.4)$$

де R – коефіцієнт тепловіддачі стінок міксера, Дж/(м^2 ·с·К);

$t_{вих}$ – температура повітря, що виходить, ° С;

S – сумарна площа тепловиділяючих поверхонь міксерів, м^2.

$$R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.5)$$

де α_1,α_2 – коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній та зовнішній поверхні міксера (відповідно рівні 14 та 9,3 Дж/м^2·с·К).

λ_1, λ_2 – коефіцієнти теплопровідності шамотної цегли та кожуха міксера (відповідно 0,93 та 7 Дж/ м^2·с·К).

$$R = \frac{1}{\frac{1}{14} + \frac{0.345}{0.93} + \frac{0.003}{7} + \frac{1}{9.3}} = 1.81 \text{ Дж/ м}^2\text{·с·К}$$

$$Q_{над} = 1{,}81\cdot(1380 – 39)\cdot 8\cdot 2 = 38835{,}4 \text{ Дж/с}$$

Тоді необхідний повітрообмін складе:

$$G = \frac{38835{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 3600}{1{,}005 \cdot (34{,}5 – 27)} = 18548{,}3 \text{ кг/год.}$$

Для здійснення аерації влаштовуємо два ряди отворів у поздовжніх стінах будівлі мартенівського цеху: перший ряд – на рівні 10 м від підлоги, другий – на рівні підкранових балок – 26 м. На даху влаштовуємо витяжний ліхтар. Таке розміщення отворів дозволяє збільшити повітрообмін влітку, а взимку, закривши нижні отвори, зменшити його і забезпечити за рахунок тепла приміщення підігрів холодного повітря, що надходить через середній отвір, перш ніж він дійде до робочих місць [13].

За розрахунковим повітрообміном визначимо площі припливних та витяжних отворів:

$$F_{пр} = \frac{G}{3600\mu_1\sqrt{2gh_п\rho_н(\rho_н - \rho_у)}} \quad (3.6)$$

$$F_{вит} = \frac{G}{3600\mu_2\sqrt{2gh_в\rho_у(\rho_н - \rho_у)}} \quad (3.7)$$

де μ_1, μ_2 - коефіцієнти витрати, приймаємо $\mu_1 = 0{,}56$; $\mu_2 = 0{,}57$ [12];

$h_п$, $h_в$ – відстань від нейтральної зони до центрів відповідно припливних та витяжних прорізів, м:

$$h_п = H_1 - h_в \quad (3.8)$$

$$h_в = \frac{H_1}{0{,}64\cdot\frac{\rho_в}{\rho_з}+1} \quad (3.9)$$

де H_1 – відстань по вертикалі між центрами припливних та витяжних отворів;

$\rho_в$, $\rho_з$ – щільність відповідно видаляємого і зовнішнього повітря, кг/м^3.

$$\rho_в = 1{,}293 + 3{,}7\cdot10^{-3}\cdot\alpha_{у,} \quad (3.10)$$

де $\alpha_у$ - коефіцієнт для теплого періоду року $\alpha_у = 10$ [12].

$$Р_в = 1{,}293 + 3{,}7\cdot10^{-3}\cdot10 = 1{,}33 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_з = 1{,}293 + 3{,}7\cdot10^{-3}\cdot\alpha_н,$$

де $\alpha_н$ - коефіцієнт для теплого періоду року $\alpha_н = 13$ [12].

$$\rho_з = 1{,}293 + 3{,}7\cdot10^{-3}\cdot13 = 1{,}341 \text{ кг/м}^3$$

Тоді,

$$h_п = 16 – 9,79 = 6,21 \text{ м}$$

$$h_в = \frac{16}{0,64 \cdot \frac{1,33}{1,341} + 1} = 9,79 \text{ м}$$

Підставляючи розраховані значення формули (3.6), (3.7) отримаємо площі припливних і витяжних прорізів:

$$F_{пр} = \frac{18548,3}{3600 \cdot 0,56\sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 6,21 \cdot 1,341(1,341 – 1,33)}} = 6,9 \text{ м}^2$$

$$F_{вит} = \frac{18548,3}{3600 \cdot 0,57\sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 9,79 \cdot 1,33(1,341 – 1,33)}} = 5,4 \text{ м}^2$$

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок виробничої потужності та виробничої програми газоочисної установки міксерного відділення мартенівського цеху

У кваліфікаційній роботі наведено економічне порівняння двох варіантів графітоуловлюючих установок міксерного відділення. За базовий варіант приймається існуюча на ВАТ «Запоріжсталь» графітоуловлююча установка в міксерному відділенні мартенівського цеху із застосуванням як очисний апарат рукавного фільтра ФРКДІ-1100 та вентилятора ВМ-20А. У проєктному варіанті пропонується заміна основних вузлів рукавного фільтра ФРКДІ-1100 із застосуванням основних технічних рішень, характерних для рукавного фільтра типу ФРІР-950 із імпульсною регенерацією рукавів. Пропонується максимально використовувати основні конструктивні елементи та окремі вузли раніше встановленого фільтра ФРКДІ-1100: корпус фільтра, бункера пилу, система видалення уловленого пилу. У проєктному варіанті встановлюється відцентровий димосос одностороннього всмоктування Д-18.

Обладнання ділянки газоочистки працює за графіком технологічних агрегатів основної ділянки. Передбачається цілодобова робота міксера та капітальний ремонт газоочищення поєднується з капітальним ремонтом міксера. Баланс робочого часу газоочисної установки подано у табл. 4.1.

Коефіцієнт використання газоочисної установки у часі визначаємо відношення фактичного часу до календарного:

$$К_{вик} = \frac{T_{еф}}{T_к} \qquad (4.1)$$

де $Т_{еф}$ - ефективний час роботи установки, год;

$Т_к$ - календарний час роботи установки, год.

Річна виробнича потужність газоочисної установки, $м^3$/рік:

$$П = Н_m \cdot Т_{еф} \qquad (4.2)$$

Таблиця 4.1 – Баланс робочого часу газоочисної установки

Показники	Одиниці виміру	Проєктний варіант
1. Режим работи газоочистної установки	-	безперервний
2. Календарний час работи, $T_к$	дні години	366 8784
3. Простої на капітальний і поточний ремонти, $T_{рем}$	дні години	20 480
4. Ефективний час роботи, $T_{еф}$	дні години	366-20=346 8784-480=8304
5. Коефіцієнт використання установки, $К_{вик}$	-	$\frac{346}{366} = 0{,}945$

де H_m – технічна норма продуктивності газоочисної установки за одиницю часу, м^3/год; H_m = 67000 м^3/год;

$T_{еф}$ - річний фонд ефективного часу роботи установки, год/рік.

$$П = 67000 \cdot 8304 = 556{,}4 \cdot 10^6$$

Кількість уловленого пилу з газу, що очищається, в базовому та проектному варіанті визначається за формулою:

$$Q = \frac{(Z_1 - Z_2) \cdot П}{10^6}, \qquad (4.3)$$

де Z_1 – запиленість газу до очищення, г/м^3; Z_1 = 3 г/м^3;

Z_2 – запиленість газу після очищення, г/м^3.

Ефективність газоочищення для базового варіанта $\eta^б$ = 96%. Ефективність газоочищення для проєктного варіанта становить $\eta^п$ = 99,5%.

Тоді залишкова запиленість газу для базового і проєктного варіантів очищення дорівнює: $Z^б_2$ = 0,12 г/м^3, $Z^п_2$ = 0,015 г/м^3.

Для базового варіанта кількість уловленого пилу становитиме:

$$Q^б = \frac{(3 - 0{,}12) \cdot 556{,}4 \cdot 10^6}{10^6} = 1602{,}4 \text{ т/рік.}$$

У проєктному варіанті кількість уловленого пилу становитиме:

$$Q^{n} = \frac{(3-0{,}015)\cdot 556{,}4\cdot 10^{6}}{10^{6}} = 1660{,}9 \text{ т/рік.}$$

Втрати уловленого продукту при утилізації не перевищують 10%. Тоді кількість утилізованого продукту складе, т/рік:

$$Q_{ут} = 0{,}9 \cdot Q \qquad (4.4)$$

Для базового варіанта: $Q^{б}_{ут} = 0{,}9 \cdot 1602{,}4 = 1442{,}2$ т;

Для проєктного варіанта: $Q^{п}_{ут} = 0{,}9 \cdot 1660{,}9 = 1494{,}81$ т.

Результати розрахунків зведено до таблиці 4.2.

У проєктному варіанті кількість уловленого пилу збільшилася на 52,6 т порівняно з базовим варіантом. Цей пил повертається у виробництво.

Таблиця 4.2 – Виробнича програма

№ з/п	Показники	Одиниці виміру	Варіант	
			базовий	проєктний
1	Технічна норма продуктивності в одиницю часу, H_m	тис.м^3/год	67,0	67,0
2	Річна продуктивність, П	м^3/рік	$556{,}4 \cdot 10^6$	$556{,}4 \cdot 10^6$
3	Вміст пилу в газі: до очистки Z_1 після очистки Z_2	г/м^3	 3 0,12	 3 0,015
4	Кількість уловленого продукту	т	1602,4	1660,9
5	Кількість утилізованого продукту	т	1442,2	1494,81

5.2 Організаційна структура управління міксерним відділенням мартенівського цеху

На чолі у міксерному відділенні мартенівського цеху стоїть начальник цеху. Він відповідає за своєчасне забезпечення цеху необхідними матеріалами, вдосконалення техніки та впровадження прогресивної

технології, за станом техніки безпеки та охорони праці. Начальнику цеху підпорядковуються заступник начальника цеху з обладнання, заступник начальника цеху з технології, інженер-економіст.

Заступник начальника цеху по обладнанню відповідає за стан і ремонт всього обладнання цеху. Йому підпорядковані механік цеху, інженер-електрик і завідувач технічного бюро. Механіку цеху підпорядковані всі цехові майстри з ремонту механізмів і обладнання, механічна майстерня. Механік цеху під керівництвом помічника з устаткування складає графіки профілактичних оглядів устаткування, проводить ремонт його відповідно до графіків, стежить за наявністю запасних частин на складі, особисто здійснює періодичний огляд механічного устаткування.

Електрик цеху керує експлуатацією та ремонтом електрообладнання. Інженеру-електрику підпорядковуються цехові майстри з ремонту електрообладнання.

Інженер-економіст здійснює техніко-економічне планування, проводить аналіз роботи цеху та облік виконання плану основними агрегатами, дільницями та бригадами.

Безпосереднім керівником та організатором роботи на своїй ділянці є майстер. Він несе повну відповідальність за виконання плану, якість продукції, трудову та технологічну дисципліну, дотримання правил технічної експлуатації обладнання. Майстер повинен забезпечити повне завантаження обладнання, економне витрачання сировини, матеріалів, палива, усунення втрат робочого часу. Майстру підпорядковуються оператори газоочисного обладнання. Оператор газоочисного обладнання здійснює безпосереднє спостереження за роботою газоочисного обладнання, стежить за показаннями приладів, контролює вивантаження пилу, усуває дрібні неполадки.

Заступники начальника цеху з технології керують начальниками змін, разом із ними контролюють дотримання технології, приймають рішення щодо усунення недоліків, займаються удосконаленням технологічного процесу.

4.3 Розрахунок чисельності робочих

Розраховуємо баланс планового часу одного робітника на рік при безперервному графіку роботи в три зміни для чотирьох бригад.

Визначаємо кількість вихідних днів:

$$Т_{вих} = \frac{366 \cdot 1}{4} = 91,5 \text{ дн.} \quad (4.5)$$

Номінальний фонд робочого часу визначається відніманням з календарного часу числа вихідних днів згідно з графіком змінності:

$$Т_{ном} = 366 – 91,5 = 274,5 \text{ дн.}$$

Коефіцієнт списочності враховує резерв робітників, необхідних для заміни людей, які перебувають у відпустці, хворіють, відсутні з інших причин і визначається за формулою:

$$К_{сп} = \frac{T_{ном}}{T_{еф}}, \quad (4.6)$$

де $Т_{ном}$ – номінальний час роботи, дн;

$Т_{еф}$ – ефективний час роботи, дн; $Т_{еф}$ визначається відніманням від номінального часу невиходів, пов'язаних із хворобою, тарифною відпусткою, відпусткою студентам. $Т_{еф} = 274,5 – 36 = 238,5$ дн.

$$К_{сп} = \frac{274,5}{238,5} = 1,151.$$

Отримані дані зводимо до табл. 5.3. На ділянці очищення пилогазових викидів міксерів мартенівського цеху встановлено таке газоочисне обладнання: рукавний фільтр ФРІР – 950 – 1 шт.; відцентровий димосос одностороннього всмоктування Д – 18 – 1 шт.

Визначаємо сумарний середньозмінний час обслуговування рукавного фільтра:

$$Т_{р.ф.} = t_0 \cdot К_2 = t_0 \cdot 1,1^m = 3,11 \quad (4.7)$$

де t_0 - час обслуговування однієї секції рукавного фільтра [14]; $t_0 = 0,9$;

K_2 – емпіричний коефіцієнт;

m – кількість секцій рукавного фільтра; m = 10

Таблиця 4.3 – Баланс робочого часу

№ з/п	Складова балансу	Одиниці виміру	Кількість
1	Календарний час, $T_к$	дні	366
2	Вихідні дні, $T_{вих}$	дні	91,5
3	Номінальний час, $T_{ном}$	дні години	274,5 2196
4	Невиходи на работу по причинам: Тарифна відпустка Відпустка студентам Хвороби Інше Всього невиходів	дні	 30 0,5 5 0,5 36
5	Ефективний час роботи, $T_{еф}$	дні години	238,5 1908
6	Коефіцієнт списковості, $K_{сп}$	-	1,151

За формулою (4.7) визначаємо сумарний середньозмінний час обслуговування вентилятора:

$$T_в = 0,9 \cdot 1,1^1 = 0,99 \text{ чол.-год.}$$

Зразковий середньозмінний час обслуговування всієї газоочисної установки:

$$T_{уст} = T_{р.ф.} + T_в = 3,11 + 0,99 = 4,1 \text{ чол.-год.} \qquad (4.8)$$

Визначаємо змінну явочну чисельність робітників, які обслуговують газоочисну установку:

$$Ч_{зм.яв.} = \frac{T_{уст}}{t_{зм}} \cdot \frac{S}{L}, \qquad (4.9)$$

де $t_{зм}$ – тривалість зміни, год; $t_{сз}$ = 8 годин;

S – тривалість тижневого циклу роботи устаткування, год;

$$S = 7 \cdot 24 = 168 \text{ годин;}$$

L – тривалість робочого тижня, год; L = 7 ·24 = 168 годин.

$$Ч_{зм.яв.} = \frac{4,1}{8} \cdot \frac{168}{168} = 0,5.$$

Приймаємо явочну чисельність за зміну 1 осіб

Добова явочна чисельність обслуговуючого персоналу, осіб:

$$Ч_{доб} = Ч_{зм} \cdot n, \qquad (4.10)$$

де n - число змін на добу; n =3.

$$Ч_{доб} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ осіб}$$

Визначаємо штат з урахуванням заміни при чотирибригадному графіку роботи:

$$Ч_{ш} = к \cdot Ч_{зм.яв.}, \qquad (4.11)$$

де к – кількість бригад; к = 4.

$$Ч_{ш} = 4 \cdot 1 = 4 \text{ осіб}$$

Визначаємо кількість працівників за списком, осіб:

$$Ч_{сп} = Ч_{ш} \cdot К_{сп} = 4 \cdot 1,151 = 4,6 \text{ осіб} \qquad (4.12)$$

Приймаємо 5 осіб.

Результати розрахунку зводимо до табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Штатний розпис працівників ділянки газоочищення

Назва професії	Розряд робіт	Тарифна ставка, грн./год	Графік роботи	Явочна кількість по бригадам, осіб				Штатний склад, осіб	Резерв, осіб	Кількість по списку, осіб
				1	2	3	4			
Оператор ГОУ	IV	5,84	Безперервний 3-х змінний 4-х бригадний	1	1	1	1	4	1	5

4.4 Розрахунок капітальних вкладень

Розрахунок ведеться за укрупненим методом, що відображає структуру капітальних вкладень у металургії.

Капітальні вкладення в газоочисну установку включають:

$$С_{кап.вк.} = С_о + С_{кип} + С_{дем} + С_{мон} + С_{м.к.} + С_{н.в.} + С_{мет} + С_{п.в.} + С_{буд.}, \quad (4.13)$$

де $С_о$ - вартість основного обладнання, грн;

$С_{кіп}$ - вартість КІПіА, грн;

$С_{дем}$ - вартість демонтажу обладнання, грн;

$С_{мон}$ - сума витрат на монтаж та встановлення обладнання, грн;

$С_{м.к}$ - вартість монтажу комунікацій, грн.;

$С_{н.в.}$ - Вартість накладних витрат спецорганізацій, грн;

$С_{мет}$ - вартість металоконструкцій, грн;

$С_{п.в.}$ - вартість проектно-вишукувальних робіт, грн.;

$С_{буд}$ - вартість будівель, грн.

Розмір необхідних капітальних вкладень у основні фонди визначається методом розрахунку в окремі елементи вкладень.

Капітальні вкладення у базовому варіанті приймаються за заводськими даними.

У вартість газоочисного обладнання в діючому варіанті входить вартість рукавного фільтра типу ФРКДИ-1100, корпус фільтра, обладнання для імпульсної регенерації рукавів, система видалення уловленого пилу, бункера для накопичення пилу і вентилятора типу ВМ-20А.

$$С_о^б = С^б_{р.ф.} + С^б_{к.} + С^б_{имп.рег.} + С^б_{с.вид.п.} + С^б_{б.п.} + С^б_{в}, \quad (4.14)$$

де $С^б_{р.ф.}$ – вартість рукавного фільтра типу ФРКДІ-1100 грн., $С^б_{р.ф.}$ = 718 000 грн;

$С^б_{к.}$ – вартість корпусу фільтра, грн.;

$С^б_{імп.рег.}$ – вартість обладнання для імпульсної регенерації рукавів фільтра ФРКДІ-1100, грн.;

$С^{б}_{с.вид.п.}$ – вартість системи видалення уловленого пилу, грн.;

$С^{б}_{б.п.}$ – вартість бункерів для накопичення пилу, грн.;

$С^{б}_{в}$ – вартість вентилятора, грн.

Вартість засобів контролю та управління (КВП) приймається у відсотках від вартості газоочисного обладнання. У чинному та проєктному варіанті використовується сухий метод очищення газів, тому вартість КВП становить 30 % від вартості основного обладнання:

$$С_{квп} = 0,3 \cdot С_0 \quad (4.15)$$

Капіталовкладення в основне газоочисне обладнання визначаються як сума вартості рукавного фільтра, включаючи бункера, обладнання регенерації фільтра, системи видалення пилу, вартість вентилятора та КВП:

$$К_0 = С_0 + С_{кип}, \quad (4.16)$$

Вартість встановлення та монтажу обладнання приймається у розмірі 30% капіталовкладень в обладнання:

$$С_{мон} = 0,3 \cdot К_0, \quad (4.17)$$

Вартість монтажу комунікацій приймається у розмірі 15% капітальних вкладень в обладнання:

$$С_{м.к.} = 0,15 \cdot К_0, \quad (4.18)$$

Накладні витрати спеціалізованої організації, що виконує монтаж, становлять 20% капітальних вкладень в обладнання:

$$С_{н.р.} = 0,2 \cdot К_0, \quad (4.19)$$

Вартість металоконструкцій (сходів, майданчиків, арматури, газоходів, трубопроводів, опор) приймається рівною 60% вартості газоочисного апарату в діючому варіанті:

$$С_{м} = 0,6 \cdot С_{р.ф.}. \quad (4.20)$$

Вартість проектно-вишукувальних робіт приймається рівною 7% вартості газоочисних апаратів:

$$С_{п.в.} = 0,07 \cdot С_{р.ф.} \quad (4.21)$$

Вартість будівлі розраховується залежно від її об'єму. 1 м^3 промислової будівлі, що має залізобетонний каркас, коштує 61 грн. Вартість будівель розраховується для базового варіанту і включає вартість будівель для вентиляторів і засобів контролю, управління, вартість намету над рукавним фільтром:

$$С_{буд} = С_{буд.в.} + С_{н}. \quad (4.22)$$

де $С_{буд.в.}$ – вартість будівлі для вентиляторів та засобів контролю та автоматизації, грн;

$С_{н}$– вартість намету, грн; $С^{б}_{н}$ = 194,0 тис.грн.

У проєктному варіанті димосос і засоби контролю та управління передбачається розташовувати в тій же будівлі, що і в чинному варіанті, тому розрахунок виконується тільки для базового варіанту. Необхідна споруда будівель для вентиляторів розміром 10×5×5 м та для розміщення засобів контролю та управління розміром 16×12×4 м.

Питомі капітальні вкладення, віднесені до 1000 м^3 газів, що очищаються, грн/1000 м^3:

$$К_{к} = К_{\sum} \cdot \frac{1000}{П}, \quad (4.23)$$

де $К_{\sum}$– сумарні капітальні вкладення, грн;

П – газова виробнича потужність газоочисної установки, м^3.

Капітальні вкладення за проєктним варіантом приймаються з урахуванням технічних рішень щодо реконструкції газоочищення. Так як у проєктному варіанті використовуються основні конструктивні елементи та окремі вузли фільтра базового варіанту ФРКДІ-1100: корпус фільтра, бункера для пилу, система видалення уловленого пилу, їх вартість входить в основні фонди за проєктним варіантом. Капітальні вкладення на реконструкцію рукавного фільтра включають вартість демонтажних робіт, робіт з монтажу обладнання, вартість системи редукування стисненого повітря, засобів КВПіА, а також вартість димососу Д-18.

4.5 Розрахунок експлуатаційних витрат

Витрати на основні матеріали включають всі витрати, пов'язані з очищенням газу. Витрати на очищення газу в рукавному фільтрі пов'язані з використанням стисненого повітря та витратами на тканину:

$$С_{ст.п.} = К \cdot \frac{1000}{П} \cdot Ц, \qquad (4.24)$$

де К – витрата стисненого повітря на рік, м^3;

П – газова виробнича потужність газоочисної установки на рік, м^3;

Ц – ціна за 1 м^3 стисненого повітря, грн.

$$С_{тк} = F \cdot Ц,$$

де F – площа фільтрації, м^2;

Ц – ціна за 1 м^2 тканини; Ц = 100 грн/м^2

Витрати на експлуатацію рукавного фільтра включають енергетичні витрати на транспортування газу, віднесені до 1000 м^3 очищаємого газу, грн/1000м^3:

$$С^{тр}_{е} = Т_{еф} \cdot r \cdot l \cdot N \cdot \frac{1}{П^{п}}, \qquad (4.25)$$

де $Т_{еф}$ – ефективний час роботи газоочисної установки, год;

r – вартість електроенергії, грн/кВт год; r = 0,298 грн/кВт год;

l – коефіцієнт, що враховує склад обслуговуючого персоналу, l = 1,1;

N – потужність електродвигуна, кВт;

$П^{п}$ – річна виробнича потужність газоочисної установки, м^3.

Амортизаційні відрахування визначаються множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань тільки на відновлення устаткування. Амортизаційні відрахування вартості споруд становлять 5%. Амортизаційні відрахування від вартості КВП становлять 25%. Решта амортизаційних відрахувань становить 15% вартості основних фондів.

Сума амортизаційних відрахувань, грн:

$$\sum A = A_{сп} + A_{квп} + A_{оф}; \quad (4.26)$$

Сума амортизаційних відрахувань, віднесена до 1000 м^3 очищаємого газу:

$$\sum A = \sum A \cdot \frac{1000}{П}; \quad (4.27)$$

Витрати на технічний ремонт становлять 15% від амортизаційних відрахувань, грн.

$$С_{т.р.} = 0,15 \cdot \sum A; \quad (4.28)$$

Витрати на технічний ремонт, віднесені до 1000 м^3 газу, що очищається, грн/1000 м^3:

$$С^{уд}_{т.р.} = С_{т.р.} \cdot \frac{1000}{П}; \quad (4.29)$$

Відрахування на інші цехові витрати складаються з витрат на різні послуги, допоміжні матеріали, зарплату робітників, які здійснюють ремонт і налагодження газоочисного обладнання.

Інші витрати становлять 25% від витрат на поточний ремонт та суми амортизації:

$$С_{п} = 0,25 \cdot (\sum A + С_{т.р.}); \quad (4.30)$$

Інші виробничі витрати, віднесені до 1000 м^3 очищаємих газів:

$$С^{уд}_{п} = С_{п} \cdot \frac{1000}{П}; \quad (4.31)$$

4.6 Визначення економічної ефективності від впровадження проєкту

Економічне обґрунтування доцільності прийнятих рішень щодо уловлювання та утилізації пилу зводиться до розрахунку техніко-економічних показників за проєктним варіантом.

Річний економічний ефект визначається:

$$Е_г = С^б – С^п, \quad (4.32)$$

де $С^б$, $С^п$ – вартість експлуатаційних витрат на очищення газу відповідно за базовими та проєктними варіантами, грн;

Розрахунковий термін окупності визначається за такою формулою:

$$Т_{ок.р.} = \frac{К^п}{Е_г + (С^п_{ут} \cdot Ц)}, \quad (4.33)$$

де $К^п$ – капітальні вкладення на впровадження проєкту, тис.грн,

$С^п_{ут}$ – кількість додатково утилізованого пилу в проєктному варіанті, т;

Ц – відпускна ціна за 1 т утилізованого продукту, грн.;

Запропонований проєкт є економічно вигідним, оскільки розрахункові показники перебувають у межах нормативних [15]:

$$Т_{ок.р.} = 3,4 \text{ роки} < Т_{ок.н.} = 5$$

$$Е_р = 1 \frac{грн}{грн \cdot рік} > Е_н = 0,29 \frac{грн}{грн \cdot рік}.$$

В результаті розрахунку отримано такі техніко-економічні показники, наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Основні техніко-економічні показники реконструкції газоочисної установки міксерного відділення мартенівського цеху

Найменування	Одиниці виміру	Значення	
		базовий	проєктний
Річна виробнича потужність установки	млн $м^3$	556,4	556,4
Вміст пилу в газі: - до очищення - після очищення	 $г/м^3$ $г/м^3$	 3 0,12	 3 0,015
Кількість утилізованого продукту	т	1442,2	1494,81
Величина капітальних вкладень	тис.грн	24770,51	13500,03
Основні статті зниження експлуатаційних витрат: - зниження енергетичних витрат - зниження витрат на використання стисненого повітря в газоочисному апараті	 тис.грн тис.грн		 2590,84 700,11
Річні експлуатаційні витрати	тис.грн	11490,97	7570,84
Експлуатаційні витрати на очищення 1000 $м^3$ газу	грн	20,068	10,362
Річний економічний ефект	тис.грн		3920,13
Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень	$\frac{грн}{грн \cdot рік}$		0,29
Строк окупності капітальних вкладень	років		3,4

ВИСНОВКИ

У загальній частині розглянуто мартенівське виробництво, системи доставки та зберігання чавуну. Описано обладнання міксерного відділення, конструкція стаціонарних міксерів, характеристику технологічного процесу роботи міксерного відділення. Дана характеристика пилогазових викидів, а також кількість та склад викидів міксерного відділення.

У спеціальній частині розглянуті існуючі способи очищення газів міксерного відділення, проведений вибір та обґрунтування способу та технологічної схеми очищення газів міксерів. У кваліфікаційній роботі запропоновано замінити окремі вузли рукавного фільтра ФРКДІ-1100 із застосуванням основних технічних рішень, характерних для рукавних фільтрів типу ФРІР із імпульсною регенерацією рукавів. Здійснено розрахунок та вибір рукавного фільтра ФРІР-950. Ефективність уловлювання пилу у рукавному фільтрі – 99,5%, кінцева запиленість склала 15 мг/м^3. Зроблено аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту, опір якого становив 2,7 кПа та обраний димосос Д-18. Розроблені системи автоматичного контролю та регулювання процесу очищення газів міксерного відділення мартенівського цеху.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуто потенційно небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища міксерного відділення та дана гігієнічна характеристика трудового процесу. Виконано оцінку факторів виробничого середовища робочого місця міксерового, розглянуто заходи з техніки безпеки та заходи пожежної безпеки. Також у даному розділі диплома виконано інженерну розробку захисту міксерового від надлишкового тепла, а саме виконано розрахунок аерації відділення.

В організаційно-економічній частині розглянуті питання організації управління, планування виробничого процесу та виробничої програми ділянки газоочищення міксерного відділення, а також організації праці та

заробітної плати робітників, які обслуговують ділянку графітоуловлюючої установки міксерного відділення мартенівського цеху.

Екологічні завдання дипломного проекту підтверджуються економічними розрахунками. Витрати на очищення 1000 $м^3$ газу з урахуванням економії складають 10,362 грн. Річний економічний ефект становив 3920,13 тис.грн., термін окупності капітальних вкладень становить 3,4 роки, що перебуває у межах нормативних показників.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Том 6. Прогресивні енерго- і ресурсозберігаючі технології та обладнання в електротермії феросплавів. Дніпропетровськ : Системні технології, 2003. 376 с.

2. Гаврилко С.О. Теорія і технологія сталеплавильного виробництва. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 120 с.

3. Гаврилко С.О. Основи проєктування металургійних цехів. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 92 с.

4. Кушакова Н. О. Металургійний комплекс України: загальна характеристика та сучасний стан розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. №23. С. 162–165.

5. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислова екологія : навчальний посібник. Харків : Лідер, 2020. 212 с.

6. Павлюк Ю.С., Малишева І.В. Методичні вказівки до розрахунково графічної роботи з дисципліни «Повітродувні та насосні станції» для студентів спеціальності 7.090401 спеціалізації «Екологія та охорона навколишнього середовища». Запоріжжя, ЗДІА, 2006. 28 с.

7. Павлюк Ю.С. Методичні вказівки до розрахунку газового тракту газоочисної системи в курсових проєктах спецдисцеплін і дипломному проєктуванні для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 7.090409. Запоріжжя, 2002. 21с.

8. Тарасов В.К. Безпека технологічних процесів і устаткування. Запоріжжя, ЗДІА, 2008. 164с.

9. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

10. Ткачук К.Н. Филипчук В.Л., Каштанов С.Ф. Виробнича санітарія. Рівне : НУВГП, 2012. 443 с.

11. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. Основи охорони праці. Київ : Основа, 2006. 448 с.

12. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник. Львів, Афіша, 2000 352с.

13. Єгупов Ю.А. Організація виробництва на промисловому підприємстві. Навчальний посібник. К. : Центр навчальної літератури, 2006. 488 с.

14. Беренда Н.В., Малишева І.В. Організація виробництва. Методичні вказівки до виконання організаційної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА професійного напрямку «Металургія» денної та заочної форми навчання. Запоріжжя, 2006. 38с.

15. Іващенко О.В. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401. Запоріжжя, 2004. 32 с.