

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

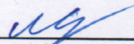
рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) рівень _____

на тему Проект очисних споруд агломераційного виробництва з
рециркуляцією техно-логічних газів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1832-д

Мельник І.Ю.

(ПІБ)



(підпис)

спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

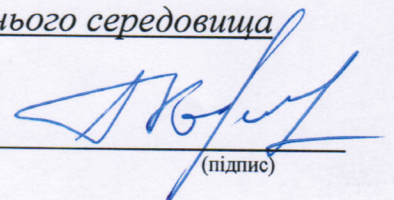
освітньо-професійна програма

Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

Керівник Кожемякін Г.Б.

(прізвище та ініціали)



(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Технології захисту навколишнього середовища
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ
Ю.О. Белоконь

“ 07 ” 05 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Мельнику Івану Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Проект очисних споруд агломераційного виробництва з рециркуляцією технологічних газів

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “01” 05 2023 року № 614-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 30.11.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Витрата технологічних газів - 130 тис нм³/год, Початковий вміст пилу - 6,0 г/м³, Температура газів- 200°С,

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технологія виробництва агломерату. Джерела утворення технологічних викидів агломераційного виробництва. Теплові ресурси агловиробництва. Обґрунтування способу очистки технологічних газів. Розрахунок споруджень ситем очистки технологічних. Охорона праці. Техніко-економічне обґрунтування

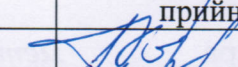
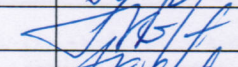
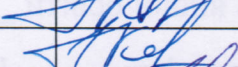
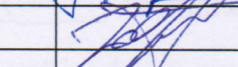
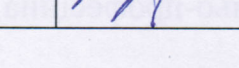
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення, презентаційний матеріал: План та розріз агломераційного цеху.

Агломашина. Технологічна схема очистки газу. Основні апарати схеми очистки газів.

Охорона праці. Техніко-економічні показники

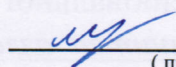
6. Консультанти розділів проекту (роботи)

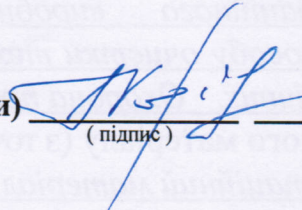
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Кожсякін Г.Б., доцент</i>	
<i>Розділ 2</i>	<i>Кожсякін Г.Б., доцент</i>	
<i>Розділ 3</i>	<i>Кожсякін Г.Б., доцент</i>	
<i>Розділ 4</i>	<i>Кожсякін Г.Б., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. зав.каф.</i>	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Загальна частина</i>	<i>06.2023-06.2023</i>	
2	<i>Спеціальна частина</i>	<i>09.2023-10.2023</i>	
3	<i>Охорона праці</i>	<i>11.2023</i>	
4	<i>Організаційно-економічна частина</i>	<i>11.2023</i>	
4	<i>Креслення</i>	<i>10.2023-11.2023</i>	

Студент  (підпис) *І.Ю. Мельник* (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)  (підпис) *Г.Б. Кожсякін* (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційний проект: 87с., 4 розд., 13 табл., 9 рис., 35 джерел.

ГАЗООЧИСТКА, ПИЛ, АГЛОМАШИНА, АГЛОЦЕХ, ЧАШОВИЙ ОКОМ-КОВУВАЧ, ЕЛЕКТРОФІЛЬТР, РЕЦИРКУЛЯЦІЯ ГАЗІВ.

Об'єкт проектування – установка очищення технологічних газів агло-машини з рециркуляцією газу.

Мета роботи – вибір та розрахунок сучасного газоочисного обладнання для зменшення викидів та підвищення енергоефективності агломераційного вироб-ництва.

У загальній частині розглянуто необхідність агломерації пилюватих за-лізорудних матеріалів, розглянуто теоретичні основи існуючих технологій процесу агломерації пилюватих руд, дана загальна характеристика технологіч-них викидів.

У спеціальній частині приведено обґрунтування обраного методу знешко-дження технологічних викидів агломераційного виробництва. Виконано вибір та розрахунки необхідних технологічних та газоочисних апаратів. Розраховано ае-родинамічний опір газовідвідного тракту, що дозволило обрати тягодуттєвий пристрій.

У розділі охорона праці розроблені заходи по техніці безпеки, промис-лової санітарії, електробезпеки та протипожежної безпеки. Розроблена схема евакуації персоналу при виникненні надзвичайної ситуації.

В економічній частині наведені розрахунки основних економічних пока-зників. Розроблені розрахунки капітальних вкладень, експлуатаційних затрат та зроблено техніко-економічне обґрунтування очищення проектного варіа-нту.

ЗМІСТ

	ВСТУП	7
1	ПІДГОТОВКА ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ ДО ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ	9
1.1	Необхідність агломерації залізорудних матеріалів	9
1.2	Влаштування агломераційного цеху	14
1.3	Сировинні матеріали аглошихти	18
1.4	Конструкція агломераційних машин	22
1.5	Процес спікання агломерату	23
1.6	Способи інтенсифікації процесу агломерації	28
2	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА	31
2.1	Характеристика технологічних газів агломераційного виробництва	31
2.2	Аналіз ринку систем очистки технологічних газів агломерацій- ного виробництва	34
2.3	Технологічні заходи зі скорочення викидів	39
2.4	Вибір та обґрунтування системи очищення технологічних газів агломераційного виробництва стрічки	44
2.5	Розрахунок та вибір основного та допоміжного обладнання си- стеми очистки технологічних газів агломашин	45
2.5.1	Розрахунок та вибір електрофільтру	45
2.5.2	Розрахунок агрегатів живлення	49
2.5.3	Аеродинамічний розрахунок газового тракту системи газоочис- тки	50
2.5.4	Вибір ексгаустера	51
3	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	52
3.1	Характеристика ступеню безпеки вибраних технологічних про- цесів, рівня їх механізації і автоматизації	52
3.2	Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробни- чого середовища	54
3.3	Технічні рішення по виробничій санітарії	57
3.3.1	Об'ємно - планувальні рішення будівель і споруджень агломераційного цеху	57
3.3.2	Опалювання і вентиляція	58
3.4	Освітлення	59
3.4.1	Природне освітлення	59
3.4.2	Штучне освітлення	62
3.5	Санітарно-побутові приміщення	62
3.6	Виробничий шум, виробнича вібрація	63
3.7	Виробничі випромінювання	64
3.8	Заходи з електробезпеки	65
3.9	Заходи пожежної безпеки	66

3.10	Інженерна розробка захисту від небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища на певному об'єкті або виробничій ділянці	68
4	ОРГАНІЗАЦІЙНО - ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	72
4.1	Організація роботи на ділянці очищення газів	72
4.2	Планування виробничої програми	73
4.3	Розрахунок штатної чисельності та фонду оплати праці основних робітників	74
4.4	Розрахунок капітальних вкладень	76
4.5	Розрахунок експлуатаційних витрат	78
4.6	Визначення основних техніко-економічних показників	81
	ВИСНОВКИ	83
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	84

ВСТУП

Агломерація є заключною операцією в комплексі заходів щодо підготовки залізних руд до доменної плавки. Головна мета цієї операції полягає в тому, щоб перетворити дрібний рудний концентрат у більші шматки – агломерат, використання якого в доменній плавці забезпечує формування шару шихти гарної газопроникності, що є неодмінною умовою високопродуктивної роботи доменної печі.

Доменна плавка високої інтенсивності можлива при великій кількості коксу, що згорає в горні доменної печі, що, з одного боку, веде до виділення великої кількості тепла, а з іншого – до утворення в нижній частині печі вільного простору (завдяки газифікації твердого коксу), куди спускається стовп доменної шихти. Гарна газопроникність шихти потрібна для того, щоб великий обсяг газів, що утворюються при горінні коксу, устигав проходити через міжшарові канали шару при відносно невеликих перепадах тиску газу між горном і колошником (150-200 кПа на висоті шару шихти 20-25 м).

Концентрати, що виходять у цей час при збагаченні залізних руд, представлені частками 0,1 мм і менше. Такі дрібні рудні матеріали непридатні для безпосереднього використання в плавці. Стовп шихти висотою 20 м, складений із часток такої крупності, практично непроникний для газу. А якщо подібні пилоподібні частки й попадають у піч, то вже при швидкості 0,5 м/с виносяться з неї потоком висхідного газу.

Оптимальні розміри шматків шихти становлять 20-40 мм, що задовольняє як вимогам газодинаміки доменної плавки, так і умовам високої швидкості теплопередачі між газом й шихтою і інтенсивному розвитку гетерогенних процесів відновлення оксидів заліза.

Із трьох можливих способів огрудкування (брикетування, агломерації; виробництва окатишів) найпоширеніша агломерація, що володіє істотними перевагами перед двома іншими.

Поряд з огрудкуванням, як головною метою при агломерації, що протікає при відносно високих температурах (1300-1400°C), ідуть і інші фізико-хімічні процеси, що поліпшують якість залізорудної сировини:

- розкладання гідратних і карбонатних сполук;
- видалення з руд більшої частини сірки (окисленням до SO_2 і SO_3).

Агломерація дозволяє втягнути в металургійну переробку відходи інших виробництв, що містять підвищену кількість заліза: окалину прокатних цехів, колошниковий пил доменного цеху, конверторний шлам і ін.

Агломераційне виробництво є одним з основних джерел забруднення повітряного басейну. Пилоутворення починається з моменту надходження сирих матеріалів на завод, під час вивантаження їх, перевантаження і транспортування, підготовці шихти або окатишів до спікання. При спіканні аглошихти утворюється також велика кількість газів, до складу яких входять шкідливі речовини - сірчистий ангідрид і окис вуглецю, що викидаються в атмосферу з технологічними газами.

Процес спікання супроводжується значним виділенням газу, що утворюється в результаті вигорання вуглецю і сірки, що містяться в шихті. Агломераційний газ забирає з собою пил шихти. Вміст окремих компонентів в газовій суміші залежить від кількості сірки в руді, витрати палива, а також від технологічних параметрів процесу отримання агломерату. Тому концентрація окремих компонентів газу, а також його запиленість і дисперсний склад пилу на аглофабриках можуть бути різними.

З метою зменшення надходження пилу і шкідливих газів у атмосферне повітря з технологічними газами влаштовують високоефективні системи очистки.

1 ПІДГОТОВКА ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ ДО ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

1.1 Необхідність агломерації залізорудних матеріалів

Кускування є одним з важливих і обов'язкових видів підготовки руди до доменної плавки. Значення кускування з кожним роком зростає, оскільки збільшується кількість рудної дрібниці і концентратів внаслідок зростання потреби в руді (із-за збільшення виплавки чавуну), що викликає прискорене залучення до експлуатації родовищ з низьким вмістом заліза [1].

Безпосереднє завантаження рудної дрібниці або тим більше концентрату в доменні печі не практикується і не може бути рекомендована з наступних причин.

При завантаженні значна частина пилюватої руди виноситься газом з печі і осідає потім в пиловловлювачах. Повне засвоєння пилюватої шихти печами можливо тільки за умови її попереднього кускування. Усе сказане відноситься до пилюватої руди, колошниковому пилю і особливо до концентрату збагачення.

Техніко-економічне значення агломерації в металургії дуже велике. Значна частина залізняку, що добувається, складається з дрібниці з шматками, поперечником менше 10 мм. Робота доменних печей на рудній дрібниці пов'язана з частими розладами їх ходу, призводить до зниження їх продуктивності, обумовлює додаткова витрата руди із-за різкого підвищеного винесення її у вигляді колошникового пилю, збільшується витрата коксу і флюсів.

Підвищення продуктивності доменних печей, забезпечення високих техніко-економічних показників їх роботи значною мірою обумовлені поліпшенням підготовки залізорудної сировини до плавки, зокрема агломерацією. Безпосереднє завантаження рудної дрібниці або, тим більше концентрату, в

доменну піч не практикується і не може бути рекомендована з перерахованих нижче причин:

1) При завантаженні значна частина пилюватої руди виноситься газом з печі і потім осідає в пиловловлювачах.

2) При роботі печі на пилюватої шихті значно зростає тиск дуття на фурмах і втрати натиску дуття в стовпі шихти. Це, у свою чергу, призводить до уповільнення опускання шихти (тугий хід печі) або до повної зупинки руху шихти в печі (підвисання шихти).

3) Додаткові ускладнення створює прагнення газів проходити через стовп шихтових матеріалів, переважно на ділянках з найменшим аеродинамічним опором, де переважають відносно великі шматки руди і коксу.

Створюється положення, при якому значна частина пилюватої шихти слабо обробляється газами. В той же час, міра використання хімічної і теплової енергії газу виявляється незадовільною. У багатьох випадках при роботі на пилюватої шихті газ прориває стовп шихти в одному або декількох місцях, і в "канали", що утворилися, спрямовується увесь пічний газ. У цих умовах не може бути і мови про нормальну експлуатацію печі, про високопродуктивну і економічну роботу доменних цехів.

Вміст дрібниці в пилюватих рудах міняється в широких межах, тому при завантаженні таких руд в піч винесення пилю з газом виявляється змінною величиною. Кількість руди, засвоєна піччю з розрахунку на тонну завантаженого в піч коксу, сильно коливається. Обслуговуючий персонал печі в змозі лише частково коригувати ці коливання, тому робота на пилюватих рудах зазвичай пов'язана з різкими змінами нагріву доменних печей, з нестійким тепловим балансом плавки. Якщо, наприклад, кількість дрібниці в руді проти очікування зменшилася, то кількість руди, засвоєною піччю в одиницю часу, зростає, а витрата коксу, завантаження якого в піч ведеться автоматично, залишається тим самим. Це призводить до різкого похолодання печі. Щоб не допустити аварійного охолодження печі, працюють на пилюватих шихтах на надмірно

гарячих чавунах, заздалегідь перегріваючи піч. Робота на пилюватій шихті веде, отже, до систематичної перевитрати дефіцитного і дорогого коксу.

Незважаючи на велике винесення, частина пилоподібних складових руди все ж засвоюється піччю. Опір будь-якого каналу проходу газів тим більше, чим менше його діаметр і чим більше його кривизна. У суміші з відносно більшою рудою дрібниця також несприятливо впливає на сумарну газопроникивість стовпа шихти в печі, оскільки дрібні шматочки розташовуються в проміжках між великими і утрудняють прохід газів.

При роботі печі на пилюватій шихті значно зростають тиск дуття на фурмах і втрати натиску дуття в стовпі шихти. Це у свою чергу призводить до уповільнення опускання шихти (тугий хід печі) або до повної зупинки руху шихти в печі (підвисання шихти). Додаткові труднощі створює прагнення газів проходити через стовп шихтових матеріалів переважно на ділянках з найменшим аеродинамічним опором, де переважають відносно більші шматки руди і коксу. Створюється положення, при якому значна частина пилюватій шихти слабо обробляється газами. В той же час міра використання хімічної і теплової енергії газу виявляється незадовільною. У багатьох випадках при роботі на пилюватій шихті газ прориває стовп шихти в одному або декількох місцях, в "канали", що утворилися, спрямовується увесь пічний газ. У цих умовах не може бути і мови про нормальну експлуатацію печей, про високопродуктивну і економічну роботу доменних цехів.

Очевидно, що велика частина перерахованих вище труднощів усувається при попередньому кускуванні рудної дрібниці, концентрату, колошникового пилу і сурогатів руд. Оптимальна великість шматків руди, агломерату, а також окатишів для доменних печей малих і середніх розмірів від 5 до 40 мм, а для найбільш великих печей - в межах від 15 до 40 мм [8].

В ході агломерації з шихти видаляються багато шкідливих домішок, у тому числі і сірка. Цю сторону процесу можна іноді вважати найбільш важливою, оскільки переробка сірчистої руди в доменній печі пов'язана з погіршенням техніко-економічних показників плавки.

Нині відомі три методи кускування металургійної сировини : агломерація, обпал і брикетування [3].

Агломерацією називають процес кускування матеріалів спіканням за рахунок спалювання палива в самому матеріалі або підведення тепла з боку.

Агломерація проводять шляхом спікання. Процес агломерації пов'язаний також з певними змінами хімічного складу і структури матеріалів, що спікаються.

Застосування агломерату підвищує відновлюваність залізняку в процесі доменної плавки.

Рудна частина агломераційної шихти складається з пилюватих залізняку, колошникового пилю, концентратів збагачення руд і повернень. Повернення є дрібним, часто недостатньо спеченим агломератом менше 5 мм. В цілому повернення має набагато кращу газопроникність, чим руда і концентрат, тобто добавка повернення дозволяє значно поліпшити газопроникність шихти і підвищити продуктивність агломашини.

Одній з найбільш шкідливих домішок в залізняку і в паливі являється сірка, яка надає металу підвищену "червоноламкість". Без агломерації багато сірчистих руд взагалі не можна було б використовувати в металургії. Оскільки видалення сірки в доменних цехах обходиться дорого (на виділення сірки витрачається дорогий і дефіцитний кокс), то переважна маса сірки з сірчистої руди віддаляється при спіканні на агломераційних машинах. Вміст сірки в агломераті не повинен перевищувати сотих доль відсотка. Міра вигорання сульфатної сірки при агломерації 40 - 70 % [4].

Слід зазначити, що в процесі агломерації відбувається не лише видалення значної кількості сірки, але і інших шкідливих домішок з руди, а також ошлакування порожньої породи. Останнє полегшує ведення доменного процесу. Крім того, застосування агломерату підвищує відновлюваність залізняку в процесі доменної плавки. Введення агломерату в доменну піч, таким чином, знижує питому витрату дефіцитного і дорогого коксу.

Повернення є дрібним, часто недостатньо спеченим агломератом великістю менше 10 мм, в якому містяться залишки коксика (0,4 - 1%), не згорілого з різних причин в ході процесу спікання, залишки вапняку, винищити, а також шматочки руди. В цілому повернення має набагато кращу газопроникність, чим руда або концентрат, тобто добавка повернення дозволяє значно поліпшити газопроникність шихти і підвищити продуктивність агломашини.

Очевидно, що велика частина перерахованих труднощів усувається попереднім кускуванням рудної дрібниці, концентрату, колошникового пилу, сурогатів і так далі. Значні капітальні і експлуатаційні витрати на будівництво фабрик кускування рудної сировини порівняно швидко компенсується економією коксу і збільшенням виплавки чавуну на заздалегідь окускованном сировина. Якщо допустити, що доменні печі працювали б тільки на неокускованной руді, то додаткова її витрата (також, як і вугілля, у зв'язку із збільшенням витрати коксу) склала б декілька мільйонів тонн в рік, що неприпустимо. Продуктивність доменних печей була б настільки нижча, що для виконання планів виплавки чавуну, довелося б будувати ряд додаткових, великих агрегатів. Виявляється вигідним дробити кускову сірчисту руду і знову піддавати її кускуванню шляхом агломерації, видаляючи при цьому з руди велику частину сірки.

Великий вплив на продуктивність агломашини чинить добавка до шихти обпаленого вапна. Стикаючись з вологою шихти, вапно утворює гідроокис кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Це з'єднання входить до складу силікатної зв'язки агломерату, реагуючи з порожньою породою, а також надає велику міцність грудочкам аглошихти.

Зазвичай на аглофабриках отримують офлюсований агломерат. В цьому випадку в аглошихту додатково вводять вапняк і вапно. Збагачене вапно, стикаючись з вологою шихти, утворює $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Це з'єднання має в'язучі властивості і сприяє підвищенню міцності грудок і газопроникності аглошихти. Крім того, вапно при спіканні утворює з порожньою породою руди силікатні зв'язки (силікати кальцію і заліза, ферити кальцію), що в наступному полегшує шла-

коутворення при доменній плавці. Розкладання вапняку у високотемпературній зоні відбувається за рахунок згорання дешевого палива - коксової дрібниці, антрацитового штибу, вугільного пилу. Виробництво офлюсованого агломерату дозволяє отримати продукти з кращими характеристиками. Крім того, застосування офлюсованого агломерату покращує хід доменної плавки, що також дає економію коксу. Більше 99 % агломерату випускається офлюсованим [7].

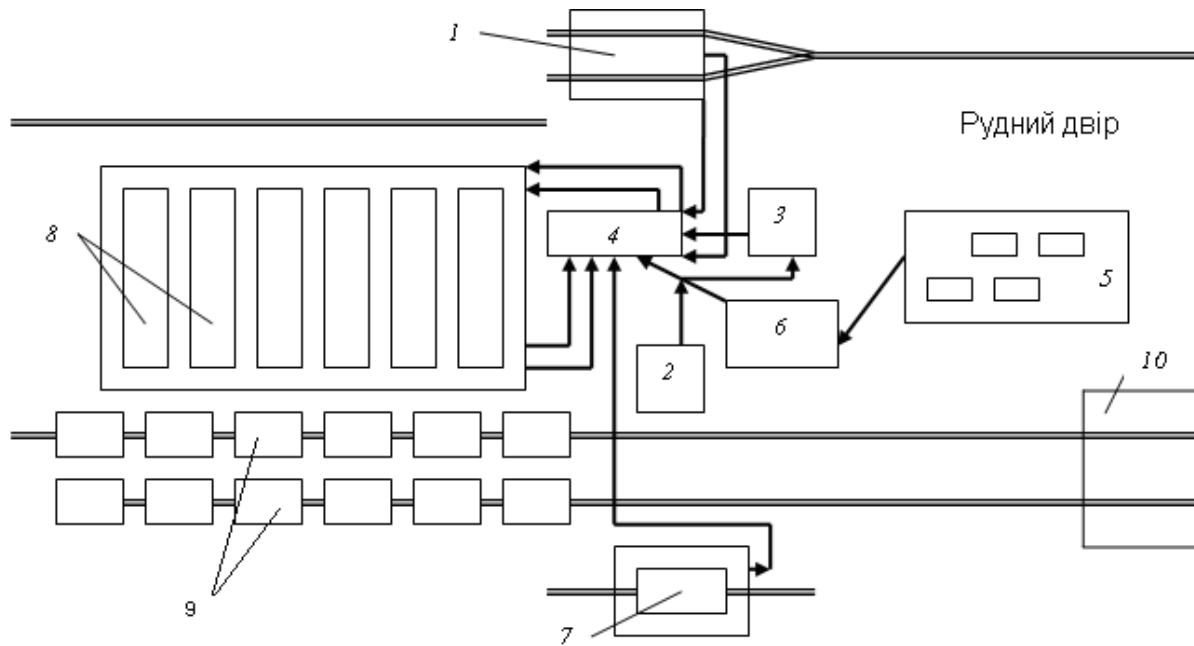
Переваги ведення доменної плавки на офлюсованому агломераті полягає в наступному. Розкладання вапняку проходить в доменній печі зі значними витратами тепла. Виведення вапняку з доменної шихти дозволяє зменшити витрату коксу на плавку. При спіканні аглошихти, що містить вапняк, необхідно витратити таку ж кількість тепла, як в доменній печі, але це тепло отримують при горінні набагато дешевшого палива (коксова дрібниця, антрацитовий штиб, худе вугілля, газ)

Одже, повне засвоєння пилюватої шихти доменними печами можливо тільки за умови її попереднього кускування методом агломерації, в процесі якої відбувається видалення значної кількості сірки і інших шкідливих домішок, а також ошлакування порожньої породи руди. Застосування агломерату підвищує відновлюваність залізняку в процесі доменної плавки, а також знижує питому витрату дефіцитного і дорогого коксу.

Значні капітальні і експлуатаційні витрати на будівництво фабрик кускування рудної сировини порівняно швидко компенсуються економією коксу і збільшенням виплавки чавуну на заздалегідь окускованій сировині.

1.2 Влаштування агломераційного цеху

Агломераційний цех складається з: рудного двору, шихтового відділення й спікального відділення. Усі відділення зв'язані і утворюють безперервний технологічний процес [2].



- 1 - прийомні бункера руди; 2 - прийомні бункера коксу; 3 - корпус подріблення коксу; 4 - шихтові бункера; 5 - прийомні воронки вапняку; 6 - корпус подріблення вапняку; 7 - прийомні бункера колошникового пилу; 8 - агломераційні машини ;
9 - вагони агломерату; 10 - бункера доменного цеху

Рисунок 1.1 - Схема розташування ділянок аглофабрики.

Рудний двір призначений для створення запасу сировини, усереднення його штабелюванням та заборі в трансферкари агломераційного й доменного цеху.

До його складу входять дві розвантажувальні продольні траншеї 8,5 x 4м для допоміжних робіт і вагоноперекидача вантажопідйомністю 150 тон. Рудний двір розташований паралельно бункерній естакаді доменного цеху. Довжина його 560м, ширина 58м.

Необхідні для отримання агломерату залізняк і концентрат доставляються з рудного двору і поступають в шістнадцять бункерів об'ємом 45м³ кожен.

Прийомні бункери колошникового пилу з пиловловлювачів доменного цеху, подаються в прийомні бункери колошникового пилу (12 бункерів по 45м³ кожний). Бункера розміщені в два ряди і обладнані тарілчастими живильниками. Пил видається на транспортер і подається в бункер шихтового відділення.

Коксовий дріб'язок з бункерів прийомного відділення видається на транспортер і завантажується в бункера коксових дробарок звідки подається в дробарки.

Дроблення палива виконується до фракції -3мм в п'ятьох чотирохвалкових дробарках з валками 950 x 700мм, продуктивністю 15-18 т/г.

Для подрібнення антрацитового штибу до фракції -3мм у коксодробарному відділенні встановлена роторна дробарка ударної дії типу ДР-ІІ з діаметром ротора - 1000мм, продуктивність – 100т/ч.

Подрібнений дробарками антрацитовий штиб і коксова дрібниця системою конвеєрів передаються в шихтове відділення, де розвантажуються в коксові бункери.

Суміш звичайного і доломітизованого вапняку з штабелю рудного двору за допомогою пластинчатих живильників і системи транспортерів прямує у вапняно-подрібнювальне відділення аглоцеху, де завантажується в приймальні бункери трьох молоткастих дробарок.

Вапняк зі штабеля рудного двору надходить в прийомні візки, з яких завантажується в прийомні бункери молоткових дробарок типу ДМРІЕ – 14,5x13, продуктивність, 250 т/ч; розмір початкового шматка до 80 мм. Після молоткових дробарок вапняк подається на гуркіт, де виділяється фракція ± 12мм. Після відсівання на гуркотах фракція -3мм подається в бункера шихтового відділення. Вапняк фракції 3-12мм транспортером подається в бункера випалювальних машин ОПР-1 і КМ-14.

Подрібнені матеріали подаються транспортерами в шихтове відділення, яке складається з тридцяти двох бункерів корисним об'ємом 175м³ ко-

жен, обладнаних електроживильниками. За допомогою вагів і живильників виробляється дозування по масі компонентів шихти, виходячи з їх фізико-хімічних властивостей і вимог, що пред'являються до агломерату.

Для зберігання матеріалів у шихтовому відділенні є 32 бункера по 175м³ кожний. В цьому відділенні відбувається готування шихти. На аглофабриці впроваджена система комплексної автоматизації дозування всіх компонентів шихти, кожна лінія шихтового відділення може самостійно дозувати шихту в наступній послідовності: повернення, аглоруда, концентрат, вапняк, паливо, колошниковий пил.

Шихтові матеріали, що дозуються, подаються на два паралельних збірних конвеєра і доставляються в корпус спікання. Завантаження шихтою бункерів агломашини здійснюється автостелами. Об'єм кожного бункера 36 м³.

У спікальному відділенні аглофабрики відбувається змішування, зволоження, окомкування шихти, завантаження аглошихти на стрічку агломашини, контроль процесів спікання і видалення повернення.

Змішування і окомкування шихти здійснюється за одностадійною схемою в змішувальних барабанах розташованих над агломераційними машинами.

Усі компоненти в строгому масовому співвідношенні прямують в барабанний змішувач, де частково зволожуються і ретельно перемішуються, потім шихтові матеріали подають на додаткове зволоження і грудкування в барабанний окомковувач. При зволоженні порошинки злипаються в невеликі (0,5-1,5 мм) грудочки і газопроникність шару значно збільшується. Хороша газопроникність і окомкованість шихти досягається при змішуванні із зволоженням (додається 7 - 9 % вод від маси шихти). Шихта стає зернистою і рихлою.

Після виходу зі змішувального барабану аглошихта подається в проміжний бункер, де підтримується постійний рівень, що забезпечує безперебійний і рівномірний вступ шихти на стрічку агломашини. Висота шару аглошихти на кожній агломашині підтримується постійно в межі 400-450мм. У результаті процесу спікання має вийти міцний кусковатий пористий агломерат.

Запалення шихти відбувається під горном, обладнаному 21-м пальником, встановленими на його зведенні. Витрата природного газу складає 600 - 800 м³/годину, повітря - 1300 - 1400 м³/годину. При цій витраті газу досягається температура, необхідна для запалення палива в шихті 1250°C [5].

Агломерат, що сходить з палет, дробиться в одновалковій зубчастій дробарці і потрапляє на стаціонарний колосниковий гуркіт для відсівання дрібних фракцій в бункер повернення, після чого по похилому стаціонарному і перекидному жолобам поступає в спеціальні вагони - хопери і доставляється в доменний цех.

Повернення, виділене на стаціонарних грохотах з бункера повернення, видається живильниками в барабанні охолоджувачі, де змочується водою. Охолоджений до 80-90°C повернення стрічковими конвеєрами транспортується в шихтове відділення і використовується як один з компонентів шихти.

Агломераційний газ відсисається екстаустерами через систему газоочищення.

1.3 Сировинні матеріали аглошихти

До складу аглошихти входять: концентрат збагачення, залізняк, колошниковий пил, коксик, антрацитовий штиб, вапняк і вапно. Вміст в аглошихті основних компонентів з розрахунку на одну тону агломерату представлений в таблиці 1.1.

Залізорудна частина аглошихти складається з наступних матеріалів:

- концентрат мокрого магнітного збагачення криворізьких кварцитів (з вмістом заліза до 63 %);
- аглоруда Запорізького залізорудного комбінату (вміст заліза до 61%);
- аглоруда рудоуправління ім. Кірова (вміст заліза до 53 %);
- колошниковий пил з пиловловлювачів доменного цеху (вміст заліза до 44 %);

- повернення після грохочення і дроблення агломерату.

Таблиця 1.1 - Сировинний склад агломераційної шихти

Компоненти сировини	Кількість, кг	Вміст в шихті, %
Залізняк	481	30,92
Концентрат	546	44,32
Колошниковий пил	36	2,92
Окалина	1	0,08
Вапняк	109	8,48
Доломітизований вапняк	30	2,43
Вапно	74	6,04
Коксова дрібниця	13,7	1,11
Антрацитовий штиб	41,2	3,34

Як паливо застосовуються:

- коксове відсівання фракції 10.0 мм із Запорізького коксо-хімічного заводу;
- антрацитовий штиб з вмістом золи не більше 15 %.

Крім того, в агломераційну шихту вводиться:

- вапняк звичайний (вміст CaO не менше 53,5 %);
- вапно, що отримується в аглоцеху при випаленні вапняку на машинах КМ- 14 і в печах ОПР- 1,2 (фракція 3-15 мм, вміст CaO не менше 75%).

До складу аглошихти вводять також шлам мартенівських і доменних газоочищень, окалину з оборотних циклів прокатних цехів.

Усі сировинні матеріали проходять усереднювання на усьому шляху до вступу шихти на агломераційну машину. Залізняк, що добувається, перед використанням піддається попередньому збагаченню. Методами миття, сухою і

мокрою магнітною сепарацією, флотацією вдається отримати із залізняку багатий концентрат, що містить 62-65 % заліза у вигляді його оксидів. Розмір часток концентрату не перевищує 100 мкм.

Склад колошникового пилу, що виноситься потоком газів через колошник доменної печі і уловлюваною в сухих пиловловлювачах, приблизно відповідає складу доменної шихти. Окрім цього, в колошниковому пилу знаходиться до 9% вуглецю, що знижує вміст заліза в пилу, але з точки зору агломерації, є дуже цінною властивістю цього виду сировини.

Повернення є дрібним, часто недостатньо спеченим агломератом розмірами часток 0-10 мм, в якому містяться залишки коксика (0,4-1 %), незгорілого з різних причин в ході процесу спікання, залишки вапняку, винищити, шматочки руди. Повернення прямує в шихтове відділення аглоцеху для введення в аглошихту.

Вапно і паливо (коксик) додають для інтенсифікації процесу, забезпечення необхідної основності і теплового рівня процесу агломерації. Тонкоподрібнений вапняк і вапно покращує комкуватість шихти, підвищуючи її газопроникність в процесі спікання.

Витрата твердого палива коливається в широких межах залежно від властивостей шихти, складаючи в різних умовах від 4 до 10 % від загальної маси аглошихти.

Основне завдання при підготовці шихти полягає у виборі оптимальних значень крупності матеріалів і ступеня зволоження, необхідних для створення гарної газопроникності шихти. Це забезпечує виробництво пористого і міцного агломерату. При поганій газопроникності кількість повітря, що надходить в зону згоряння, стає недостатнім, що почалося горіння йде мляво і навіть може зовсім припинитися. Тепла, що виділяється буде недостатньо для утворення рідкої фази і агломерат не утворюється.

Хімічний склад основних компонентів агломераційної шихти представлений в таблиці 1.2 [4].

Таблиця 1.2 - Хімічний склад основних компонентів агломераційної шихти, %

Компоненти шихти	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	C	S
Концентрат	62,65	21,9	64,61	8,12	3,5	0,7	0,65	-	0,33
Руда залізна	53,59	0,8	75,76	17,69	1,55	0,3	3,67	-	0,33
Руда залізна	65,42	-	71,12	24,16	2,1	0,69	1,6	-	0,33
Колошничковий пил	36,28	8,0	47,93	14,9	16,9	1,6	1,4	9,0	0,22
Вапняк	0,4	-	2,77	6,9	73,0	4,52	0,78	12,0	0,03
Вапно	-	-	-	3,15	62,5	2,83	-	12,0	1,27
Паливо	27,6	-	16,28	42,5	4,66	1,57	21,52	11,23	2,24

Велика кількість дрібної фракції зменшує проходи для газів; чим більше великих шматків, тим проходи між зернами стають ширшими і газопроникність шихти поліпшується. На газопроникність впливає і кількість вологи. При зволоженні утворюються грудочки шихти. Чим більше вологи, тим більше грудочок. Але збільшення вологості вище критичної межі викликає руйнування утворилися грудочок, зниження газопроникності. Кількість додається вологи залежить від фізичних властивостей шихти. Для щільних руд вологи потрібно менше, для м'яких руд - більше; для дрібної руди вологи додають більше, для більшої-менше.

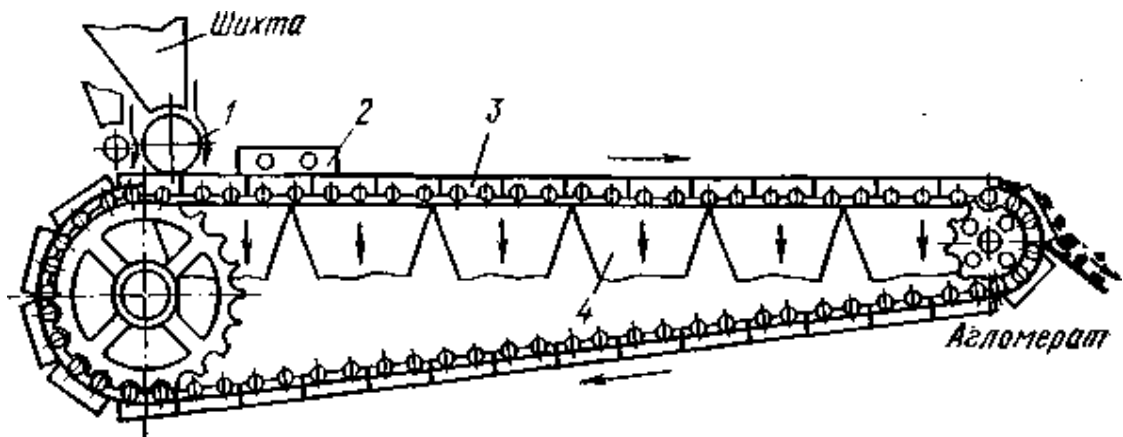
Шихта для агломерації має наступний приблизний склад,%: 40-50% руди (концентрату) фракції (0- 8 мм); 15-20% вапняку (0-2 мм); 20-30% повернення агломерату (0-30 мм); 4-6% коксика (0,1-3,0 мм); 6-9% води.

Оптимальний вміст палива в шихті визначається якістю рудної сировини. При нестачі палива агломерат містить невелику кількість FeO - такий агломерат добре відновлюється, але механічно неміцний. При високому витраті палива і при великій кількості кремнезему в шихті виходить оплавлений

агломерат з високим вмістом FeO. Такий агломерат міцний, але гірше відновимо [1].

1.4 Конструкція агломераційних машин

Спінання агломерату виробляється на стрічкових машинах. Схема машини представлена на рис. 1.2.



1 - барабанний живильник шихти; 2 - запальний горн; 3 - палети; 4 - вакуум-камери

Рисунок 1.2 - Схема агломераційної машини

Основна частина машини - нескінченна стрічка, складена з візків-палет. Палети рухаються по рейках. Рух палет відбувається за допомогою пари ведучих зубчастих коліс, які захоплюють своїми зубами палету знизу, виштовхують її наверх і штовхають до тих пір, поки зуби коліс залишаються зчепленими з роликми палети. При цьому кожна попередня палета штовхає наступну. Швидкість руху палет становить 3,2-8,0 м/хв. Рух зубчастих коліс створює тиск однієї палети на іншу, що усуває виникнення зазору між палетами. У розвантажувальній частині машини ролики палети переходять на нижній рейковий шлях і візок котиться до зубчастих коліс під дією власної ваги під ухил.

Під верхнім рейковим шляхом машини розташовані вакуум-камери, пов'язані з екстаустером, що створює розрідження. Ущільнення між палетою і

коробом створюється за допомогою полоза палети, розташованим з внутрішньої сторони по відношенню до роликів, який ковзає по пластині гідравлічного ущільнення вакуум-камери, що притискається до полозу гумовотканинним шлангом, наповненим водою під тиском і знаходяться всередині пластини. Застосовують також пружинні ущільнення. Зверху над стрічкою розташовані два бункера живильника: перший - для завантаження постілі з повернення агломерату і другий – по ходу стрічки основний шихтової бункер. Поруч розташовується запальний горн для підпалювання шихти. У кожусі горна є кілька газових пальників по всій ширині палети.

Агломераційні машини мають площу спікання до 800 м^2 з шириною палет до 8 м. Довжина машини АКМ- 800 досягає 102 м при швидкості руху до 2-12 м/хв. Продуктивність таких машин досягає 30000 т агломерату на добу. Експаустери для відкачування повітря, що обслуговують машини, мають продуктивність до $9000 \text{ м}^3 / \text{хв}$ при розрідженні 7,8-9,8 кПа [2].

1.5 Процес спікання агломерату

Процес агломерації починається із запалення шихти продуктами згорання газу, температура яких досягається $1100 - 1300^\circ\text{C}$. Запалення виробляється спеціальним пристроєм - запальним горном, обладнаним шістнадцятьма пальниками, і триває близько хвилини. Пальне шихти (коксова дрібниця і антрацитовий штиб) запалюється. Подальший процес горіння проходить без підведення енергії ззовні, за рахунок кисню атмосферного повітря, що просмоктується через шихту.

Зона горіння палива переміщається з поверхні углиб шару з вертикальною швидкістю 1,7 - 6,6 мм/с, вузькою смужкою, 15 - 30 мм, поступово нагріваючи і спікаючи шихту в агломерат. Увесь шлях від верхнього початкового положення до ліжка зона горіння проходить за 10 - 15 хв [4]. Шихта переміщається від головної до хвостової частини машини із швидкістю руху агломераційної стрічки, а зона горіння набуває форми похилої площини.

При спіканні шару шихти на спекательной візку можна виділити ряд зон (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 - Схема агломераційного процесу

У першій зоні відбувається перекристалізація і формування остаточної структури агломерату. Нагрітий в зоні "1" повітря поступає в зону "2", зону горіння палива і спікання шихти, заздалегідь нагріту продуктами горіння, що відходять. Температура горіння досягає 1100 – 1300°C. Частина руди і флюсів в зоні "2" розплавляється, утворюючи рідку фазу, яка обволікає нерозплавлені частки і при охолодженні перетворює дрібну шихту на міцні шматки - агломерат. Горіння, що утворилися в зоні, і спікання шихти газоподібні продукти проходять через нижче розташовану зону "3" шихти, де віддають своє тепло і виходять з - під колосникових ґрат нагрітими до 51 – 52°C. Шихта в зоні "3" нагрівається. Далі газоподібні продукти горіння потрапляють в зону "4", зону сушки шихти. Усе тепло витрачається на нагрів шихти і випар вологи у вузькій зоні, що примикає до зони підігрівання і горіння. Волога, що випаровується, із зони "4" переміщається в зону "5" - зону переувлажнення. Конденсація вологи йде до тих пір, поки шихта не нагріється до точки роси, після чого водяні пари не конденсуються, а йдуть разом з газоподібними продуктами горіння.

По висоті шару шихти температура в зоні готового агломерату падає від зони горіння вгору за рахунок охолодження просмоктуваним повітрям. Найвища температура - в зоні горіння. Нижче за зону горіння і зони сушки шихти температура дорівнює температурі точки роси.

Розрідження по висоті шару шихти по-різному. В процесі спікання розрідження зменшується за рахунок збільшення пористості агломерату. У зоні горіння із-за рідкої фази, що утворилася, з розплаву флюсів і частинок руди, поганою газопроникністю, що володіє, виникає найвище розрідження. Із збільшенням висоти шару агломерату швидкість його охолодження зменшується, агломерат сходить з палет гарячим, а це, у свою чергу, зменшує температурну напругу і, тим самим забезпечує підвищену міцність агломерату, знижуючи вихід повернення. Надалі повернення на гуркоті відсівається. Фракції 10 - 15 мм прямують знову на аглострічку як ліжко. Повернення з частками розміром до 10 мм охолоджується в барабані охолодження повернення і знову поступає як добавка в аглошихту в шихтове відділення.

Повернення, виділене на стаціонарних грохотах, з бункера повернення видається живильниками в барабанні охолоджувачі, де змочується водою. Охоложене до 80-90°C повернення стрічковими конвеєрами транспортується в шихтове відділення і використовується як один з компонентів шихти.

Початок зниження температури газів, що відходять, свідчить про майже повне вигорання вуглецю шихти і розцінюється як сигнал про припинення процесу спікання. Готовий агломерат в цих умовах охолоджується просмоктуваним повітрям по усій висоті шару.

Горіння коксової дрібниці при агломерації відбувається у вузькій зоні, висота якої коливається при зміні великості палива від 1 до 10 мм відповідно в межах від 10 до 40 мм. В більшості випадків ширина зони горіння не перевищує 20 мм. Для підтримки стійкого горіння часток твердого палива в спекаемому шарі мають бути виконані дві найважливіші умови :

- 1) поверхня часток палива має бути нагріта до температури займання;

- 2) поверхня гарячих часток повинна омиватися достатньою кількістю кисневмісних газів.

Температура займання коксової дрібниці на повітрі близька до 700°C, а в продуктах горіння що містять лише 5-6 % кисню – 750-800°C. Для різних сортів антрацитового пилу, штибу температура займання складає 750-800 °C, причому з пониженням великості палива температура його займання дещо зменшується.

В умовах агломераційного процесу горіння коксової дрібниці в сильній мірі загальмовується при подачі в зону горіння газів, що містять менше 5-6 % кисню. В цьому випадку можна говорити про практично повне припинення горіння твердого палива. Якщо гази після запалення шихти містять мало кисню, то зона горіння не рухається вниз. Процес горіння твердого палива в спекаємій шихті і переміщення зони горіння вниз можливі тільки після подачі на агломераційну стрічку повітря.

Якщо згори в зону горіння вводити повітря, то продукти горіння найчастіше містять не більше 3-4 % кисню. Такої концентрації кисню недостатньо для горіння часток, розташованих нижче, не дивлячись на те, що їх температура в зоні підігрівання шихти може в деяких випадках досягати порогу займання. Тільки після вигорання вуглецю в зоні горіння низлежачі частки в коксовій дрібниці починають отримувати достатню кількість кисню згори і спалахують, призводячи до поступового переміщення зони горіння вниз.

Агломераційний процес проводиться з великим надлишком повітря проти необхідного для згорання вуглецю коксика. Сумарний коефіцієнт надлишку повітря при агломерації залізняку складає 2-3,5, але навіть при такій великій кількості кисню можна говорити про "кисневе голодування" в зоні горіння.

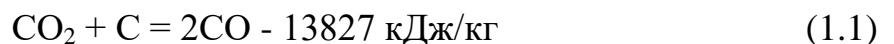
Передусім, звертає увагу на себе зміна величини коефіцієнта надлишку повітря по ходу процесу спікання. Виміри показують, що в перші хвилини величина коефіцієнта надлишку повітря не перевищує 1,1-1,2 і, лише до кінця

спікання, коли газопроникність агломерату і кількість просмоктуваного повітря різко зростають, коефіцієнт досягає значень 3-4. Отже, тривалий час після початку процесу в зоні горіння надлишку повітря немає.

Необхідно ще врахувати, що в зоні горіння, навколо частки вуглецю, що горить, створюються найбільш високі температури і утворюється максимальна кількість розплаву, що утрудняє доступ кисню до поверхні частки. Поява розплаву різко погіршує газопроникність шихти на ділянках, де відбувається горіння вуглецю. Це, у свою чергу, зменшує кількість повітря, що просмоктується через ці ділянки, збільшуючи просмоктування повітря через мікрооб'єкти, що не містять вуглецю. З указаних причин, поблизу часток вуглецю, що горять, має місце нестача кисню.

Згідно сучасної теорії горіння, при високотемпературному окисленні вуглецю на його поверхні утворюються комплекси C_xO_y , які потім розпадаються покидаючи поверхню частки, що горить, на CO і CO_2 [8].

Наступна стадія процесу полягає в догоранні CO до CO_2 на деякому видаленні від поверхні частки, що горить. Проте, внаслідок нестачі кисню і надзвичайно малої тривалості перебування газів у вузькій зоні високих температур, догорання ніколи не устигає здійснитися повністю. В умовах недостатньої кількості кисню йде також процес горіння вуглецю палива за рахунок вуглекислого газу по реакції:



Результатом цієї реакції є даремне згорання частини палива.

Виходячи з вищесказаного, агломераційні гази, що відходять, завжди містять разом з CO_2 певну кількість CO . Величина співвідношення концентрації CO_2/CO в агломераційних газах, що відходять, може мінятися залежно від умов спікання і складу шихти. Співвідношення концентрації шихти CO_2 до CO в газах агломераційних установок, що відходять, зазвичай складає 3,5-6,3.

Залежність змісту CO_2 і CO від витрати палива в газах, що відходять від зони горіння, представлена в таблиці 1.3 [4].

Таблиця 1.3 - Залежність вмісту CO₂ і CO в газах, що відходять агломераційної машини від витрати палива

Компоненти шихти	Склад газу, %			CO ₂ /CO	CO/(CO+CO ₂)
	CO ₂	CO	O ₂		
Гематитова руда (75%) + вапняк (25%) при витраті коксової дрібниці, %:					
3,75	17,7	2,8	6,9	6,30	0,137
4,5	20,1	3,9	4,7	5,15	0,162
5,0	21,9	4,6	2,6	4,75	0,174
6,0	23,9	5,2	1,2	4,60	0,178
Неофлюсована гематитова шихта при витраті коксика, %					
5,0	17,8	5,0	2,8	3,57	0,219

Як видно з таблиці, чим вище витрата палива, тим більше зміст CO в первинних продуктах горіння. При цьому зростає нестача кисню, зменшується міра догорання CO до CO_2 , росте співвідношення $\text{CO}/(\text{CO}+\text{CO}_2)$ і зменшується співвідношення CO_2/CO в газах, що відходять.

1. 6 Способи інтенсифікації процесу агломерації

У зв'язку із збільшенням об'єму доменних печей, зросла потреба в агломераті. Деякий час виробництво його відставало від потреб доменного виробництва.

В результаті заходів, спрямованих на зниження простоїв агломераційних машин і інтенсифікації процесу спікання агломерату, збільшення корисної потужності тягодуттєвих агрегатів, продуктивність агломераційних машин зросла. Найбільш суттєвий приріст продуктивності отриманий при розширенні (розширенні) спікальних візків [9].

Реконструкція доменних печей із збільшенням їх об'єму, а також зменшенням вмісту коксу в доменній шихті сприяли збільшенню опору стовпа шихти газовому потоку. У цих умовах зростають вимоги до міцності і гранулометричного складу агломерату. Для досягнення високих техніко-економічних показників роботи доменних печей на аглофабриці особливу увагу приділяють питанню поліпшення якості агломерату.

Для інтенсифікації процесу спікання агломерату і підвищення його якості використовують різні добавки. Введення в шихту виницити у кількості 3-4% від маси рудної частини сприяє значному збільшенню продуктивності агломашин, поліпшенню якості агломерату.

При виробництві офлюсованого агломерату газопроникність шихти завжди дещо вищий, ніж при спіканні неофлюсованих шихт, відповідно вище і якість офлюсованого агломерату. Міцність агломерату з підвищенням змісту виницити в шихті росте. Найміцніший агломерат відповідає заміні вапном 20-50% вапняку. Про поліпшення грудкування шихти свідчить зменшення початкового вакууму при вмісті 10-12% в шихті і підвищений вміст кисню в газах, що відходять [3].

Найбільш ефективним способом поліпшення якості агломерату є збільшення висоти шару шихти від 280 мм до 400 мм.

Збільшення висоти шару шихти викликає, при незмінній витраті палива, підвищення температурно-теплового рівня процесу, внаслідок чого збільшується міцність агломерату і покращується гранулометричний склад. Крім того, високий шар накопичує більше тепла, і середню температуру його підвищується за рахунок повнішої віддачі тепла газами, що позитивно впливає на швидкість охолодження і кінцеву температуру агломерату.

Таким чином, збільшення висоти шару чинить на процес агломерації подвійний вплив. З одного боку, цей захід знижує вертикальну швидкість спікання, а з іншого боку, підвищує вихід придатного агломерату.

Особливістю роботи агломераційних машин аглофабрики на комбінаті "Запорожсталь" є застосування для очищення газів, що відходять, мокрих пиловловлювачів. Заміна сухого очищення газу на мокру збільшила загальну кількість газу, що відсисався, на 10%, що у свою чергу підвищило продуктивність агломераційних машин на 6%.

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1. Характеристика технологічних газів агломераційного виробництва

Процес спікання агломерату супроводжується значним виділенням газу, що утворюється в результаті вигорання вуглецю і сірки, що містяться в шихті. Агломераційний газ забирає з собою пил шихти. Цей запилений газ через вакуум-камери 2 надходить в загальний горизонтальний колектор 5, що має бункера і покладений збоку агломераційної машини паралельно її осі. Колектор служить для вирівнювання кількості відсмоктуються через вакуум-камери газів і попереднього очищення їх від великої пилу і шматочків шихти.

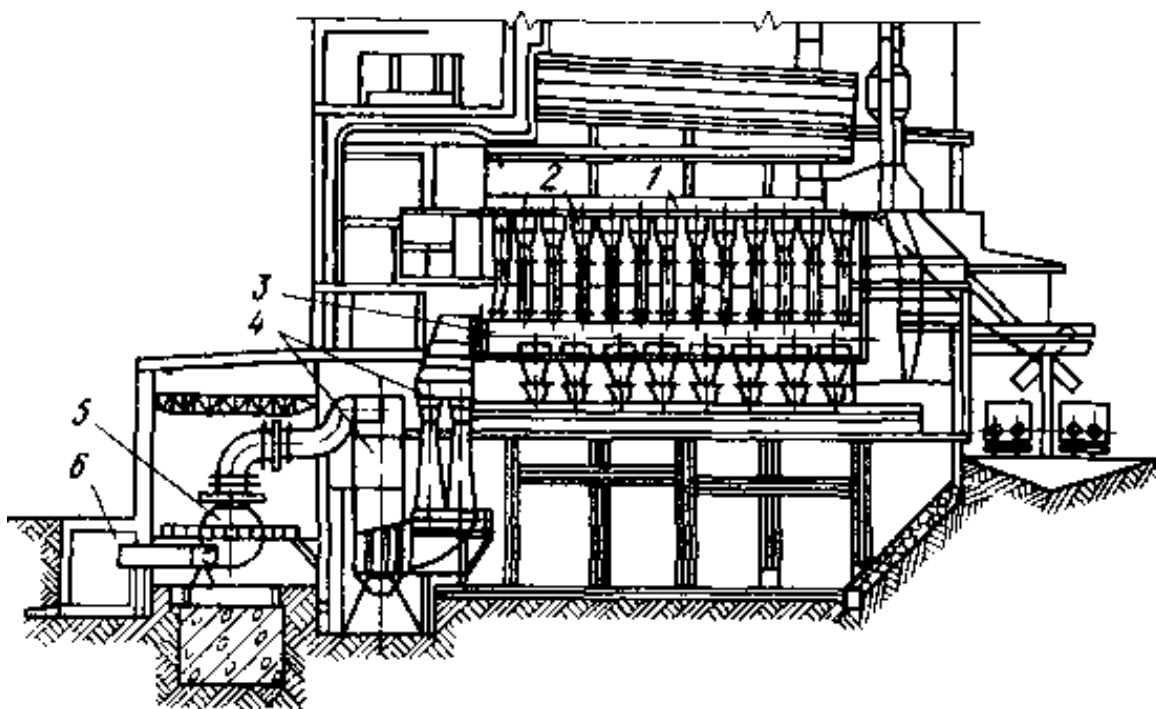


Рисунок 2.1 - Загальний вигляд відводу агломераційних газів
від агломашини

Для цього, швидкість газу в колекторі не повинна бути більше 10 м/с. З бункерів колектора уловлену пил видаляють безперервно на конвеєр через живильники. Кут нахилу до горизонту стінок бункерів роблять не менше 65°, а одну зі сторін бункера по можливості виконують вертикальною. Конструкція колектору повинна виключати абразивний знос. Ділянки колектору, бункерів і газоходів, схильні до інтенсивного впливу пилогазових потоків, захищають футеровкою зі спеціальних Абразивостійкий сталей або кам'яного лиття. З колектору газ надходить в систему газоочистки 4 і потім димососом 5 через димоходи 6 і димову трубу викидається в атмосферу.

На агломашині одночасно відбуваються процеси спікання і охолодження агломерату. Зони спікання і охолодження обладнають окремими газоочистки. При цьому горизонтальний колектор зазвичай відокремлюють суцільною перегородкою або роблять з роздільними секціями.

Концентрація пилу в газі, що надходить в колектор, зазвичай висока в перших і останніх вакуум-камерах. Це пояснюється тим, що на початку агломераційної машини сира шихта ще не встигає пройти термообробку, при якій частинки шихти спікається, і частинки виносяться повітрям; в кінці машини, де відбувається розвантаження агломерату, що супроводжується його дробленням, винос зростає, причому перед закінченням процесу спікання агломерату на останніх вакуум-камерах в газі переважає дрібнодисперсний пил, яка в колектору не осідає. Тому для нових металургійних заводів відведення газу з колектору передбачають в районі розташування середніх вакуум-камер. Це дає можливість більш ефективно використовувати колектор в якості першого очищення газу від пилу. Якщо на агломашині відбувається тільки спікання агломерату, газ відводять на газоочистку з середньої частини колектору [10].

Як показала практика, охолодження агломерату на аглострічці виходить недостатньо ефективно. Тому на деяких фабриках охолоджуючу частину стрічки використовують для спікання агломерату, а агломерат і повернення охолоджують водою в барабанних і чашкових охолоджувачах. При використанні

всієї стрічки для спікання агломерату кількість його газу і запиленість збільшуються приблизно на 20%.

Чим більше швидкість повітря, просмоктується через шар шихти, тим більша кількість пилу буде в відсмоктувати газі. Зі збільшенням кількості дрібних фракцій в шихті винос пилу в процесі спікання агломерату зростає. При огрудкуванні шихти внаслідок попередньої її підпресування винос пилу зменшується.

Гази, відсмоктують від аглострічки із зони спікання всіх видів рудної сировини, мають наступний усереднений хімічний склад: 4-10% CO₂; 12-17% O₂; 0,3-3% CO; 0,01-0,09% SO₂ + SO₃ при малосірчанних і 0,1-0,6% SO₂ + SO₃ при сірчистих рудах; інше N₂ і інертні гази. У зоні охолодження агломерату від агломашини відсмоктується атмосферне повітря. Агломераційний пил при спіканні залізородного агломерату Криворізького і Камиш-Бурунського родовищ складається з заліза і його оксидів, оксидів марганцю, магнію і фосфору. Щільність агломераційної пилу становить 3,7-4 г/см³. Дисперсний склад пилу після колектора зони спікання характеризується такими даними [12]:

Таблиця 2.1 - Дисперсний склад пилу після колектора зони спікання

Розмір часток, мкм	0-4	4-7	7-10	10-16	16-25	25-40	40-50	50-68	>68
% по масі	4	2	2	2	7	8	14	4	57

В повітрі, що відсмоктують від зони охолодження, вміст великих фракцій дещо більше.

Як уже зазначалося, якщо на агломераційної машині здійснюють тільки спікання агломерату, його охолоджують в охолоджувачах спеціальної конструкції. Від чашкових охолоджувачів діаметром 19 м відсмоктують 350-370 тис. м³/год повітря з температурою 150-180 °С і запиленістю 1,2-2,2 г/м³. Пил містить до 50% заліза і його оксидів. У пилу містяться 4% частинок розміром

до 6 мкм, 14% - розміром 16-20 мкм і до 82% - розміром 20 мкм. У барабанних охолоджувачах запиленість повітря, що відсмоктується становить 0,7-1 г/м³. З укриття гуркоту охолодженого агломерату відсмоктують 120 тис. м³/год повітря з запиленістю 15 г/м³.

Перед газоочисткою газ знаходиться під розрідженням 7470-7960 Па.

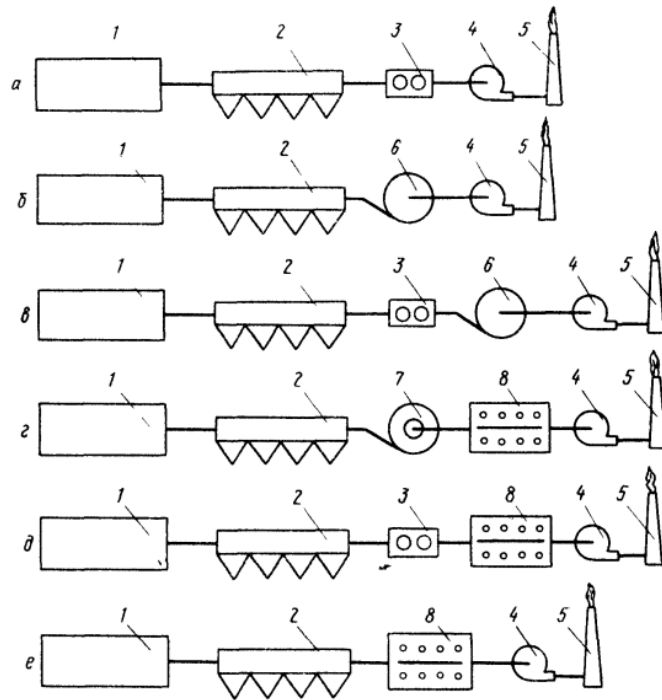
Щільність пилу 3,7 г/см³, хімічний склад: 8,05% SiO₂; 10,24% FeO; 50,62% Fe₂O₃; 3,15% C; 0,04% S; 7,29% CaO; 2,02% MgO [13].

2.2 Аналіз ринку систем очистки технологічних газів агломераційного виробництва

Всі агломераційні машини обладнані установками для очищення газу.

На старих агломераційних фабриках газу, що відводяться від зон спікання і охолодження агломерату, після колектору надходять на очистку в батарейні циклони (рис. 1.3, а). Ефективність їх роботи становить 70-80%, і вони не забезпечують необхідного ступеня очищення газу. У міру абразивного зносу окремих елементів батарейних циклонів ефективність роботи знижується ще більше. На деяких металургійних заводах за агломераційних машинами після колектору встановлені мокрі пруткові відцентрові скрубери типу МП-В (рис. 2,2, б), футеровані зсередини базальтовими плитами. Однак в процесі роботи пруткові решітки скрубєрів швидко заростають відкладенням пилу, що призводить до підвищення опору газового тракту і погіршення спікання агломерату. Крім того, кінцевий вміст пилу в очищеному газі значно вище необхідної величини.

Форсування режиму спікання агломерату, збільшення вмісту тонкомолотих концентратів в шихті і зростаючі вимоги до очищення агломераційних газів зажадали вишукування більш ефективних способів очищення їх. Було вжито заходів щодо поліпшення роботи експлуатуються систем очищення газів і розроблені нові проекти, в ряді аглофабрик за батарейним циклонами встановили відцентрові скрубери (рис. 2,2, в).



- 1 - агломераційна машина; 2 - колектор; 3 - батарейний циклон; 4 - димосос;
 5 - димова труба; 6 - відцентровий скруббер; 7 - сухий відцентровий циклон;
 8 - пластинчастий електрофільтр

Рисунок 2.2 - Принципові схеми очищення газів від агломераційних машин

На ряді заводів для очищення агломераційних газів були застосовані швидкісні пиловловлювачі (рис. 2.3). Після колектора надходить в блок з чотирьох низьконапірних (до 2000 Па) труб Вентурі 2, в яких здійснюється коагуляція пилу. Питома витрата води та зрошення труб Вентурі 0,3-0,5 л/м³ під тиском $(2,9-3,9) \cdot 10^5$ Па. Очищення газу від крапель води і укрупненого пилу проходить в інерційному пиловловлювачі (бункері-шламовідділювачі) 3 і встановлених за ним відцентрових циклонах 4 [13].

При застосуванні мокрих способів очищення газу з метою виключення конденсації вологи і налипання вологого пилу, на лопатки димососа температура газів після очищення повинна бути на 15-20 °С вище температури точки роси (зазвичай не менше 70-80 °С).

На деяких інших нових аглофабриках для очищення агломераційного газу використовують більш досконалі системи, що складаються з циклонів типу ЦН-15 конструкції НДІогазу і блоку низьконапірних труб Вентурі (рис. 2.4. Після вакуум-камер запилений газ потрапляє в колектори, з яких надходить в поодинокі циклони; їх число відповідає числу вакуум-камер. Очищений в циклонах газ прямує в колектори-газозбірники і далі в блок труб Вентурі і відцентровий скруббер [12].

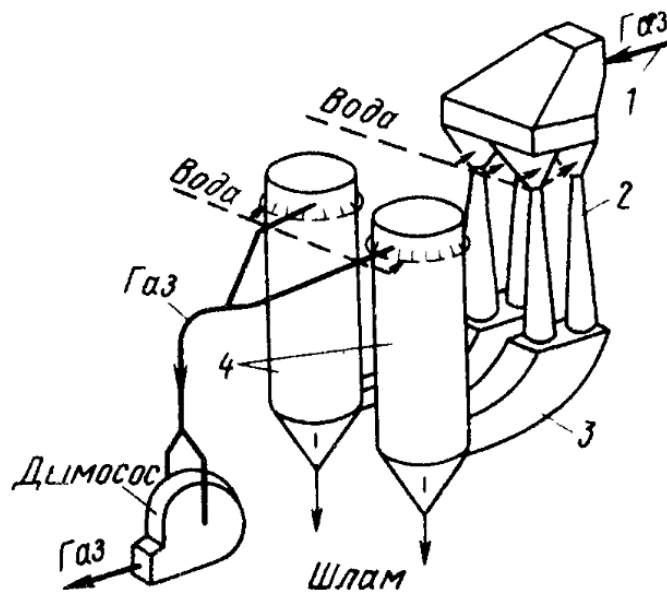
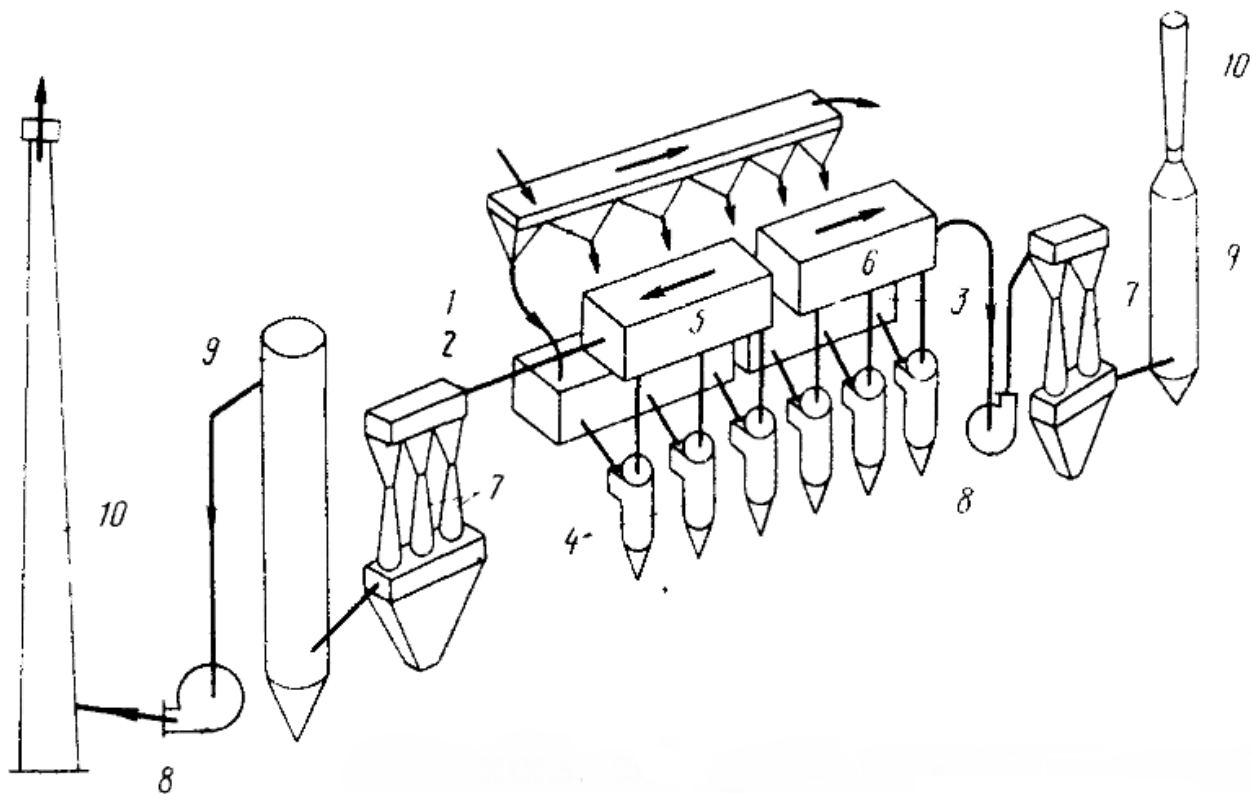


Рисунок 2.3 - Схема установки для очищення агломераційних газів в швидкісних пилоуловлювачах з трубами Вентурі

Системи газоочистки з низьконапірними трубами Вентурі в основному працюють досить ефективно. Недоліком мокрих пиловловлювачів є необхідність створення водно-шламового господарства та захист апаратів від залипання, абразивного зносу і корозії. Відкладення на стінках газоходів, апаратів і в димососах виникають в результаті їх взаємодії активного вапна з сірчистим ангідридом і вуглекислим газом, що входять до складу агломераційних газів і утворюють нерозчинні у воді, сульфат і карбонат кальцію. Ці відкладення руй-

нують футеровку корпусів апаратів, призводять до заростання газоходу, викликають дебаланс і вихід з ладу димососів. Для боротьби з відкладеннями в зрошувальну рідину вводять поверхнево активні речовини (сульфанол НП-3, ОП-7, ОП-10, ДБ і ін.), які адсорбуються на поверхні кристалів і утворюють на них мономолекулярні плівки, що перешкоджають росту нових кристалів і образів щільних кристалічних скупчень.



- 1 - вакуум-камери; 2 - колектор зони спікання; 3 - колектор зони охолодження;
 4 - циклони; 5 - колектор-газозбірник зони спікання;
 6 - колектор газозбірник зони охолодження; 7 - блок труб Вентурі; 8 - димосос;
 9 - відцентровий скрубєр; 10 - димова труба.

Рисунок 2.4 - Схема відводу і очистки газів від агломераційних машин

Останнім часом для очищення агломераційних газів на деяких аглофабриках стали застосовувати установки, що складаються з сухих циклонів і багатопольних горизонтальних пластинчастих електрофільтрів (рис. 2.2, г). При реконструкції систем газоочистки агломашин, показаних на рис. 2.2, а, після

батареїних циклонів встановлюють сухі багатопільні пластинчасті електрофільтри. Як циклони, так і батареїні циклони служать для грубого очищення газу від пилу. Для очищення агломераційних газів від пилу при основності агломерату не більше 1,8 після колектора рекомендують встановлювати тільки сухий пластинчастий електрофільтр. З огляду на те, що уніфіковані сухі електрофільтри розраховані на роботу під розрідженням не більше 5000 Па, при встановленні їх в систему очищення агломераційних газів, де розрідження приблизно втричі більше, корпус електрофільтрів роблять підвищеної жорсткості.

На аглофабриці №2 Ново-Криворізького гірничо-збагачувального комбінату для очищення газів від агломашини з площею спікання 135 м² за горизонтальним колектором встановлено циклони типу ЦН-24, прямокутні труби Вентурі і відцентрові скрубери. Експлуатують і інші системи очищення агломераційних газів [13].

При очищенні газів, що відводяться від агломераційних стрічок, необхідно враховувати наявність сірчистого ангідриду в газах. При застосуванні сухих апаратів газоочистки сірчистий ангідрид викидається в атмосферу, забруднюючи її. При застосуванні мокрих способів очищення частина сірчистого ангідриду розчиняється в зрошувальній рідині, тому перед скиданням в каналізацію шламіві води повинні піддаватися нейтралізації. При концентрації SO₂ в газі до 20 г/м³ рекомендується застосовувати проточні порожнисті форсункові скрубери, в яких в якості зрошувальної рідини використовується суспензія вапняку. При концентрації SO₂ від 20 до 50 г/м³ в якості зрошувальної рідини застосовують суспензію гашеного вапна (очищення випалювальних газів). Для очищення агломераційних газів від окису вуглецю і оксидів азоту рекомендують каталітичне допалювання [15].

Для захисту від абразивного і корозійного зносу внутрішню поверхню труб Вентурі футерують камнелитими плитками, армованим металевим дротом. Їх укладають на захисний підшар з андезитової або діабазовий замазки і

кріплять до поверхні, що захищається шпильками. Шви між плитками закладають силікатної замазкою на ділянках сухого газу і замазкою Арзамит-5 на ділянках вологого газу. Відцентрові скрубери повинні працювати з безперервним зрошенням стінок при розташуванні сопел на відстані 300-400 мм одного від іншого і питомій витраті води $0,5 \text{ м}^3$ на 1 м периметра скрубера. Тиск води перед форсунками має бути $(1,47-2,45) \cdot 10^4$ Па; його створюють установкою водонапірного бака. Корпус скрубера футерують керамічною плиткою на силікатної замазці, а днище - кислототривкою фасонною цеглою. Вхідний патрубков скрубера захищають камнелитою плиткою. Газопроводи від вакуум-камер до колектора і стінки колектора роблять з марганцевістої сталі товщиною 25 мм. Корпуси сухих циклонів виготовляють з такою ж сталі товщиною 12 мм, а їх гвинтову кришку, вихлопну трубу і вхідний патрубок - товщиною 16 мм [14].

2.3 Технологічні заходи зі скорочення викидів

Принципова схема газоповітряних потоків агломашини з площею спікання 132 м^2 та рециркуляцію газів, що використовує технологію, на одній з аглофабрик Голландії, показана на рис.2.5 [11]. Окрім головних ексгаустерів 1, що забезпечують спікання шихти, передбачена установка двох додаткових ексгаустерів (чи високонапірних вентиляторів) 3 і 4. Ексгаустер 3 всмоктує із загального потоку газів, що відходять після головних ексгаустерів, регульоване клапаном 2 їх кількість і нагнітає під укриття 5 агломашин. В деяких випадках вакуум-камери агломашини, що відводять найбільш забруднені гази, підключають до окремого колектора, сполученого з автономним газопроводом, обладнаним газоочищенням і ексгаустером нагнітання газів в укриття агломашини.

Вентилятор 4 подає необхідну кількість атмосферного повітря під укриття агломашини, забезпечуючи оптимальний вміст кисню в суміші газів, що

рециркулюють, і повітря. Додаткова кількість повітря підсмоктується через атмосферний клапан 6.

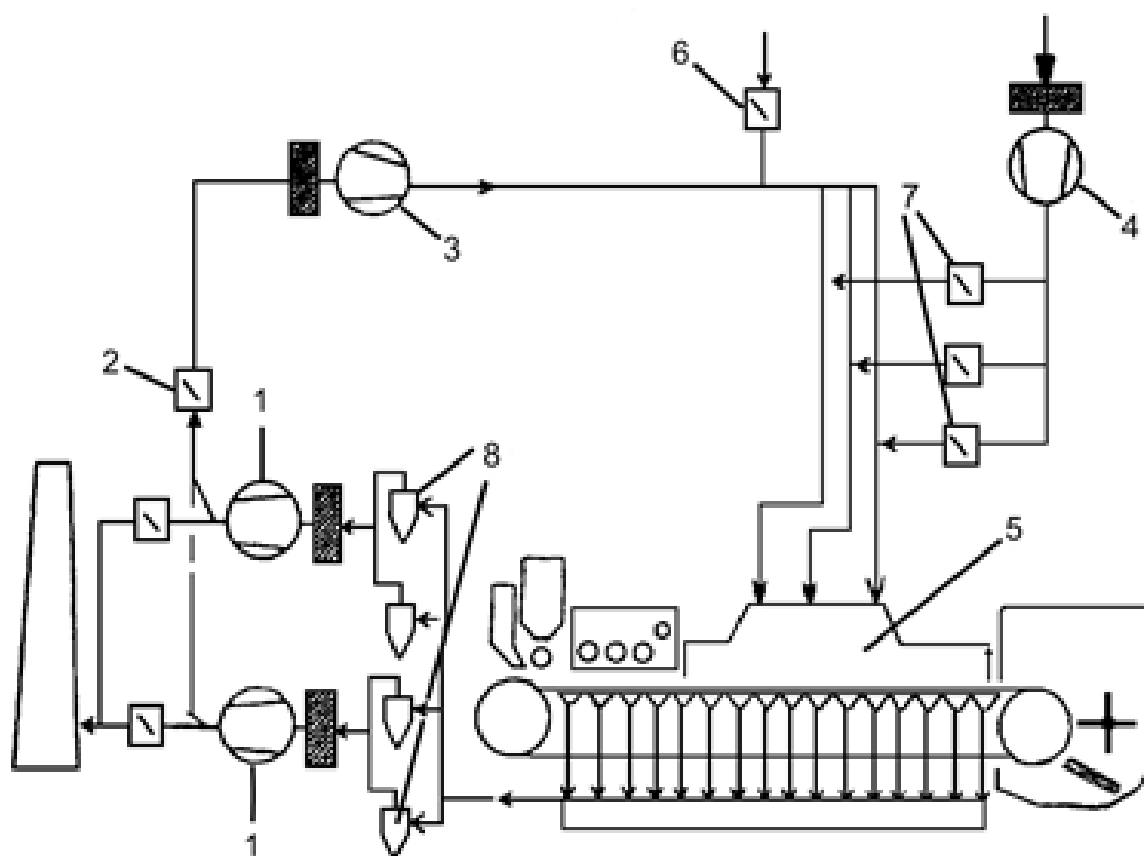


Рисунок 2.5 - Схема газоповітряних потоків агломації при використанні рециркуляції газів, що відходять

Загальне регулювання кількості газів, що нагнітаються, і повітря досягається за допомогою шибєрних клапанів 2 і 7, оснащених автоматизованими приводами. Виходячи з обмежувальних і реальних умов агломерації, міру рециркуляції встановлюють на рівні 2530 або навіть 48 %. При великих значеннях цього параметра в деяких випадках застосовують збагачення газоповітряної суміші технічним киснем, що вдувається під укриття агломації або в тракт подачі повітря. Супертоксичні вуглеводи -бензапирен, діоксин і фуран (у спрощених хімічних формулах: $C_{20}H_{12}$, $C_{14} - 2(C_6H_6) O_2$ і $C_{14} - 2(C_6H_6) O$), потрапляючи в зону горіння у складі газу, що рециркулює, майже повністю

розкладаються. Повторний синтез цих з'єднань можна попередити тільки швидким, протягом декількох секунд, охолодженням газу, що відходить, до температури менше 250 °С. Це передбачено в спеціальних газоочисних апаратах. Встановлено, що концентрація SO₂, діоксину і фурану в газі, що відходить, починає зростати, і досягає максимальних значень в другій половині процесу спікання (рис.2.6),[13].



Об'ємні концентрації: SO₂ (криві 1а і 2б); діоксину/фурану (криві 3а і 4б);
температура газів - крива 5

Рисунок 2.6 - Зміна концентрацій шкідливих речовин і температури газів, що відходять, по вакуум-камерах (довжині агломашини) при звичайному спіканні (а) і в умовах рециркуляції газів (б).

З урахуванням того, що температура газів, що відходять, також досягає максимальних значень (250-300 °С) в останніх, хвостових вакуум-камерах агломашини, доцільнішою представляється рециркуляція саме цієї частини газів, що зазвичай відносять в атмосферу більшу частину тепла і токсичних з'єднань.[12].

Утворення діоксину, фурану може бути пригнічено при додаванні речовин, які мають гальмівну дію на утворення діоксину, фурану, вважаючи, що

утворення таких речовин відбувається в основному усередині агломерату. В цьому випадку ефективним методом для скорочення викидів діоксину, фурану є додавання азотних сполук для того, щоб перешкоджати каталітичним реакцій на поверхні агломерату. З цієї причини, тести з додаванням триетаноламіну (ТЕА), моноетаноламіну (МЕА) або карбаміду були проведені на різних аглофабриках. Додавання гранул карбаміду в аглошихту перед змішуванням і/або окатиші було застосовано в повному промисловому масштабі на декількох заводах. Гранули карбаміду рівномірно розподілені в аглошихте перед подачею на стрічку. На агломераційному заводі Corus, Port Talbot, Великобританія, досягнуті викиди діоксину і фурану при використанні карбаміду склали приблизно 1 нг I - TEQ/м³ на 17 % залишкового кисню в оптимальних умовах. Як правило, концентрація викидів діоксину зменшується на 40-60 % на агломераційних установках з використанням електрофільтру ESPS при боротьбі з викидами тільки на кінці труби, так що окремий кінцевий рівень викидів діоксину, фурану залежить від вхідної концентрації. Використання карбаміду також зводить до мінімуму викиди хлористого і фтористого водню. Попередні випробування з системою дозування на колишньої аглофабрики Corus, Llanwern, Сполучене Королівство. Далі технологія була впроваджена на подальші випробування на заводі Corus, Scunthorpe. Система безперервного дозування була встановлена на аглофабриці Corus, Port Talbot, Сполучене Королівство для довгострокових безперервних випробувань дозування. Технологія була встановлена на постійній основі на аглофабрике Corus, Scunthorpe і Corus, Teesside, Сполучене Королівство.

Компанією Siemens VAI запроваджене нове газоочищення, так звану комбіновану систему знешкодження агломераційного газу - Мерос. Процес скорочення викидів агломерації торкається таких інгредієнтів як пил, кислі гази і шкідливі метали і органічні компоненти, присутні в агломераційних газах, що відходять, очищаються в декількох стадіях обробки до таких рівнів концентрацій вредностей, які недосяжні в традиційних процесах газоочищення.

Технологічна схема очищення агломераційного газу включає: уприскування адсорбентів в потік газу, що відходить, добавка кондиціонованого повітря в газ, що очищається, очищення газу, що відходить, в рукавному фільтрі, утилізація уловленого пилу в газах, що відходять, видалення димотягом агломераційних газів з системи газоочищення МЕРОС. Як адсорбенти використовують буре вугілля або активовані вугільні порошки, для цілей сіркоочистки - бікарбонат натрію або гашене вапно, які вводять в потік газу, що відходить, з високою швидкістю уприскування - більше 30 м/с - назустріч руху потоку газу. Розподільний пристрій рівномірне введення адсорбентів, а також сірчаної кислоти що реагує з токсичними елементами або газоподібними з'єднаннями в газі, що відходить. Такі реакції підвищують ефективність відділення важких металів. Ін'єкція бікарбонату натрію і гашеного вапна забезпечують очищення газу від сірчистих з'єднань і отруйних кислот, типу HCl, HF. Для ефективного розподілу реагентів використовують форсунки. Температуру газу, що відходить, знижую до 90-100°C шляхом введення охолодженого повітря для підвищення ефективності сіркоочищення і виключення ушкодження рукавів тканинних фільтрів. У зволоженому газі, що відходить, прискорюються хімічні реакції зв'язування-знешкодження діоксиду сірки і інших кислих компонентів газу, що відходить. Висота реактора забезпечує достатній час для змочування часток гашеного вапна водою і протікання реакцій хемосорбції SO₂/SO₃ з гідрооксидом кальцію. Швидкість уприскування води контролюється шляхом виміру температури на вході / виході реактора так, щоб уся закачувана вода в систему випаровувалася без залишку крапель. Після виходу з реактора запилений газ, що відходить, поступає в рукавний фільтр імпульсно-струминного типу, що складається з тканинних матеріалів високої здатності, що фільтрує. Концентрація пилу в газі і температура газу ретельно контролюється, щоб уникнути будь-якої можливості займання горючого вуглецю пилу. Дуже тонкий пил полягає, у тому числі, з органічних сполук, сорбентів і продуктів реакцій, які із-за їх високої лужності є відносно липкими, утруднюючими процес видалення пилу з тканини рукавів. Щоб забезпечити очитку тканинного матеріалу

від пилу його покривають мембранами, що мають високу хімічну і температурну стійкість. Велику частину пилу, уловленого в рукавних фільтрах, використовують як вторинну сировину. Цей пил складається з часток рудних флюсів, вуглецю кокс, реагентів, що не вступили в реакцію, продуктів реакції, таких як гіпс або сульфат натрію. Сорбенти, що не вступили в реакцію, знову потрапляють в потік газу, що відходить, тим самим збільшуючи ефективність їх використання і знижуючи витрати на витратні матеріали. Високодисперсний пил, що містить токсичні метали, їх з'єднання, діоксин-фуран, уловлюють на окремих тканинних фільтрах і піддають спеціальній нейтралізуючій обробці[12].

2.4 Вибір та обґрунтування системи очищення технологічних газів агломераційного виробництва

Зі всього вищевикладеного та вище описаного зрозуміло, що для ефективного очищення технологічних газів агломераційного виробництва найбільш доцільно використовувати схему сухого очищення.

По результатах, багатьох досліджень процесів утворення шкідливих домішок. Запропоновані ефективні методи по значному скороченню викидів:

1. контроль хімічного складу агломераційної шихти;
2. рециркуляція газів, що відходять;
3. використання новітніх електрофільтрів;
4. впровадження процесів уловлювання шкідливих газів; активованим вугіллям і іншими сорбентами, введення до складу шихти спеціальних добавок;

2.5 Розрахунок та вибір основного та допоміжного обладнання системи очистки технологічних газів агломашин

2.5.1 Розрахунок та вибір електрофільтру

Розрахунок апаратів системи газоочищення проводимо виходячи з вихідних даних, які наведені в завданні до магістерського проекту.

Об'ємна витрата технологічних газів за нормальних умов 130000 м³/год;

Запиленість газу, який поступає на очистку за н.у. 6 г/ м³;

Щільність пилу 3800 кг/м³;

Середній розмір часток пилу $52 \cdot 10^{-6}$ м ;

Температура газу 200 °С

Хімічний склад газу, %:

СО₂ - 10; Н₂О - 12; N₂ - 66; О₂ - 12;

Щільність газів за робочих умов:

$$\rho = \rho_0 \frac{273(P_{\text{бар}} \pm P_z)}{(273 + T_z)101,3} = 1,29 \frac{273(101,3 - 7)}{(273 + 200)101,3} = 0,69 \text{ кг/м}^3 \quad (2.1)$$

де 101,3 кПа - нормальний атмосферний тиск.

Об'ємна витрата газів за робочих умов:

$$V = \frac{V_0 \rho_0}{\rho_z \cdot 3600} = 135000 \frac{1,29}{0,69 \cdot 3600} = 67,5 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.2)$$

Задавшись швидкістю газів в електрофільтрі =1 м/с, розрахуємо необхідну площу поперечного перерізу електрофільтру :

$$F' = \frac{V}{W_z'} = \frac{67,5}{1} = 67,5 \text{ м}^2. \quad (2.3)$$

Вибираємо електрофільтр типу ЭГВ1-19-9-6-4А згідно [18].

Технічна характеристика [18]:

Продуктивність по газу, що очищається, (при умовній швидкості 1 м/с) 246700 м³/год.

Площа активного перетину електрофільтру, F= 74,5 м²;

Площа поверхні осадження 5370 м²;

Гідравлічний опір 0,25 кПа.

Допустима запиленість перед фільтром – 90 г/м³

Тоді фактична швидкість газів в електрофільтрі:

$$W = \frac{V}{F} = \frac{67,5}{74,5} = 0,9 \text{ м/с} \quad (2.4)$$

де $F=74.5 \text{ м}^2$ - площа активного перерізу електрофільтру ЭГВ1-19-9-6-4А прийнята по [18].

Відношення щільності газів за робочих умов до щільності газів за стандартних умов ($T_{ст}=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $P_{ст}=101,3 \text{ кПа}$) :

$$\beta = \frac{(P_{бар} \pm P_z) \Gamma_{cm}}{P_{cm} (273 + T_z)} = \frac{(101,3 - 2) 293}{101,3 (273 + 200)} = 0,53. \quad (2.5)$$

Критична напруженість електричного поля :

$$E_{кр} = 3,04 \left(\beta + 0,0311 \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) 10^6 = 3,04 \left(0,44 + 0,0311 \sqrt{\frac{0,53}{0,0003}} \right) 10^6 = 6,07 \cdot 10^6 \text{ В/м}$$

де R_1 - еквівалентний радіус голчастого коронуючого електроду, приймаємо рівним 0,0003 м

Критична напруга корони для пластинчатого електрофільтру типу ЭГВ1-19-9-6-4А:

$$U_{кр} = E_{кр} R_1 \left(\frac{\pi H}{S} - 2,31g \frac{2\pi R_1}{S} \right) = 4,96 \cdot 10^6 \cdot 0,0003 \left(\frac{3,14 \cdot 0,3}{0,18 \cdot 2} - 2,31g \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0003}{0,18} \right) = 1,3 \cdot 10^4 \text{ В}, \quad (2.7)$$

де $H=0,300/2\text{м}$ - відстань між площинами коронуючих і осаджувальних електродів; $S=0,18 \text{ м}$ - крок коронуючих електродів в ряду.

Рухливість іонів газової суміші за нормальних умов:

$$K_0 = K_{0i} a_i = (0,10 \cdot 0,96 + 0,12 \cdot 0,57 + 0,66 \cdot 1,84 + 0,12 \cdot 1,84) \times 10^{-4} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / (\text{В} \cdot \text{с}), \quad (2.8)$$

де K_{0i} - рухливість газових молекул за нормальних умов, $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$;

a_i - об'ємний зміст компонентів газової суміші, %.

Рухливість іонів газової суміші за робочих умов:

$$K = K_0 \frac{(273 + T_z)101,3}{273(P_{\text{бар}} \pm P_z)} = 1,04 \cdot 10^{-4} \frac{(273 + 200) \cdot 101,3}{273(101,3 - 7)} = 1,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с}).$$

Лінійна щільність струму корони :

$$i_0 = \frac{4\pi^2 K \psi U (U - U_{\text{кр}})}{9 \cdot 10^9 \left(\frac{\pi H}{S} - 2,31g \frac{2\pi R_1}{S} \right) \cdot S^2} =$$

$$\frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 1,76 \cdot 10^{-4} \cdot 0,043 \cdot 80 \cdot 10^3 (80 \cdot 10^3 - 10,7 \cdot 10^3)}{9 \cdot 10^{10} \left(\frac{3,14 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,18} - 2,31g \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0003}{0,18} \right) \cdot 0,18^2} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ А/м}, \quad (2.10)$$

де $\psi = 0,043$ при $H/S = 0,3/2 \cdot 0,18 = 0,83$.

Напруженість електричного поля :

$$E = \sqrt{\frac{8i_0 H}{4\pi K \varepsilon_0 S}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,169 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3}{4 \cdot 3,14 \cdot 3,76 \cdot 10^{-4} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 0,18}} = 6,12 \cdot 10^5 \text{ В/м} \quad (2.11)$$

Динамічна в'язкість окремих компонентів, що входять до складу газів, за робочих умов визначаються по формулі, Па·с:

$$\mu_i = \mu_{0i} \frac{(273 + C_i)}{(273 + T_r + C_i)} \left(\frac{273 + T_r}{273} \right)^{1,5}; \quad (2.12)$$

де μ_i , C_i - відповідно динамічна в'язкість і коефіцієнт C для окремих компонентів газової суміші.

Підставляючи відповідні значення μ_i та C_i знаходимо динамічну в'язкість компонентів газової суміші за робочих умов:

$$\mu_{\text{CO}_2} = 29,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 28,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{N}_2} = 31,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{O}_2} = 38,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Молярна маса газової суміші :

$$M = \sum a_i M_i = 0,105 \cdot 44 + 0,165 \cdot 18 + 0,66 \cdot 28 + 0,0698 \cdot 32 + 0,0002 \cdot 30 =$$

$$= 28,3 \text{ кг/моль}.$$

Звідси:

$$\mu = \frac{M}{M/\mu} = \frac{28,3}{0,903 \cdot 10^6} = 24,96 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}. \quad (2.14)$$

Швидкість дрейфу часток розміром більше 1 мкм, м/с:

$$W_{op} = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} E^2 r}{\mu} = \frac{0,118 \cdot 10^{-10} \cdot (6,12 \cdot 10^5)^2 \cdot r}{24,96 \cdot 10^{-6}} = 1,77 \cdot 10^4 \cdot r. \quad (2.15)$$

Питома площа поверхні осадження, що доводиться на 1 м³/с газів, що очищаються, м²·с/м³:

$$f = \frac{F_3}{V} = \frac{5370}{68,5} = 78,4, \quad (2.19)$$

де F_3 - загальна площа поверхні осадження, м².

Фракційні коефіцієнти очищення газів від пилу визначаються по формулі:

$$\eta_{фр} = 1 - e^{-fW_{op}} = 1 - e^{-78,4W_{op}}. \quad (2.20)$$

Таблиця 2.2 - Дані розрахунку електрофільтру

Розмір часток, мкм	<3	3-60	60-250	> 250
Середній радіус часток, 10 ⁶ м,	0,75	15,75	77,5	125
Швидкість дрейфу, м/с	0,0093	0,18	0,95	1,4
Коефіцієнт очищення	0,998	1	1	1

Загальний коефіцієнт очищення з урахуванням віднесення пилу при струшуванні електродів :

$$\eta' = \sum \frac{\eta_{фр} \Phi_{фр}}{100} = \frac{1 \cdot 0,4 + 0,999 \cdot 1,4 + 0,999 \cdot 11,2 + 0,999 \cdot 14 + 0,992 \cdot 14 + 0,974 \cdot 24 + 0,938 \cdot 13 + 0,907 \cdot 8 + 0,999 \cdot 14}{100} = 0,994$$

де $\Phi_{фр}$ - вміст часток фракцій, %.

Загальний коефіцієнт очищення з урахуванням віднесення пилу при струшуванні електродів ($K_{ун}=0,9$) :

$$\eta'' = 1 - \exp K_{ун} \cdot 2,31 \lg(1 - \eta') = 1 - \exp 0,9 \cdot 2,31 \lg(1 - 0,994) = 0,99 \quad (2.22)$$

Запиленості газів після електрофільтру:

$$Z_2 = Z_1(1 - \eta'') = 4(1 - 0,99) = 0,04 \text{ г/м}^3 \text{ або } 40 \text{ мг/м}^3. \quad (2.23)$$

Отримане значення кінцевої запиленості газів не перевищує норматив ГДВ= 50 мг/м³

2.5.2 Розрахунок агрегатів живлення

Ефективність електрофільтрів значною мірою визначається роботою агрегатів живлення.

Вибір апарату роблять по силі випрямленого струму, що вимагається, :

$$I = L \cdot i_0 = 5643 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3} = 0,62 \text{ А}, \quad (2.24)$$

де L - сумарна активна довжина коронуючих електродів, що живляться від одного агрегату,

$$L = l \cdot n_o \cdot n_{ш} = 9 \cdot 33 \cdot 19 = 5643 \text{ м}, \quad (2.25)$$

де l - номінальна висота електродів, l=8 м;

n_д - кількість рядів по довжині одного поля, n_д=24,1;

$$n_o = \frac{L_1}{n \cdot S} + 1 = \frac{5600}{180} + 1 = 33 \quad (2.26)$$

L₁ - довжина одного поля електрофільтру, L₁=5600 мм;

S - крок коронуючих електродів в ряду, S=180 мм;

n_ш - кількість рядів по ширині, n_ш=19;

H₁ - відстань між сусідніми осадительними електродами, H₁=300 мм;

i₀ - лінійна щільність струму, i₀=11·10⁻⁴ А/м

Повна потужність споживана електрофільтром:

$$N = \left(\frac{U_a \cdot I_{cp} \cdot K_\phi \cdot \cos \varphi}{1,41 \cdot \eta} \right) + N_1 = \frac{80 \cdot 10^3 \cdot 0,62 \cdot 1,2 \cdot 0,83}{1,41 \cdot 0,94} + 2000 = 37472 \text{ Вт} = 37,8 \text{ кВт},$$

де U_a - амплітудна напруга, кВ;

I_{cp} - середня сила струму корони, А;

K_φ - коефіцієнт форми випрямленого струму, K_φ=1,2;

η - коефіцієнт корисної дії агрегату, $\eta=0,94$ [];

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності, $\cos\varphi=0,83$ [];

N_1 - потужність, споживана механізмами струшувань і обігрівом ізоляторних коробок, $N_1=2000$ Вт.

За величиною випрямленого струму і споживаної потужності вибираємо агрегат живлення серії АТПОМ- 600[].

2.5.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту системи газоочистки

Умовно розділимо газовий тракт на наступні ділянки

- ділянка I – колектор – електрофільтр;
- ділянка II – електрофільтр – ексгаустер;
- ділянка III – ексгаустер – димова труба;

Втрати тиску (енергії 1 м^3 газу) $\Delta P_{\text{общ}}$ складаються з втрат тиску на тертя ΔP_1 і втрат тиску на місцевих опорах $\Delta P_{\text{м}}$:

$$\Delta P_{\text{общ}} = \Delta P_1 + \Delta P_{\text{м}}. \quad (2.28)$$

Втрати тиску на тертя, Па:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot l_i \cdot \rho_{p_i} \cdot W_i^2 / (d_{e_i} \cdot 2), \quad (2.29)$$

де λ_i – коефіцієнт гідравлічного опору i -го ділянки;

l_i – довжина i -го ділянки, м;

d_{e_i} - еквівалентний діаметр газоходу i -го ділянки, м

ρ_i – щільність газу на i -м ділянці, $\text{кг}/\text{м}^3$;

w_i - середня по перетину і довжині газоходу швидкість потоку на i -м ділянці, м/с.

Щільність газу за робочих умов:

$$\rho_i = \rho_0 \left(\frac{273}{273 + t_r} \right) \cdot \left(\frac{B - P_r}{101,3} \right), \quad (2.30)$$

Отримані результати заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку гідравлічного опору газового тракту

№ ділянки	Q, м ³ /с	ρ, кг/м ³	t, °С	W _г , м/с	d, м	l, м	ΔP _l , Па	ξ	ΔP _м , Па	∑ P, Па
шихта										7000
1	67,5	0,69	200	19,17	2,0	25	23,35	1,28	79,92	103,27
2	67,3	0,70	190	19,02	2,0	18	35,43	0,5	167,51	201,61
3	119,9	0,817	180	21,10	2,0	52	32,63	0,8	240,49	273,1
ЕФ										250
∑ P _{заг}										7828

2.5.4 Вибір ексгаустера

Ексгаустер вибирають на основі аеродинамічного розрахунку тракту, що газовідводить [7].

Продуктивність ексгаустеру:

$$Q_{\text{екс}} = \frac{1,1 \cdot Q_p \cdot 101,3}{B} = \frac{1,1 \cdot 68,4 \cdot 101,3}{101,3} = 75,3 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.31)$$

Коефіцієнт перерахунку:

$$K = \frac{(273 + t)101,3 \cdot \rho_T}{(273 + T) \cdot B \cdot \rho_B} = \frac{(273 + 160)101,3 \cdot 0,757}{(273 + 100) \cdot 100 \cdot 1,189} = 0,75 \quad (2.32)$$

де t – температура газу перед димососом °С;

T – температура по каталогу °С.

Створюване ексгаустером розрідження:

$$\Delta P_d = 1,2 \cdot K \cdot \Delta P_{\Sigma} = 1,2 \cdot 0,75 \cdot 7828 = 7045 \text{ Па} \quad (2.33)$$

K – коефіцієнт перерахунку.

На основі аеродинамічного розрахунку газового тракту вибираємо відцентровий нагнітач 7700-12-1, що має об'ємну продуктивність 4727 м³/хв, споживану потужність 1,95 МВт, частоту обертання ротора 1500 хв⁻¹, витрата охолоджувальної води на маслоохолодження та повітряохолодження електродвигуна 84,3 м³/год охолодження . Електродвигун ДСП-143/84-ЧУХЛ 4 (напруга 20 кВ). [17].

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика ступеню безпеки вибраних технологічних процесів, рівня їх механізації і автоматизації

Безпека агломераційного процесу залежить від швидкості руху агломераційної стрічки, від характеру і змісту шихтових матеріалів і готового агломерату, від щільності укладання (газопроникності) шихти і характеру її розподілу. Таким чином, нормованими параметрами агломераційного процесу є маса початкових матеріалів, що переробляються, і готового агломерату, швидкості їх переміщення, об'єм, тиск і температура на різних стадіях агломераційного процесу.

Агломерація залізорудних матеріалів характеризується різноманіттям операцій по підготовці і кускуванню початкової сировини. До основних з них відносяться: усереднювання, дроблення, змішування, грудкування, спікання. У кожній з перерахованих операцій можуть виникнути виробничі чинники, дія яких може привести до травм. До таких чинників відносяться рушійні машини і механізми, вироби, заготівлі, матеріали, транспортери подачі сировини, обпалювальні машини, подрібнювальні засоби, навантажувально-розвантажувальні пристрої, електрокари, рухомі залізничні склади і тому подібне. Травмування ними можливо при порушенні правил безпеки.

При агломерації підвищену небезпеку створює робота з гарячим поверненням (600 °С), яке охолоджується в спеціальних охолоджувачах. Для персоналу, обслуговуючого цю технологічну лінію, існує підвищена небезпека отримати термічні опіки від безпосереднього зіткнення з гарячим поверненням або побічно через пароутворення при несправному устаткуванні або порушенні інструкції по техніці безпеки.

При роботі з гарячим поверненням травмування персоналу можливе при викиді повернення з живильника. Крім того, в результаті попадання шихти, що

не спеклася, в бункер гарячого повернення відбувається інтенсивне пароутворення, що спричиняє за собою викид великої кількості пари через вікна видачі і повернення. Частота травмування працівників з цієї причини - невелика, але отримувані при цьому травми (опіки) відносяться, як правило, до розряду важких і смертельних.

Аналіз рівня безпеки агломераційного процесу. Рівень безпеки оцінюється долею часу, при якому технологічний процес протікає без порушень безпеки.

Рівень безпеки процесу :

$$U_n = 1 - \frac{\Sigma t' + \Sigma t' + \Sigma \phi'}{T'} \quad (3.1)$$

де $\Sigma t'$ - загальна тривалість часу, коли процес проходить з порушеннями параметрів безпеки, відповідно в зоні з високої або низької інтенсивності процесу, год.;

$\Sigma t'$ - загальна тривалість екстремальних відхилень процесу, год.;

$\Sigma \phi'$ - загальна тривалість часу, коли процес проходив з порушенням параметрів безпеки внаслідок дії зовнішніх чинників або поломки агрегату або його окремих частин, год.;

T' - час роботи агрегату, год.

Початкові дані [19]:

Порушення параметрів агломерації, год.;

наявність гнізд шихти, що не спеклися, - 14;

зростання розрідження і падіння температури газів, що відходять, - 9;

широка зона розплаву агломерату - 8;

наявність язиків полум'я на зламі агломерату - 5;

Всього: 36 год..

Екстремальні відхилення параметрів, год.;

сильне оплавлення верхнього шару пирога агломерата- 12;

велика частина шару шихти абсолютно не спекається - 14;

Всього: 28 год.

Порушення параметрів безпеки внаслідок дії зовнішніх чинників або поломки агломераційної машини, год.;

рихлий пиріг агломерату - 21;

у шихті недостатньо палива - 24;

низька температура запалення шихти - 21;

Всього: 66год.

Час безперервної роботи агломераційної машини - 720год.

$$U_n = 1 - \frac{36 + 28 + 66}{720} = 0,819$$

Рівень безпеки процесу є високим.

Для того, щоб підвищити безпеку агломераційного процесу, проводяться заходи по поліпшенню роботи механізмів і устаткування, що забезпечують виробництво агломерату.

3.2 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

Основними шкідливими і небезпечними чинниками на аглофабриках є пил, газы, шум, тепловиділення. Оцінка чинників виробничого середовища і трудового процесу, а також їх фактичні і нормативні значення показані в таблиці 3.1 [20].

Пил. Багато технологічних процесів (дроблення перевантаження компонентів шихти і агломерату, їх перемішування і так далі) супроводжується виділенням пилу, що негативно впливає на організм людини і в основному на його органи дихання, іноді погіршуючої виробничу обстановку (видимість, орієнтування) в межах робочої зони і такої, що призводить до швидкого руйнування частин машини, що труться. Крім того, пил може бути вибухонебезпечним і бути джерелом статичних зарядів електрики [19].

Таблиця 3.1 "Оцінка чинників виробничого середовища і трудового процесу". Виробництво: рудопідготовка. Цех: агломераційний.

Професія: агломератчик.

№ пп	Чинники виробничого середовища і виробничого процесу	Нормативне значення (ПДУ ГДК)	Фактична величина год.ин а	3 клас - шкідливі і небезпечні умови і характер праці			
				1 степень	2 степень	3 степень	Час действия, %
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ :						
	1 клас безпеки :						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,064			6,4р	90
	Бензапирен	0,01 015	0,0002 5	1,6			90
	Марганцю оксиди	0,05	0,36			7,2р	90
	2 клас безпеки						
	Фенол	0,3	0,54			8,64р	90
Луги їдкі	0,5	1,29	2,58			94	
3	3 клас безпеки						
	Ангідрид сірчистий	10	13,21				94
	Азоту діоксид	2	2,09				94
	Азоту оксид	5,0	23,4				90
	Аміак	20	23,06				94
2	Пил, переважно фіброгенної дії, міліграм\м ³ : кремнію діоксид кристалічний при вмісті в пилі від 2 до 10%	4	467,2			116,8р	94
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	96		4		
4	Шум, дБ	80	91	8			94
5	Мікроклімат в приміщенні:						
	Температура, °С.	26	30,2		4,2		94
	Швидкість руху повітря м/з	0,6	0,32	1,88			94
	Відносна вологість повітря, %	55	44				
	Інфрачервоне випромінювання,	140	3270	3270			94
6	Тяжкість і напруженість праці	Середній тяжкості 26					

Постійно запыленими на аглофабриках є приміщення циклу повернення, дроблення, рудосортировки, спікальних стрічок, шихтового відділення. Найбільш інтенсивне виділення пилу спостерігається при високій мірі подрібнення, крихкості, малому змісті вологи і високій температурі. Аглопил є нетоксичним пилом і ГДК пилу складає 4мг/м^3 [21].

Гази. Технологічні гази, що відходять від агломашини, містять такі шкідливі компоненти як сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, оксиди азоту, аміаку, їдкі луги, оксиди марганцю, тому невеликі кількості цих шкідливих речовин можуть поступати в повітря робочої зони. Концентрації таких шкідливих речовин як оксиди марганцю, їдких лугів і діоксиду азоту перевищують ГДК і складають відповідно до $5,8\text{мг/м}^3$, $1,9\text{мг/м}^3$, 4мг/м^3 (ГДК відповідно до $0,05\text{міліграма/м}$, $0,5\text{мг/м}^3$, 2мг/м^3) [21].

Шум. Найбільш високі рівні шуму відзначаються на робочих місцях машиністів конвеєрів, машиністів чашових окомковувачів, грохотників, машиністів вентиляторів і нагрівачів. Джерелами шуму на аглофабриках є ексгаустери, млини, дробарки, редуктори, вентилятори, компресори і насоси, ручний ударний інструмент, течія газу або рідини по трубопроводах, транспортуючі системи і так далі.

На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях і на території підприємств допустимий рівень звуку встановлений 75-80 дБА, для якого вірогідність ушкодження слуху практично дорівнює "0" при будь-якому стажі роботи, фактичний же рівень шуму на даній ділянці складає 91 дБА, що перевищує норму [29].

Тепловиділення. При отриманні агломерату виділяється велика кількість надмірного тепла від розжареного пирога агломерату, при теплообміні з довкіллям нагрітих поверхонь горна і трубопроводів газоповітряних трактив, а також за рахунок витоку гарячих газів з горна, що пробиваються через щілини і нещільність в технологічному устаткуванні.

За наявності відкритих джерел тепла допустима наступна інтенсивність теплового опромінення що працюють 140 Вт/м². У робочому приміщенні теплове опромінення тих, що працюють набагато перевищує норму і складає 3270 Вт/м².

Таким чином, з таблиці 3.1 видно, що робоче місце має в наявності 4 чинника 1 ступеня, 1 чинник 2 ступеня, 2 чинника 3 ступеня. За показниками робоче місце слід рахувати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці.

3.3 Технічні рішення по виробничій санітарії

3.3.1 Об'ємно-планувальні рішення будівель і споруджень агломераційного цеху

Агломераційний цех відноситься до групи гарячих цехів. Гарячі цехи розміщують по можливості в одне - і двопролітних будівлях. У основних одноповерхових виробничих будівлях слід застосовувати прольоти 24,30 і 36м. Крок основних колон по крайніх і середніх осях будівель з мостовими кранами рекомендується приймати рівним 12м. Об'єм виробничих приміщень на того, що одного працює приймають не менше 15м³, а площа не менше 4,5м. Висоту приміщення від підлоги до низу виступаючих частин комунікацій і устаткування в місцях регулярного проходу людей приймають не менше 2м, а в місцях нерегулярного проходу людей не менше 1,8м [23].

Підлоги в спекательном відділенні агломераційного цеху мають рівну неслизьку поверхню, що відповідає гігієнічним і експлуатаційним вимогам. Підлоги містяться в справному і чистому стані. Конструкції стін, колон і інших елементів будівель забезпечують можливість очищення їх від пилу.

Входи в будівлі цеху розташовують так, щоб було зручно і безпечно проходити до робочих місць. При в'їзді транспорту і вході людей до приміщень,

де працюють вантажопідйомні крани, у воротах, проходах і дверях влаштовують світлову сигналізацію, що застерезливу про небезпеку або забороняє в'їзд транспорту або прохід людей.

Отвори для виїзду або в'їзду до цеху транспорту усіх видів забезпечують воротами з хвіртками для проходу людей. Відкривання і закривання важких і великих воріт механізують. Виходи з будівель розташовані так, що вони спрямовані убік залізничних колій, що близько проходять, або автомобільних доріг.

При проектуванні будівель і споруд, як правило, приймають типові конструкції і виробы. По периметру зовнішніх стін будівлі передбачають от-мостки шириною не менше 0,5м з перевищенням винесення карниза не менше чим на 0,2м і з ухилом 0,03..0,1 від будівлі [23].

Між підприємством і житловим районом створюється санітарно-захисна зона, ширина якої залежить від кількості вредностей, що викидаються підприємством в повітряний басейн. Санітарні норми проектування промислових підприємств встановлюють ширину санітарно-захисної зони для першого класу підприємства рівну 1000м.

3.3.2 Опалювання і вентиляція

У агломераційному цеху природна вентиляція здійснюється шляхом ае-рації - організованого регульованого природного повітрообміну, що підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища.

У цеху доцільно застосовувати місцеву припливну вентиляцію для ство-рення потоку повітря, спрямованого на робоче місце. Такий потік повітря має задані кліматичні параметри, так що на робочому місці створюються сприят-ливі умови повітряного середовища. Повітряні душі можна застосовувати і для зменшення концентрації газу і пилу на робочих місцях.

Системи опалювання не передбачається, оскільки в процесі виро-бництва агломерату виділяється дуже велика кількість тепла.

Значення параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих

приміщень приведені в таблиці 3.2 [24].

Таблиця 3.2 - Значення прийнятих допустимих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

Характеристика виробничих приміщень по надмірних тепловиділенням	Категорія роботи по тяжкості	Період року			Температура повітря поза постійними робочими місцями, °С
		На постійних робочих місцях			
		Температура повітря °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/з	
Більше 23 Вт/м ³	Середній тяжкості	Холодний і перехідний період року			15...24 "Г
		16...22	не>75	не>0,5	
	Середній тяжкості	Теплий період року			не > чим на 5°З вище
		не>28	не>55	0,5...1	

3.4 Освітлення

3.4.1 Природне освітлення

Одним з найважливіших параметрів виробничої обстановки є освітлення. При природному освітленні необхідно передбачити мінімальну кількість віконних отворів, що забезпечують нормативну освітленість в цеху, і максимальну доступність для очищення і заміни стекол. Відмовлятися зовсім від природного світла не слід, оскільки це призводить до погіршення самопочуття що працюють і знижує їх продуктивність.

Для створення природної освітленості в будівлях використовують світлові отвори в стінах (вікна) і світлові отвори (ліхтарі) на даху.

Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості (Ін) з урахуванням

характеру зорової роботи і світлового клімату в районі розташування будівлі ви-
значається по формулі:

$$I_H = e \cdot m \cdot C, \quad (3.2)$$

де e - значення к.е.о.; $e=0,7\%$ [28];

m - значення світлового клімату; $m=0,8$ [28];

C - значення сонячності клімату; $C=0,8$ [28].

Нормоване значення I_H слід вважати мінімально допустимим.

$$I_H = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,448 \%$$

Відношення площ світлових отворів і підлоги розраховують по форму-
лах:

при бічному освітленні приміщень

$$100 \cdot \frac{S_0}{S_n} = \frac{I_n \cdot K_3 \cdot \eta_0}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд} \quad (3.3)$$

при верхньому освітленні

$$100 \cdot \frac{S_\phi}{S_n} = \frac{I_n \cdot K_3 \cdot \eta_\phi}{\tau_0 \cdot r_2 \cdot K_\phi}, \quad (3.4)$$

де S_ϕ - площа світлових отворів при бічному освітленні;

S_n - площа підлоги приміщення;

S_ϕ - площа світлових отворів при верхньому освітленні;

I_H - нормоване значення к.е.о.; $I_H=0,448\%$;

K_3 - коефіцієнт запасу; $K_3=2$;

η_0 - світлова характеристика вікон; $\eta_0=19$;

$K_{зд}$ - коефіцієнт, що враховує затемнення вікон протилежними будівлями;

$$K_{зд}=1,7;$$

τ_0 - загальний коефіцієнт світлопроникності;

r_1 - коефіцієнт, що враховує підвищення к.е.о. при бічному освіт-
ленні; $r_1=1,8$;

r_2 - коефіцієнт, що враховує підвищення к.е.о. при верхньому освіт-
ленні; $r_2=1,05$;

η_ϕ - світлова характеристика ліхтаря; $\eta_\phi=4$;

K_{ϕ} - коефіцієнт, що враховує тип ліхтаря; $K_{\phi} = 1,2$.

Загальний коефіцієнт світлопроникності τ_0 визначається по формулі:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (3.5)$$

де τ_1 - коефіцієнт світлопроникності матеріалу; $\tau_1 = 0,9$;

τ_2 - коефіцієнт, що враховує втрати світла в палітурках світлопройому; $\tau_2 = 0,75$;

τ_3 - коефіцієнт, що враховує втрати світла в конструкціях, що несуть;

$\tau_3 = 1$;

τ_4 - коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях; $\tau_4 = 0,8$;

τ_5 - коефіцієнт, що враховує втрати світла в захисній сітці, що встановлюється під ліхтарями; $\tau_5 = 0,9$.

$$\tau_0 = 0,9 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,486.$$

$$100 \cdot \frac{S_0}{S_n} = \frac{0,448 \cdot 19 \cdot 1,7 \cdot 2}{0,486 \cdot 1,05 \cdot 1,2} = 17,3\% \quad \%, \text{ т.к. } S_n = 600 \text{ м}^2, \quad (3.6)$$

Тоді площа світлових отворів при бічному освітленні рівна:

$$S_0 = \frac{17,3\% \cdot S_n}{100} = \frac{17,3 \cdot 600}{100} = 103 \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

При верхньому освітленні:

$$100 \cdot \frac{S_{\phi}}{S_n} = \frac{0,448 \cdot 2 \cdot 4}{0,486 \cdot 1,05 \cdot 1,2} = 5,8\% \quad (3.8)$$

Тоді площа світлових отворів при цьому освітленні складе:

$$S_{\phi} = \frac{5,8\% \cdot S_n}{100} = \frac{5,8\% \cdot 600}{100} = 34 \text{ м}^2$$

При цих площах світлових отворів забезпечується нормоване значення I_H .

3.4.2 Штучне освітлення

Електричне освітлення потрібне для проведення робіт в темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення. Для освітлення головних прольотів основних відділень агломераційного цеху у зв'язку з великою висотою цих прольотів і відносно високими рівнями освітленості найбільш доцільні ртутні лампи високого тиску з поліпшеним перенесенням (типу ДРЛ) кольорів.

3.5 Санітарно-побутові приміщення

До побутових належать приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб трудящих під час перебування їх на роботі: приміщення для їди, гардеробних, душових, убиральнь, умивальних, курільних, пральні, обігріву тих, що працюють і питного водопостачання.

У убиральнях, умивальних, і душових влаштовують водонепроникну підлогу, з ухилом до стічного трапа. Стіни на висоту не менше 1,5м покривають вологостійким матеріалом. Побутові приміщення розміщують, можливо, ближче до робочих місць [27].

Допоміжні відділення цехів, розташовані на деякій відстані від головної будівлі, мають свої побутові приміщення, що складаються з роздягальної, душової, кімнати для їди і теплої убиральні. На території підприємства створюють облаштовані майданчики, що озеленюють, для відпочинку робітників. Їх розміщують на ділянках території між будівлями, вільних від використання у виробничих цілях, і в зоні з найменшим впливом виробничих шкідливостей. Обов'язковий пристрій місць відпочинку на робочих майданчиках. Їх влаштовують у вигляді альтанок або кабін для відпочинку, в яких встановлюють лави із спинками. Крім того, в ці кабінки (альтанки) подають охолоджене або кондиціоноване повітря, а також питну або газовану підсолену воду. Робітників забезпечують також підсоленою газованою

водою (0,5% солі), з розрахунку 4,5дм³ на одну людину в зміну.[23].

3.6 Виробничий шум, виробнича вібрація

Шум. Найбільш високі рівні шуму відзначаються на робочих місцях машиністів конвеєрів, машиністів чашових окомковувачів, грохотників, машиністів вентиляторів і нагрівачів. Джерелами шуму на агрофабриках є ексгаустери, млини, дробарки, редуктори, вентилятори, компресори і насоси, ручний ударний інструмент, течія газу або рідини по трубопроводах, транспортуючі системи і так далі. Шкідлива дія шуму виражається в порушенні функції слуху і змінах нервової системи в результаті її перенапруження. Робота в умовах сильного шуму може викликати головний біль, запаморочення, послаблення уваги до навколишнього оточення, нерідко знижує гостроту, сприйняття сигналів. Особливою небезпекою є спільний вплив шуму і вібрації, який може привести до захворювань серцево-судинної системи, розширення вен, захворюванню плечових суглобів і до інших порушень.

На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях і на території підприємств допустимий рівень звуку встановлений 75-80 дБА, для якого вірогідність ушкодження слуху практично дорівнює "0" при будь-якому стажі роботи, фактичний же рівень шуму на даній ділянці складає 91 дБА, що перевищує норму [29].

Для захисту робітників від шуму слід рекомендувати, передусім, звукоізолювати вбудовані приміщення - головні пости управління, дистриб'юторні, приміщення обчислювального центру, кімнати відпочинку. Для створення комфортних умов по шуму у вказаних приміщеннях необхідно облицьовувати стіни і стелі звукопоглинальними матеріалами, вікна виконати з подвійним склінням і пружними прокладеннями по контуру, вхідні двері з тамбуром. Над шумлячим устаткуванням підвішують штучні звукопогіначі - плоскі або об'ємні звукопоглинальні елементи. Послаблення шуму повітря-газопроводів досягають плавністю руху повітряного потоку, плавними переходами в місцях

зміни напрямку трубопроводу, застосуванням глушників. Для зниження шуму агрегатів використовують звукоізолюючі кожухи, в які роблять висновок або увесь агрегат, або його шумлячі вузли [22].

3.7 Виробничі випромінювання

Тепловиділення. При отриманні агломерату виділяється велика кількість надмірного тепла від розжареного пирога агломерату, при теплообміні з довкіллям нагрітих поверхонь горна і трубопроводів газоповітряних трактів, а також за рахунок витoku гарячих газів з горна, що пробиваються через щілини і нещільність в технологічному устаткуванні. За наявності відкритих джерел тепла допустима наступна інтенсивність теплового опромінення працюючих 140Вт/м². В робочому приміщенні теплове опромінення тих, що працюють набагато перевищує норму і складає 3270 Вт/м².

У організмі людини залежно від роду діяльності щодоби виробляється від 500 до 6000 ккал тепла. Оскільки температура тіла постійна, то надлишки тепла віддаються в довкілля випромінюванням, конвекцією і випаром поту. При температурі повітря 20°C організм людини в стані спокою втрачає тепловипромінюванням приблизно 44%, конвекцією - 33% і випаром вологи 23% тепла. Картина теплообміну істотно міняється, коли температура довкілля стає вище за температуру тіла, що нерідко спостерігається в літній час на аглофабриках. За цих умов вже довкілля нагріватиме організм тепловипромінюванням і конвекцією. Тоді майже єдиним засобом тепловіддачі залишається випар вологи з поверхні тіла. Проте і це сильний засіб боротьби організму з перегріванням має свої межі. При подальшому підвищенні температури середовища терморегуляція організму порушується і температура тіла починає підвищуватися, що може послужити причиною теплового удару, що призводить до втрати свідомості, а у важких випадках навіть до смерті людини. При теплових ударах температура тіла підвищується до 41-42°C і вище [23].

3.8 Заходи з електробезпеки

У агломераційному цеху використовуються чотирипровідні електричні мережі з глухозаземленою нейтраллю змінного струму і менше 1000В двопровідні електричні мережі постійного струму.

У ланцюгах змінного струму використовується напруга 36, 220, 380, 6000В. Напруга 36В використовується для живлення переносних освітлювальних ліхтарів, напруга 220В - для загального і локального освітлення, напруга 380, 6000В - для живлення електродвигунів і ексгаустерів.

У ланцюгах постійного струму використовується напруга 65, 220В. Напруга 65В використовується для проведення зварювальних робіт. Напруга 220В - для живлення двигунів постійного струму.

Виробничі приміщення агломераційного цеху по небезпеці поразки електричним струмом [30] відносяться до особливо небезпечних приміщень, оскільки вони мають чотири ознаки, властивих приміщенням з підвищеною небезпекою. Виробничі приміщення аглоцеху являються:

- жаркими (під дією теплових випромінювань температура повітря перевищує 30°C);
- заповненими, із струмопровідним пилом (за умовами технологічного процесу виділяється струмопровідний вугільний і залізорудний пил);
- із струмопровідними підлогами (металеві і залізобетонні підлоги);
- в приміщеннях можливий одночасний дотик людини до тих, що мають з'єднання із землею металоконструкціям будівель, технологічним апаратам, механізмам з одного боку, і металевим корпусам електроустаткування з іншою.

Застосування чотирипровідної електричної мережі з глухо-заземленою нейтраллю, а не трипрохідною з ізольованою нейтраллю, обґрунтовано наступними моментами:

- по технологічних вимогах чотирипровідна мережа дозволяє використовувати дві робчі напруги - лінійне і фазне. Наприклад, від чотирьохпрохідної

мережі 380В можна жити як силове навантаження -трифазну або .однофазну, включаючи її між фазними дротами на лінійну напругу 380В, так і освітлювальну, включаючи її між фазним і нульовим дротами, т. е. на фазну напругу 220 В. При цьому досягається значне здешевлення електроустановки в цілому завдяки застосуванню меншого числа трансформаторів, меншого перерізу дротів і т. п. Трифазна ж мережа дозволяє використовувати тільки одну напругу. За умовами безпеки в період нормального режиму роботи, за умовами дотику до фазного дроту, безпечніша трипровідна мережа з ізольованою нейтраллю. У аварійний період роботи безпечніше мережа з глухозаземленою нейтраллю.

Застосування трипровідних мереж з ізольованою нейтраллю доцільно в тих випадках, коли є можливість підтримувати високий рівень ізоляції провідників мережі відносно землі. Такими є порівняно короткі мережі, не схильні до дії агресивного середовища і що знаходяться під постійним наглядом електротехнічного персоналу [32].

Виробниче середовище агломераційного цеху не задовольняє цим умовам. Електричні мережі в цеху схильні до дії агресивного середовища, мають велику протяжність, унаслідок якої неможливо швидко відшукати або усунути ушкодження ізоляції, що робить доцільним застосування чотирипровідних електричних мереж з глухозаземленою нейтраллю [31].

3.9 Заходи пожежної безпеки

Процеси випалення вапняку і спікання агломерату є вибухопожаронебезпечними процесами, оскільки для їх проведення використовується природний газ. Природний газ має здатність проникати через незначну нещільність, тріщини або затвори у виробничі приміщення і може утворювати вибухонебезпечну газоповітряну суміш.

Підвищену пожежну небезпеку має процес транспортування твердого па-

лива за допомогою конвеєрів. Транспортування палива характеризується одночасною наявністю великої кількості горючих матеріалів, можливістю утворення пилу, появи джерела запалення і швидкого поширення вогню по самих матеріалах і транспортерних комунікаціях.

Джерелами виникнення пожежі під час використання транспортерів можуть бути: нагрівання стрічки в результаті тертя об провідний барабан (особливо інтенсивно підвищується температура у разі заклинювання стрічки), розряди статичної електрики, самозаймання пилу.

Вибухова суміш дає вибух (запалюється) за наявності джерела займання, яким може бути, : відкритий вогонь, іскра, розжарений предмет або ж при нагріві суміші до температури самозаймання.

Концентраційна межа вибухості природного газу : 5,0-16,0%, температура самозаймання 650°C.

Агломераційне виробництво відноситься до взривопожароопасним виробництв і має категорію Б [34].

У агломераційному цеху є склад для зберігання горючо-мастильних матеріалів. У приміщенні складу зберігаються легко займисті (бензин) і горючі рідини (масла, мазут). Приміщення має категорію небезпеки А - вибухопожежонебезпечна. Небезпека виникає у разі розливу рідини і освіти над її поверхнею вибухонебезпечної пароповітряної суміші. Усі основні будівельні конструкції виконані з матеріалів, що не згорають.

У будівлях агломераційного цеху розміщуються виробничі приміщення різних категорій небезпеки : Б, Г, Д [34].

До категорії Б відносяться приміщення випалення винищити на обпалювальних машинах КМ-14 і ОПР, приміщення спікання агломерату.

До категорії Г відносяться приміщення шихтового відділення, відділення агломерації і гарячого повернення.

До категорії Д відносяться усі інші виробничі приміщення цеху.

Для запобігання пожежам виробничі приміщення різних категорій відо-

кремлені один від одного, а також від галерей транспортерів, коридорів і сходових маршів протипожежними стінами. Передбачені проектом отвори в протипожежних стінах захищені протипожежними дверима, обладнаними пристроями для самозакриття.

У агломераційному цеху у виробничих будівлях передбачені евакуаційні виходи, призначені для забезпечення безпечної евакуації людей, що знаходяться в будівлі, у разі виникнення пожежі або аварії.

У усіх виробничих приміщеннях агломераційного цеху передбачено мінімум два евакуаційні виходи.

У агломераційному цеху, в приміщеннях складу паливно-мастильних матеріалів і станції консистентного мастила застосована автоматична система пінної пожежогасінні. Систему пожежогасінні приводить в дію автоматична сигналізація. Як сповіщувач застосований тепловий пожежний сповіщувач ТРВ- 2.

У агломераційному цеху у разі виникнення пожежі, для його гасіння застосовуються вода, хімічна піна, порошок, вуглекислота, пісок.

3.10 Інженерна розробка захисту від небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища на певному об'єкті або виробничій ділянці

Одним з несприятливих чинників в агломераційному цеху з точки зору гігієни праці є шум (таблиця 3.1).

Звукоізоляція є ефективним і найбільш поширеним засобом захисту виробничого персоналу від шуму (див. рис. 3.2). Розрахунок здійснюється в наступному порядку [29].

Необхідне зниження шуму визначають по формулі:

$$R_{\text{каб.тр.}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}} \quad (3.9)$$

де $L_{\text{ш}}$ - активний рівень звукового тиску на робочому місці шумного приміщення на передбачуваному місці, дБ, виміряний в діючому приміщенні;

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

Для середньгеометричної частоти активної смуги 63 Гц :

$$R_{\text{каб.тр}} = 91 - 83 = 8 \text{ дБ} \quad (3.10)$$

Для наступних частот розрахунок аналогічний. Результати зведені в таблицю 3.3. Проектуємо звукоізоляцію для оператора агломераційного цеху розмірами 3х3 м і заввишки 2,5 м Пост управління має вікно площею 2,55 м і двері площею 2 м. Площа глухої частини стін 25,5 м, площа даху 9 м

Таблиця 3.3 -Расчет необхідної звукоізоляції поста управління агломератчика.

Величини	Значення величин в октавних смугах по середньгеометричеським частотам, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Лш, дБ	91	99	95	91	88	82	74	52
Лдоп, дБ	83	74	68	63	60	57	55	54
Rкаб.тр, дБ	8	25	27	28	28	25	19	-2
M	0,92	0,86	0,8	0,92	1,15	1,6	2,1	2,9
Vк, м ²	12,4	11,6	10,8	12,4	15,5	21,6	28,4	39,4
10lgVк, дБ	10,9	10,6	10,3	10,9	11,9	13,3	14,5	15,9
10lgSокна, дБ	4							
10lgSдвери, дБ	3							
10lgSстены, дБ	14							
10lgSкрыши, дБ	9,5							
10lgn, дБ	6							
Rт вікна, дБ	3,1	24,4	26,7	27,1	26,1	21,7	14,5	7,9
Rт дверей, дБ	2,1	23,4	25,7	26,1	25,1	20,7	13,5	-8,9
Rт стіни, дБ	13,1	34,4	36,7	37,1	36,1	31,7	24,5	2,1
Rт даху, дБ	8,6	29,9	32,2	32,6	31,6	27,2	20	-2,4

Постійну поста управління Vк визначаємо по формулі:

$$V_k = \kappa \cdot \mu \cdot V, \quad (3.11)$$

де V - об'єм приміщення, м³;

до = 0,6 для приміщень із звукопоглинальною обшивкою стелі і частини

стін;

μ -частотный коефіцієнт додається по [29].

$$V_k = 0,6 \cdot 22,5 \cdot 0,92 = 12,4 \text{ м}^2$$

Глуху частину стін поста управління виконуємо з цеглини. Приймаємо товщину стіни в одну цеглину $h=0,25$ м Дах поста управління виконуємо із залізобетонної плити завтовшки 8 см Вибираємо по [29] подвійне вікно із склом завтовшки 3 мм і повітряним проміжком 100 мм. Скло по контуру ущільнено гумою. Двері багат шарові, по контуру також передбачено ущільнення гумою.

Звукопоглинальну підвісну стелю виконуємо із сталевих перфорованих листів завтовшки 2 мм, на які укладаються мінераловатні напівжорсткі плити ППМ завтовшки 60 мм, обернуті склотканиною типу ЕЗ- 100. Стіни поста управління виконуються з облицюванням мінераловатними плитами ПА/З без повітряного проміжку.

Необхідну ізоляцію повітряного шуму і -го елементом поста (глухою частиною стін і перекриття, вікном, дверима) визначають по формулі:

$$R_{тр.з.} = L_{ш} - 10 \lg BK + 10 \lg S_i - L_{доп.} + 10 \lg n, \quad (3.12)$$

де S_i - площа і -го елементу поста, через який проникає шум, м²;

n - кількість елементів, $n = 3$ (вікно, стіни, стеля).

Для вікна: $R_{тр.} = 87 - 10,9 + 4 - 83 + 6 = 3,1$ дБ.

Фактична звукоізоляція вікна на усіх частотах більша за потрібну.

Для дверей: $R_{тр.} = 87 - 10,9 + 3 - 83 + 6 = 2,1$ дБ.

Фактична звукоізоляція таких дверей в нормованому діапазоні також вище за потрібну.

Для стіни:

$R_{тр.} = 87 - 10,9 + 14 - 83 + 6 = 13,1$ дБ.

Фактична звукоізоляція стіни в усьому нормованому діапазоні вища за потрібну.

Для даху:

$R_{тр.} = 87 - 10,9 + 9,5 - 83 + 6 = 8,6$ дБ.

Фактична звукоізоляція даху на усіх частотах вища за потрібну.

Для забезпечення нормального мікроклімату передбачається подача кондиціонованого повітря за допомогою кондиціонера КА1- 25. Зважаючи на велику запиленість повітря кондиціонер не може працювати на рециркуляцію, тому робота здійснюється на зовнішньому повітрі. Припливне повітря очищається в осередкових фільтрах і за допомогою осьового вентилятора подається в кондиціонери.

Технічна характеристика кондиціонера КА1-25:

1. Потужність по холоду 29 кВт;
2. Споживана потужність 11,4 кВт;
3. Напруга мережі змінного струму :
 - силових мереж 380 В;
 - ланцюгів управління 220 В;
5. Витрата води на кондиціонер $6,0 \pm 0,6$ м³/ч;
6. Потужність по теплу 25 кВт;
7. Номінальний режим:
 - температура повітря на вході в кондиціонер 27°C;
 - відносна вологість повітря на вході в кондиціонер 60%;
 - температура води на вході в кондиціонер 25°C [30].

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО - ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Організація роботи на ділянці очищення газів

Організаційна структура управління системою очистки технологічних газів, представляє собою лінійно-функціональну схему:

начальник аглоцеху - начальник зміни - начальник газоочисних споруд.

Начальник зміни є оперативним керівником роботи цеху в кожній зміні. Йому безпосередньо підпорядковується начальник газоочистки.

Начальник газоочисних споруд є технічним керівником робітників системи очистки технологічних газів. Він забезпечує безперебійну роботу газоочисних споруд, які очищають технологічний газ від шкідливих домішок, контролює дотримання технологічних параметрів і процесів, попереджує, виявляє і усуває причини їх порушення, забезпечує повне завантаження і правильне використання обладнання, утримання його в справному стані, забезпечує дотримання норм та правил безпеки праці, а також належний порядок і чистоту на робочих місцях та прилеглої до ділянки території.

Оператор газоочисних споруд спостерігає за ходом технологічного процесу очищення газів, контролює показання приладів контролю і регулювання процесу. Роботою операторів керує майстер.

Відповідно графіку поточних оглядів і капітальних ремонтів основного устаткування складається графік проведення оглядів і ремонтів обладнання газоочисних споруд, з якого розраховується кількість днів і годин простою обладнання на огляди, поточні ремонти і для заміни поламаних деталей. Потім розраховується час роботи обладнання з урахуванням простоїв. Результати розрахунків зведені у таблицю 4.1.

Простої на поточні та капітальні ремонти становлять 15 днів на рік. Ефективний фонд часу газоочисної установки, год:

$$T_{\text{ЭФ}} = T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{РЕМ}} \quad (4.1)$$

де $T_{\text{КАЛ}}$ - календарне фонд часу роботи газоочистки, год;

$T_{РЕМ}$ - простій на плановий ремонт, год.

Коефіцієнт використання установки у часі:

$$K_{ИСП} = \frac{T_{ЭФ}}{T_{КАЛ}} \quad (4.2)$$

Результати розрахунку представлені в таблиці. 4.1.

Таблиця 4.1. - Баланс робочого часу газоочисної установки

Показники	Одиниці ви- міру	Газоочисні спо- руди
Режим роботи газоочисної устано- вки	—	Безперервний
Календарний час роботи, $T_{КАЛ}$	Дні години	365 $365 \cdot 24 = 8760$
Простій на плановий ремонт, $T_{РЕМ}$	Дні години	15 $15 \cdot 24 = 360$
Ефективний фонд часу, $T_{ЭФ}$	Дні години	$365 - 15 = 350$ $350 \cdot 24 = 8400$
Коефіцієнт використання, $K_{ИСП}$	—	$\frac{350}{365} = 0,959$

4.2 Планування виробничої програми

Річна виробнича потужність газоочисної установки визначається за формулою, $m^3/\text{рік}$:

$$\Pi = N \cdot T_{эф} \cdot n \quad (4.3)$$

де, N - технічна норма продуктивності основного агрегату очисної установки в одиницю часу, $m^3/\text{год.}$ (н. у.).

$T_{эф}$ - річний фонд ефективного часу роботи газоочисної установки, год.;

n - кількість паралельно працюючих основних апаратів газоочисної установки.

Технічна продуктивність становить $150000 \text{ м}^3/\text{год.}$

$$\Pi = 130000 \cdot 8400 \cdot = 1092 \cdot 10^6 \text{ (м}^3/\text{рік)}.$$

Кількість уловленого пилу визначаємо з виразу, т:

$$Q = \frac{(Z_1 - Z_2) \times \Pi}{10^6} \quad (4.4)$$

де Z_1 - запиленість газу до очищення, г / м³;

Z_2 - запиленість газу після очищення, г / м³.

Кількість уловленого пилу дорівнює:

$$Q_6 = (6 - 0,042) \cdot 1092 \cdot 10^6 / 10^6 = 6093 \text{ т.}$$

Приймаємо втрати уловленого продукту при утилізації 10%. Тоді кількість утилізованого пилу, т:

$$Q_{yt} = 0,9 \cdot Q_{np} = 0,9 \cdot 6093 = 5484$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Виробнича програма

Показник	Одиниці виміру	ГОУ
Річна продуктивність газоочисної установки, Π	млн. м ³	1092
Технічна норма продуктивності, N	нм ³ /год.	130000
Початкова запиленість, Z_1	г/нм ³	6,0
Кінцева запиленість, Z_2	г/нм ³	0,042
Кількість вловленого пилу, Q	т	6093
Кількість утилізованої пилу, Q_{yt}	т	5484

4.3 Розрахунок штатної чисельності та фонду оплати праці основних робітників

Кількість робочих для обслуговування системи, що складається з електрофільтру з 4 полями та ексаустера.

Час обслуговування 1 умовної одиниці (одного поля): $t_0 = 1,2$ чол-год.

Оскільки апарат (електрофільтр) складається з декількох умовних одиниць (4 поля), то в першу чергу визначаємо час обслуговування одного апарату, чол-год:

$$t = t_0 \cdot K_2 \quad (4.5)$$

де t_0 – час обслуговування однієї умовної одиниці, чол-год;

K_2 – емпіричний коефіцієнт, що дорівнює:

$$K_2 = 1,1^m \quad (4.6)$$

де m – число умовних одиниць в апараті (полів електрофільтра).

$$K_2 = 1,1^4 = 1,61, \text{ тоді}$$

$$t = 1,2 \cdot 1,61 = 1,93 \text{ чол.год.}$$

При кількості однотипних агрегатів від двох до п'яти сумарне середньо змінний час обслуговування визначається за формулою

$$T = t \cdot K_1 \quad (4.7)$$

де t – час обслуговування одного газоочисного апарата, чол.год;

K_1 – емпіричний коефіцієнт, що дорівнює

$$K_1 = 1,2^n = 1,2^4 = 2,07 \quad (4.8)$$

де n – кількість апаратів.

Визначаємо сумарне середньо змінний час обслуговування агрегатів:
для електрофільтра:

$$T_{\text{ЕФ}} = 1,93 \cdot 2,07 = 4 \text{ чол.год/зм,}$$

для ексгаустера:

$$T_{\text{екс}} = t \cdot 1,2^n = 0,9 \cdot 1,2^1 = 1,08, \text{ чол.год/зм.}$$

Визначаємо сумарний середньо змінний час обслуговування установки:

$$T_{\text{уст}} = T_{\text{рф}} + T_{\text{дим}}, \text{ чол.год/зм}$$

$$T_{\text{уст}} = 4 + 1,08 = 5 \text{ чол.год/зм.}$$

Змінна загальну явочна чисельність обслуговуючого персоналу визначаємо за формулою:

$$Ч_{\text{яв}} = \frac{T_{\text{уст}}}{l} \cdot \frac{S}{L}, \text{ чол.год/зм} \quad (4.9)$$

де l – задана тривалість зміни, год.;

S – тривалість тижневого циклу роботи обладнання, год.;

L – тривалість робочого тижня, ч.

При безперервному 3-х змінному 4-х бригадному графіку:

$$Ч_{\text{яв}} = 5 \cdot 6,73 \cdot 24 / (8 \cdot 7 \cdot 24) = 0,6$$

Приймаємо $Ч_{\text{яв}} = 1$ чоловік в зміну.

Добовий склад, чол.:

$$Ч_{доб} = Ч_{яв} \cdot n_{зм}, \quad (4.10)$$

де $n_{зм}$ – кількість робочих змін на добу.

$$Ч_{доб} = 1 \cdot 3 = 3, \text{ чол.}$$

Штатний склад основний робочих ділянки газоочистки дорівнює, чол.:

$$Ч_{шт} = Ч_{яв} \cdot (n_{зм} + n_{вих}) \quad (4.11)$$

де $n_{зм}$ – кількість працюючих бригад на добу;

$n_{вих}$ – кількість непрацюючих бригад.

$$Ч_{шт} = 1 \cdot (3 + 1) = 4, \text{ чол.}$$

Списочний склад основний робочих ділянки газоочистки становить, чол.:

$$Ч_{сп} = Ч_{шт} \cdot K_{сп} \quad (4.12)$$

$$Ч_{сп} = 4 \cdot 1,152 = 4,608 \text{ чол.}$$

Приймаємо $Ч_{сп} = 5$ чоловік.

Визначаємо плановий фонд оплати праці на рік, грн./рік:

$$\Phi ОП_{пл.} = ЗП_{см} \cdot Ч_{сп} \cdot 12 = 13423 \cdot 5 \cdot 12 = 805380$$

Визначаємо нарахування на заробітну плату. Єдиний соціальний внесок на заробітну плату складає 22.6 %. Тоді:

$$Н_{ФОП} = \Phi ОП_{пл.} \cdot \frac{22,6}{100} = 805380 \cdot 0,226 = 182016 \text{ грн./рік}$$

4.4. Розрахунок капітальних вкладень

Величина необхідних капітальних вкладень в основні фонди та оборотні кошти визначається методом прямого розрахунку окремих елементів вкладень.[27]

У загальному вигляді капітальні вкладення включають в себе такі статті витрат:

- Будівництво будівель та споруд;

- Технологічне та енергетичне обладнання;
- Підйомно-транспортне устаткування;
- Системи контролю та автоматики;
- Інші капітальні вкладення.

Капітальні вкладення в базовому варіанті приймаємо за заводськими даними. Капітальні вкладення по проектному варіанту приймаємо з урахуванням технічних рішень з реконструкції газоочистки.

Капітальні витрати C_k розраховують у вигляді питомих величин, віднесених до 1000 м^3 газу (грн / 1000 м^3):

$$C_k = (C_{\text{осн.об}} + C_m + C_n + C_{\text{зд}} + C_{\text{мон}}) \cdot \frac{1000}{3600 \cdot Q \cdot \tau} \quad (4.13)$$

де $C_{\text{осн.об}}$ - вартість основного обладнання, грн;

C_m - вартість установки і монтажу обладнання, грн,

$$C_{\text{мон}} = 0,3 \cdot C_{\text{осн.об}} \quad (4.14)$$

$C_{\text{мон}}$ - вартість монтажу комунікацій,

$$C_{\text{мон}} = 0,15 \cdot C_{\text{осн.об}} \quad (4.15)$$

C_n - вартість накладних витрат спеціалізованої організації, грн,

$$C_n = 0,2 \cdot C_{\text{осн.об}} \quad (4.16)$$

$C_{\text{зд}}$ - вартість будівлі, грн;

Q_c - витрата газів, що очищаються, $\text{м}^3 / \text{год}$;

τ - Ефективний час роботи газоочистки за рік, ч.

Для системи очистки потрібно обладнання за ціною:

- електрофільтра типу ЭГВ1-19-9-6-4 грн. - 5640000грн.;
- нагнітач 7700-12-1– 446000 грн.;
- газоходи - 890000 грн.;
- КВП складе 25% від вартості основного обладнання.

Вартість всього основного обладнання для однієї агломашини:

$$C_{\text{осн.об}} = 5640000 + 446000 + 890000 = 6940000 \text{ грн.}$$

$$C_m = 0,3 \cdot 6940000 = 2081000 \text{ грн.};$$

$$C_{\text{мон}} = 0,15 \cdot 6940000 = 1041500 \text{ грн.};$$

$$C_n = 0,25 * 6940000 = 1741500 \text{ грн.}$$

$C_{зд}$ визначається множенням обсягу будівлі, необхідної для розміщення газоочисних апаратів, на ціну за 1 м^3 будівлі.

Обсяг будівлі, необхідний для розміщення газоочисних апаратів $24 \times 18 \times 21 \text{ м}^2$, а вартість 1 м^3 будівлі, що має залізобетонний каркас $41,4 \text{ грн/м}^3$.

$$C_{зд} = 24 \cdot 18 \cdot 21 \cdot 41,4 = 3755800 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. - Капітальні витрати на очистку газів

Найменування показника	Кільк.	Ціна за одиницю грн.	Величина витрат грн.
Електрофільтр	1	56400000	5640000
Екстаустер	1	446000	446000
газоходи	1	890000	890000
КВП			1410000
Вартість монтажу обладнання			2081000
Вартість монтажу комунікацій			1041500
Вартість будівлі			3755800
Система видалення пилу з підготовкою для утилізації			1282900
Всього			28063300
Всього кап. вклад. на 1000 м^3 газу			22,2

4.5 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати на очищення газу:

$$C = \sum_{i=1}^N C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 \quad (4.17)$$

де C_1 - витрати на основні та допоміжні матеріали, грн .;

C_2 - витрати на електроенергію, грн;

C_3 - амортизаційні відрахування від вартості основних фондів, грн .;

C_4 - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн;

C_5 - основна і додаткова зарплата виробничих робітників, грн;

C_6 - відрахування на соціальне страхування, грн;

C_7 - загально виробничі витрати, грн.

Витрати на основні та допоміжні матеріали C_1 не потрібні.

Енергетичні витрати:

$$C_2 = r \cdot l \cdot N \cdot T \quad (4.18)$$

де r - вартість електроенергії, для промислових підприємств чорної металургії $r = 5,6$ грн. / кВт · год;

l - коефіцієнт, що враховує оплату праці обслуговуючого персоналу, приймаємо $l = 1,1$.

N - сумарна потужність електродвигунів до тягодуттєвих агрегатів і джерел живлення електрофільтрів, кВт.

$$C_2 = 5,6 \cdot 1,1 \cdot (1950 + 4 \cdot 100) \cdot 8400 = 121598400 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування від вартості основних фондів визначаються множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань. Норми амортизаційних відрахувань: для будівель і споруд - 5%, для обладнання - 15%, для комунікацій - 15%.

Амортизаційні відрахування від вартості обладнання, грн. :

$$A_{об} = 0,15 \cdot C_{он.об} \quad (4.19)$$

$$A_{об} = 0,15 \cdot 4537200 = 680580 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування від вартості будівлі, грн. :

$$A_{зд} = 0,05 \cdot 0,6 \cdot C_{зд} \quad (4.20)$$

$$A_{зд} = 0,05 \cdot 0,6 \cdot 3755800 = 112674 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування від вартості комунікацій, грн:

$$A_{к} = 0,15 \cdot C_{мон} \quad (4.21)$$

$$A_{к} = 0,15 \cdot 890000 = 133500 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування від вартості КВП:

$$A_{квп} = 0,25 \cdot C_{квп} \quad (4.22)$$

$$A_{квп} = 0,25 \cdot 1410000 = 352500 \text{ грн.}$$

Всього:

$$C_3 = A_{\Sigma} = 1041500 + 112674 + 133500 + 352500 = 1640174 \text{ грн.}$$

Відрахування на поточні ремонти становлять 15% від амортизаційних відрахувань, грн .:

$$\Phi_p = 0,15 \cdot A_\Sigma \quad (4.23)$$

$$\Phi_p = 0,15 \cdot 1640174 = 246026 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію та утримання обладнання, грн .:

$$C_4 = A_\Sigma + \Phi_p \quad (4.24)$$

$$C_4 = 1640174 + 246026 = 1886200 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати становлять 25% від суми амортизаційних відрахувань, відрахувань в ремонтний фонд, грн .:

$$C_7 = 0,25 \cdot (A_\Sigma + \Phi_p) \quad (4.25)$$

$$C_7 = 0,25 \cdot (1640174 + 246026) = 471550 \text{ грн.}$$

Економія від утилізації продуктів, що уловлюються в процесі очистки га-

$$\text{зів, грн } \mathcal{E}_y = Q_{ym} \cdot C \quad (4.26)$$

де Q_{yt} - кількість утилізованого продукту, т;

C - покупна ціна залізородного концентрату 2600 грн/т.

$$\mathcal{E}_y = 2000 \cdot 5484 = 10968000 \text{ грн.}$$

Економія від зменшення споживання коксикку за рахунок утилізації тепла агломерату, грн.

$$\mathcal{E}_y = Q_{ym} \cdot C \quad (4.27)$$

де Q_{yt} - кількість зекономленого продукту, т;

C - покупна ціна антрацитового штибу (АШ) 1900 грн/т.

$$Q_{ym} = C \cdot Q_G \cdot T_G / 1000 (q_G \cdot \rho_G),$$

де C – теплоємність повітря, 1,005 кДж/кг·град;

Q_G – витрата повітря за робочих умов, м³/рік;

T_G – температура повітря на виході з електрофільтру;

q_G – теплота згоряння вугілля марки АШ, 4,18 кДж/кг;

ρ_G – щільність повітря за робочих умов, кг/м³.

$$Q_{yt} = 1,005 \cdot 1092 \cdot 200 / 1000 (4,18 \cdot 0,86) = 77,22 \text{ т/рік,}$$

$$\mathcal{E}_{yt} = 4500 \cdot 77,22 = 347490 \text{ грн.}$$

Загальні експлуатаційні витрати за рік по (4.17) з урахуванням економії складають:

$$C = 121598400 + 1640174 + 1886200 + 785547 + 1879300 + 471550 - 347490 = 18003571 \text{ грн}$$

Собівартість очистки газу (грн./1000м³):

$$C_{yo} = C_{AC} \frac{1000}{Q_{AC} \cdot T} = 18003571 \cdot \frac{1000}{130000 \cdot 8400} = 16,48$$

4.6 Визначення основних техніко-економічних показників

Економічне обґрунтування доцільності прийнятих в проектному варіанті технічних і організаційних рішень з уловлювання пилу в цілому зводиться до визначення і зіставлення економічних показників

Річний економічний ефект від ухвалення нових технологій:

$$E_p = E_1 + E_2 + E_3, \quad (4.28)$$

де E_1 – річна годова економія на коксику, грн;

E_2 – економія на викидах пилу за рік, грн;

E_3 – річна годова економія на рудному концентраті, грн;

Економія на екологічному податку за викиди пилу :

$$E_2 = M_{\Pi} \cdot B, \quad (4.29)$$

де B – ставка екологічного податку на викиди пилу, 145,5 грн/т;

M_{Π} – кількість вловленого пилу, т.

$$E_2 = 145,5 \cdot 5484 = 797922 \text{ грн.}$$

$$E_p = 347490 + 797922 + 10968000 = 12113412 \text{ грн.}$$

Термін окупності витрат:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_p}, \quad (4.30)$$

$$T_{ок} = \frac{28063300}{12113412} = 2,32 \text{ роки.}$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності капітальних вкладень:

$$E_{\text{кап}} = \frac{1}{T_{\text{ок}}}, \quad (4.31)$$

$$E_{\text{кап}} = \frac{1}{2,32} = 0,43 \text{ грн}/(\text{грн} \cdot \text{рік}).$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Техніко - економічні показники від впровадження проекту системи очистки технологічних газів

Показники	Один. ви- міру	Показ- ники
Річна продуктивність	млн. м ³	1,1
Початкова запиленість:	г/нм ³	6,0
Кінцева запиленість:	г/нм ³	0,042
Капітальні вкладення на очищення 1000 м ³ газу:	грн	22,2
Експлуатаційні витрати на очищення 1000 м ³ газу:	грн	16,48
Річна економія на паливі шихти	тис. грн	347,5
Річна економія на екологічному податку	тис. грн	797,9
Річна економія на рудному концентраті	тис. грн	10968,0
Термін окупності витрат	рік	2,32
Розрахунковий коефіцієнт ефективності	грн/(грн·рік)	0,43

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих методів та способів очистки технологічних газів агломераційного виробництва виявив перспективним сухі схеми очистки технологічних газів в електрофільтрах з частковою рециркуляцією очищених від пилу газів під укриття агломашины.

У спеціальній частині був проведений вибір та розрахунок усіх основних газоочисних апаратів, виконаний вибір і розрахунок допоміжного обладнання.

Проведений аналіз основних шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища в агломераційному виробництві та розроблені заходи щодо їх усунення.

В економічній частині описані структура управління та організація робіт в цеху, виконаний розрахунок собівартості очищення 1000 м^3 газів, яка становить 16,48 грн. для проектного варіанту. Підрахований річний економічний ефект при впровадженні даної схеми, який складає 12,1 млн. грн. Термін окупності капітальних витрат 2,32 роки. Ефективність капітальних вкладень 0,43 грн/(грн·рік).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник для металург. спец. вищ. навч. закл./Д. Ф. Чернега та ін. Київ: Вища шк., 2006. 503 с.
2. Бережний М.М., Чубенко В.А. Основи проектування технологічних ліній і комплексів металургійних цехів: монографія. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2009. 430 с.
3. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посібник/За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. Київ: Видавничий дім "Вініченко", 2016. 224 с.
4. Готвянський Ю.Я. Фізико-хімічні та металургійні основи виробництва металів: навч. посібник. Київ: ІЗМН, 1996. 392 с.
5. Харлашин П.С., Чаудрі Т.М., Меджибожський М.Я. Основи термодинаміки і кінетики сучасних сталеплавильних процесів: підручник для ВУЗів. Маріуполь, 2009. 340 с.
6. Уминський С.М., Лебедев Б.В., Житков С.С. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: навч. посіб. для студентів ВНЗ/ Одес. держ. аграр. ун-т. Одеса: ТЕС, 2017. 171 с.
7. Металургія (проблеми, теорія, технологія, якість): підручник / П.С. Харлашин та ін.. Донецьк: ТОВ «Норд-комп'ютер», 2005. 724 с.
8. Мовчан В. П., Бережний М. М. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги, 2001. 336 с
9. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкції агрегатів чорної металургії : навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2012. 192 с.
10. Денисов С.І. Уловлювання та утилізація пилів та газів: навч. посібник. Київ: Вища школа, 1992. 333 с.
11. Захист навколишнього середовища при роботі теплотехнологічного устаткування: навч. посібник / Н.А. Шаройко та ін. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 395с

12. Самойленко Н.М., Аверченко В.І., Байрачний В.Б. Системи технологій та промислова екологія. Металургійний та енергетичний комплекс Ч. І.: навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», Лідер, 2020. 212 с.
13. Екологічні аспекти металургійних технологій (1 ч.): навч. посібник/Грес Л.П. та ін. Дніпро: Україн. держ. ун-т науки і технол., 2022. 106 с.
14. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери: навчальний посібник/Северин Л.І. та ін. Вінниця: ВНТУ, 2012. 388 с.
15. Крусір Г.В., Мадані М.М., Гаркович О.Л. Техніка та технології очищення газових викидів: навчальний посібник. Одеса: ОНАХТ-Одеса, 2017. 207 с.
16. Клименко В.В., Кравченко В. І., Телюта Р. В. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах та установках: навчальний посібник. Кропивницький: ПП Ексклюзив – Систем, 2020. 2019 с.
17. Гічов Ю.О., Бойко В.М., Адаменко Д.С. Котли-утилізатори та їх тепловий розрахунок: навч. посібник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2004. 46. с.
18. Каталог пилогазоочисного обладнання: Каталог. Запоріжжя: УкрНДЦОГаз, 1990. 238 с.
19. Полетаєв В.П., Крюковська О.А. Охорона праці в галузі (для спеціальності «Металургія чорних металів») : навчальний посібник/під ред. д.т.н., проф. А. П. Огурцова. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 363 с.
20. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібн. ч.4: Енергетичний комплекс/В.О. Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Ліра ЛТД, 2004 256с.
21. НПАОП 27.0-7.04-21 Мінімальні вимоги щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості: Наказ Мінекономрозвитку від 19.03.2021 № 569 «Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості» // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0606-21#Text>
22. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці: навч. посібник, [для студ. вищ. навч. закл.]. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 280 с.

23. НПАОП 0.00-1.82-18 Правила охорони праці під час дроблення і сортування, збагачення корисних копалин і огрудкування руд та концентратів: Наказ Мінсоцполітики від 15.05.2018 № 704 «Про затвердження Правил охорони праці під час дроблення і сортування, збагачення корисних копалин і огрудкування руд та концентратів»/ База даних «Законодавство України» / ВР України. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0666-18#Text>
24. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: Постанова МОЗ України №42 від 01.12.99 / База даних «Законодавство України»/ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>
25. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 380 с
26. ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування": Наказ Мінрегіонбуду України від 25.01.2013 № 24 Про затвердження ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування"/ База даних «Законодавство України»/ВР України. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024858-13#Text>
27. Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Пістун. Охорона праці: навч. посібник /2-ге вид., стереотип. Суми: Унів. книга, 2007. 495 с.
28. ДБН В.2.5.-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Мінбуд України, 2006 76 с.
29. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова МОЗ України №37 від 01.12.99/ База даних «Законодавство України»/ВР України. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text>
30. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»: Наказ Мінсоцполітики № 4 від 09.01.98/ База даних «Законодавство України»/ВР України. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>

31. Електробезпека: Підручник/С. В. Панченко та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
32. Правила улаштування електроустановок: Наказ Міненерговугілля від 21.07.2017 № 476// База даних «Законодавство України»/ВР України. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0476732-17#Text>
33. Полетаєв В.П., Крюковська О.А. Охорона праці в галузі (для спеціальності «Металургія чорних металів»): навчальний посібник/під ред. д.т.н., проф. А. П. Огурцова. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 363 с.
34. НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні»: Наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417/ База даних «Законодавство України»/ВР України. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>
35. Беренда Н.В., Троїцька О.О., Манідіна Є.А. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень: навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 183 "Технологія захисту навколиш. середовища", 263 "Цив. безпека" всіх форм навчання. Запоріжжя: ЗДІА, 2018. 196 с.