

**Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія**



**Г.Б. Кожемякін
О.В. Новокщона
Є.М. Ярошенко**

**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

Методичні вказівки до практичних занять

**Запоріжжя
2018**

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

Г.Б. Кожемякін
О.В. Новокщонава
Є.М. Ярошенко

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБНИЦТВ
Методичні вказівки до практичних занять.

Запоріжжя
2018

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБНИЦТВ .

Методичні вказівки до практичних занять /Склав. Кожемякін Г.Б. –
Запоріжжя: Вид. ЗДІА, 2018.- с. 41.

Укладачі:

Г.Б. Кожемякін – канд. техн. наук, доцент,

О.В. Новокщонава – асистент,

Є.М. Ярошенко – асистент.

Відповідальний за випуск –

завідувач кафедрою ПЕОП

Г.Б. Кожемякін – канд. техн. наук, доцент,

Зміст

Уведення	6
1 Загальні положення	6
2 Очищення технологічних газів від пилу	7
2.1 Очищення від пилу технологічних газів агломераційних машин	7
2.2 Очищення від пилу газів, що відходять від машин випалу окатишів	10
2.3 Очищення від пилу газів сушильно - випалювальних агрегатів рудопідготовчих виробництв і агрегатів сушіння залізовмісних шламів	11
2.4 Очищення газів завантажувальних пристроїв доменних печей	14
2.5 Установки тонкого очищення доменного газу від пилу	15
2.6 Очищення від пилу газів мартенівських і двованних печей	17
2.7 Очищення від пилу газів електросталеплавильних печей	21
2.8 Очищення від пилу газів конвертерів	22
2.9 Очищення аспіраційних викидів ливарних дворів і трактів шихтоподачі	24
2.10 Очищення газів технологічних агрегатів вогнетривкого виробництва	25
3 Очищення технологічних газів металургійних виробництв від шкідливих хімічних речовин	27
3.1 Очищення технологічних газів агломераційного виробництва і ТЕЦ від сірчистого ангідриду	28
3.2 Очищення технологічних газів агломераційного	

виробництва від окису вуглецю	32
3.3 Очищення технологічних газів агломераційного виробництва, мартенівського виробництва, газів котлів ТЕЦ і нагрівальних пристроїв прокатних цехів від окислів азоту	33
3.3.1 Очищення від окислів азоту газів агломераційного виробництва	35
3.3.2 Очищення від окислів азоту газів за мартенівськими печами	35
3.3.3 Очищення газів від окислів азоту за котлами ТЕЦ	36
3.4 Очищення газів солянокислотних травильних ванн і ванн гарячого цинкування у волокнистих фільтрах	36
3.5 Очищення і знешкодження газів від агрегатів покриттів (фарбування, епоксидні і пластикові)	37
3.6 Очищення газових викидів виробництв фріти, флюсів і ЕШП від фтористих з'єднань	37
4 Загальні вимоги до установки електрофільтрів	39
Список рекомендованої літератури	41

Уведення

Дані методичні вказівки присвячені питанням розрахунків і експлуатації газоочисних споруджень на підприємствах чорної металургії.

Методичні вказівки складені відповідно до навчального плану і програми для студентів спеціальності «Металургія чорних металів» спеціалізації «Екологічний аудит й охорона навколишнього середовища».

На практичних заняттях студенти повинні застосовувати і закріплювати теоретичні знання, отримані в процесі навчання, навчитися самостійно користатися науковою, технічною і довідковою літературою, закріпити навички в розрахунках і виборі оптимальних параметрів експлуатації газоочисних споруджень на підприємствах чорної металургії.

1 Загальні положення

Компонування споруджень очищення газів повинно, як правило, зважуватися, таким чином, щоб вони знаходилися в безпосередній близькості від технологічних агрегатів і забезпечували габарити для проїзду автотранспорту і вантажопідйомних механізмів.

Залишкова концентрація пилу і шкідливих хімічних речовин, а також висота викидної труби у кожному конкретному випадку визначається з урахуванням дотримання встановлених санітарних норм величин граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин на границі санітарно-захисної зони.

Для обслуговування і ремонту газоочисток необхідно передбачати:

- люки на газопроводах і устаткуванні, сходи і площадки для обслуговування устаткування, арматури і заставних деталей (у тому числі добірних пристроїв КВП і автоматики);

- засобу малої механізації: крани, балки, талі (електричні і ручні), кішки і т.д.;
- висвітлення площадок, сход і приміщень, а також переносні світильники в ремонтних люках;
- ремонтні посади для вогневого різання і зварювання металу і для пневмоінструменту, посади для підключення електрозварювальних трансформаторів.

2 Очищення технологічних газів від пилу

Тема 2.1: «Очищення від пилу технологічних газів агломераційних машин»

Сухі електрофільтри, які використовують для очищення аглогазів, застосовують спеціальної конструкції з посиленням корпусом, розрахованим на розрідження до 25 кПа (2500 мм вод. ст.).

Колектори брудного газу виконують з пиловими бункерами по довжині і безупинному видаленні уловленого пилу. З метою запобігання зависання пилу в бункерах, сводоутворення і забивання колекторів бункера виконують з кутами нахилу стінок до горизонталі не менш 65° , одну зі сторін по можливості виконати вертикальною. Видалення уловленого в колекторі пилу варто здійснювати мокрими скребковими конвеєрами без додаткових витрат води на гідроспонування, з наступним перевантаженням збездвоженого шламу на конвеєр повернення і застосуванням уловленого матеріалу в технологічному процесі. Ступінь уловлювання пилу в колекторі приймають до 50 %.

Циклон другої ступіні очищення варто встановлювати безпосередньо в корпусі агломерації, з підведенням газу від центральної частини газового колектора. Циклони приймають діаметром від 1,5 до 4 м у залежності від

конструктивно-компоновних рішень і розташовуваних габаритів. При неможливості розташування другої сухої ступіні очищення в циклонах у корпусі агломерації уздовж агломашин циклони варто встановлювати між корпусом агломерації і ексгаустерним відділенням. Для збільшення ефективності роботи циклонів і запобігання абразивного зносу бункера циклонів варто виконувати квадратного і прямокутного перетину.

Видалення уловленого в циклонах пилу робиться пневмотранспортом або за допомогою мокрих скребкових конвеєрів. При неможливості скидання пилу від циклонів у скребкові конвеєри варто застосовувати відкриту систему гідротранспорту пилу з подачею води на спонукання, що складається з індивідуальних пилових затворів під кожним циклоном і шламовими лотками. Лотки гідротранспорту варто розраховувати на заповнення водою не менш 30-40 % поперечного переріза. Кількість води, подаваної на гідротранспорт пилу від циклонів, визначається з умови заповнення перетину лотків із забезпеченням не менш 20-кратного розведення пилу, що транспортується.

Гідравлічний опір газового тракту від вакуум-камер агломашин до входу в апарати третьої ступіні очищення повинен бути в межах 1177-1766 Па (120-180 мм вод. ст.).

Для виключення конденсації вологи і налипання вологого пилу на лопатки ротора ексгаустера температура газів після мокрої газоочистки не повинна бути менш 343-353 К (70-80 °С), що на 10-15° вище крапки роси для агломераційних газів.

Швидкість газу в горловинах труб Вентурі варто приймати в межах 35-50 м/с (за умовами входу газів). Питома витрата води на зрошення в трубах Вентурі 0,03-0,05 л/м³ (за умовами входу газів). Оптимальна витрата води визначається для кожного конкретного об'єкта при експлуатаційнім налагодженні. Геометричні розміри труб Вентурі визначаються наступними умовами:

- кут конфузору – 30-45°;

- кут розкриття дифузора – $10-20^{\circ}$.

Для похило розташованих прямокутних труб Вентурі приймають верхню межу:

- ширина горловини прямокутної труби – 400-1000 мм;
- довжина горловини прямокутної труби – 400-700 мм.

Гідравлічний опір труби Вентурі з краплевловлювачем до 2,5 кПа.

Для зрошення труб Вентурі застосовують евольвенті форсунки з діаметром вихідного отвору від 20 до 25 мм (не менш 20 мм).

У мокрій ступіні очищення для забезпечення ефективності розпилення тиск води перед форсунками повинен бути не менш $29,43 \cdot 10^4 - 39,24 \cdot 10^4$ Па . У прямокутних трубах Вентурі кількість форсунок визначається необхідністю перекриття перетину горловини труби розпиленою водою і повинне бути мінімальним. Конструкція труб Вентурі в місці введення зрошувальних пристроїв повинна забезпечувати зручність їхнього обслуговування, регулювання і ревізії (площадки, герметичні люки, різні фланцеві і нарізні сполучення). Водопостачання труб Вентурі повинне здійснюватися проясненою водою з оборотного циклу водопостачання. Вміст суспензій в оборотній воді не більш 300 мг/л. Підведення води до труби Вентурі здійснюють за кільцевою схемою двома водоводами. На підведенні оборотної води до труб Вентурі для запобігання забивання форсунок установлюють сітчасті фільтри: один – працюючий, другий – резервний.

У якості краплевловлювачей за трубами Вентурі варто застосовувати відцентрові скрубери. Умовну швидкість газів у поперечному перерізі краплевловлювача приймають 4-5,5 м/с, швидкість у вхідному патрубку 15-20 м/с.

При визначенні геометричних розмірів скрубєрів-краплевловлювачей необхідно керуватися наступним:

- вхід і вихід газу в скрубєри виконують тангенціальним (по напрямку обертання газового потоку);

- вертикальні розміри скрубєрів приймають наступними: загальна висота корпусу $H=3-4$ діаметра циліндричної частини;
- кут конусної частини скрубєра з горизонталлю не менш $50-60^{\circ}$;
- діаметри краплєвловлювачей приймають від 2000 до 4000 мм;
- діаметр гідрозатворів скрубєрів – не менш 250 мм, діаметр низу конуса – не менш 600 мм.

Нижні частини скрубєрів і гідрозатвори розташовують в утеплених, вентиляваних приміщеннях.

Скрбєра розташовують на спеціальних підпорних конструкціях, постачених площадками і сходами для обслуговування і ремонту. На корпусі скрубєра передбачають люки в районі площадок для огляду і ремонту усередині корпусу скрубєра.

Проектування газових колекторів і пиловловлювачів необхідно вести з урахуванням температурних подовжень в ув'язуванні зі схемою обпирання агломашин.

Тема 2.2: «Очищення від пилу газів, що відходять від машин випалу окатишів»

Для кожного газового тракту випалювальної машини передбачають індивідуальну газоочистку в залежності від технологічного призначення газового тракту: скидання газу в атмосферу чи рециркуляція газового потоку з однієї технологічної зони в іншу. На газових трактах сушіння I і II зони підігріву, випалу й інших, призначених для скидання відпрацьованих газів в атмосферу, установлюють газоочистки, що забезпечують залишкову запиленість газів з урахуванням дотримання встановлених санітарних норм величин граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин на границі санітарно-захисної зони.

Для очищення газів застосовують сухі горизонтальні електрофільтри.

Циклони, що установлюють на всіх газоочисних трактах випалювальних машин, приймають діаметром від 1500 до 5000 мм.

Видалення уловленого пилю із сухих апаратів очищення (газові колектори, циклони і електрофільтри) варто здійснювати сухим способом з подальшим його використанням.

Тема 2.3: «Очищення від пилю газів сушильно-випалювальних агрегатів рудопідготовчих виробництв і агрегатів сушіння залізовмісних шламів»

При розрахунку газоочисток поряд з даними нормами необхідно також керуватися нормативними матеріалами, приведеними в пункті 1.

Для очищення від пилю газів сушильно-випалювальних агрегатів рудопідготовчого виробництва застосовують, як правило, сухі пиловловлювачі. Для очищення газів, у зв'язку з високою їх початковою запиленістю, застосовують, як правило, багатоступінчасті газоочистки. На відводі запиленних газів від агрегату (обертової печі, сушильного барабана, шахтної печі й ін.) установлюють ємну пилову камеру, що є першою ступінню очищення, для уловлювання великих фракцій пилю зі скиданням уловленого пилю на конвеєр висушеного матеріалу. Для попереднього очищення газів перед апаратами тонкого пиловловлення застосовують:

- за сушильними барабанами для сушіння бентоніту і концентрату, шахтними печами для випалу руди, за машинами для випалу вапняку – одну ступінь одиночних циклонів;

- за обертовими печами випалу руди, печами киплячого шару типу КС, млинами для помелу вапняку і бентоніту – дві ступіні циклонів:

- а) перша ступінь – одиночні циклони типу ЦН-24, ЦН-15 чи ЦН-15у;

- б) друга ступінь – одиночні циклони типу ЦН-11 чи СК-ЦН-34.

Типи циклонів визначаються в залежності від початкової запиленості газів, фракційного і хімічного складу пилю і розташовуваних габаритів.

Для ефективного очищення газів від пилу рекомендується:

- кількість полів електрофільтра за іншими агрегатами не менш 3;
- кількість полів електрофільтра за обертовими печами випалу руди і печами киплячого шару типу КС – не менш 4;
- швидкість газу в активному перетині електрофільтра не більш 1,2 м/с.

Швидкість газу в електрофільтрах за печами киплячого шару типу КС приймають не більш 0,9-1 м/с.

Для мокрого очищення газів застосовують низьконапірні труби Вентурі і скрубери-краплвловлювачі, аналогічні розглянутім в пункті 2.1.

За агрегатами температура газів, що відходять, після яких понад 723-773 К (450-500⁰С), перед газоочисткою необхідно, як правило, передбачати теплоутилізаційні установки (котли-утилізатори, підігрівники шихти і т.д.) для корисного використання тепла газів і їхнього охолодження. У тих випадках, коли утилізація тепла недоцільна, повинне бути приведенне спеціальне техніко-економічне обґрунтування.

Для очищення газів барабанів для сушіння залізовмісних шламів корпусів зневоднювання оборотних циклів водопостачання газоочисток металургійних агрегатів можуть застосовуватися триступінчасті газоочистки:

- перша ступінь – ємна пилова камера;
- друга ступінь – сухі одиночні циклони;
- третя ступінь – мокра газоочистка з трубою Вентурі і відцентровим скруберам-краплвловлювачем.

Застосування мокрої газоочистки як тонкої ступіні пиловловлення обумовлено великим вологовмістом газів, що відходять, і наявністю шламового господарства й оборотного циклу для основного металургійного виробництва.

Циклони для попереднього сухого очищення газів застосовують діаметром від 100 до 3000 мм, у залежності від обсягу газу, що очищається. Кількість установлених циклонів, як правило, не більш двох.

Труби Вентурі для можливості експлуатаційного налагодження і відпрацювання оптимального режиму, а також для регулювання тяги в сушильному барабані застосовують прямокутні з регульованим перетином горловини.

Для зрошення труб Вентурі застосовують спіральні (евольвентні) форсунки. Кількість і діаметр форсунок визначається витратою води і необхідністю перекриття перетину труби розпиленою водою і повинна бути мінімальним. Форсунки варто встановлювати в конфузори на відстані 500-700 мм від початку горловини. При цьому повинна бути передбачена можливість експлуатаційного регулювання положення форсунок.

Конструкція труб Вентурі повинна забезпечувати зручність їхнього обслуговування і ревізії, для чого повинні бути передбачені герметичні люки, рознімні фланцеві з'єднання і т.д.

Для забезпечення ефективного очищення в трубах Вентурі рекомендуються наступні умови їхньої роботи:

- питома витрата води – 0,3-0,8 л/м³ за умовами виходу;
- гідравлічний перепад тиску газу:

а) при сушінні шламів аглодоменного виробництва 1470-2450 Па (150-250 мм вод. ст.);

б) при сушіння шламів сталеплавильних агрегатів 3920-6850 Па (400-700 мм вод. ст.);

- температура газів на виході з труби Вентурі 333-343 К (60-70⁰С).

У якості краплевловлювачей за трубами Вентурі застосовують відцентрові скрубери з евольвентним входом з безупинним зрошенням стінок.

Тема 2.4: «Очищення газів завантажувальних пристроїв доменних печей»

Установки уловлювання й очищення газів завантажувальних пристроїв доменних печей крім захисту атмосфери забезпечують наступне використання газу. Очищення газу від пилу повинно бути забезпечено до запиленості не більш 10 мг/м^3 .

Відвід газу здійснюють з обох збросних свіч завантажувального пристрою до зрівняльних клапонів.

Для розпилу подаваної води на труби Вентурі застосовують евольвентні форсунки. Витрата води на трубу Вентурі:

- при обсязі завантажувального пристрою до 60 м^3 - $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$;
- при обсязі завантажувального пристрою 60 і більш м^3 – $0,016 \text{ м}^3/\text{с}$.

Газоходи, що відводять, від обох збросних свіч можна поєднувати до труби Вентурі, а можна на кожному газоході установлювати свою трубу Вентурі. Рішення приймається в залежності від конкретних умов трасування газоходу.

Тиск води подаваної на зрошення, розраховують, виходячи з умови забезпечення на рівні найвищої крапки зрошення, величина тиску на $14,7 \cdot 10^4 \text{ Па}$ більше заданого тиску газу під колошником доменної печі. У якості рідини, якою зрошують, застосовують воду з оборотного циклу.

Діаметр газоходу, що відводить, і діаметр газоходу, що зрошують, приймають 500 мм для завантажувальних пристроїв обсягом до 60 м^3 і 700 мм для завантажувальних пристроїв обсягом більш 60 м^3 .

Діаметр горловини труби Вентурі розраховують з умови забезпечення очищення газу і проходу всієї кількості газу в необхідний проміжок часу (як правило, час витікання газу з завантажувального пристрою складає не більш 5 с).

Тема 2.5: «Установки тонкого очищення доменного газу від пилу»

При виборі технологічної схеми газоочистки слід враховувати, чи буде споруджуватися при доменній печі газова утилізаційна безкомпресорна турбіна (ГУБТ) одночасно з установкою газоочистки чи в наступний час. Необхідно враховувати, що ГУБТ щорічно повинна мати зупинки загальної тривалості до 15 діб. У зв'язку з цим газоочистка повинна проектуватися на умови роботи з включеною і виключеною ГУБТ.

Пропускна здатність установки очищення при роботі на підвищеному тиску газу на колошнику повинна відповідати розрахунковому виходу доменного газу, з урахуванням можливої нерівномірності – до 15 % понад розрахунковий вихід при прийнятому в проекті тиску газу на колошнику. Зміст пилу в очищеному газі для всіх споживачів повинне бути не більш 4 мг/нм³.

Розрахункову температуру доменного газу за установкою газоочистки, як правило, варто приймати 35⁰С, а для літнього періоду – до 40⁰С. При відсутності ГУБТ, а також у період її зупинок, вміст вологи доменного газу, що надходить у колектор чистого газу установки газоочистки при зазначеній температурі, повинне визначатися виходячи з того, що газ насичений водяними парами і що зміст краплинної вологи в ньому складає:

- при наявності електрофільтрів – від 5 до 10 г/нм³;
 - при відсутності електрофільтрів – від 5 до 25 г/нм³,
- у залежності від умов роботи і конструкції краплевловлювачей.

Температура доменного газу за ГУБТ слід визначати розрахунком, у залежності від температури підігріву газу перед ГУБТ і перепаду тиску. Для випадку підігріву газу до 140⁰С и перепаду тиску в ГУБТ із 3 до 1,15 ата температуру газу за ГУБТ можна приймати в межах 60-70⁰С, а абсолютний вологовміст одного нормального кубічного метра газу за ГУБТ таким же, як перепад ГУБТ.

Усі скрубери, що знову споруджуються, повинні влаштовуватися безнасадковими з протитоком газу і води. Для подачі в скрубери охолоджувальної води повинні застосовуватися евольвенти чи іншого типу форсунки, що створюють дрібнокапельний розпил (діаметр краплі менше 3 мм) при напорі води, що перевищує тиск газу в скрубери на 1,5-2 кгс/см². Число ярусів зрошення рекомендується приймати, як правило, не більш трьох; розташування форсунок у кожному ярусі повинне бути однаковим, але зміщеним у плані до один одному на рівні кути. Усі форсунки повинні бути спрямовані струменем нагору. Діаметр і число форсунок повинне вибиратися виходячи з необхідної витрати зрошувальної води і створення суцільного краплинного середовища по всьому перетині скрубера при розрахунковому напорі, що повинний на рівні форсунок перевершувати тиск газу в скрубери не менш, ніж на 1,5 атм. Кільцеві колектори для подачі води до форсунок кожного ярусу повинна розташовуватися зовні корпуса і приєднуватися до кожного з вертикальних стояків, що живлять їх водою.

Питомі витрати на зрошення газу в скрубери для приведених умов, у залежності від вологості і температури газу на підводі до скрубера, приведені в таблиці 2.1.

Кожна турбіна ГУБТ працює в блоці з доменною піччю. Можливість переключення чи установки резервного агрегату не передбачається.

Принципова технологічна схема ГТРС передбачає:

- включення ГУБТ паралельно дросельній групі;
- подачу доменного газу високого тиску (після газоочистки, до дросельної групи) до ГУБТ;
- необхідний підігрів доменного газу або шляхом спалювання частини в спеціальному газопідігрівнику, що змішує, або в поверхневому підігрівнику за рахунок утилізації відкидного тепла;
- розширення доменного газу в ГУБТ до тиску в газовій мережі заводу;

- байпасну лінію від газопроводу високого тиску (після газопідігрівника, перед ГУБТ) у газопровід низького тиску (крім ГУБТ) для пуску турбіни і скидання доменного газу при аварійному відключенні ГУБТ.

Температура підігріву доменного газу в газопідігрівнику перед ГУБТ визначається необхідністю випару і часткового перегріву наявної в доменному газі вологи до величин, що забезпечують відсутність замету пилом проточної частини турбіни, і складає приблизно 110-150⁰С. Температура підігріву газу в поверхневому газопідігрівнику визначається конструкцією ГУБТ і параметрами використовуваного відкидного тепла.

Доменний газ у схему ГУБТ повинний подаватися після газоочистки доменних печей зі змістом пилу і вологи відповідно до технічних умов заводу-виготовлювача ГУБТ. Загальна запиленість доменного газу не вище 10 мг/нм³. Максимально припустима вологість доменного газу перед газопідігрівником – стан насичення при температурі газу на виході з газоочистки. Улучення вільної краплинної вологи в газопідігрівнику не більш 1 % по вазі неприпустимо.

Тема 2.6: «Очищення від пилу газів мартенівських і двованних печей»

Залишкова запиленість газів мартенівських і двованних печей приймають відповідно до пункту 1.

Для двованних печей, при установці мокрої газоочистки, передбачають можливість роботи газоочистки в обведення котла-утилізатора при зупинці його на чищення чи ремонт.

Електрофільтри повинні встановлюватися після котлів-утилізаторів, що забезпечують охолодження газів до температури, зазначеної в техдокументації розроблювача електрофільтрів. Для забезпечення безперебійної роботи електрофільтрів котли-утилізатори повинні бути

постачені пристроями для очищення поверхні нагрівання від відкладень пилу.

Передбачають установку вузлів дожигу окису вуглецю в борові перед котлом-утилізатором. Зміст окису вуглецю в газах, що відходять, перед газоочисткою повинно складати не більш 1 % по обсязі.

Для забезпечення нормальної роботи устаткування й ефективного очищення газів мартенівських і двованних печей у електрофільтрі приймають:

- кількість полів електрофільтра – не менш 4 (для мартенівських печей, що працюють із продувкою металу киснем і для двованних печей);
- кількість полів – не менш 3 – для мартенівських печей, що працюють без продувки.

Для видалення пилу з бункерів електрофільтрів застосовують сухий спосіб убирання пилу системою пневмотранспорту чи механічне убирання пилу в збірний бункер з наступним окомкуванням пилу.

Для мокрого очищення газу від пилу застосовують високонапірні труби Вентурі з відцентровими краплевловлювачами. Кількість труб Вентурі і краплевловлювачей повинне бути мінімальним. Для очищення газу від пилу застосовують труби Вентурі з плівково-форсуночним зрошенням прямокутні чи круглі з перетином горловини, що регулюється. Це дозволяє при налагодженні й експлуатації встановлювати, регулювати і підтримувати швидкість газу, що відповідає оптимальному режиму роботи установки. Робоча ширина щілини регульованої прямокутної труби Вентурі рекомендується 150-200 мм. Довжина щілини не більш 3000 мм. Робоча ширина кільцевого зазору круглої регульованої труби Вентурі не більш 100-150 мм. На газоочистки повинна подаватися вода зі змістом суспензій не більш 200 мг/л. Для забезпечення ефективного очищення газу в трубах Вентурі приймають:

- гідравлічний перепад тиску в трубах Вентурі: 8830-9810 Па – для мартенівських печей, що працюють із продувкою металу киснем і двованних

печей, і 4905-5885 Па – для мартенівських печей, що працюють без продувки;

- швидкість газу в перетині горловини труби Вентурі 100-120 м/с (за умовами виходу газів) – для мартенівських печей, що працюють із продувкою металу киснем і двованних печей, і 70-80 м/с – для мартенівських печей, що працюють без продувки;

- питома витрата води на зрошення газу в трубах Вентурі – 1,4-1,5 л/нм³ для газоочисток мартенівських печей, що працюють із продувкою і двованних печей, 0,9-1,0 л/нм³ – для мартенівських печей, що працюють без продувки.

Витрата води на форсунки приймають з розрахунку не менш 50 % від кількості води, подаваної на плівкове зрошення. При зрошенні труби Вентурі проясненою водою оборотного циклу застосовують евольвентні форсунки, найменш підданому засміченню і відкладенням. Тиск води перед форсунками – не менш $29,4 \cdot 10^4$ - $34,3 \cdot 10^4$ Па. Установку форсунок у трубах Вентурі проектувати таким чином, щоб забезпечувалося повне перекриття водою прохідного перетину. Для відводу забрудненої води (шламу) з газу після труб Вентурі передбачають інерційні краплевідокремлювачі (бункера), установлені під трубами Вентурі.

Для повного уловлювання краплинної вологи з газу перед тягодут'євою машиною передбачають установку відцентрових краплевловлювачей з евольвентним входом газу. Швидкість газу в поперечному перерізі порожнього відцентрового краплевідокремлювача приймають рівної 4-5 м/с. Висоту циліндричної частини краплевловлювача від осі входу до осі виходу приймають рівної 4-5 діаметрам краплевловлювача. Швидкість газу у вхідному патрубку краплевловлювача приймають рівної 18-20 м/с. Для забезпечення нормального видалення шламу, діаметр зливального отвору в краплевідокремлювачі приймають більш 0,15 м.

Продуктивність тягодут'євих машин (димососів, нагнітачів) повинна вибиратися з умови забезпечення евакуації газів у період максимального їхнього утворення в печі з урахуванням підсмоктувань у тракті відводу газу й апаратах газоочистки. Максимальна кількість газів, що утворюються, відноситься до режиму продувки ванни печі киснем. Кількість повітря, що підсмоктується, по тракті від печі до котла-утилізатора приймають не менш 70 %. Підсмоктування в котлі-утилізаторі приймають не менш 20%.

При визначенні необхідного напору димососа приймають гідравлічний опір газового тракту рівним:

- боров печі до котлового шибера – 590-785 Па;
- котел-утилізатор – 1960-2450 Па;
- електрофільтр – 196-245 Па;
- мокра газоочистка (труба Вентурі, краплевловлювач) – 9810-10790 Па – для мартенівських печей, що працюють із продувкою металу киснем і двованних печей; 5885-6870 Па – для мартенівських печей, що працюють без продувки;
- газопроводи від котла-утилізатора до газоочистки і від газоочистки до димаря – по аеродинамічному розрахунку, у залежності від компонування.

Для забезпечення нормальної роботи печі й ефективного очищення газу повний тиск, створюваний димососом (нагнітачем) повинен бути не менш:

- при сухій газоочистці – 4415 Па;
- при мокрої газоочистці – 14715 Па.

Нагнітачі встановлюють у закритих опалювальних приміщеннях. З метою поліпшення умов експлуатації нагнітачів, а також запобігання конденсації водяних пар у нагнітачах і цегельних димарях передбачають установку перед нагнітачами спеціальних топкових пристроїв для підігріву вологих очищених газів. Підігрів газів перед нагнітачами до 100-100⁰С здійснюється шляхом підмішування до них високотемпературних продуктів

згоряння природного газу. Можливе застосування доменного, коксового і коксо-доменного газу.

Тема 2.7: «Очищення від пилу газів електросталеплавильних печей»

Залишкова запиленість газів після очищення не повинна перевищувати 100 мг/м^3 з умови забезпечення безбарвності газів.

Очищення газів електросталеплавильних печей можуть здійснюватися як сухим, так і мокрим способом. При сухих способах очищення використовуються електрофільтри чи тканинні (рукавні) фільтри.

При проектуванні газоочисток і трактів, що відводять газ, багатотоннажних електросталеплавильних печей (25 і більш т) враховувати необхідність уловлювання й очищення неорганізованих пилегазових викидів, що утворюються при завалці печі, сливі металу в ківш і вибиваються через міжелектродні зазори при роботі печі.

При проектуванні сухих газоочисток багатотоннажних електропечей передбачають схему тракту електропечі, що відводить газ, зі сполученим відводом димових газів через газовідбірний пристрій від отвору в зводі печі і від піддахового аспіраційного зонту й укриття, установлюваного над піччю, що дозволяє об'єднати очищення технологічних і неорганізованих викидів в одній установці.

При проектуванні газоочисток для електропечей можливе застосування колекторної або блочно-колекторної схеми з установкою загальної газоочистки на кілька печей.

Конструкція газовідбірного пристрою електропечі повинна забезпечувати повний допал окису вуглецю, що міститься в газах.

Для забезпечення ефективного очищення газів електросталеплавильних печей у електрофільтрі приймають:

- кількість полів електрофільтра – не менш 3;

- швидкість газів в активному перетині електрофільтра до 1,2 м/с.

Для забезпечення ефективного очищення газів електросталеплавильних печей у рукавних фільтрах приймають:

- температура газів перед рукавними фільтрами не більш 393 К;
- навантаження на фільтрувальну тканину (з урахуванням відключення частини камер на регенерацію) – до $0,7 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв.}$;
- резерв площі фільтрації – 10-15 % (з урахуванням відключення частини фільтрів на регенерацію).

Для мокрого очищення газів від пилу приймають високонапірні труби Вентурі з відцентровими краплевловлювачами. Кількість труб Вентурі і краплевловлювачей повинна бути мінімальною. Загальні рекомендації з проектування мокрих газоочисток за електросталеплавильним печами – див. пункт 2.6.

Для забезпечення ефективного очищення газу в трубах Вентурі приймають:

- гідравлічний перепад у трубах Вентурі 7850-9810 Па;
- швидкість газу в перетині горловини труби Вентурі 100-120 м/с (за умовами виходу газів);
- питома витрата на зрошення газу в трубах Вентурі – $1,4-1,5 \text{ л/нм}^3$.

Тема 2.8: «Очищення газів від пилу конвертерів»

Схема і конструкція конвертерних газоочисток залежить від наступних основних умов:

- способу відводу газів (з повним допалом окису вуглецю в котлі; без допалу окису вуглецю в котлі);
- температура газів перед очищенням, після котлів-охолоджувачів;
- компонованих рішень по конвертерних цехах.

При відводі газів з повним допалом залишкову запиленість приймати 100 мг/м^3 з умови забезпечення безбарвності викидів. При відводі газів з

повним допалом, як правило, застосовуються індивідуальні газоочистки. При повному допалі на ряді з мокрим способом може використовуватися також сухий спосіб очищення.

Перепад тиску на трубі Вентурі повинний бути 9810-10800 Па, швидкість у перетині горловини 100-150 м/с. Для газоочисток конвертерів з донною продувкою рекомендується перепад на трубах Вентурі збільшувати до 14700-15700 Па в зв'язку з тим, що в газах, що відводяться, міститься більш дрібний пил.

При застосуванні котла-охолоджувача без бункера перед високонапірною трубою Вентурі повинна бути встановлена ступінь попереднього очищення в низьконапірній трубі Вентурі, або в скруберній частини. Робоча ширина щілини регульованої труби Вентурі рекомендується 200-250 мм. Довжина щілини прямокутної труби Вентурі рекомендується не більш 300 мм. Тиск води перед форсунками повинен бути не менш $39,24 \cdot 10^4$ Па. Форсунки застосовують переважно евольвенті і прямоочні з великим вихідним перетином.

При високій температурі газів за котлами-охолоджувачами 773 К и вище безпосередньо на вході в газоочистку необхідно розміщати вузол попереднього охолодження, у якому поряд з охолодженням газового потоку повинне бути забезпечене охолодження стінок корпусу. На підведенні до вузла попереднього охолодження передбачають додаткову фільтрацію води, наприклад, у сітчастих фільтрах.

При температурі газів за котлом не менш 773 К питома витрата води на очищення повинний бути порядку 2-3 л/м³ газу. При температурі газів за котлом більш 773 К питома витрата води на очищення визначається по тепловому балансу охолодження газів при кінцевій їхній температурі не вище 333 К.

Відвід шламової води з газоочисних апаратів роблять через бункери. За трубами Вентурі можлива установка коленсепараторів.

Для сепарації краплинної вологи застосовують відцентрові краплевловлювачі з евольвентним чи тангенціальним входом і краплевловлювачі з завихрителями. Швидкість газів у вільному перетині відцентрових краплевловлювачей приймають 3,5-5 м/с, а краплевловлювачі з завихрителями до 11 м/с.

При відводі без допалу перед високонапірними трубами Вен турі, що автоматично регулюються, обов'язково встановлюють попередню ступінь очищення. У залежності від конкретних умов як попередню ступінь може бути застосовані: зрошуваний газохід, скруберна частина, низьконапірна труба Вентурі.

Тема 2.9: «Очищення аспіраційних викидів ливарних дворів і трактів шихтоподавання»

Для очищення застосовують переважно сухий спосіб. Як апарати тонкого очищення встановлюють електрофільтри і тканинні фільтри.

У стиснутих умовах і при наявності резервів по оборотному водопостачанню як ступінь тонкого очищення можуть бути застосовані труби Вентурі з питомою витратою води 0,2-0,4 л/м³.

При наявності у викидах на ливарних дворах великої кількості графіту рекомендується встановлювати попередню ступінь очищення в циклонах, що забезпечить селективне уловлювання графітного пилу і поліпшить умови роботи ступіні тонкого очищення.

Від апаратів сухого очищення (циклонів на ливарних дворах, електрофільтрів, тканинних фільтрів) відводять пил переважно сухим способом з використанням у залежності від конкретних умов наступних технічних рішень:

- пневмотранспорту;
- гвинтових і скребкових конвеєрів;

- окомкування;
- затарювання в резинокордові й інші мішки багаторазового використання.

Тема 2.10: «Очищення газів технологічних агрегатів вогнетривкого виробництва»

У зв'язку з високою початковою запиленістю газів ($40-60 \text{ г/нм}^3$) і тонкодисперсним складом пилу передбачають двоступінчасті газоочистки за випалювальними печами. Склад газоочистки за сушильними барабанами повинний визначатися в кожному конкретному випадку в залежності від якісно-кількісних характеристик викидів і технологічного режиму барабана. Залишкова запиленість і необхідний ступінь очищення газів визначаються для кожного об'єкта окремо розрахунком з урахуванням фонових забруднень промплощадки і висот димарів. При відсутності даних для повного розрахунку розсіювання залишкову запиленість орієнтовно приймають не більш 100 мг/м^3 . Для забезпечення припустимих концентрацій у приземному шарі сірчистих з'єднань і ін. хімічних шкідливостей висоти димарів приймають:

- при опаленні випалювальних печей і сушильних барабанів природним газів чи малосірчистим мазутом – не менш 60 м;
- при опаленні сірчистим мазутом – не менш 80 м.

Висота труб і кінцева запиленість уточнюється генпроектировщиком розрахунком забруднення з урахуванням фонових концентрацій.

Діаметр циклонів, установлюваних як першу ступінь очищення, приймати не більш 2000 мм.

Для забезпечення ефективного очищення газу приймають:

- температуру газів перед електрофільтрами не більш 250°C (по технічній характеристиці електрофільтра);

- швидкість газу в активному перетині електрофільтра при випалі чи сушінні алюмосилікатної сировини – 1-1,3 м/с; при випалі основної сировини 0,9-1,2 м/с (при випалі магнезиту 0,8-1,0 м/с).

При наявності в газах сірчистих, хлористих чи інших з'єднань мінімальна температура газів перед електрофільтром повинна бути вище на 20-50⁰С температури крапки роси для цих з'єднань.

Для охолодження газів обертових печей перед газоочисткою повинні встановлюватися котли-утилізатори. В особливих випадках, якщо котли-утилізатори не встановлюються, передбачають охолодження газу в скруберах повного випару, або в поверхневих охолоджувачах, або за рахунок підсмоктування зовнішнього повітря. Метод охолодження вибирається по техніко-економічних розуміннях.

При охолодженні в скруберах повного випару газів доломито- і магнезітообпалювальних печей застосовують, як правило, хімічно очищену воду з тиском 16-20 атм. Щоб уникнути винесення вологи, що не випарувалася, умовну швидкість газу в перетині скрубера приймають не більш 1,5 м/с (за умовами виходу зі скрубера).

3 Очищення технологічних газів металургійних виробництв від шкідливих хімічних речовин

Схема очищення газів повинна вибиратися в залежності від параметрів газових викидів металургійного агрегату, з урахуванням особливостей технологічного процесу і максимального зниження викидів хімічних домішок з газами, що відходять, за рахунок технологічних підприємств, а також:

- максимального виключення сторонніх підсмоктувань повітря;
- селективного добору газу;
- рециркуляції газових потоків.

При проектуванні хімоочисних споруджень для можливості експлуатаційного відпрацьовування режиму системи зрошення скрубера, турбулентного промивача і водяного режиму систем змиву поверхонь краплевловлювача і газоходів, а також для забезпечення нормального ведення технологічного процесу передбачають автоматичний контроль, регулювання і замір наступних параметрів:

- вимір температури газів перед установкою очищення газів; перед димососом; після димососа;
- витрата газу перед димососом;
- витрата і тиск поглинального розчину, подаваного на скрубер;
- вимір і автоматичне регулювання рН поглинального розчину, подаваного на скрубер;
- вимір і сигналізація верхнього і нижнього рівня рідини в ємностях;
- сигналізацію (світлову і звукову), включення і відключення електродвигуна димососа.

Тема 3.1: «Очищення технологічних газів агломераційного виробництва і ТЭЦ від сірчистого ангідриду»

Аглогази і газы ТЭЦ перед сіркоочисткою підлягають очищенню від пилу. На сіркоочистку газы надходять із залишкової запиленістю до 0,2 – 1 г/м³. Тиск (розрідження) у газовому колекторі до сіркоочистки повинен бути від –490 до 490 Па.

Очищення аглогазів і газів ТЭЦ від сірчистого ангідриду роблять у порожніх швидкісних скруберах з форсунковим зрошенням вапняковою суспензією і наступним уловлюванням краплинної вологи в краплевловлювачах. Ступінь очищення в скруберах від сірчистого ангідриду 80-90 %. Ступінь очищення в краплевловлювачах від краплинної вологи 80-90 %. Швидкість руху вапнякової суспензії і шламової суспензії в напірних трубопроводах – 1,5-2,0 м/с, у самопливних трубопроводах і лотках – 0,5-0,8 м/с. Вапнякова суспензія подається на сіркоочистку з відділення готування вапнякової суспензії з концентрацією більш 200 г/л. Відпрацьована вапнякова суспензія виводиться із сіркоочистки в шламонакопичувач чи в корпус зневоднювання і сушіння шламу з концентрацією не менш 50 г/л. Витрати свіжого вапнякового розчину і відпрацьованого вапнякового розчину визначаються розрахунком матеріального балансу по змісту сірчистого ангідриду в газі, що очищається.

Для досягнення ефективного й економічного очищення сірчистого ангідриду і пилу, швидкість газу в скруберах приймається 5-10 м/с. Діаметр скрубера приймається з кратністю:

- до діаметра 4000 мм – 200 мм,
- від діаметра 4000 мм – 500 мм,
- від діаметра 7000 мм – 1000 мм.

Активна висота скрубера (відстань між осями вхідного і вихідного патрубків газу) визначається за часом контакту газу з вапняковою суспензією, що зрошує, що приймається рівним 3-5 с. Відстань від вхідного патрубка газу

до нижнього колектора повинне бути не менш 2 м і уточнюється по висоті, на якій газовий потік рівномірно розподіляється по перетині скрубера, при цьому також враховується висота факелу форсунки.

Кількість колекторів з форсунками, що зрошують, вибирається з умов рівномірного розподілу вапнякової суспензії по висоті і перетину скрубера. Відстань від нижнього колектора до верхнього вибирається з умов, щоб факели форсунок, що зрошують, установлених на верхньому колекторі, цілком перекрили перетин скрубера. Кількість форсунок вибирається з урахуванням їх продуктивності і напору з розрахунку подачі в скрубера вапнякової суспензії в кількості 4-10 л/м³ газу. Під верхньою кришкою скрубера встановлюється колектор з форсунками для змиву стінок і кришки.

У колектор змиву скрубера постійно подається технічна чи вода вапнякова суспензія з розрахунку 0,5 м³ на 1 м периметра перетину скрубера. Це дозволяє не розбавляти циркулюючу суспензію.

Кришка скрубера виконується конусною і може мати патрубок для виходу газу. Патрубок виходу газу може розташовуватися під кришкою скрубера на вертикальній циліндричній частині. Патрубок входу газу розташовується в нижній частині скрубера над його конусним днищем під кутом 10-15⁰ до горизонтальної осі скрубера. При визначенні висоти розташування патрубка входу газу необхідно враховувати можливу висоту рівня циркулюючої суспензії, що зрошує, у конусному днищі скрубера. У конусному днищі скрубера стінки виконуються з нахилом до вертикальної осі скрубера під кутом 30-45⁰. Швидкість газу у вхідному і вихідному патрубках скрубера приймається 12-18 м/с. Гідравлічний опір скрубера із вхідним і вихідним патрубками при включеній зрошувальній системі дорівнює 784-1180 Па.

У якості краплевловлювачей за скруберами варто застосовувати відцентрові краплевловлювачі типу «циклон» з відцентровою трубою. При необхідності установки краплевловлювача в підставі димаря застосовують

краплевлловлювачі з завихрителями. При визначенні геометричних розмірів краплевлловлювачей «циклон» необхідно керуватися наступним:

- вхід газу в краплевлловлювач виконують прямокутного перетину з тангенціальним підведенням, висота патрубку дорівнює діаметру циклона, ширина 0,2 діаметри;
- швидкість газу на вході приймають 20-25 м/с;
- швидкість газу в центральній трубі краплевлловлювача приймають 13-15 м/с;
- швидкість газу в корпусі краплевлловлювача приймають 4-5 м/с;
- висоту циліндричної частини краплевлловлювача від осі входу газу приймають не менш 2-х діаметрів циліндричної частини краплевлловлювача;
- висоту центральної труби краплевлловлювача від осі входу приймають 1,5 діаметра циліндричної частини краплевлловлювача;
- кут конусної частини краплевлловлювача з горизонталлю 45° - 50° .

Для запобігання відкладень і заростань краплевлловлювача на внутрішні стінки циліндричної частини і центральної труби подається технічна вода через форсунки. Форсунки підключаються до колектора, розташованого поза краплевлловлювачем. Факел води направляється на змивання стінки тангенціально по ходу газу в кількості $0,5 \text{ м}^3$ на 1 м довжини окружності перетину краплевлловлювача. Вода віддаляється з конусної частини краплевлловлювача самопливом через гідрозатвор. Гідравлічний опір краплевлловлювача-циклона з вхідним патрубком і центральною трубою при включеній системі змиву стінок складає 980-1180 Па.

При визначенні геометричних розмірів краплевлловлювачей із завихрителями необхідно керуватися наступним:

- діаметр циліндричного корпусу завихрителя вибирається з умови швидкості газу в перетині – 13 м/с. Лопатки завихрителя встановлюються під кутом 45° - 50° до вертикалі. Кількість лопаток вибирається від 8 до 12 штук конструктивно, з умовою перекриття перетину;

- висота корпусу завихрителя визначається конструктивно і залежить від конструкції лопаток;
- діаметр корпусу краплевловлювача вибирається з умови швидкості газу в перетині 7-8 м/с;
- висота корпусу краплевловлювача вибирається з розрахунку діаметрів корпусу краплевловлювача.

Швидкість газу в газоходах приймається 16-18 м/с.

Циркуляційний збірник призначений для циркулюючої суспензії і має розміри, що відповідають 5-8 хв. запасу циркулюючої вапнякової суспензії для роботи циркуляційних насосів.

Швидкість газу в димарі приймають до 20 м/с, на виході з димаря швидкість газу можна приймати до 25 м/с.

Тема 3.2: «Очищення технологічних газів агломераційного виробництва від окису вуглецю»

Аглогази перед очищенням від окису вуглецю підлягають очищенню від пилу.

Для очищення аглогазів від окису вуглецю варто застосовувати спосіб низькотемпературного окислювання окису вуглецю до CO_2 за рахунок кисню, що міститься в аглогазах, у присутності каталізаторів.

Ефективність очищення від окису вуглецю залежить від початкової температури аглогазів, запиленості і вмісту домішок, що отруюють каталізатор. В даний час при оптимальних умовах ефективність очищення досягає 90 %.

У залежності від параметрів аглогазів, що направляються на очищення від окису вуглецю, встановлюється апарат каталітичного очищення одного з трьох типів конструкції:

- контактний апарат з нерухомим шаром паладієвого каталізатора;

- контактний апарат з нерухомим шаром каталізатора на платиновій основі;
- реактор кільцевого типу, що сам регенерується, з каталізатором на платиновій основі.

Як каталізатори в контактних апаратах застосовують гранульовані каталізатори наносного типу на основі шляхетних металів (платина, палладій):

- при запиленості аглогазів, що надходять на очищення від окису вуглецю, менш 100 мг/м^3 застосовують апарати з насипним шаром платинового каталізатора;
- при запиленості аглогазів, що надходять на очищення від окису вуглецю від 100 мг/м^3 до 500 мг/м^3 , застосовують контактний апарат з палладієвим каталізатором, нанесеним на пластини пористого титана.

Мінімальна температура процесу очищення аглогазів від окису вуглецю складає:

- для платинового каталізатора – $80-200^\circ\text{C}$;
- для палладієвого каталізатора – $220-250^\circ\text{C}$.

за умови змісту SO_2 у газах не більш 1 г/м^3 .

Досягнення необхідної для процесу окислювання СО температури рекомендується здійснювати за рахунок селективного добору газу на очищення від окису вуглецю шляхом підігріву аглогазів. Рекомендуються наступні параметри процесу окислювання СО у контактному апараті з палладієвим каталізатором:

- об'ємна швидкість - $50 \cdot 10^3 \text{ год}^{-1}$,
- лінійна швидкість газу – $5-6 \text{ м/с}$,
- гідравлічний опір апарата – $500-800 \text{ Па}$.

Для процесу окислювання в контактному апараті з каталізатором на платиновій основі рекомендується наступні параметри:

- об'ємна швидкість - $85 \cdot 10^3 \text{ год}^{-1}$,
- лінійна швидкість газу – до 2 м/с ,

- періодичність регенерації – 1 раз у добу,
- гідравлічний опір шару – 3000 Па.

Для процесу окислювання СО у реакторі кільцевого типу, що сам регенерується, з каталізатором на платиновій основі рекомендуються наступні параметри:

- об'ємна швидкість - $85 \cdot 10^3 \text{ год}^{-1}$,
- лінійна швидкість газу – до 2 м/с,
- гідравлічний опір апаратів – не більш 3000 Па,
- швидкість обертання барабана – близько 20 об/хв.

При наявності окису вуглецю в схемі установки очищення аглогазів від окислів азоту, рекомендується встановлювати апарати очищення від окису вуглецю перед ними.

Тема 3.3: «Очищення технологічних газів агломераційного виробництва, мартенівського виробництва, газів, що відходять від котлів ТЭЦ і нагрівальних пристроїв прокатних цехів від окислів азоту»

Очищення газів від окислів азоту роблять аміачно-каталітичним способом, заснованому на селективному відновленні окислів азоту аміаком до елементарного азоту в присутності каталізатора.

Гази, що надходять на очищення від окислів азоту, повинні мати наступні параметри:

- температура 280-320⁰С;
- запиленість – не вище 0,1 г/м³;
- концентрація окислів сірки – не вище 1 г/м³;
- концентрація пару води – не вище 35 % обсягу.

При цих параметрах ступінь очищення газів від окислів азоту до 95 %. При зниженні температури газів, що очищаються, ступінь очищення падає і складає:

- при температурі 250⁰С – до 85 %,

- при температурі 200-220⁰С – до 70-75 %.

Очищення газів роблять у каталітичному реакторі. Місце установки каталітичного реактора в газовому тракті визначається з умови забезпечення оптимальної температури газу, що очищається.

Гідравлічний опір шару каталізатора в реакторі складає 450-700 Па. Оптимальна об'ємна швидкість газів у шарі каталізатора $(10-20) \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$.

Як каталізатор застосовують окисно-ванадієвий каталізатор (АВК-10) для процесу селективного очищення газів від окислів азоту. Термін служби АВК-10 – 2 роки.

Газоподібний аміак подається в газохід перед каталітичним реактором за допомогою трубчастого розподільника аміаку, виконаного у виді гребінки. Тиск газоподібного аміаку на вході в трубчастий розподільник повинен складати $(100-200) \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ чи 1-2 кгс\ см².

Варто передбачати можливість витрати аміаку на каталітичне очищення на 20% вище стехіометрично необхідного. При цьому необхідна концентрація аміаку в газах, що очищаються, визначається по формулі:

$$C_{\text{NH}_3} = 1,2 \cdot (0,67 \cdot C_{\text{NO}} + 1,3 \cdot C_{\text{NO}_2})$$

де C_{NH_3} – необхідна концентрація аміаку, % обсягу,

1,2 – коефіцієнт, що враховує необхідність надлишку аміаку,

0,67 та 1,3 – стехіометричні коефіцієнти, що враховують взаємодію аміаку з окисом і двоокисом азоту,

C_{NO} і C_{NO_2} – концентрація окису і двоокису азоту, % обсягу.

Можливе застосування нових типів низькопроцентних палладієвих каталізаторів П-5, П-17, дозволяє одержати ефективне очищення при температурних коливаннях газів, що очищаються, від 190 до 300⁰С при запиленості до 2,5-3,0 г/м³, і в ряді випадків, виключити необхідність реконструкції технологічних агрегатів, а також необхідність підігріву газів, що очищаються.

Каталізатор П-5 застосовується у виді напилювання на стільникову основу з кераміки і діоксиду титана для газів із запиленістю до 1 г/м^3 , каталізатор П-17 – у гранульованому виді в реакторах киплячого шару.

3.3.1 Очищення газів від окислів азоту агломераційного виробництва

Аглогази перед очищенням від окислів азоту повинні бути підігріті до оптимальної температури для каталітичного реактора. У залежності від прийнятої схеми очищення аглогазів, типу агломераційної машини і наявності вільних площ на території аглофабрики підігрів аглогазів може здійснюватися:

- за рахунок подачі продуктів згоряння від спалювання палива в камерних чи циклонних топках у газохід чи змішувач перед каталітичним реактором;

- у кільцевому охолоджувачі агломерату за умови розробки конструкції охолоджувача, що дозволяє уникнути вибивання аглогазів на робочу площадку;

- у теплообмінниках (рекуператорах) за рахунок тепла гарячого повітря, що виходить з охолоджувача агломерату.

Якщо в схемі очищення газів передбачене каталітичне очищення від окису вуглецю, рекомендується каталітичний реактор очищення від окислів азоту встановлювати після апарата очищення від CO , тому що в останньому аглогази будуть додатково підігріватися за рахунок тепла, виділюваного при реакції допалу CO .

3.3.2 Очищення газів від окислів азоту за мартенівськими печами

При установці каталітичного реактора після «мокрого» очищення газу повинні бути підігріті до оптимальної температури ($280\text{-}300^\circ\text{C}$). Підігрів перед очищенням може здійснюватися за рахунок подачі продуктів згоряння

від спалювання палива в камерних чи циклонних топках у газохід чи змішувач перед каталітичним реактором.

Схема очищення мартенівських газів від окислів азоту при «сухому» способі очищення газів від пилу може бути здійснена двома способами: з підігрівом газів, що очищаються, і без підігріву. При очищенні мартенівських газів від окислів азоту з підігрівом газів, що очищаються, каталітичний реактор устанавлюється після апарата, що вловлює пил. Оптимальна температура газів досягається подачею продуктів спалювання в камерах чи циклонних топках у газохід чи змішувач перед каталітичним реактором. При очищенні мартенівських газів від окислів азоту без підігріву газів, що очищаються, каталітичний реактор устанавлюється після апарата, що вловлює пил. Оптимальна температура газів досягається зменшенням виходу пари з котла-утилізатора шляхом відключення частини поверхні нагрівання. Через підвищену температуру газів, що очищаються, у цьому випадку потрібно устанавка високотемпературних електрофільтрів.

3.3.3 Очищення газів від окислів азоту за котлами ТЭЦ

При роботі котлів на твердому паливі (з великою запиленістю газів, що очищаються,) гази перед очищенням від окислів азоту повинні бути очищені від пилу. У цьому випадку технічні рішення аналогічні очищенню мартенівських газів.

Тема 3.4: «Очищення газів солянокислотних травильних ванн і ванн гарячого цинкування у волокнистих фільтрах»

Ступінь очищення приймають для газоочисток ванн гарячого цинкування – 70-90 %, для газоочисток солянокислотних ванн – 90 %. Розрідження до газоочистки повинно бути в межах 1000-1500 Па. Швидкість газу у волокнистих фільтрах прийняти 2,5 м/с. Передбачають рівномірне

зрошення циркулюючим розчином фільтрувальної тканини по висоті з розрахунку до $0,3 \text{ л/м}^2$. Гідравлічний опір волокнистого фільтра з вхідним і вихідним патрубками при включеній зрошувальній системі приймають 1000 Па.

Тема 3.5: «Очищення і знешкодження газів від агрегатів покриття (фарбування, епоксидні і пластикові)»

Попереднє очищення від органічних речовин виконується в топці, а остаточна – термokatалітичним способом у контактному апараті в присутності каталізаторів. Як каталізатор застосовують каталізатор НТК- 4, палладієвий каталізатор і ін. Даний спосіб очищення передбачає попередній підігрів газу в топці перед контактним апаратом до температури $450-500^{\circ}\text{C}$. Гідравлічний опір контактного апарата приймають не менш 4000 Па. Ступінь очищення приймають 95-98 %. Розміри реактора (кошиків) контактного апарата визначаються по навантаженню на каталізатор, прийнятої рівної $5-50 \text{ тис. год}^{-1}$.

Для охолодження димових газів перед вентилятором доцільно передбачати рециркуляцію, або рекуперацію газів, що сприяє підігріву газів перед контактним апаратом.

Тема 3.6: «Очищення газових викидів виробництв фріти, флюсів і ЕШП від фтористих з'єднань»

Очищення газів від фтористих з'єднань і пилу можна робити в трубах Вентурі, зрошуваних вапняним молоком з наступним уловлюванням краплинної вологи в краплевловлювачах. Ступінь очищення в трубах Вентурі від фтористого водню – 95-98 %.

Ступінь очищення в краплевловлювачах 90-95 % від краплинної вологи.

Швидкість руху вапняної суспензії в напірних трубопроводах – 1,5-2,5 м/с, у самопливних трубопроводах і лотках – 0,5-0,8 м/с. Вапняна суспензія подається на газоочистку з відділення готування з концентрацією 70-100 г/л. Відпрацьована вапняна суспензія з концентрацією 50-80 г/л виводиться з газоочистки в шламонакопичувач. Витрати свіжого вапняного і відпрацьованого розчинів визначаються розрахунком матеріального балансу по змісту фтористих з'єднань у газі, що очищається.

Швидкість газу в горловині турбулентного промивача приймають 60-80 м/с. Питома витрата поглинальної суспензії на зрошення – 0,9-1,5 л/м³ газу. Геометричні розміри турбулентного промивача визначаються наступними умовами:

- кут конфузора 20-10°;
- кут розкриття дифузора 5-10°;
- довжина горловини 0,5-1,0 діаметра горловини.

Швидкість газу у вхідному і вихідному перетинах промивача приймають 12-18 м/с.

Для зрошення турбулентного промивача застосовують евольвенти відцентрові форсунки. Для забезпечення ефективного розпилювання тиск перед форсунками повинне бути не менш 0,2-0,25 МПа. Для перекриття суспензією перетину горловини турбулентного промивача форсунки встановлюють у конфузорі на відстані 700-1000 мм від початку горловини.

Гідравлічний опір турбулентного промивача – 2500-3000 Па.

Для сепарації краплинної вологи з газу після турбулентного промивача передбачають інерційний краплевловлювач і циркуляційний збірник. Швидкість газу в живому перетині збірника приймають не більш 2,5-3 м/с. Для уловлювання краплинної вологи з газу передбачають установку краплевловлювачей типу відцентрових чи скрубєрів-краплевловлювачей з тангенціальним підведенням газу. Швидкість газу в поперечному перерізі краплевловлювача приймають 4-5 м/с, швидкість у

вхідному і вихідному патрубках 16-20 м/с. Геометричні розміри краплевловлювачів-скрубєрів визначаються наступними умовами:

- вхід газу в краплевловлювач виконують евольвентним, а вихід – тангенціальним (по обертанню газового потоку);

- вертикальні розміри приймають наступні: висота корпусу від осі входу до осі виходу газу дорівнює 4-5 діаметрам циліндричної частини; від осі входу від зрошувальних форсунок – 3-3,5 діаметра циліндричної частини; від зрошувальних форсунок до осі виходу (зона сепарації) 1,2-1,5 діаметра циліндричної частини;

- кут конусної частини з горизонталлю 45-60°.

Для здійснення суцільної водяної плівки на циліндричній поверхні відстань між форсунками (по довжині окружності) приймають 350-400 мм; живлення форсунок водою роблять через кільцевий колектор. Кількість технічної води, що підводиться, визначається з розрахунку 0,3-0,4 м³ на 1 м периметра краплевловлювача.

4 Загальні вимоги до установки й експлуатації електрофільтрів

Температуру газів перед електрофільтром забезпечують відповідно до техдокументації розроблювача електрофільтра. Мінімальна температура газів на виході повинна бути не менш чим на 20⁰С вище крапки роси (з врахуванням кислих компонентів, що містяться в газах,).

При замовленні електрофільтрів обмовляють необхідність устаткування газорозподільних ґрат і бункерів струшуючими механізмами для запобігання відкладень на них пилу.

Електрофільтри розраховані для роботи під розрідженням за умовами міцності корпусу, що не перевищує 500 кг/м². При більшому розрідженні необхідно передбачати посилення корпусу.

Ступінь очищення від пилу визначається в проекті установки, тому що залежить від фізико-хімічних властивостей газів, що очищаються, і пилу,

що осаджується, що впливають на вибір швидкості і часу перебування газів в електричному полі, а також від рівномірності газорозподілу, електричної схеми живлення, режиму струшування, якості теплоізоляції, способу вивантаження уловленого пилу і т.д.

Установку електрофільтра, як правило, передбачають у відкритому виконанні. Укриття бункерної частини електрофільтра обов'язково.

При вмісті в газах окислів сірки більш 1 г/нм^3 передбачають у проектах заходи, що виключають корозію і налипання пилу в електрофільтрах при пусках і зупинках газоочисток: посилена теплоізоляція, паровий обігрів бункерів, установка електрофільтрів в опалювальних приміщеннях, попередній підігрів перед пуском і ін.

Покривний шар ізоляції електрофільтрів, установлюваних поза будинком, виконують з тонколистової оцинкованої сталі. Для електрофільтрів, встановлюваних у будинку, допускається застосування покривного шару з покрівельної сталі з наступним фарбуванням лаком БТ-177 з алюмінієвою пудрою за 2 рази (або захист іншим лакофарбовим покриттям).

Для електрофільтрів, встановлюваних у будинку, передбачають спеціальні монтажні прорізи і підйомно-транспортне устаткування для виробництва ремонтних робіт. При установці електрофільтрів на відкритому повітрі передбачають можливість обслуговування їх транспортними і піднімальними засобами для виробництва ремонтних робіт. Передбачають необхідні проїзди і прорізи для обслуговування розташованих у районі установки електрофільтрів інших установок і споруджень.

Для живлення електрофільтрів застосовують напівпровідникові підвищувально-вирівнювальні електроагрегати на 250, 400, 600, 1000, 1600 мА постійного струму з амплітудним значенням напруги, що вирівняна, 80 кВ.

При видаленні з бункерів електрофільтрів уловленого пилу застосовують, як правило, сухий метод убирання пилу (системою

пневмотранспорту чи механічною системою убирання пилю в збірний бункер з наступним окомкуванням, якщо властивості пилю дозволяють її окомкувати; система видалення пилю зі збірного бункера зважується в кожному конкретному випадку в залежності від прийнятого методу утилізації уловленого пилю).

Список рекомендованої літератури

1 Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: Учебник для вузов.- М.: Металлургия, 1990 – 400 с.;

2 Денисов С. И. Улавливание и утилизация пылей и газов. – Киев: Высшая школа, 1992г. – 333с.;

3 Алиев Г.М.- А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справ. изд.- М.: Металлургия, 1986 – 544 с.;

4 Гурвиц А. А. Справочник по пылеулавливанню в металлургии. – М.: Металлургия, 1984 – 335с.;

5 Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий чёрной металлургии. – М: Гипромез, 1981 – 163 с.;

6 Указания по проектированию объектов энергохозяйства металлургических предприятий. Защита атмосферы от пыли и вредных химических веществ. – Харьков: Черметинформация, 1987 – 99 с.;