

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Л. П. Грес, О. О. Єрьомін,
Є. О. Каракаш, Ю. М. Радченко

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
(І частина)

Затверджено Вченою радою УДУНТ
як навчальний посібник
Протокол №1 від 26.09.2022

Дніпро 2022

УДК 669.046(076.3)

Грес Л. П., Єрьомін О. О., Каракаш Є. О., Радченко Ю. М. Екологічні аспекти металургійних технологій (1 ч.) : навч. посібник. – Дніпро: Україн. держ. ун-т науки і технол., 2022. – 106 с.

Екологічні аспекти металургійних технологій, що розглядаються в даному посібнику, є складовою загальних та фахових нормативних компетентностей, спрямованих на збереження навколишнього середовища, захист довкілля та утилізацію відходів металургійного виробництва, опанування яких передбачено освітньою програмою «Технології та обладнання металургійного виробництва» за спеціальністю 136 – Металургія (бакалаврський рівень), освітньою програмою «Промислова теплотехніка» (магістерського рівня) за спеціальністю 136 – Металургія та освітньою програмою «Технології захисту навколишнього середовища» (бакалаврського рівня) за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

В навчальному посібнику розглянуті технологічні процеси і конструкції допоміжного обладнання металургійних підприємств, питання енергоефективності металургійного виробництва та екологічні вимоги при виробництві металопродукції.

Призначений для студентів, що навчаються за спеціальностями 136 – Металургія та 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

Іл. 33. Табл. 20. Бібліогр.: 26 найм.

Рецензенти: В. В. Буличов, канд. техн. наук, доц. (каф. теплоенергетики УДХТУ, м. Дніпро), К. Г. Нізяєв, д-р техн. наук, проф. (завідувач каф. металургії чавуну і сталі УДУНТ, м. Дніпро), А. О. Чейлитко, д-р техн. наук, (завідувач каф. теплоенергетики та гідроенергетики ЗНУ, м. Запоріжжя)

© Грес Л. П., Єрьомін О. О., Каракаш Є. О.,
Радченко Ю. М., 2022

© Український державний університет науки і
технологій, 2022

ВСТУП

Сучасний етап розвитку чорної металургії характеризується прискоренням науково-технічного прогресу на основі інтенсифікації технологічних процесів, створювання ресурсозберігаючих технологій, підвищення їх енергоефективності та зниження шкідливих викидів в довкілля.

Головним та найбільш енергоємним обладнанням галузі є металургійні печі, які також являються одними із основних джерел шкідливих викидів в атмосферу та забруднювачами промислових міст України.

Сумарна ефективність роботи пічного обладнання залежить від умов та методів спалення палива, організації газодинаміки продуктів згоряння, фізико-хімічних, теплотехнічних та масообмінних процесів, ефективної роботи системи утилізації теплоти відпрацьованих димових газів, а також очистки газів від пилу та газоподібних шкідливих речовин.

Великою проблемою є забруднення міст, де скопичено промислове виробництво, у тому числі металургійне (Маріуполь, Кривий Ріг, Запоріжжя та інші міста України). Значна концентрація джерел шкідливих речовин на промислових підприємствах призводить до сильного локального забруднення в радіусі 30–50 км від металургійних підприємств, та в значній мірі визначають забруднення цих районів. Необхідно зазначити, що основна частка викидів утворюється в період технологічних процесів та спалення палива. В чорній металургії 90% теплової енергії одержують за рахунок спалення палива, а тільки 10% теплоти генерується за рахунок вигорання домішок металу та використання електричної енергії.

При підготовці цього учбового посібника автори використали узагальнені результати своїх наукових розробок, які також використовуються під час читання лекцій на кафедрі екології, теплотехніки та охорони праці Українського Держаного Університету науки і технологій.

В посібнику наведено матеріали досліджень екологічних аспектів металургійних технологій, що можуть бути корисними для студентів спеціальності 136 – Металургія, 183 – Технологія захисту навколишнього середовища та інших при вивченні теплотехнічних дисциплін і опануванні теплотехнічних компетентностей. Матеріали можуть бути використані спеціалістами відділу охорони навколишнього середовища металургійних та

машинобудівних підприємств.

1. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ

Гірничо-металургійний комплекс одна із найбільш забруднюючих галузей промисловості. Його викиди із стаціонарних джерел забруднення досягають 38% від загальної кількості викидів шкідливих речовин. Основними причинами цього є:

- відсутність належних механізмів правового та економічного стимулювання розвитку екологічно безпечних технологій та пристроїв. Плата за природокористування та штрафи за перевищення шкідливих викидів незначні. У той же час за кордоном штрафи за забруднення довкілля можуть спричинити банкрутство підприємства;
- використання застарілих технологій виробництва та обладнання. Як наслідок – висока енергоємність та матеріаломісткість, яка перевищує більш ніж удвічі відповідні значення промислово розвинених країн. У попередні роки на промислових підприємствах недостатньо передбачали природоохоронні заходи, а за існуючого планування обладнання складно розташувати очисні комплекси;
- високий рівень концентрації промислових об'єктів в окремих регіонах. Найбільша кількість металургійного, гірничодобувного, хімічного та машинобудівного виробництв розташована у Донецькій, Запорізькій, Дніпропетровській та Луганській областях;
- відсутність необхідного контролю за охороною навколишнього середовища.

Водночас гірничо-металургійний комплекс є основною базовою галуззю промисловості. Він забезпечує близько 50% валютних надходжень у країну. Металургії належить 13,4% товарної продукції, 6,5% чисельності трудящих, 14,2 і 15,6% відповідно споживання палива та електроенергії.

Мінімальні питомі викиди шкідливих речовин (кг на 1 т конверторної сталі) на підприємствах з повним металургійним циклом наведено у табл. 1.1 [1].

У містах з розвиненою металургійною промисловістю рівень забруднень пилом, NO_x , CO та CO_2 вищий, ніж у середньому по країні. У цих містах

також відзначається високий вміст специфічних домішок (аміак, фенол, нафталін, ціаністий водень та ін.), причому в окремих містах перевищення концентрацій становить 2–3 і більше разів вище. Так, великі концентрації пилу відзначаються у Кривому Розі; SO_x та NO_x – Алчевську; CO – Єнакієве.

Таблиця 1.1

Питомі викиди шкідливих речовин на підприємствах з повним металургійним циклом (кг /т конвертерної сталі)

Показник	Продукція металургійних переділів					
	кокс	агломерат	чавун	сталь	прокат	всього
Тверді викиди	(0,5 т) 0,28	(2 т) 0,8	(0,9 т) 0,396	(1 т) 0,6	(0,9 т) 0,0036	2,112
Газоподібні викиди	0,27	5,2	0,9	0,8	1,224	8,394
Усього	0,55	6,0	1,296	1,4	1,26	10,506

З 17 промислових міст Донецько-Придніпровського регіону у 12 містах забруднення довкілля перевищує середній рівень по Україні. Дніпро у цьому списку – четвертий. У цьому місті промисловими підприємствами та автотранспортом в атмосферу викидається близько 230 тис. т/рік шкідливих речовин, що становить приблизно 8% усіх викидів в Україні.

Відповідно до даних «Національної доповіді про стан навколишнього середовища України» ГДК шкідливих речовин у м. Дніпро постійно перевищуються. Так, по пилу перевищення становить 200%, монооксиду вуглецю – у 6 разів, сірководню – 17 разів, а по бенз(а)пірену – 20 разів. У місті є 22 основні стаціонарні джерела забруднення навколишнього середовища, які викидають у день 0,5 кг шкідливих речовин на одного жителя. Через інтенсивний рух автотранспорту на основних магістралях міста фактичні концентрації NO_x, CO, сажі, свинцю, формальдегіду часто перевищують ГДК в 5 разів.

Є також проблеми у місті із чистою водою. Близько 40 підприємств скидають неочищену воду в кількості 1,5 млрд м³/рік у річки та водойми. Значна кількість води фільтрується через ґрунт, забруднюючи ґрунтові води. Практично вся територія міста відноситься до зон сильного (10–12 ГДК) та

середнього (3–10 ГДК) забруднення підземних вод.

2. ШКІДЛИВІ ВИКИДИ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

У металургійному комплексі найбільша кількість шкідливих викидів утворюється на двох перших переділах – аглодоменному та конверторному. Тому основну увагу в цьому розділі буде приділено саме цим двом виробництвам.

Слід зазначити, що в сталеплавильному виробництві та прокатному переділі більшість шкідливих викидів утворюються в конвертерах та нагрівальних печах, так як це пов'язано зі спалюванням газоподібного палива.

Теплові процеси в конвертері супроводжуються значними виділеннями газу, що містять дрібнодисперсний пил. Кількість пилу залежить від витрати кисню, хімічного складу чавуну, складу шлакоутворюючих добавок, марки сталі, що виплавляється.

В електропечах спостерігається значно менша кількість питомих викидів. В цих печах виділення теплоти відбувається за рахунок електричної дуги. В процесі плавки утворюються гази, насичені пилом та іншими шкідливими речовинами. Кількість, склад і фізико-хімічні властивості пилогазових викидів залежать від ємності печі, складу шихти, марок сплавів, що виплавляються, і періоду плавлення.

У прокатному виробництві основні шкідливі викиди пов'язані із значним вмістом пилу на прокатних станах. При виробництві сортового металу виділяється значна кількість пилу. В обтискних станах запилення становить $4,5 \text{ г/м}^3$, а в листових станах – до $2,5 \text{ г/м}^3$. Боротьбу із запиленням здійснюють за допомогою парасолів або відсмоктуючих повітроводів в районі найбільшого виділення пилу. Для зачистки поверхні блюмів та слябів від окалини та пороків використовують машини вогневої зачистки. Газ, що виділився, насичується пилом, а потім змішується з атмосферним повітрям, витрата цього повітря становить 150–350 тис. $\text{м}^3/\text{год}$ з температурою 65–70 °С.

Агломерацією називається процес окускування шихтових матеріалів спіканням за рахунок спалювання палива (коксіка) у самому матеріалі.

Агломераційна шихта складається із залізорудного концентрату, залізної руди крупністю не більше 8–10 мм, поверненого некондиційного агломерату

крупністю 0–10 мм, колошникового пилю, окалини, стружки, піритових недогарків, вапняку (0–3 мм), коксика (0–3 мм) у кількості 4–6%, марганцевої руди та 7–9% вологи, необхідної для окомкування.

Схема агломераційної машини представлена на рисунку 2.1.

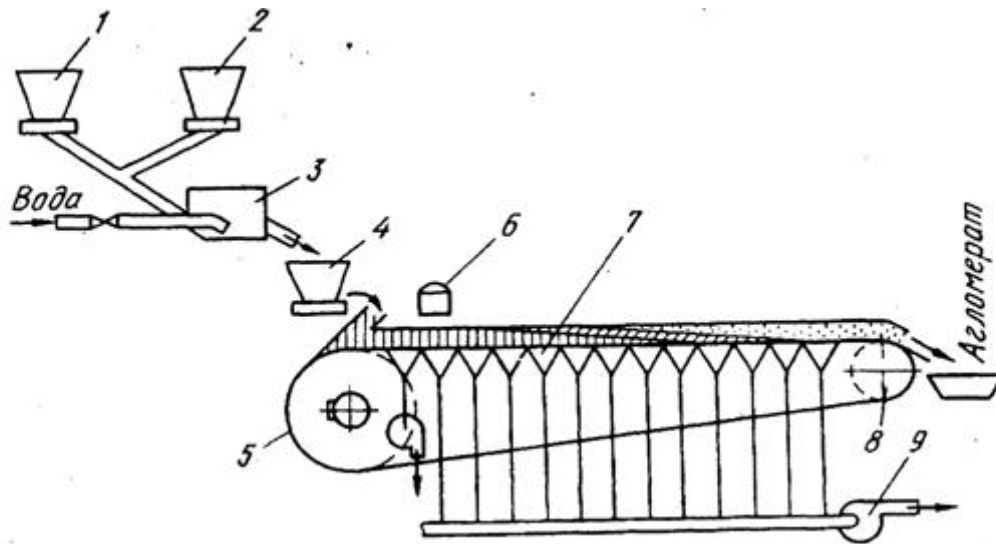


Рис. 2.1. Загальна схема агломащини:

- 1 – барабанний живильник; 2 – барабан для змішування шихтових матеріалів;
3 – барабан для окомкування; 4 – пристрій для подачі шихти; 5 – привідне колесо;
6 – запальний горн; 7 – аглострічка; 8 – ведуче колесо; 9 – ексгаустер

Шихта за допомогою барабанного живильника 1 подається на конвеєр, який рухається по напрямним рейкам. Конвеєр являє собою жолоб, що рухається, утворений спікальними візками (палетами), які приводяться в рух обертанням привідного колеса 5 за допомогою електродвигуна через редуктор. Процес агломерації починається у запальному горні. За допомогою ексгаустера через шихту безперервно просмоктується повітря, а гази, що утворюються в процесі агломерації, через вакуум-камери 7 і пиловловлювачі викидаються в атмосферу [2].

Процес спікання протікає поступово зверху вниз. Шар, що спікається, можна умовно розбити на кілька зон. У зоні I, що представляє спечений агломерат, відбувається його охолодження повітрям, що просмоктується, яке в свою чергу нагрівається. Тому цю зону називають зоною охолодження агломерату та нагрівання повітря. Нижче цієї зони знаходиться зона горіння та спікання II. За рахунок горіння палива температура в цій зоні досягає 1300–

1500 °С, що призводить до спікання частинок та утворення агломерату. Зону ІІІ називають зоною підігріву шихти. Тут за рахунок теплоти газів із попередньої зони відбувається процес теплообміну між газами та шихтою. У цій зоні відбувається випаровування вологи шихти, яка з газами переміщується вниз. Так як у нижніх шарах температура нижча, то водяна пара конденсується і шихта перезволожується. Тому нижню зону називають зоною перезволоження.

2.1. Характеристика шкідливих викидів в агломераційному виробництві

Процес отримання агломерату супроводжується значним викидом у навколишнє середовище пилу та газів. Основними джерелами забруднення середовища на аглофабриці є [3]:

- рудний двір (вагоноперекидачі, грейферні крани) – запиленість складає 15 г/т;
- корпус розподілу матеріалів (живильники, конвеєри) – запиленість 8 г/т;
- відділ дроблення вапняку (дробилки, гуркіти, конвеєри) – запиленість 8 г/т;
- відділ дроблення палива – запиленість 6 г/т;
- шихтовий відділ (дозатори, окомкувачі, перевантажники) – запиленість 8 г/т;
- корпус спікання – запиленість, г/т:
 - а) розвантажувальна частина машини (гуркіти, дробарка) – 850;
 - б) відділ повернення (барабани-охолоджувачі) – 175;
 - в) навантаження агломерату (агложолоб, хоппер) – 4000;
- відділ охолодження агломерату – запиленість:
 - а) лінійний охолоджувач – 1400;
 - б) гуркіти, навантажники – 300.

Часто використовують питомі значення запиленості (г/м³). У процесі розвантаження, дроблення, подрібнення та інших операцій з шихтовими матеріалами та агломератом запилення повітря становить: на трактах коксу, руди, колошникового пилу та шихти – до 1 г/м³, на тракті вапняку – до 2 г/м³, на тракті повернення дрібного агломерату – до 10 г/м³:

– газ, що утворюється в процесі спікання агломерату на аглострічці (перед газоочищенням). Запиленість газу становить $1\text{--}7\text{ г/м}^3$ і залежить від характеру шихти, технологічного процесу, виду ліжка та ін. Пил містить: 50% Fe, 10% SiO₂, 10% CaO, 2% C, 2% S, 2% MgO. Близько 50% пилу має розмір часток $< 0,07\text{ мм}$. Такий дрібнодисперсний пил потребує ефективних методів очищення.

Крім цього, аглогаз містить газоподібні шкідливі речовини: до 5% CO, 0,01–0,09% SO_x при малосірчистих та 0,1–0,6% SO_x при сірчистих рудах, до 0,1% NO_x, 5–20% CO₂:

– газ, що утворюється в процесі випалу вапняку на випалювальних машинах. Від цих машин відсмоктують 60–72 тис. м³/год газів із температурою 200 °C та запиленістю 2,5–4,0 г/м³. Газ містить ~ 25% CO.

2.2. Очищення агломераційних газів від пилу

Початкове очищення газів, що відсмоктуються, відбувається в збірному газопроводі, встановленому під вакуум-камерами. По всій довжині газопроводу є кишень, у яких осаджується пил. Кількість газів, що відходять, становить 300–880 тис. м³/год (залежно від типу агломашини), середня температура газів 150 °C, а розрідження за агломашиною становить 8–10 кПа.

Для забезпечення допустимих значень ГДК та нормальної роботи димососів вміст пилу в газі, що викидається в атмосферу, має бути не більше 70 мг/м³, а при використанні марганцевих та свинцевих руд – не більше 30 мг/м³.

На теперішній час в експлуатації знаходяться різні конструкції апаратів та систем для очищення агломераційних газів, які часто не задовольняють санітарним вимогам та технічним умовам.

На рисунку 2.2 наведено принципові схеми очищення аглогазів.

В старій системі очищення аглогазів (рис. 2.2, а) гази, що відводяться від зон спікання та охолодження агломерату, після механічного очищення в колекторі, надходять у батарейні циклони (мультициклони), що являють собою набір (> 500 шт.) циклонів діаметром $\sim 250\text{ мм}$. Ефективність роботи таких циклонів становить 70–80%, і вони не забезпечують необхідного очищення газу. На деяких агломераційних машинах замість мультициклонів використовують мокрі відцентрові скрубери з ґратами та футерованими

зсередини базальтовими плитами (рис. 2.2, б). Однак у процесі їх експлуатації відбувається швидке засмічення ґрат, що призводить до зростання газодинамічного опору системи та погіршення спікання агломерату. Крім цього, ця система очищення також малоефективна.

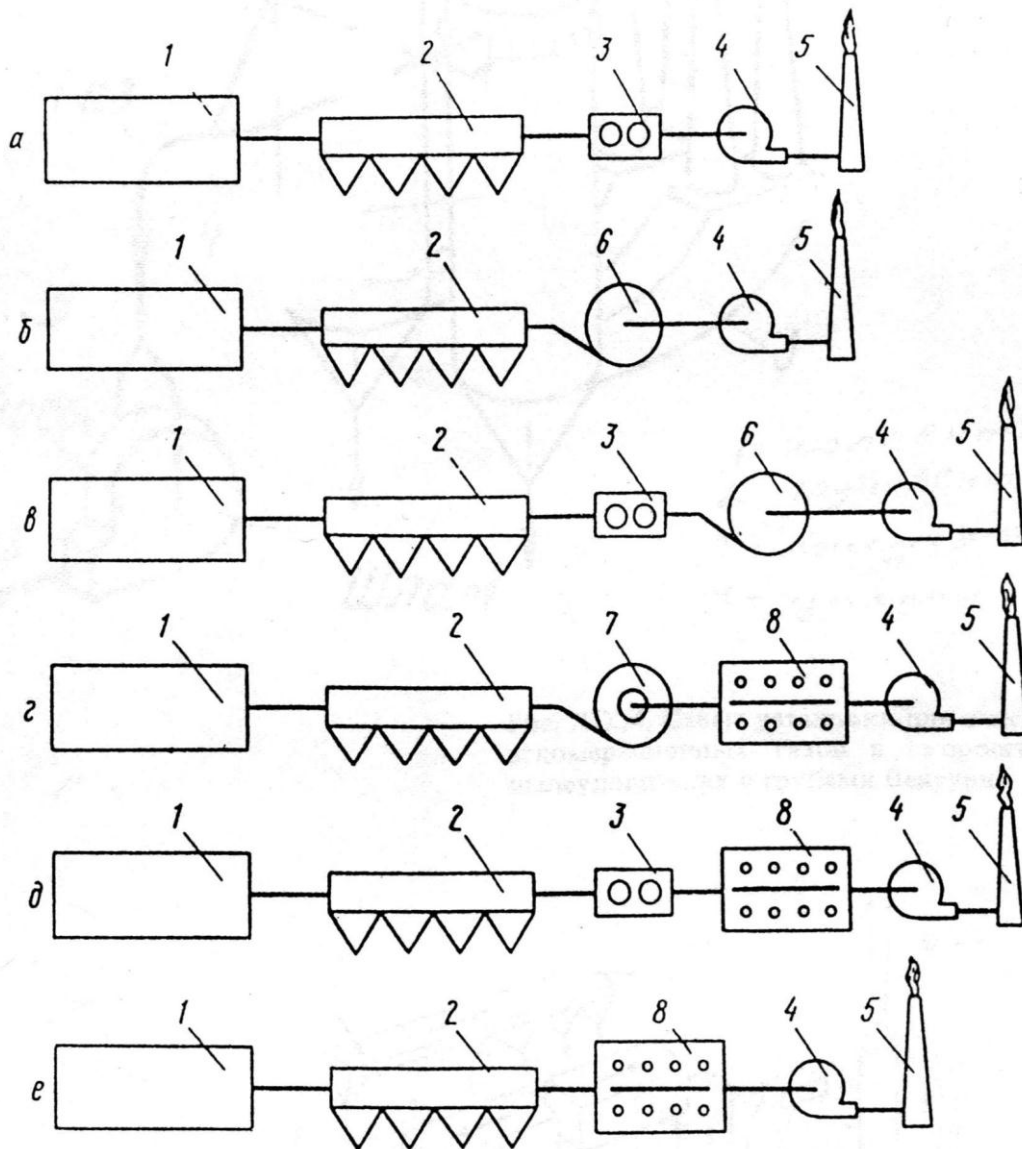


Рис. 2.2. Принципові схеми очищення газів від агломераційних машин:

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

В останні роки у зв'язку з форсуванням режиму спікання агломерату, використання тонкомолотих концентратів, розроблено та впроваджено більш ефективні способи очищення аглогазів. На ряді аглофабрик почали використовувати як мультициклони, так і відцентрові скрубєри (рис. 2.2, в).

Крім цього використовують також системи очищення газу, що складаються із сухих циклонів та багатопільних горизонтальних пластичних електрофільтрів (рис. 2.2, г).

Часто при модернізації старих систем газоочищення після мультициклонів встановлюють багатопільні пластинчасті електрофільтри (рис. 2.2, д). Мультициклони служать для грубого очищення газу від пилу. Для очищення аглогазів від пилу при основності агломерату $\leq 1,8$ після колектора рекомендується передбачати сухий пластинчастий електрофільтр (рис. 2.2, е).

На ряді металургійних комбінатів (ПАТ «Запоріжсталь») для очищення аглогазів була використана система із застосуванням швидкісних пиловловлювачів (рис. 2.3). Після колектору 1 газ надходить у блок із 4-х низьконапірних (до 200 Па) труб Вентурі 2, в яких здійснюється коагуляція пилу. Подальше очищення газу від пилу і краплинної вологи відбувається в інерційному пиловловлювачі 3 і встановлених за ним відцентрових циклонах 4.

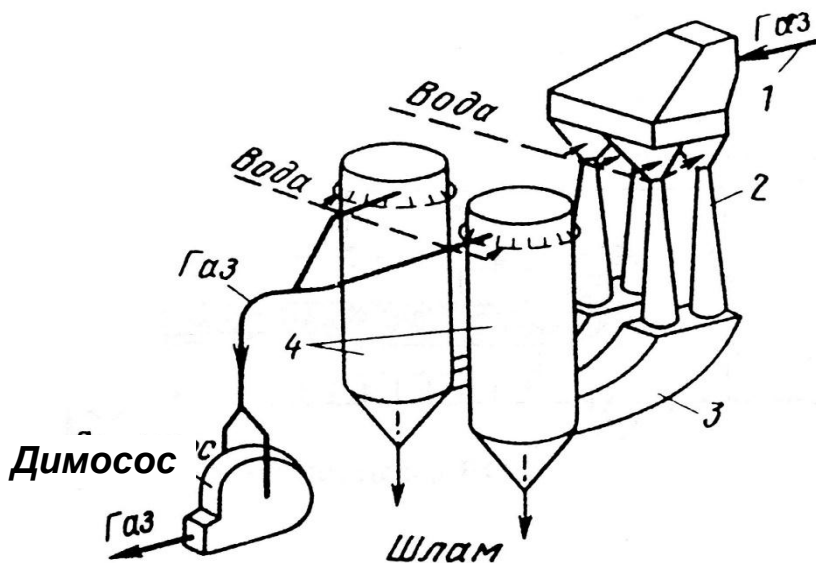


Рис. 2.3. Схема пристрою для очищення агломераційних газів у швидкісних пиловловлювачах з трубами Вентурі

Знаходять також застосування системи очищення газу, що включають циклони та блок низьконапірних труб Вентурі (рис. 2.4). Аглогаз після вакуум-камер надходить у колектори, з яких спрямовується в одиночні циклони, число яких відповідає числу вакуум-камер. Після цього газ надходить для подальшого

очищення через колектори-газозбірники в блок труб Вентурі та відцентровий скруббер.

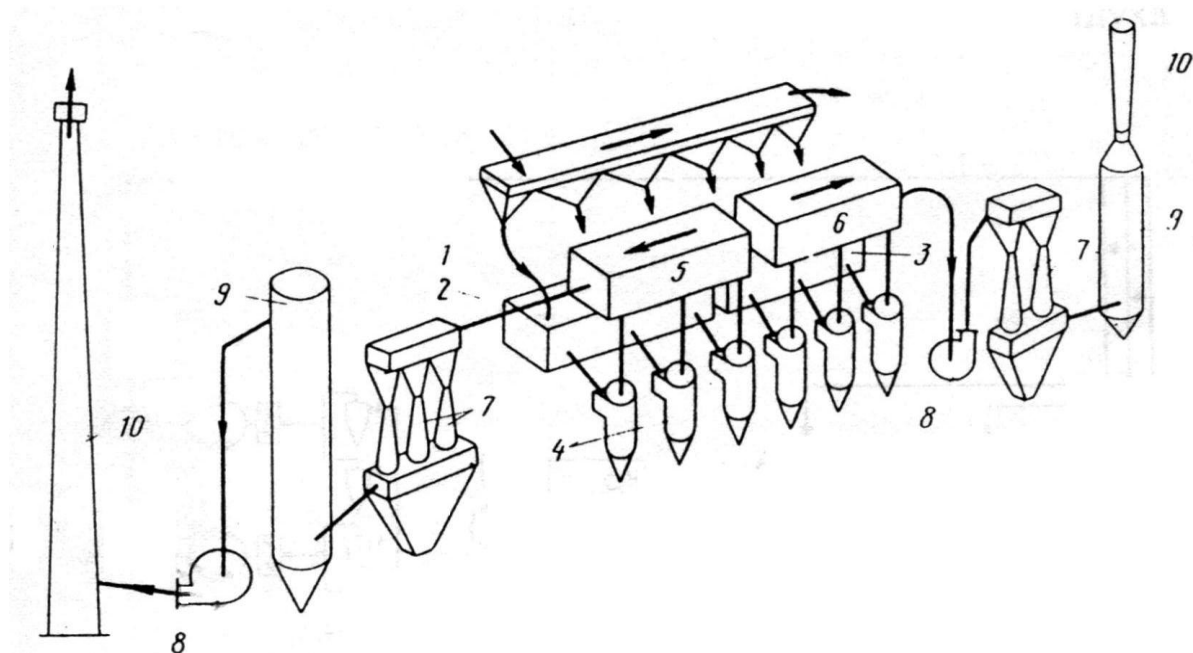


Рис. 2.4. Схема відведення та очищення газів від агломераційних машин:

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 скруббер; 10 – труба

В аглогазі є оксиди сірки, що утворюються у процесі спікання агломерату із сірки коксик. При використанні сухих апаратів для очищення газу оксиди сірки викидаються в атмосферу, забруднюючи її. Якщо застосовуються мокрі способи очищення газу, частина оксидів сірки розчиняється в зрошувальній воді, що призводить до зниження показника рН. Тому цю воду необхідно піддавати нейтралізації. Для цих цілей зазвичай використовують протиточні порожнисті форсуночні скрубери, в яких, як зрошувана рідина, використовується суспензія вапняку або суспензія гашеного вапна.

Крім очищення агломераційного газу на аглофабриках використовують аспіраційні системи очищення повітря. При відсмоктуванні повітря від перевантажувальних вузлів транспортерів, гуркотів, дробарок тощо застосовують сухі та мокрі способи очищення повітря в циклонах, скруберах, рукавних фільтрах та інших апаратах. На ПАТ «Запоріжсталь» передбачено централізоване очищення повітря, яке відсмоктується від хвостової частини агломашин, і немає вивантаження агломерату в хопери. Тут використовується

система очищення, що складається з батарейних циклонів, низьконапірних труб Вентурі та відцентрових скрубєрів.

Розглянуті схеми знепилення як технологічних, так і аспіраційних викидів агломераційних машин, є досить ефективними, так як вони можуть забезпечити необхідний нині рівень залишкової запиленості в 10 мг/м^3 .

Останнім часом розпочато використання системи очищення технологічних та аспіраційних викидів із застосуванням рукавних фільтрів із імпульсною регенерацією типу ФРІР. На цих фільтрах використовується схема наплення вапном або содою, що дозволяє знизити викиди оксидів сірки на 65–70%.

У таблицях 2.1 та 2.2 наведено основні показники роботи пиловловлюючих установок очищення технологічних та аспіраційних викидів агломераційної машини.

Таблиця 2.1

Очищення технологічних газів

Параметри	До реконструкції	Після реконструкції
Модель апарату	циклони	рукавний фільтр ФРІР-3000
Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$	80000	140000
Температура газів, $^{\circ}\text{C}$	200	200
Запиленість на вході, г/м^3	3,0–5,0	2,5–4,0
Запиленість на виході, мг/м^3	до 1000	16,0
Опір апарату, Па	1400–1500	2600–3000

Таблиця 2.2

Очищення аспіраційних газів

Параметри	До реконструкції	Після реконструкції
Модель апарату	циклони	рукавний фільтр ФРІР-3000
Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$	100000	100000
Температура газів, $^{\circ}\text{C}$	100–120	100–120
Запиленість на вході, г/м^3	2,0–4,0	2,0–4,0
Запиленість на виході, мг/м^3	до 1000	14,0
Опір апарату, Па	1400–1500	1800–2000

2.3. Заходи щодо зниження шкідливих викидів з аглогазом

2.3.1. Використання аглогазу в якості окислювача при спалюванні палива

Агломераційний газ містить не тільки шкідливі речовини (NO_x , SO_x , CO , пил – $1\text{--}7 \text{ г/м}^3$), а й значну кількість O_2 ($10\text{--}17 \%$). У зв'язку з цим цей газ можна використовувати як окислювач при спалюванні палива в теплових агрегатах, що знаходяться недалеко від аглофабрики (повітронагрівачі, котли та інші). Технологічна схема використання аглогазу в котлах ТЕЦ представлена на рисунку 2.5. При реалізації цієї схеми аглофабрика стає практично безвідходним по газовим викидам виробництвом та зменшується споживання атмосферного повітря. Сумарний обсяг газових викидів аглофабрики та ТЕЦ знижується на $35\text{--}40 \%$, ліквідується викид оксидів вуглецю аглофабрикою в атмосферу, питома витрата палива на ТЕЦ внаслідок допалювання горючих компонентів аглогазу зменшується на $3\text{--}5\%$ [4].

2.3.2. Рециркуляція аглогазу (технологія EOS)

Фірма Лургі (Франкфурт-на Майні) розробила технологію EOS (рис. 2.6), що дозволяє значно знизити обсяг агломераційних газів, що викидаються, завдяки чому фільтри для очищення від пилу та установки для поглинання шкідливих речовин можна зробити набагато меншими за розмірами [5]. Відповідно зменшуються капітальні та експлуатаційні витрати.

При звичайному агломераційному процесі через шихту просмоктується атмосферне повітря, основним завданням якого є передача теплоти всередині шихти, що спікається. Таким чином, теплопередача визначає кількість повітря, що просмоктується. На спалювання коксика витрачається лише частина кисню, що міститься в повітрі. Тому для просмоктування можна використовувати збіднений киснем газ без погіршення перебігу процесу спікання.

Для цього частину відпрацьованого газу ($\sim 50\%$) змішують з атмосферним повітрям і знову повертають на агломашину. У зв'язку з цим через трубу в атмосферу викидається $\sim 50\%$ первинного газу.

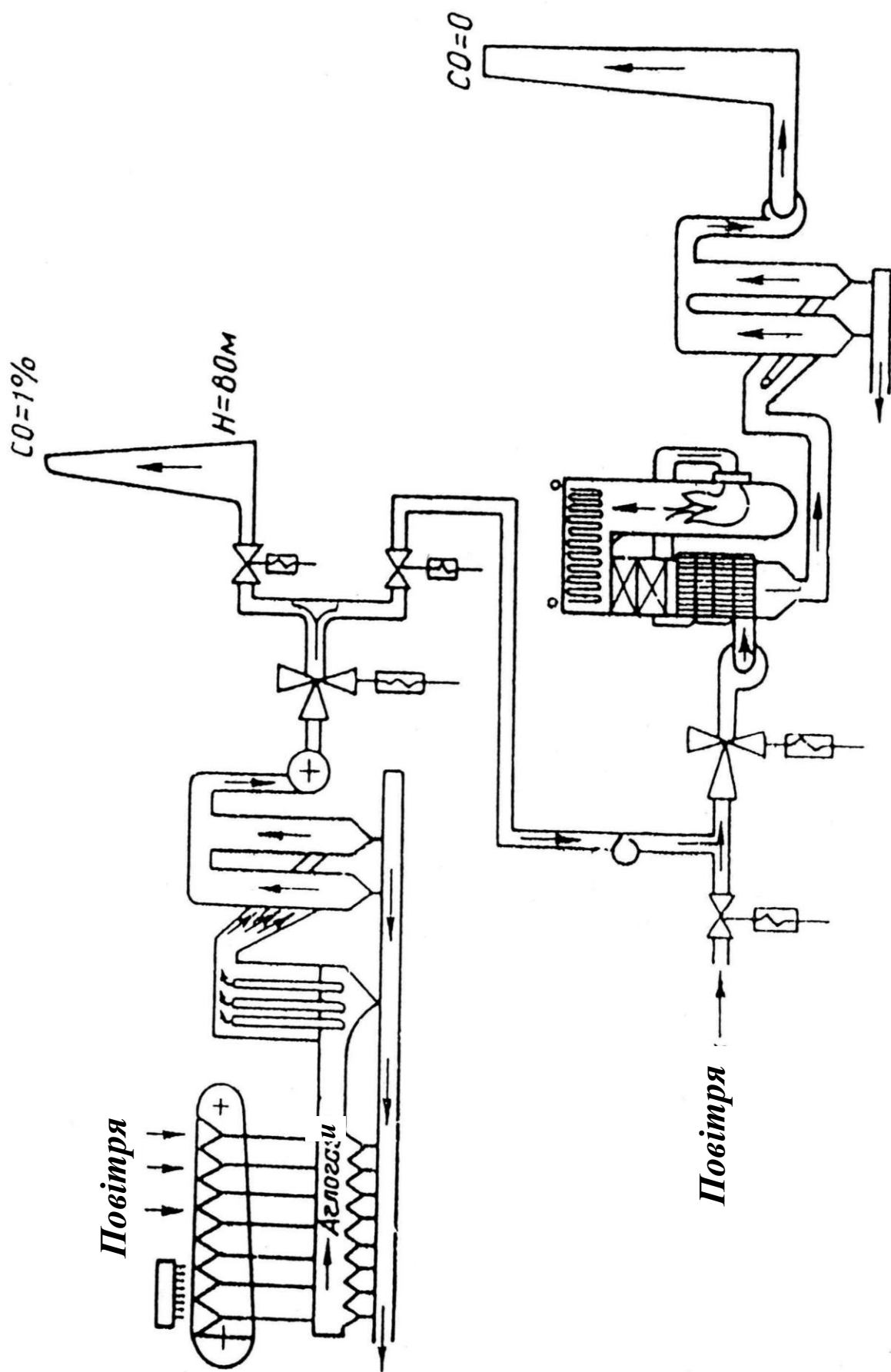


Рис. 2.5. Схема використання аглозату в якості окислювача при спалюванні палива

Реалізація цього заходу була здійснена на аглофабриці фірми Хооговен груп, Нідерланди. При цьому було передбачено таке:

- встановлення ковпака над аглострічкою;
- система рециркуляції газу із напірним вентилятором;
- система підведення атмосферного повітря;
- автоматизована система вимірювань та регулювання.

Принцип технології EOS представлено на рисунку 2.7.

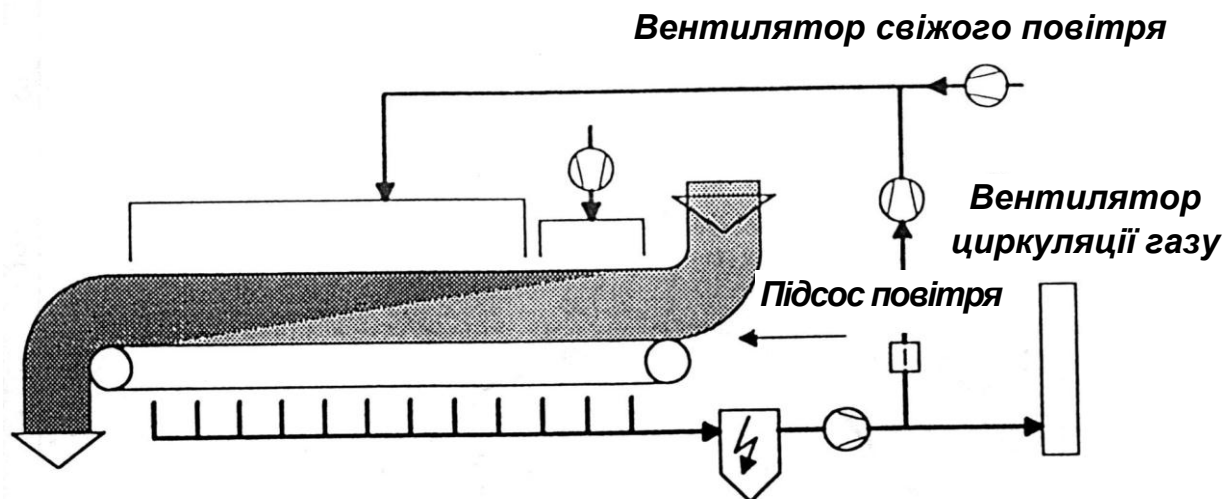


Рис. 2.6. Схема процесу EOS

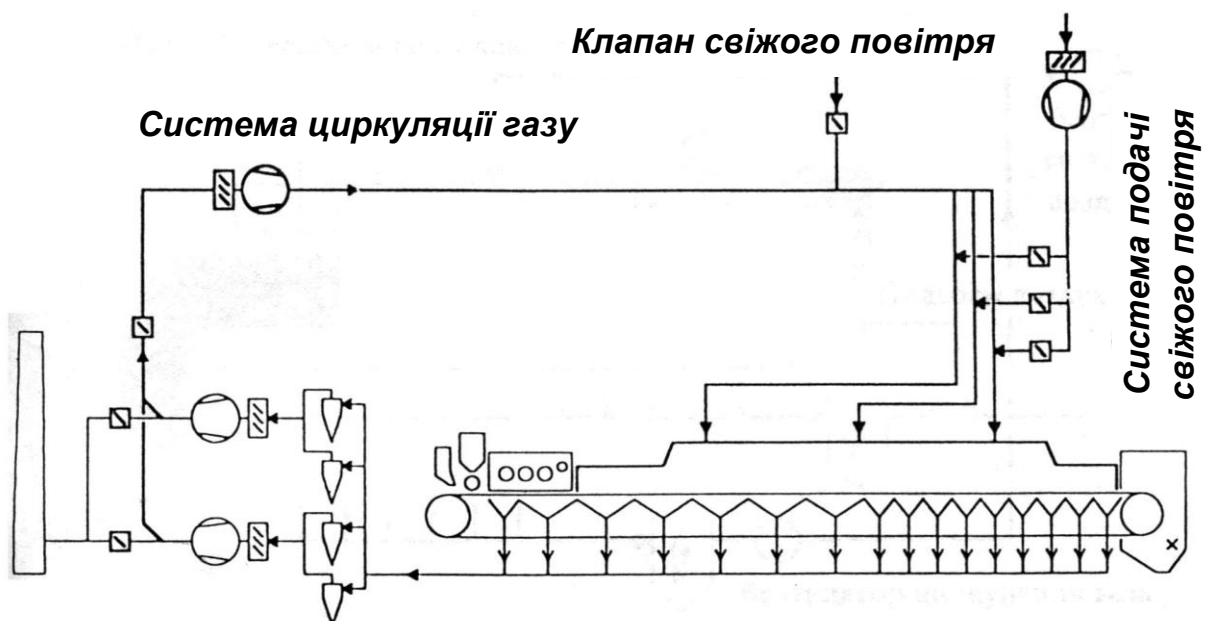


Рис. 2.7. Технологія EOS на агломашині 31

Аглогаз, що відходить, відгалужується за обома екстаустерами і подається під ковпак рециркуляційним вентилятором. Для регулювання необхідного мінімального вмісту O_2 в газі, що просмоктується, вентилятор подає також і атмосферне повітря, яке перемішується з рециркуляційним газом. Регульованими величинами є розрідження під ковпаком і вміст O_2 в суміші газу, що рециркулюється, та повітря.

За звичайною технологією агломерації середні значення шкідливих речовин в аглогазі наступні (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Вміст шкідливих речовин у відхідному аглогазі [5]

Вихід вологих відхідних газів, $\times 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$	364
Шкідливі речовини, $\text{мг}/\text{м}^3$:	
SO_2	600
NO_x	300
Діоксини/фурани	3
Пил, $\text{г}/\text{м}^3$	30

При впровадженні заходу щодо рециркуляції аглогазу відбулося зниження викидів шкідливих речовин (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Кількість викидів при роботі за технологією EOS, %
(робота при звичайній технології прийнята за 100 %)

Компоненти викидів	Виробництво низькоосновного агломерату	Виробництво високоосновного агломерату
CO	49	40
SO_2	68	66
NO_x	57	52
Діоксин	30	40
Пил	45	38

Механізм зниження виходу шкідливих речовин різний:

- монооксид вуглецю (CO) у циркуляційному газі практично допалюється повністю при проході через зону горіння;
- кількість оксидів сірки знижується за рахунок зменшення витрати коксика;
- вміст оксидів сірки (SO_x) можна значно знизити шляхом нанесення вапняного молока на шар шихти;
- вміст оксидів азоту (NO_x) знижується внаслідок зменшення кількості зв'язаного азоту коксика, термічного розкладання NO_x, позитивного впливу на процес згорання, що веде до зниження утворення NO_x.

Внаслідок впровадження рециркуляції аглогазу масовий вихід газу не зазнав значних змін. При цьому кількість вологи, що випаровується з аглошихти, практично не змінилася, однак, при меншому обсязі залишкового газу це призвело до відповідного підвищення вмісту вологи (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Склад відхідних газів (% об'ємний)

Компоненти	Спікання низькоосновного агломерату		Спікання високоосновного агломерату	
	по звичайній технології	по технології EOS	по звичайній технології	по технології EOS
CO ₂	4,5	8,5	6,8	9,6
H ₂ O	9,4	15,3	10,0	15,8
O ₂	14,6	10,1	13,1	9,7

Підвищення вологості газу не спричиняє жодних проблем. Поки що не спостерігалось ні утворення шару підвищеної вологості в шихті, ні підвищення корозії в системі відхідних газів.

В результаті подальших досліджень було помічено, що розподіл шкідливих речовин, особливо оксидів сірки, за довжиною агломашини є нерівномірним. Оксиди сірки, діоксини і фурани надходять в систему відведення відхідних газів виключно в задній частині агломашини. У зв'язку з цим було запропоновано цілеспрямовано використовувати для рециркуляції потік газу, який багатий на шкідливі речовини. При цьому діоксини здебільшого розкладаються.

2.4 Тести для самоконтролю

1. Яке паливо використовують при агломерації?
а) доменний газ; б) коксовий газ; в) коксик.
2. Яким чином поступає повітря для спалювання палива в агломашині?
а) за допомогою ексгаустера; б) вентилятором через трубопровід; в) використовується кисень, що знаходиться у шихтових матеріалах.
3. Де відбувається підпалення палива в агломашині?
а) в запалювальному горні; б) у верхній частині аглострічки; в) не запалюється.
4. Яка запиленість газу після аглострічки?
а) 1–7 г/м³; б) 15–20 г/м³; в) 500–650 мг/м³.
5. Чому в аглогазі знаходиться значна кількість СО (до 5%)?
а) внаслідок хімічного недопалу; б) фізичного недопалу; в) внаслідок значної кількості вуглецю у шихті.
6. Яка кількість аглогазу відводиться з аглострічки?
а) 150–250 тис. м³/год; б) 80–120 тис. м³/год; в) 300–880 тис. м³/год.
7. Яка повинна бути концентрація пилу в аглогазі перед димососом?
а) до 70 мг/м³; б) до 150 мг/м³; в) до 300 мг/м³.
8. Із яких пристроїв складається сучасна схема очистки аглогазу від пилу?
а) колектор з карманами, батарейний циклон, пластинчатий електрофільтр; б) колектор з карманами, батарейний циклон; в) колектор з карманами, електрофільтр.
9. Чому можливе використання аглогазу в якості окислювача?
а) наявність в ньому 10–17% О₂; б) наявність в ньому 19–20% О₂; в) наявність в ньому до 8% О₂.
10. За рахунок чого знижуються викиди шкідливих речовин при рециркуляції аглогазу?
а) значного зниження витрат аглогазу перед газоочисткою; б) повторне використання кисню, оксидів сірки та азоту, пилу; в) підвищення температури аглогазу.

11. Чим необхідно обладнати аглострічку при використанні рециркуляції аглогазу?

- а) накрити аглострічку ковпаком; б) подавати аглогаз в початкову частину аглострічки; в) подавати аглогаз в середню частину аглострічки.

12. За рахунок чого знижуються валові викиди СО при використанні рециркуляції аглогазу?

- а) за рахунок зниження кількості аглогазу, що викидається в довкілля; б) за рахунок використання СО як палива при агломерації; в) за рахунок збільшення тиску аглогазу.

13. Який механізм зниження викиду оксидів азоту при рециркуляції аглогазу?

- а) зменшення кількості зв'язаного азоту коксифікації;
- б) термічного розкладання NOx; в) значне зниження температури при агломерації.

3. ШКІДЛИВІ ВИКИДИ ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЇХ ЗНЕШКОДЖЕННЯ

Доменне виробництво – одне із основних джерел забруднення довкілля, тому що на його частку припадає $\approx 25\%$ від усіх забруднень переділів металургійного виробництва. Причому частка твердих викидів у доменному виробництві сягає 35%. Тут можна виділити 3 основні групи викидів:

- 1) тракт руху шихтових матеріалів;
- 2) тракт руху переробки рідких продуктів плавки;

3) викиди, пов'язані з очищенням доменного газу та його використанням для нагрівання дуття повітрянагрівачами, подачею шихтових матеріалів в піч за допомогою засипного пристрою, а також із короткочасними зупинками доменної печі.

3.1. Шкідливі викиди трактом руху шихтових матеріалів

В загальній сумі шкідливих виділень доменного виробництва на частку тракту руху шихтових матеріалів припадає 18%. Запиленість повітря на ділянках руху шихти:

- при розвантаженні сировини з вагонів (10 г/т);
- транспортування сировини (10 г/т);
- у підбункерній естакаді (1000 г/т);
- у бункерній естакаді (10 г/т).

При розвантаженні сировини пилоутворення знижуються за рахунок організації водяної завіси. З метою запобігання здування дрібних фракцій шихтових матеріалів під час зберігання їх у рудному дворі використовують воду, а в деяких країнах (Японія) спеціальні реактиви, що на поверхні матеріалів утворюють шкоринку. При транспортуванні матеріалів конвеєрами місця перенавантаження обладнують витяжними коробами.

Для вловлювання пилу, що утворюється під час подачі матеріалів бункера, використовуються аспіраційні системи.

Для знепилення вагон-терезів передбачають відсмоктування та очищення повітря. Для цього використовують два вентилятори, зазвичай продуктивністю до 25 тис. м³/год. Потім це повітря пропускають через батарейний циклон.

З метою зниження пилоутворення під час завантаження шихти використовують аспіраційні укриття. У багатьох доменних цехах застосовують загальні аспіраційні системи скіпової ями та ливарного двору, які мають загальні відсмоктувальні та пиловловлюючі пристрої, а також трубу для розсіювання викидів в атмосферу.

3.2. Шкідливі викиди трактом руху та переробки рідких продуктів плавки

Основними ділянками шкідливих викидів, пов'язаних з рухом та переробкою рідких продуктів плавки є [6]:

- 1) ливарний двір;
- 2) установки позапічної обробки чавуну;
- 3) розливні машини;
- 4) ділянки переробки шлаку, які включають:
 - грануляційні басейни чи відвали;
 - агрегати шлакопереробки.

Значення питомих викидів трактом руху та переробки рідких продуктів плавки наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Питомі викиди трактом руху та переробки рідких продуктів плавки

Ділянки викидів	Кількість викидів, г/т чавуна			
	пил	CO	SO _x	H ₂ S
1. Ливарний двір	400–700	700–1150	110–170	–
2. Обробні машини	40	60	–	–
3. Переробка шлаку	20	8	20	50

3.3. Пилогазові викиди на ливарному дворі

Ці викиди у часі змінні та їх максимальні значення спостерігаються у періоди випуску чавуну і шлаку. Так, у повітрі ливарного двору середня концентрація CO становить:

1) біля чавунної льотки – до 1250 мг/м³;

2) на рівні фурми – до 900 мг/м³;

3) біля шлакової льотки – до 700 мг/м³.

Концентрація SO_x біля шлакової льотки – до 30 мг/м³.

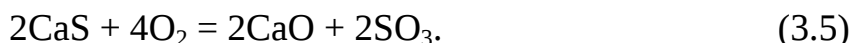
При русі чавуну в жолобі його температура знижується, що призводить до зменшення розчинності в ньому вуглецю та збільшення концентрації та розмірів графітових включень. Так як графіт не змочується чавуном, його щільність у 2–2,5 рази менша, ніж чавуну, тож графіт спливає на поверхню і легко здувається з неї вітром. У період знаходження маси чавуну в атмосфері відбувається реакція окислення чавуну, що переміщується, з киснем повітря.



Ці реакції супроводжуються сублімацією цих оксидів, утворюючи характерний бурий дим.

Сірка шлаку, що міститься у ньому переважно як CaS, окислюється до

SO₃.



В сьогоднішній шкідливі викиди на ливарному дворі доменних печей України, в основному, знижують лише за рахунок аераційних ліхтарів будівлі ливарного двору.

В останні роки в Україні почали використовувати закордонні розробки щодо зниження шкідливих викидів на ливарному дворі на ПАТ «Запоріжсталь», ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та ін. Головний і допоміжні жолоби футеруються вогнетривкою масою, а самі жолоби накриваються вогнетривкими перекриттями.

Гази, що утворюються в процесі окислення чавуну, очищаються у спеціальних пристроях.

Важливою умовою ефективної роботи модернізованого жолобу є достатня стійкість перекриття та жолобів.

Термін служби таких жолобів становить до 300–600 тис. тон чавуну із проведенням проміжних ремонтів через 40–70 тис. тон.

Для очищення газів, що утворюються під час руху чавуну, використовуються батарейні циклони та електрофільтри, а останнім часом – тканинні фільтри.

В Японії для запобігання окислення чавуну при зливі його в ківш використовують систему подачі інертного газу (азот) навколо струменя металу.

На Косогорському метзаводі (Російська Федерація) для цих цілей здійснюють спалювання природного газу під горловиною ковшу, що призводить до зниження концентрації кисню на поверхні розплаву.

3.4. Шкідливі викиди в період позапічної обробки чавуну (десульфуріяція чавуну)

Для підвищення якості чавуну використовують пристрої для десульфурії в ковші. В якості реагентів застосовують металевий Mg або суміші на його основі з добавками флюсу і карбїду кальцію.

У процесі десульфурії відбувається окислення чавуну та виділення пилу в атмосферу. Цей пил містить 45–60% оксидів заліза, кальцію, магнію,

алюмосилікату, а також 40–55% графіту. Так як порошинки графіту обволікаються оксидами заліза, то вони мають електромагнітні властивості, тому можна застосовувати електрофільтри. У деяких випадках ці газы очищуються за допомогою мокрого очищення у трубах Вентурі.

Фахівцями ТОВ НВП «Дніпроенергосталь» (м. Запоріжжя) розроблено аспіраційну систему десульфурації чавуну (рис. 3.1).

Запилене повітря, що відбирається витяжним коробом від ковша, надходить у перший ступінь очищення – батарейний циклон, де відбувається вловлювання великих частинок пилу, а також часткове або повне «загасання» іскор, що утворюються при контакті магнію з рідким чавуном. Далі повітря прямує у рукавний фільтр з імпульсною регенерацією, де відбувається його доочищення. Очищене повітря за допомогою димососу викидається в атмосферу через димар.

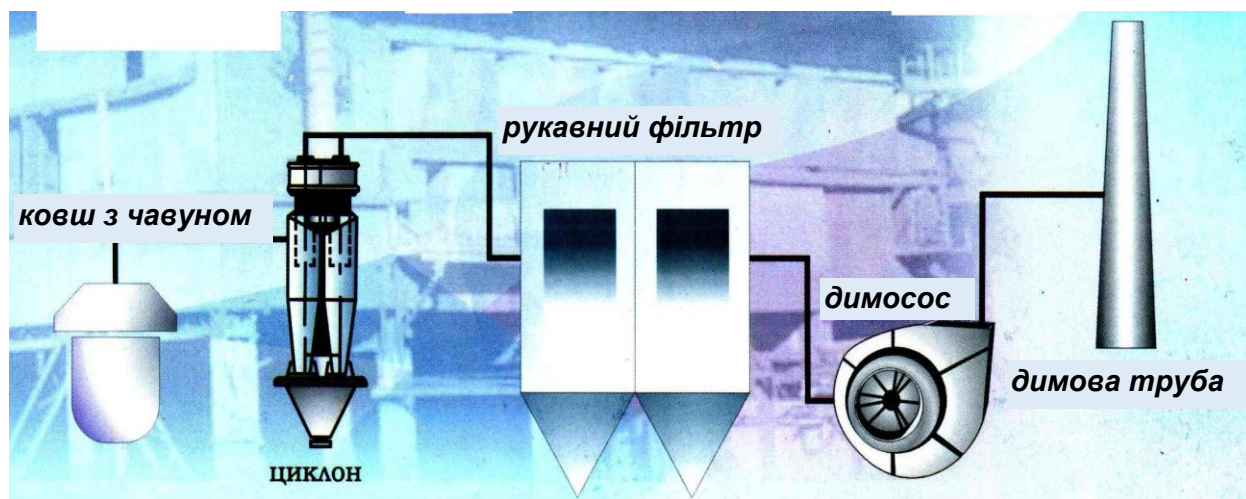


Рис. 3.1. Аспіраційна система десульфурації чавуну

3.5. Очищення доменного газу від пилу

В процесі виплавки чавуну у доменній печі утворюється запилений газ. Його очищають від пилу і використовують як паливо. Близько 30 % його кількості застосовують для опалення доменних повітрянагрівачів. Питомий вихід доменного газу становить 2000–3000 м³/т чавуну. На виході з печі його запыленість та температура становлять відповідно 15–20 г/м³ та 300–400 °С.

Для очищення доменного газу від пилу застосовують мокрі та сухі

способи очищення. Запиленість очищеного газу не повинна перевищувати 4 мг/м^3 .

В Україні найпоширеніша мокра система очищення газу (рис. 3.2).

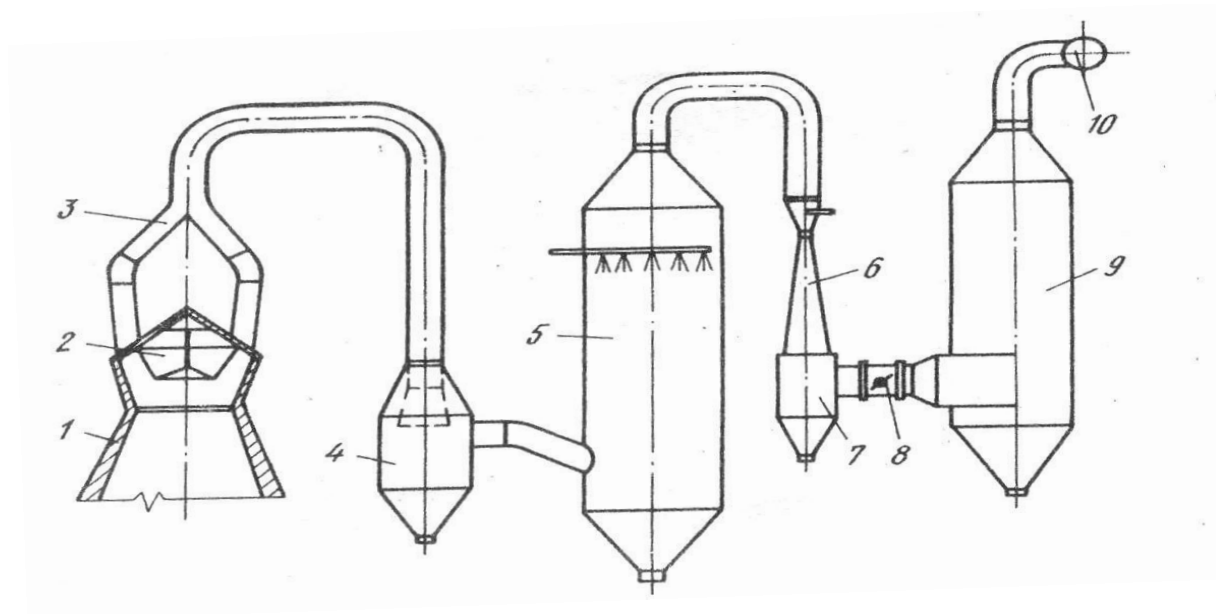


Рис. 3.2. Мокре очищення доменного газу від пилу

Газ з колошника 2 доменної печі 1 за допомогою здвоєного газопроводу 3 відводиться в систему газоочищення. В сухому пиловловлювачі інерційного або відцентрового типу 4 доменний газ очищується від значної кількості пилу до пилу-вмісту $5\text{--}10 \text{ г/м}^3$. У скрубєрі 5 за допомогою води, що подається форсунками, газ охолоджується і очищується до запиленості $2\text{--}3 \text{ г/м}^3$. Остаточне очищення газу здійснюється в швидкісному пиловловлювачі з трубами Вентурі 6 та у відцентровому скрубєрі 9. Краплі рідини виводяться з газу в інерційному пиловловлювачі 7. Очищений газ відводиться в колектор чистого газу 10, звідки подається споживачам. Для підвищення тиску газу в доменній печі перед відцентровим скрубєром встановлюють дросельну групу 8.

Фахівцями ТОВ НВП «Дніпроенергосталь» (м. Запоріжжя) розроблено систему сухого очищення доменного газу (рис. 3.3).

Сухий спосіб очищення доменного газу має ряд переваг у порівнянні з мокрим очищенням із застосуванням скрубєрів і труб Вентурі:

- відсутність оборотного циклу водопостачання газоочищення, трубопроводів води та шламу, насосів, відстійників шламу та ін.;
- вловлений продукт (пил) – знаходиться в сухому стані і легко може

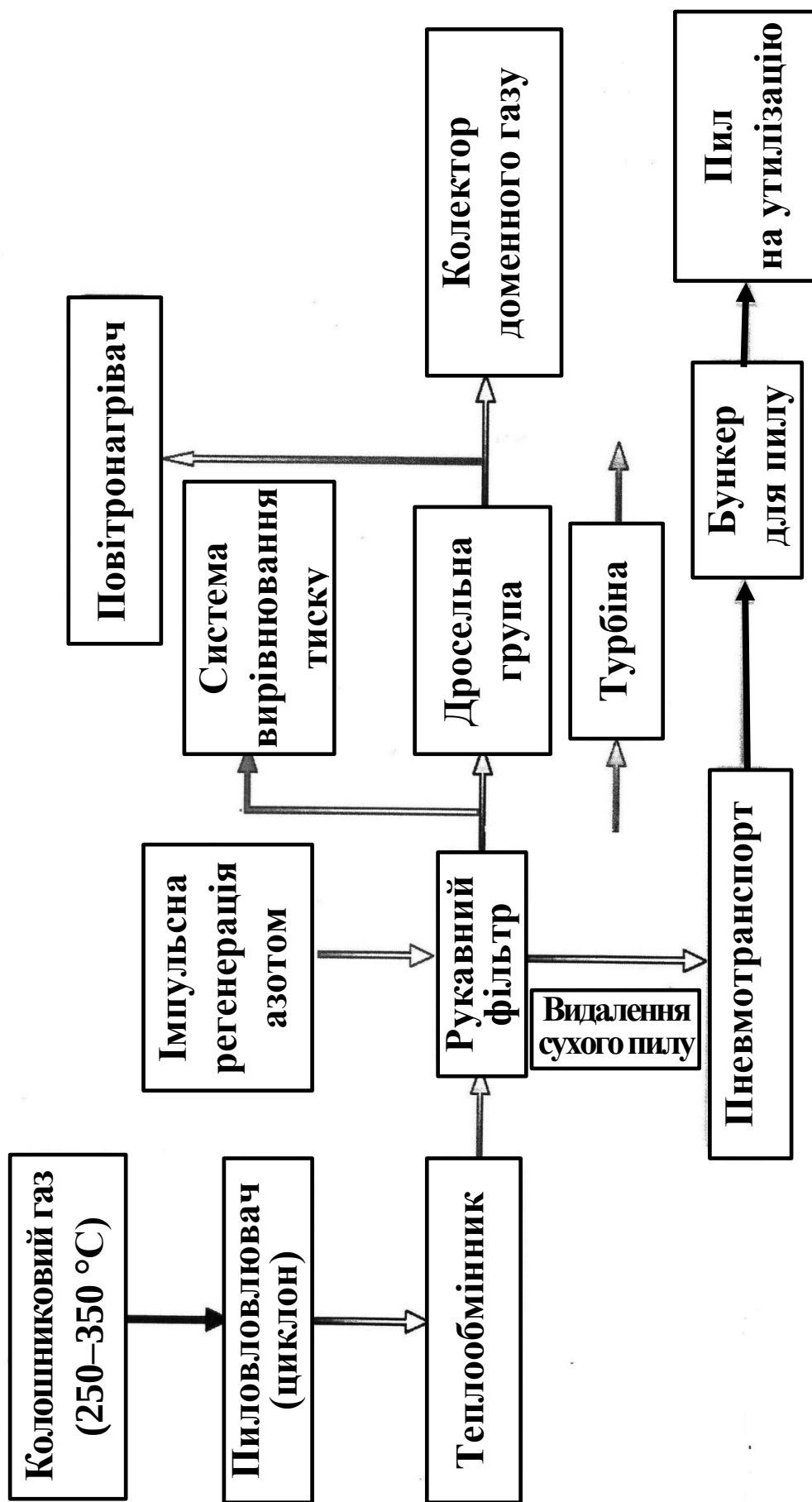


Рис. 3.3. Схема сухого газоочищення доменних печей з використанням рукавних фільтрів

бути підданий утилізації;

- зменшується концентрація пилу в газі до 2–3 мг/м³, що призводить до підвищення терміну служби повітрянагрівачів;

- температура газу після очищення становить 100–120 °С, що на 50–70 °С вище, ніж при мокрому очищенні. Це призводить до зниження вологості доменного газу та підвищення теплоти згоряння газу. Все це дозволяє підвищити температуру горіння газу та, як наслідок, збільшити температуру нагрівання дуття;

- покращується екологічна обстановка промислової зони у зв'язку з більш якісним очищенням газу від пилу та усуненням шламового господарства;

- загалом, собівартість сухого очищення доменного газу значно нижча порівняно з мокрим способом очищення.

До складу системи сухого очищення доменного газу входить:

- газохід, що з'єднує міжконусний простір доменної печі із системою очищення газу;

- пиловловлювач для грубого очищення газу;

- теплообмінник-охолоджувач газу, де температура газу знижується до 230–280 °С;

- блок рукавних фільтрів, що має від 8 до 16 секцій, розміщених у два ряди (одна-дві секції є резервними, одна перебуває у режимі імпульсної очистки азотом, інші секції – робочі, тобто знаходяться в режимі очищення газу. В якості фільтрувального матеріалу встановлена тканина з підвищеною жаростійкістю та зносостійкістю. Ця тканина після хімічної обробки легко очищується від пилу під час імпульсного очищення і має підвищені водо- та масловідштовхувальні властивості);

- системи подачі азоту на продування фільтру;

- вузол збору вловленого пилу.

При цьому, сухе очищення доменного газу має ряд недоліків;

- у зв'язку з низькою жаростійкістю тканинних фільтрів необхідно знижувати температуру доменного газу з 300–400 °С до 230–280 °С, що призводить до зменшення фізичної теплоти очищеного доменного газу та температури його горіння;

- доменний газ містить сполуки азоту та сірки. При використанні мокрого газоочищення H_2S , COS , ціаніди, родоніди, нітрати та нітриди частково

розчиняються у воді, що призводить до часткового очищення газу від сірко- та азотовмісних сполук. При сухому газоочищенні ці з'єднання залишаються в доменному газі.

3.6. Шкідливі викиди під час шлакопереробки

Досить довгий час вважалося, що шлаки є відходами доменного виробництва. В останні роки ставлення до цих шлаків змінилося завдяки розширенню сфери застосування продуктів їхньої переробки. Питомий вихід доменного шлаку становить 350–470 кг/т чавуну і цей шлак містить 0,4–1,1% S.

Доменні шлаки є найважливішим вторинним матеріальним ресурсом, що підтверджується їхньою повною переробкою в такі продукти, як гранульований шлак, щебінь, пемзу, литі вироби та мінеральну вату.

Доцільно зазначити, що з економічного погляду переробка шлаку знижує техногенний тиск на довкілля, звільняючи земельні площі для рекультивації ландшафту.

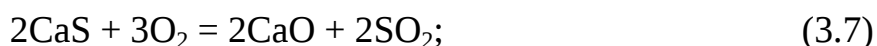
Переробка доменного шлаку здійснюється з використанням наступних технологій:

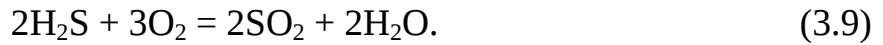
1. Злив шлаку у відвали. Це старий спосіб переробки шлаку і він використовується рідко. Після його остигання внаслідок вивітрювання та вимивання атмосферною вологою відвали забруднюють як повітряні, так і водні басейни.

2. Застосування шлаковозних ковшів із наступною переробкою рідкого шлаку поза доменного цеху. В основу покладено спосіб мокрої грануляції, реалізованої у вигляді центральних грануляційних систем.

3. Без застосування шлаковозних ковшів із переробкою рідкого шлаку безпосередньо біля доменних печей. Тут також використано метод мокрої грануляції, реалізованої у вигляді систем припічної грануляції шлаку.

Грануляція шлаку призводить до викидів в атмосферу H_2S та SO_x . Під час переробки 1 т шлаку виділяється близько 17 кг сірки.





Перші два типи переробки шлаку вимагають великого парку шлаковозних ковшів та виділення місць для їх обслуговування. Крім цього, вони не є екологічно чистими через наявність неорганізованих викидів сірчистих газів та пилу. Вони також вимагають значних земельних територій для свого розміщення.

4. Використання ерліфту. В даному випадку частки шлаку транспортуються потоком води за допомогою своєрідного струменевого насосу.

Технологічна схема грануляційної установки для доменної печі об'ємом 5000 м³ (ПАТ «АрселорМіттал «Кривий Ріг») представлена на рисунку 3.4 [7].

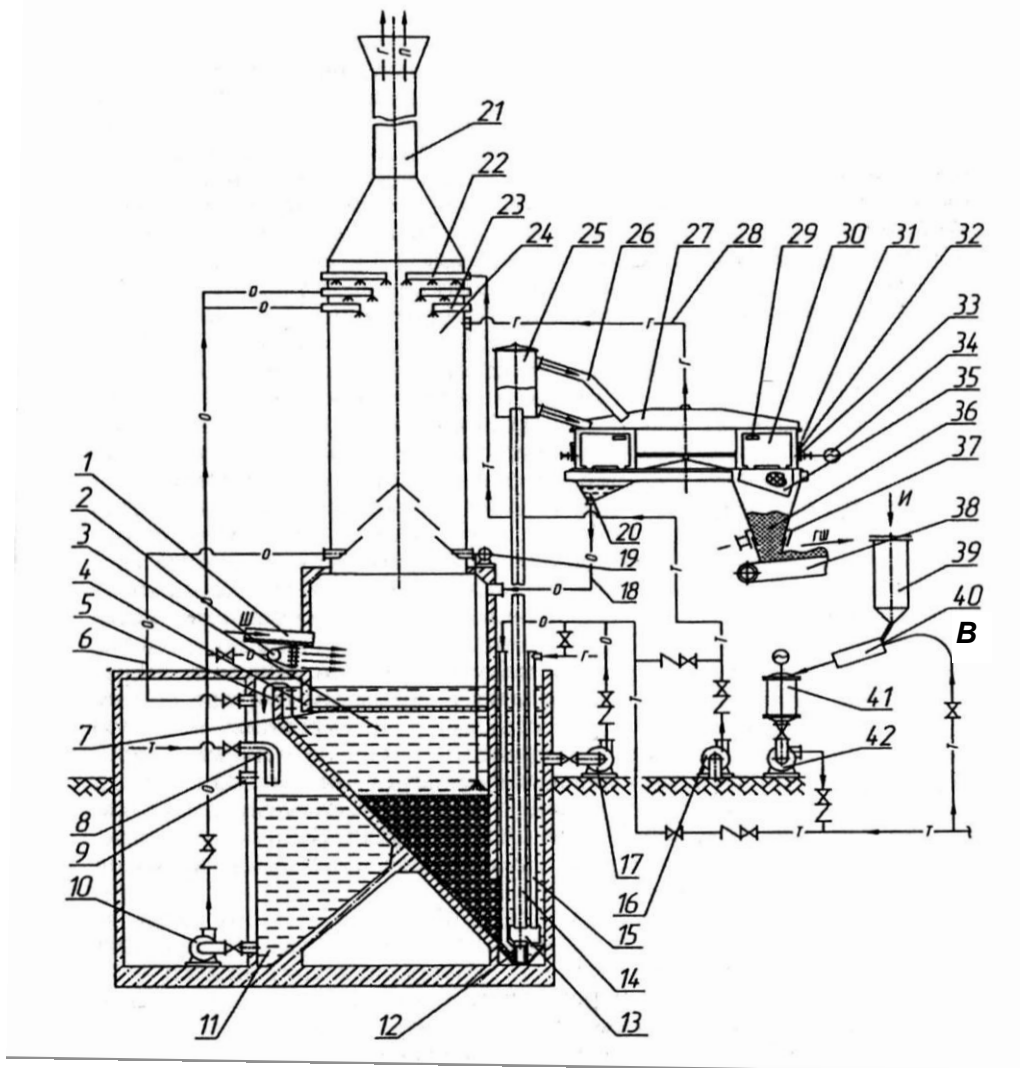


Рис. 3.4. Технологічна схема грануляційної установки біля доменної печі об'ємом 5000 м³ (позначення за текстом):

Ш – шлак рідкий; ГШ – шлак гранульований; Т – вода технічна;

О – вода зворотна; Г – газ (повітря); П – пара; В – вапно.

Позиції 1–42 – у тексті

Шлак із печі, стікаючи по жолобу 1, потрапляє під струмені гідромоніторів 2. В результаті утворюється трифазна суміш – пара, вода та краплі рідкого шлаку. Суміш води та шлаку потрапляють у бункер-відстійник 3, заповнений водою. При цьому шлак охолоджується, твердне і опускається на дно бункера. Вода з бункера-відстійника переливається через стінку 5 в камеру зворотної води 11. Грати 7 служать для затримки великих шматків шлаку.

В колодязі 12 змонтована ерліфтна система, що включає три труби. Перша – для підведення води, що змучує 13. Друга труба є підземною 14 і транспортною, через третю повітряну трубу 15 подається повітря, необхідне для утворення суміші води з гранульованим шлаком. Верхній кінець підземної труби підведений до сепаратора 25, де від пульпи відокремлюються відпрацьоване повітря та пара.

Зневоднений до 10–15% шлак з температурою до 200 °С в приймальному бункері додаткового підсушується холодним повітрям.

Очищення від сірчистих з'єднань здійснюється промиванням газів зворотною водою. Для більш глибокої очистки газу від сірчистих сполук використовується вапняний розчин.

Описана система дозволяє перевести сірчисті сполуки в кальцеві, що значно знижує концентрацію забруднювачів атмосфери. При цьому концентрація H_2S на виході з витяжної труби не перевищує 20 мг/м³, а у приземному шарі – 3 мг/м³.

3.7. Шкідливі викиди, пов'язані з подачею шихтових матеріалів в доменну піч за допомогою засипного пристрою

При кожній подачі шихтових матеріалів у приймальну воронку засипного пристрою відбувається значне виділення пилу. При подачі шихти на великий конус засипного пристрою необхідно вирівнювати тиск по обидва боки конуса, для чого брудний доменний газ із міжконусного простору випускають в атмосферу. З цим газом викидається в атмосферу близько 4 кг пилу, 2 кг CO, 0,5–3,0 г H_2S на 1 т чавуну, що виплавляється.

На металургійних підприємствах використовують кілька схем очищення газів із міжконусного простору.

На рисунку 3.5 представлена стара схема очищення газів із міжконусного

простору. Газ звільняється від крупного пилу в зрошуваному водою газоході 7, а коагуляція дрібнодисперсного пилу здійснюється у вертикальній трубі Вентурі 3. Очищення газу від укрупненого пилу відбувається в відцентровому скрубєрі 5 основної системи очищення доменного газу. Для збільшення енергії газового потоку при проходженні ним труби Вентурі до неї подають частину газу, що пройшов порожнистий скрубєр доменного газоочищення. Він інжектує у трубу Вентурі газ із міжконусного простору. За допомогою клапанів у газовому тракті газоочищення підтримується позитивний тиск. Недоліком цієї схеми є утворення значних відкладень пилу у газоході та низька ефективність роботи інжектору.

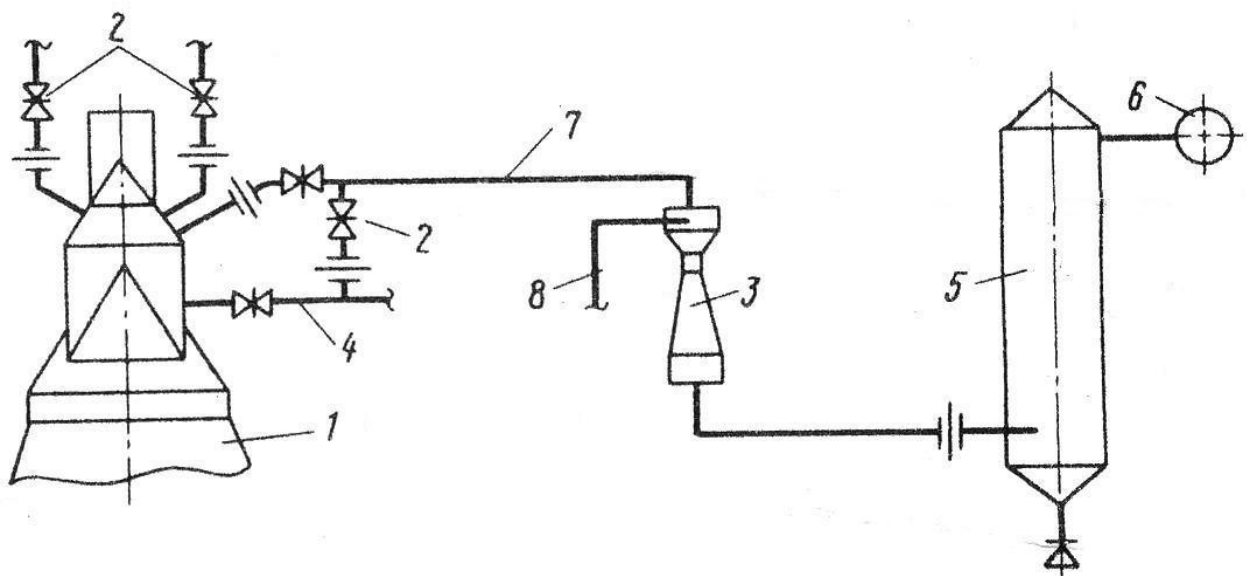


Рис. 3.5. Схема очищення газів із міжконусного простору:

- 1 – доменна піч; 2 – атмосферний клапан; 3 – труба Вентурі; 4 – зрівняльний газопровід;
5 – система газоочищення доменної печі; 6 – колектор очищеного доменного газу;
7 – зрошувальний газохід; 8 – трубопровід напівчистого газу після скрубєру

ТОВ НВП «Дніпроенергосталь» (м. Запоріжжя) розроблено систему очищення зрівняльного газу для безконусного завантажувального пристрою доменної печі (рис. 3.6).

Основним елементом даної системи є фільтр, завданням якого є високотемпературна фільтрація запиленого доменного газу, що відбирається з газоходу для подачі в завантажувальний пристрій та створення там надлишкового тиску, що дорівнює тиску в доменній печі.

Запилений доменний газ, пройшовши очищення у фільтрі, прямує в завантажувальний пристрій, створюючи тим самим тиск, практично рівний тиску в доменній печі.

Після вирівнювання тиску шихта надходить у доменну піч. Після цього завантажувальний пристрій закривається і необхідно зменшити тиск газу, що там залишився, до атмосферного. Для цього запилений газ, що поступає із завантажувального пристрою, надходить у фільтр і далі в газохід чистого доменного газу.

Дані пропозиції дозволяють значно спростити систему зрівняльних клапанів та значно знизити викиди шкідливих викидів в атмосферу.

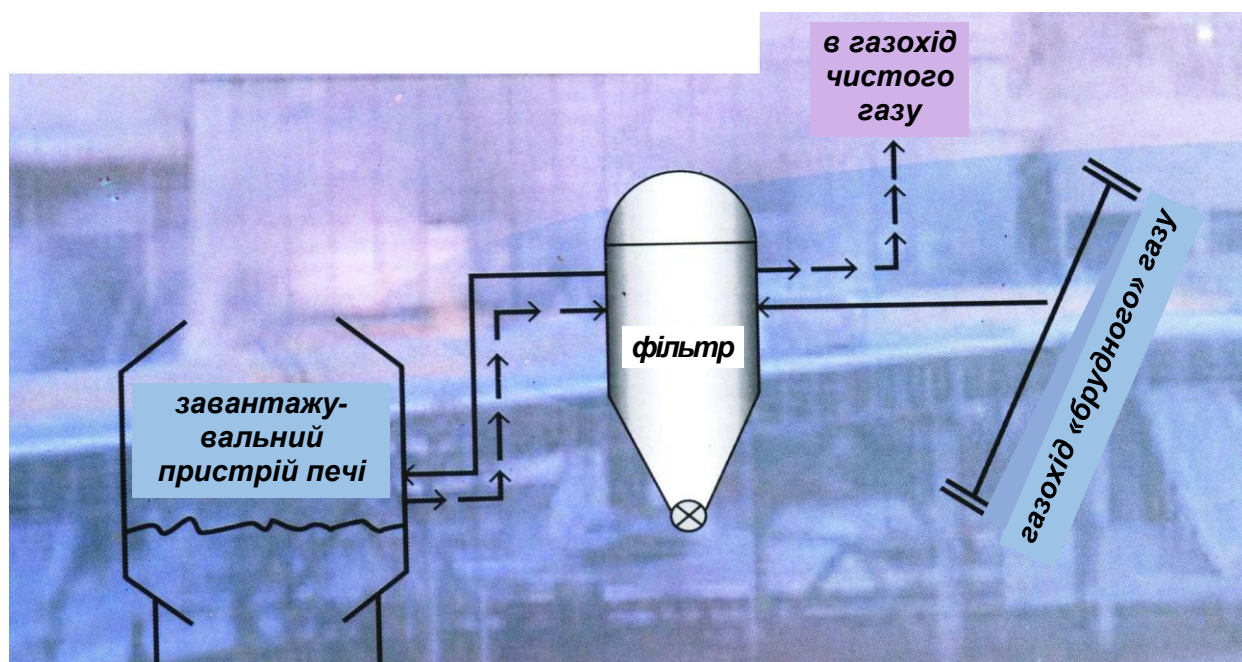


Рис. 3.6. Схема очищення зрівняльного газу для безконусного завантажувального пристрою доменної печі

3.8. Шкідливі викиди при короткочасних зупинках доменних печей

При зупинках доменних печей (ДП), пов'язаних із заміною повітряних фурм, шлакової фурмочки, шиберу гарячого дуття на повітрянагрівачі, заваркою кожуха на ДП або скрубера, для забезпечення безпечних робіт робочий простір печі через тракт гарячого дуття з'єднується з димовою трубою. Раніше цей захід здійснювався через трубу повітрянагрівачів. У зв'язку з тим, що запиленість горнового газу ($10\text{--}12\text{ г/м}^3$) значна, містить до 40 % оксидів лужних металів (K_2O , Na_2O), відбувається оплавлення кладки тракту гарячого

дуться та заплавлення каналів насадки повітрянагрівача. У зв'язку з цим останніми роками ДП обладнують пристроями для постановки на «тягу», міняючи повітрянагрівачі [6].

Коли ДП працює нормально, то шибер пристрою закритий, гаряче дуття від повітрянагрівачів надходить у ДП через прямий та кільцевий повітропроводи. При короткочасній зупинці печі насамперед здійснюють випуск рідких продуктів плавки, потім відкривають шибер, і горнові гази викидаються через тягову трубу.

Витрата горнового газу змінна, максимальна витрата газу (до 30 тис. м³/год) спостерігається в перші 10–12 хв. При проходженні горнового газу через тракт, його запилення знижується до 1–1,5 г/м³. Цей газ містить до 40% СО залежно від попадання вологи в піч при прогарі елементів, що охолоджуються.

У зв'язку з тим, що в процесі служби пристрою для постановки ДП на «тягу» паз відсічного шиберу заплавляється, для усунення шлаку потрібно кілька годин, що призводить до зниження продуктивності печі. Для цього випадку було запропоновано пристрій для регулювання розрідження, а значить і витрати горнового газу через тягову трубу. Регулювання тяги здійснюється за допомогою подачі інертного газу навпроти руху горнового газу. Кількість пари регулюється за значенням розрідження у тяговій трубі.

Якщо раніше температура після шиберу становила 1500–1700 °С, то при використанні пари вона знижувалася до 1200–1300 °С. У разі недостатнього розрідження в трубі його збільшують за рахунок використання інжектора, встановленого у верхній частині труби. Цей захід запроваджено на більшості доменних печей України.

При взятті доменної печі на «тягу» відбуваються залпові викиди наступних шкідливих речовин:

- СО – 12–15%;
- NO_x – 80–100 мг/м³;
- пил – до 500–600 мг/м³.

Зазвичай тривалість короткочасних стоянок становить 200–250 годин на рік.

Також пропонуються пристрої для постановки доменної печі на «тягу» аналогічні циклону. Горнові гази підводять тангенціально в циклон, де вони

спалюються за рахунок використання частини холодного дуття (рис. 3.7).

При звичайній схемі під час зупинки печі дуття викидається в атмосферу через клапан «снорд». При горінні газу його пил оплавляється і стікає у спеціальну ємність. Цей шлак може бути використаний для виготовлення будівельних матеріалів. Після знепилювання продукти згоряння горнового газу викидаються через тягову трубу, тобто використання циклону повністю усуває викиди CO, а також зменшується концентрація оксидів азоту та пилу [8].

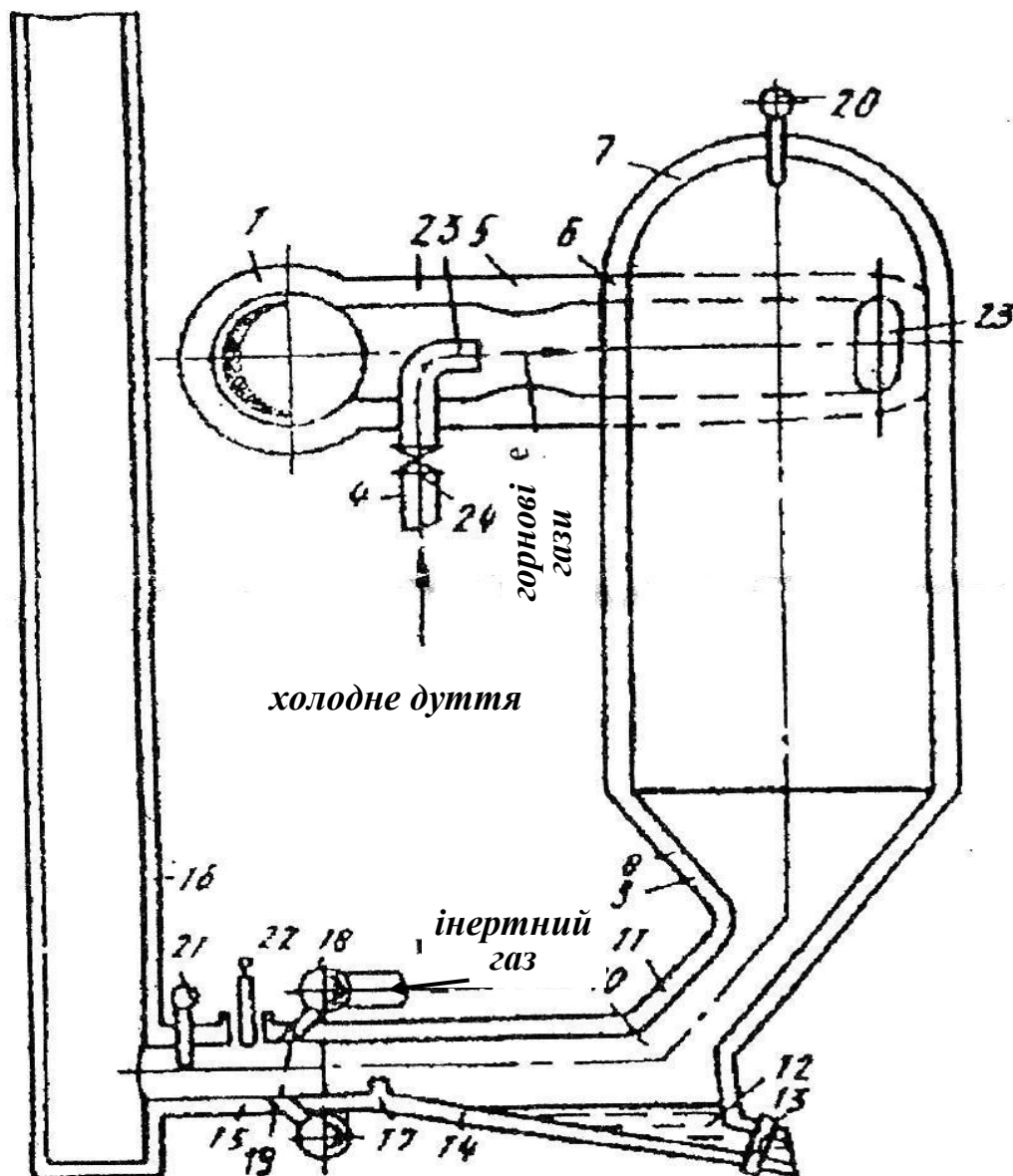


Рис. 3.7. Схема пристрою для взяття доменної печі на «тягу» із спалюванням горнового газу та плавленням його пилу

3.9. Шкідливі викиди, що утворюються під час спалювання палива у повітронагрівачах

При опаленні повітронагрівачів в продуктах згоряння утворюються шкідливі речовини: оксиди азоту, оксиди сірки, бензапірен, а також оксиди вуглецю (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Середнє значення концентрацій шкідливих речовин у відхідному димі з повітронагрівача при температурі купола 1400 °С

Доменна піч	Витрата димових газів з одного повітронагрівача (ПН), м ³ /год	Концентрація, мг/м ³			
		CO	SO _x	NO _x	C ₂₀ H ₁₂ ·10 ⁻⁶
ДП-А	52800	1800–3200	27	65–135	28,8
ДП-В	83200	2000–3500	31	–	29,2
ДП-С	79500	2200–3450	29,6	75–141	30,8
ДП-Д	63800	1980–3880	31,6	71–148	33,7

Концентрація оксидів сірки залежить від наявності у доменному газі сірководню, сірки, яка повністю окислюється до SO_x. Концентрація CO при цьому незначна і залежить від якості спалювання палива. Концентрація оксидів азоту залежить від цілого ряду факторів: температури під куполом, коефіцієнту витрати повітря, вологості доменного газу, наявності в ньому азотовмісних компонентів (аміак, родоніти, ціаніди, нітрити, нітрати) [9].

Концентрація азотовмісних сполук у свою чергу визначається питомою витратою коксу, ходом доменної плавки, складом шихти, видом чавуну, що виплавляється. Наприклад, при виплавці ливарного чавуну та феромарганцю концентрація оксидів азоту відповідно зростає до 180–220 мг/м³ та 250–300 мг/м³.

Незважаючи на те, що концентрація оксидів азоту у відхідному димі відносно невелика, їх валові викиди значні – 100–300 т/рік. Це пов'язано з тим, що витрати димових газів досягають 180–250 тис. м³/год на один блок повітронагрівачів. У зв'язку з цим використовують такі заходи для зниження шкідливих викидів: рециркуляцію продуктів згоряння та двостадійне

спалювання палива.

Для зниження викидів оксидів азоту на 30–50%, а також для покращення умов служби вогнетривів (МКВ-72) у нижній зоні кладки камери горіння, де температури та навантаження значні, пропонується зменшити температуру продуктів згоряння в цій зоні за рахунок застосування двостадійного спалювання палива [10].

При нестехіометричному спалюванні палива процес його горіння здійснюється не в одну стадію з відповідними витратами повітря і палива ($n > 1$), а в два етапи з розосередженням факелу по довжині робочого простору теплового агрегату.

Для доменних повітрянагрівачів можуть бути використані такі способи двостадійного спалювання газу: на першій стадії паливо спалюють з $n < 1$, а на другій стадії його допалюють; або на першому етапі паливо спалюють з $n \gg 1$, а на другому подають паливо у продукти згоряння, що мають значну кількість надлишкового кисню.

При рециркуляції продуктів згоряння в доменних повітрянагрівачах димові гази з температурою 260–280 °С відбирають із димового борову і направляють у газовий пальник. При цьому використовується як фізична теплота диму, так і надлишковий кисень диму.

Розглянемо вплив рециркуляції димових газів на вихід оксидів азоту під час спалювання доменного газу.

Внаслідок значного енергетичного бар'єру (енергії активації) реакції (523–540 кДж/моль) можна вважати, що утворення оксидів азоту, що визначають їх концентрацію в кінцевих продуктах згоряння, відбувається за максимальної температури, і концентрація оксидів залишається суттєвою на деякому температурному інтервалі ΔT – так званої «температурної сходинки»:

$$\frac{R \cdot T_{\max}^2}{2} = \Delta T, \quad (3.10)$$

де R – універсальна газова стала, кДж/кмоль.

Час реакції сприймається як інтервал τ_p , протягом якого підтримується температурна сходинка.

Час реакції становить лише незначну частину часу перебування реагентів у камері горіння:

$$\frac{\tau_p}{\tau_{\text{пр}}} = \frac{T_{\text{NO}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{max}}^1}, \quad (3.11)$$

де T_{max}^1 – температура продуктів горіння на виході із камери горіння;

$\tau_{\text{пр}}$ – час перебування в камері горіння.

При цьому:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot V_{\text{г}}}{V_{\text{д}}} = \left(3600 \cdot K_3 \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{q} \cdot (1 + n \cdot L_0) \right) \cdot \frac{T_{\text{пов}}}{T_{\text{max}}}, \quad (3.12)$$

де $V_{\text{г}}$ – об'єм камери горіння, м^3 ;

$V_{\text{д}}$ – обсяг продуктів згоряння (димув), $\text{м}^3/\text{с}$;

$K_{\text{пр}}$ – коефіцієнт, що враховує заповнення камери горіння (зони горіння) факелом;

K_3 – коефіцієнт заповнення,

n – коефіцієнт витрати повітря;

L_0 – теоретична витрата повітря горіння, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

$T_{\text{пов}}$ – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

q – теплота засвоєна 1 м^3 продуктів згоряння, $\text{Дж}/\text{м}^3$.

Коефіцієнт $K_{\text{пр}}$ враховує нерівномірність траєкторій окремих частинок в зоні горіння у зв'язку з наявністю зон рециркуляції та інших факторів. Розподіл часу перебування в зоні горіння отримано з урахуванням використання функції розподілу. Для частки $E(\tau)$ частинок газів, які перебували в камері горіння в період часу $\tau_{\text{пр}}$, можна записати:

$$E(\tau) = \frac{dF(\tau_{\text{пр}})}{d\tau_{\text{пр}}}. \quad (3.13)$$

Середній час перебування пов'язаний із функцією розподілу залежністю:

$$\tau_{\text{пр}} = f\left(\frac{V_{\text{г}}}{V_{\text{н}}}\right). \quad (3.14)$$

Імовірність того, що час перебування елементарного об'єму в камері горіння буде меншим за деяку величину τ , складе:

$$F(\tau) = 1 - e_{\text{пр}}^{\tau/\tau}. \quad (3.15)$$

Для частинки, що знаходиться в середніх умовах, $K_{\text{пр}} \approx 1$, тоді $\tau_{\text{р}} \approx q^{-1}$:

$$C_{NO} = f_1(T_{max}, \tau_p [\tau_{NO}]) = f_2(T_{max}, H_0), \quad (3.16)$$

де H_0 – критерій гомохронності;

$[\tau_{NO}]$ – час утворення рівноважної концентрації.

Отже, вихід «термічних» оксидів азоту визначається максимальною температурою в зоні горіння та відношенням часу реакції до часу встановлення рівноваги. Як показує практика, час реакції завжди менше часу утворення рівноважної концентрації. Тому кількість оксидів азоту, що утворилися в зоні горіння, залежить, в основному, від рівноважної концентрації.

Вплив рециркуляції на зниження виходу оксидів азоту пояснюється кількома факторами:

а) зниженням теоретичної та близької до неї максимальної температури в зоні горіння через розбавлення продуктів горіння охолодженими продуктами згоряння;

б) зниженням концентрацій реагуючих речовин через розбавлення їх продуктами згоряння;

в) зменшенням швидкості реакції горіння горючих компонентів з окиснювачем внаслідок зниження температури та концентрації реагуючих речовин;

г) збільшенням (розтягуванням) зони горіння.

За рахунок внутрішньої рециркуляції в пальнику продуктів часткового горіння покращуються перемішування газу з повітрям та якість горіння, скорочується кількість NO_x та CO у відпрацьованих продуктах горіння.

Як показує розрахунковий аналіз, при температурі рециркулюючих газів 200–300 °С, у зв'язку зі збільшенням об'єму газів в $(1 + 0,01 \cdot r)$ разів, знижується теоретична температура горіння. Де r – коефіцієнт рециркуляції, є відношенням обсягу рециркулюючих газів (рециркулята) до загального обсягу продуктів горіння (з урахуванням рециркулюючих газів).

Таким чином, зменшення теоретичної температури горіння та зниження концентрації зв'язаного азоту в паливі викликають зниження виходу оксидів азоту в продуктах горіння.

Слід зазначити, що зменшення викидів оксидів азоту відбувається практично лінійно зі збільшенням кратності рециркуляції.

У зв'язку з тим, що раціональна кратність рециркуляції, з погляду економічної ефективності, становить 12–12,5%, можна казати, що відносне зниження виходу оксидів азоту становить 30–35%.

Таким чином, рециркуляцію можна розглядати як ефективний екологічний захід, що веде до зниження хімічного та теплового забруднень навколишнього середовища.

3.10. Знепилення об'єктів доменного цеху

На території доменного цеху утворюється значна кількість пилу, пов'язана з вивантаженням та перевантаженням шихтових матеріалів, з випуском рідких продуктів доменної плавки та ін.

Найбільшим джерелом забруднення повітря є скіпова яма. При завантаженні скіпів агломератом, окатишами, коксом, вапняком виділяється дрібнодисперсний пил, який є абразивним. Масова концентрація пилу сягає 5–7 г/м³.

Другим великим джерелом забруднення є викиди на ливарному дворі у періоди випуску чавуну та шлаку. Хімічний склад пилу наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Хімічний склад пилу

Найменування	Пил	
	ливарного двору, %	скіпової ями, %
Fe ₂ O ₃	48,10	53,30
FeO	26,60	8,80
MnO	1,22	–
CaO	0,81	19,90
SiO ₂	8,36	8,05
C	5,26	–
MgO	–	2,60
Al ₂ O ₃	–	1,30
інші	9,65	6,05

Зазвичай аспіраційні потоки від скіпової ями та ливарних дворів

об'єднують та очищають в електрофільтрах та тканинних фільтрах.

Змішування аспіраційних потоків проводиться не тільки з метою зниження питомого електричного опору пилу, що вловлюється, але і для уникнення конденсації вологи на електродах і корпусі електрофільтру, що супроводжується їх окисленням і заростанням шаром необтрушуваного пилу.

На металургійному комбінаті ПАТ «Азовсталь» концерном «СоюзЕнерго» запроваджено систему знепилення аспіраційних потоків ливарного двору та скіпової ями для двох доменних печей за допомогою електрофільтрів (рис. 3.8).

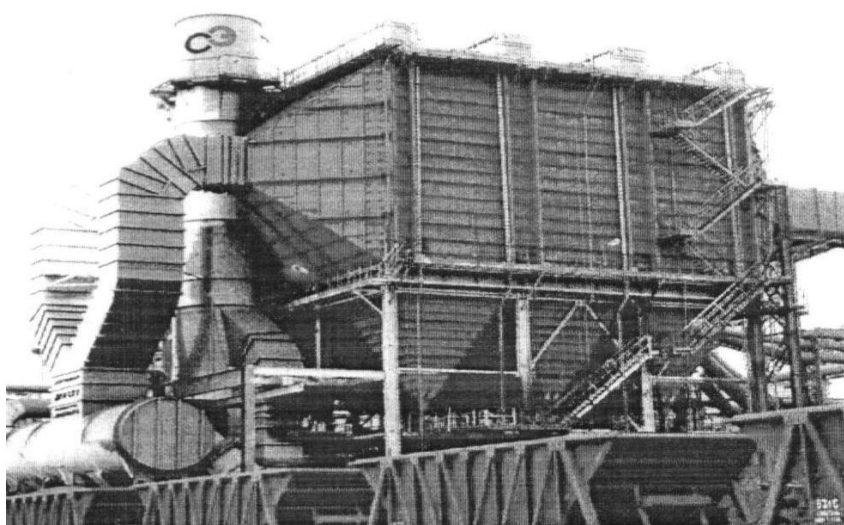


Рис. 3.8. Система
знепилення аспіраційних
потоків

Нині електрофільтри знаходять широке застосування у промисловості. Це зумовлено їхньою універсальністю та високим ступенем очищення газів при порівняно низьких енерговитратах. Вони відрізняються низьким газодинамічним опором та незначними експлуатаційними витратами, високим ступенем надійності, а витрати електроенергії не перевищують 0,1–0,5 кВт·год на 1000 м³ газу.

Зіставлення досвіду експлуатації газоочисного комплексу з використанням електрофільтрів та тканинних фільтрів показує, що експлуатаційні витрати на тканинні фільтри вищі ніж на електрофільтри. Термін служби рукавного фільтра становить 1,5–3,0 роки, а електродів електрофільтра – близько 20 років.

Залежно від різних фаз роботи печей використовували два варіанти технічної характеристики електрофільтра (табл. 3.4, 3.5).

Таблиця 3.4

Технічна характеристика електрофільтра за варіантом 1

Характеристика		Параметри
1.	Тип електрофільтра	горизонтальний
2.	Кількість напівполів, шт	6
3.	Міжелектродна відстань, мм	400
4.	Кількість газових проходів, шт	36
5.	Активна висота, м	12,3
6.	Активний переріз електрофільтра, м ²	177
7.	Обсяг газу, що очищається, тис. м ³ /год	700
8.	Максимальна швидкість газів, м/с	1,1
9.	Спосіб регенерації електродів	ударно-молотковий
10.	Газодинамічний опір, Па	250
11.	Масова концентрація пилу: – на вході, г/м ³ – на виході, мг/м ³	до 10 до 50

Таблиця 3.5

Технічна характеристика електрофільтра за варіантом 2

Характеристика		Електрофільтри	
		ливарного двору	скіпової ями
1.	Міжелектродна відстань, мм	400	400
2.	Кількість газових проходів, шт	25	16
3.	Обсяг газу, що очищається, тис. м ³ /год	600	400
4.	Газодинамічний опір, Па	250	250
5.	Концентрація пилу: – на вході, г/м ³ – на виході, мг/м ³	5 менше 50	7 менше 50
6.	Спосіб регенерації електродів	ударно-молотковий	

3.11 Тести для самоконтролю

1. Які існують основні ділянки утворення шкідливих викидів у доменному виробництві?
 - а) тракт руху шихтових матеріалів; б) тракт руху рідких продуктів плавки; в) викиди, які пов'язані з очисткою газу та його спалюванням в повітронагрівачах.
2. Як зменшують пилоутворення під час вивантаження шихтових матеріалів?
 - а) утворенням водяної завіси; б) утворенням повітряної завіси; в) подачею доменного газу.
3. Які основні ділянки шкідливих викидів пов'язані з рухом рідких продуктів плавки?
 - а) ливарний двір; б) пристрої для позапічної обробки чавуну; в) машини для розливу чавуну.
4. Чому при русі чавуну по жолобу утворюється пластинчатий графіт?
 - а) зниження температури чавуну; б) графіт не змочується чавуном; в) питома вага графіту у 2,0–2,5 рази менше, ніж у чавуну.
5. Які основні засоби для зниження шкідливих викидів на ливарному дворі:
 - а) закриття жолобів вогнетривкими плитами; б) очистка газів, які утворюються при русі чавуну в ізольованих жолобах; в) подавання інертного газу для уникнення окислення чавуну при зливі його в ківш.
6. В яких випадках короткочасно зупиняють доменну піч?
 - а) при заміні повітряних фурм; б) при заміні шибери гарячого дуття; в) при заварці тріщин кожуху печі або скрубери.
7. До чого призводить «взяття доменної печі на тягу» через повітронагрівачі?
 - а) оплавлення вогнетривкої цегли повітронагрівачів;
 - б) збільшення втрат тиску на ділянці повітронагрівачі-димар;
 - в) зменшення теплової потужності повітронагрівачів.
8. Яким чином можна збільшити термін служби пристрою для взяття доменної печі на тягу?

- а) подача водяної пари проти руху горнових газів;
- б) охолодження горнового газу; в) підвищення тиску в системі пристрою.

9. Від чого залежить концентрація оксидів азоту при спалюванні доменного газу в повітронагрівачах?

- а) температури під куполом; б) вологості доменного газу;
- в) наявності в газі азотовмісних сполук.

10. Які використовують способи для зниження концентрацій оксидів азоту в димових газах?

- а) рециркуляція димових газів; б) стадійне спалення палива;
- в) підвищення тиску в повітронагрівачах.

11. Які існують способи стадійного спалення палива?

- а) на першій стадії коефіцієнт витрат повітря $n < 1$, а на другій стадії допалюють газ; б) на першій стадії $n \geq 1$, а на другій подають вторинне паливо; в) на першій стадії $n = 1$, на другій $n < 1$, а на третій допалюють паливо.

12. Як розраховується кратність рециркуляції (r)?

$$\text{а) } r = \frac{V_p}{V_{\Pi} + B}; \quad \text{б) } r = \frac{V_{\Pi} + B}{V_p}; \quad \text{в) } r = \frac{V_{\Pi} + V_p}{B}.$$

13. В чому полягає механізм зниження концентрацій NO_x при використанні рециркуляції?

- а) зниження температури горіння; б) збільшення (розтягнення) зони горіння; в) зниження швидкості хімічних реакцій.

14. Переваги сухого методу очистки доменного газу в порівнянні з мокрим:

- а) відсутність громіздкої системи водопостачання; б) значно менша вологість газу; в) покращується екологічний стан промислової зони.

15. Недоліки сухого методу очистки доменного газу:

- а) температуру газу необхідно знижувати з $350\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $230\text{--}280\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) азотовмісні сполуки азоту залишаються в газі, а при мокрій очистці частково розчиняються у воді;
- в) необхідно підвищувати тиск газу.

4. ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ПРИ КОНВЕРТОРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ СТАЛІ

Виплавка сталі в конверторі супроводжується інтенсивним виділенням газу, що містить до 200 г/м^3 дрібнодисперсного пилу. Вихід конверторних газів залежить від кількості кисню, складу чавуну і шлакоутворюючих (вапняку, вапна). Температура газу на виході з конвертору під час проведення кисневого продування підвищується від $1250\text{--}1300^\circ\text{C}$ на початку продування до $1600\text{--}1700^\circ\text{C}$ в середині і в кінці продування. Хімічний склад конверторного газу коливається зазвичай у наступних межах, %: $85\text{--}90 \text{ CO}$; $8\text{--}14 \text{ CO}_2$; $1,5\text{--}3,5 \text{ O}_2$; $0,5\text{--}2,5 \text{ N}_2$.

Для вловлювання і відведення газу з конвертора над його горловиною розташовують ковпак-кесон, з'єднаний з газовідвідним газоходом-каміном (охолоджувач конверторних газів (ОКГ) або котел-утилізатор). Конструкція газовідвідного тракту та методи очищення газу залежать від того, чи використовується конверторний газ як паливо чи ні.

За способом відведення та використанням конверторного газу газові тракти кисневих конверторів зазвичай поділяють на три групи:

1. Відведення конверторного газу з повним спалюванням.
2. Відведення газу без допалювання.
3. Відведення газу з частковим допалюванням.

4.1. Система з повним спалюванням газу

При цьому коефіцієнт витрати повітря $n > 1$ за рахунок підсмоктування повітря через зазор між горловиною конвертора та газоходом.

Перевагою системи відведення газу є те, що через тракт проходять вибухобезпечні продукти згоряння. Однак кількість їх у кілька разів перевищує обсяг конверторних газів, тому ОКГ повинен мати велику поверхню нагріву, а весь газовий тракт – значні габарити, що є недоліком системи.

На практиці використовують системи відведення та очищення газу з його допалюванням без використання та з використанням його теплоти.

В схемі відводу конверторного газу з його допалюванням без використання фізичної теплоти газу (рис. 4.1) над конвектором на деякій відстані знаходиться підйомно-опускний кесон 2, який виконується з

водоохолоджуваними трубчатими або панельними стінками. Для охолодження газу в кесон подають воду, яка повністю випаровується. При цьому утворюється водяна пара низького тиску, яка, зазвичай, не використовується і викидається в атмосферу. Далі газ попадає в систему очищення, яка складається з скрубера 6, труби Вентурі 7 та відцентрового скрубера 8. Очищений газ за допомогою димососу 10 викидається в атмосферу через димову трубу 9.

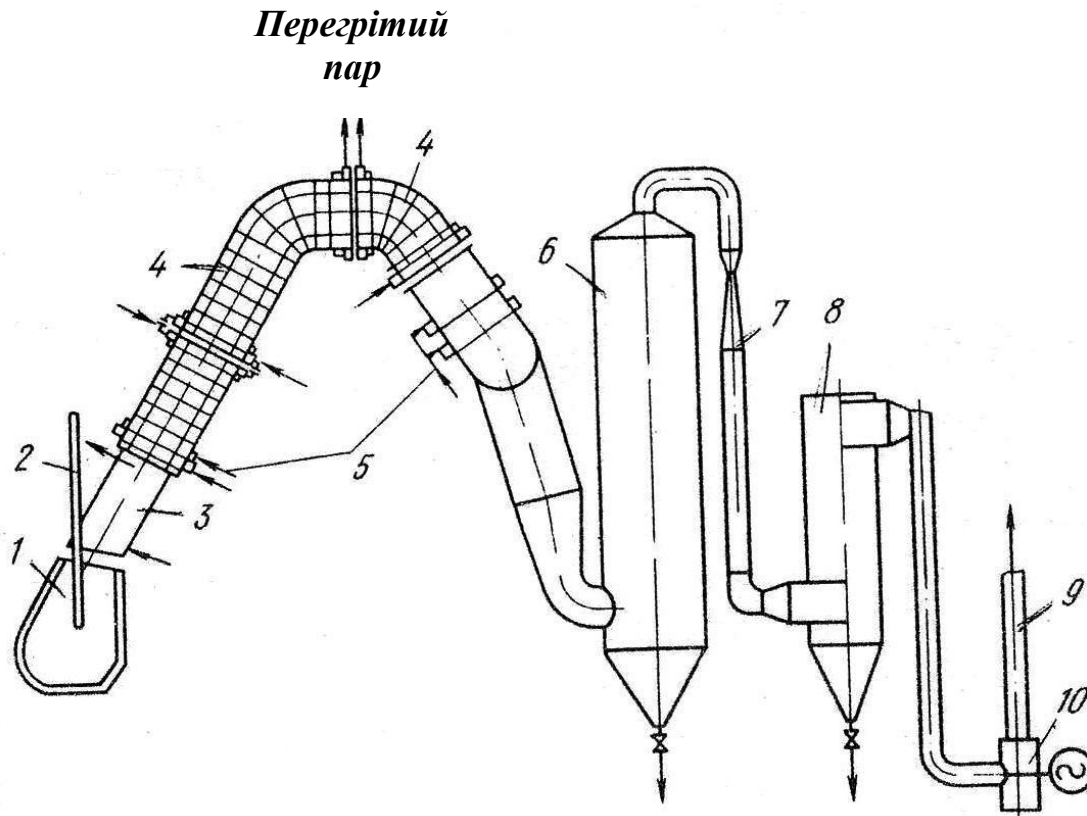


Рис. 4.1. Схема відводу та очищення конверторного газу з допалюванням оксиду вуглецю без утилізації тепла з круглими трубами Вентурі:

- 1 – конвертор; 2 – фурма; 3 – водоохолоджуваний кесон; 4 – підйомно-опускний газохід; 5 – впорскування води в газохід; 6 – скрубер; 7 – труба Вентурі; 8 – відцентровий скрубер; 9 – димова труба; 10 – димосос

На рисунку 4.2. наведена схема відводу та очищення конверторного газу з його допалюванням та утилізацією теплоти у котлі-утилізаторі з виробництвом водяної пари, яка потім використовується для виробництва електроенергії. Гази після охолодження у котлі-утилізаторі 4 потрапляють в систему очищення, яка включає скрубер 6, блок труб Вентурі 7. Заключне очищення газу здійснюється у двох паралельно вбудованих відцентрових скруберах 9. Ця схема забезпечує

очищення газу до кінцевої запиленості – 70 мг/м^3 .

4.2. Відведення конверторного газу без допалювання

Перевагою цієї системи є незначна витрата газу, що вимагає його очищення, оскільки конверторний газ не спалюється.

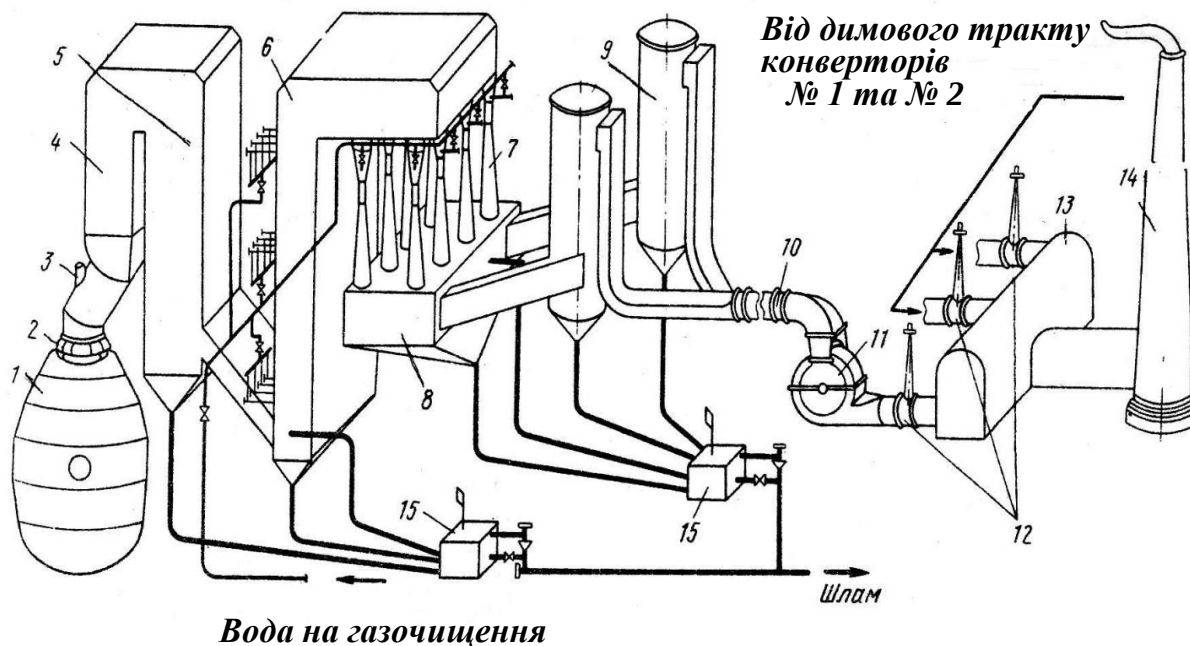


Рис. 4.2. Схема відводу та очищення конверторного газу з допаленням оксиду вуглецю та утилізацією тепла в системі з круглими трубами Вентурі:

- 1 – конвертор; 2 – кесон; 3 – отвір для фурми; 4 – підйомний газохід з радіаційними поверхневими котлами-утилізаторами; 5 – опускний газохід з конвективними поверхнями та екомайзером; 6 – скруббер; 7 – блок труб Вентурі; 8 – інерційний водовіддільник; 9 – відцентровий скруббер; 10 – дросельний клапан; 11 – димосос; 12 – засувка; 13 – боров; 14 – димова труба; 15 – бак гідрозатвору

Однак недоліками системи є складність герметизації горловини конвертору з відведенням газу, тому що при цьому слід перекрити зазор у горловини при поваленні конвертору в окремі періоди його роботи. В цьому випадку збільшується також можливість утворення у газовідвідного тракту вибухонебезпечних сумішей кисню і монооксиду вуглецю. Зазвичай вибухобезпечна робота газового тракту забезпечується тим, що на початку і після закінчення кисневого продування на межі розділу O_2 і CO автоматично

утворюється тампон з нейтрального газу ($\text{CO}_2 + \text{N}_2$), що надійно відокремлює одне середовище від іншого і не дозволяє їм змішуватися.

Утворення тампону забезпечує ковпак (спідниця), що опускається і перекриває проміжок під час продування і автоматично піднімається на початку і в кінці продування. У моменти підйому ковпака зазор повністю відкритий, і завдяки попаданню повітря, що підсмоктується, здійснюється допалювання газу (рис. 4.3).

На рисунку 4.3. наведена схема очищення конверторного газу без його допалювання. Вона включає кесон, який переходить в котел-утилізатор 4. В ньому газ охолоджується до $800\text{--}900^\circ\text{C}$, а потім доохолоджується у горизонтальному газоході 5 за рахунок подачі води та труб Вентурі 8. Коагуляція мілкодисперсного пилу відбувається у високонапірних трубах Вентурі 11. Заключне очищення газу відбувається у відцентровому скрубєрі з осьовим завихренням газу 12. Після очищення газ збирають в газгольдері, або направляють на газопідвищуючу станцію. Далі цей газ потрапляє для постачальників.

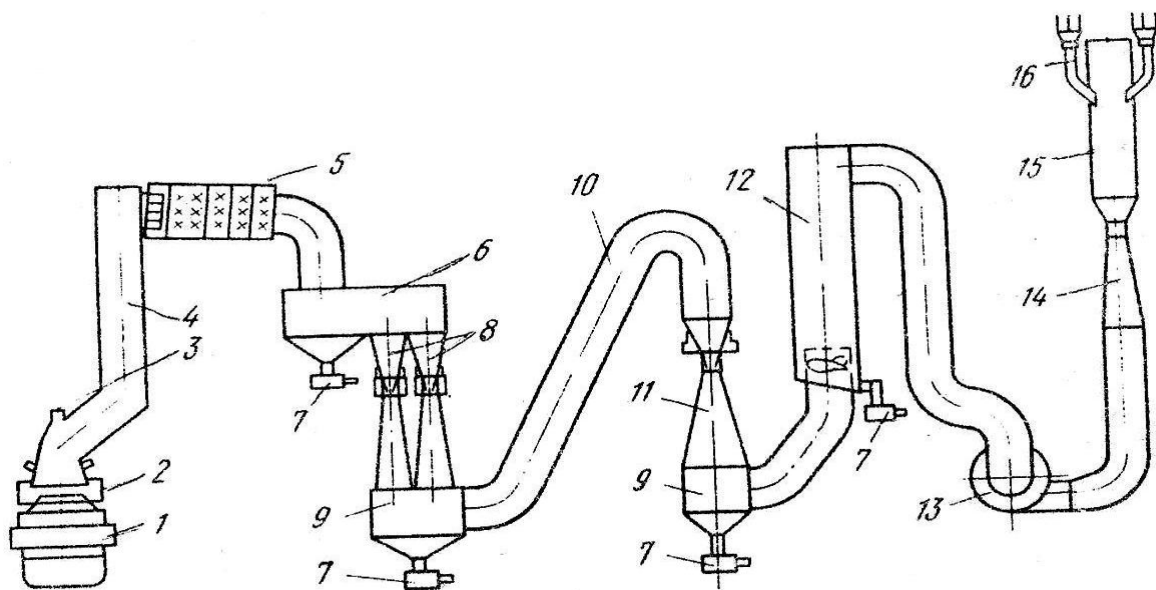


Рис. 4.3. Схема відводу та очищення конверторного газу без допалювання оксиду вуглецю:

- 1 – конвертор; 2 – рухома водоохолоджувальна муфта; 3 – киснева фурма; 4 – котел-утилізатор; 5 – зрошуваний газохід; 6 – колектор запиленого газу; 7 – гідрозатвор; 8 – низьконапірні труби Вентурі – охолоджувачі газів; 9 – інерційний пило- та бризкоуловлювач; 10 – газохід; 11 – високонапірна труба-коагулятор; 12 – відцентровий скрубєр із завихрювачем газу; 13 – димосос; 14 – труба Вентурі для вимірювання кількості газу; 15 – димова труба; 16 – допалювальний пристрій

4.3. Відведення та очищення конверторного газу з частковим його допалюванням

Система відведення та очищення конверторного газу з повним допалюванням СО часто працює недостатньо ефективно. З метою збереження існуючого газового тракту, котла-утилізатора, газоочищення димососів та димової труби, переходять на режим відведення та очищення газів з частковим допалюванням, при якому їх кількість менша, ніж при повному допалюванні.

При відведенні газу з частковим допалюванням між горловиною та кесоном залишається невеликий зазор. Таким чином, процес часткового допалювання СО здійснюється в газовідвідному тракті при коефіцієнті витрат повітря $0,6 > n > 0,3$.

Так як при цьому утворюється димових газів менше, ніж при повному допалюванні, запилення газу дещо більше і досягає 80 г/м^3 , а дисперсний склад пилу приблизно такий же.

Для очищення конверторного газу з частковим допалюванням СО застосовують газоочищення з мокрими пиловловлювачами. Таким чином, при цьому схеми очищення газу аналогічні схемам при повному допалюванні СО. Для безпечної роботи газового тракту та системи газоочищення вони повинні бути герметичними та не допускати підсмоктування повітря.

4.4. Очищення конверторного газу в тканинних фільтрах та сухих електрофільтрах

На теперішній час ці схеми очищення газів використовують за кордоном. Схема очищення газів за допомогою рукавних тканинних фільтрів, яка використовується у Франції, наведена на рисунку 4.4. При цьому теплота газів утилізується для нагріву цеглової насадки повітрянагрівачів. У водоохолоджуючому каміні 2 гази допалюють та охолоджують, а потім направляють в акумулятор 3. Кінцеве охолодження газу перед подачею його в тканинні фільтри здійснюється у випарному скрубєрі 4. Кінцева запиленість газу складає $4\text{--}7 \text{ мг/м}^3$.

В системі очищення газу за допомогою сухого електрофільтра (рис. 4.5)

газ спочатку охолоджується до 600°C в котлі-утилізаторі 2, а потім до 200°C у випарному скрубєрі. Потім за допомогою димососу 5 очищений газ викидається через димову трубу 6 в атмосферу.

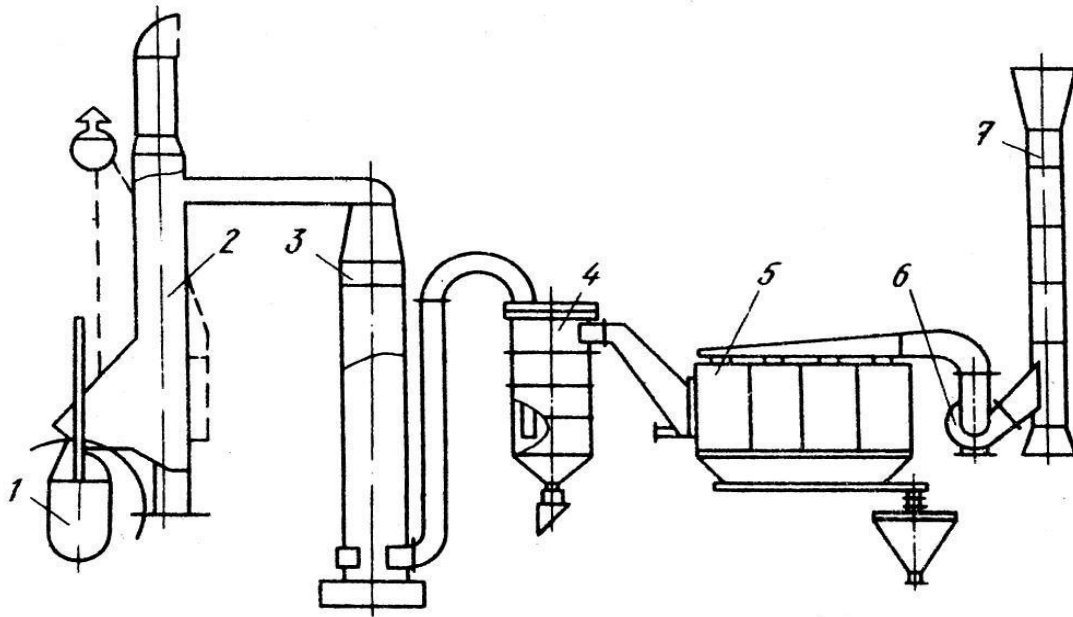


Рис. 4.4. Схема очищення димових конверторних газів в тканинних фільтрах:

1 – конвертор; 2 – водоохолоджувальний камін; 3 – акумулятор;
4 – випарний скрубєр; 5 – тканинний фільтр; 6 – димосос; 7 – димова труба

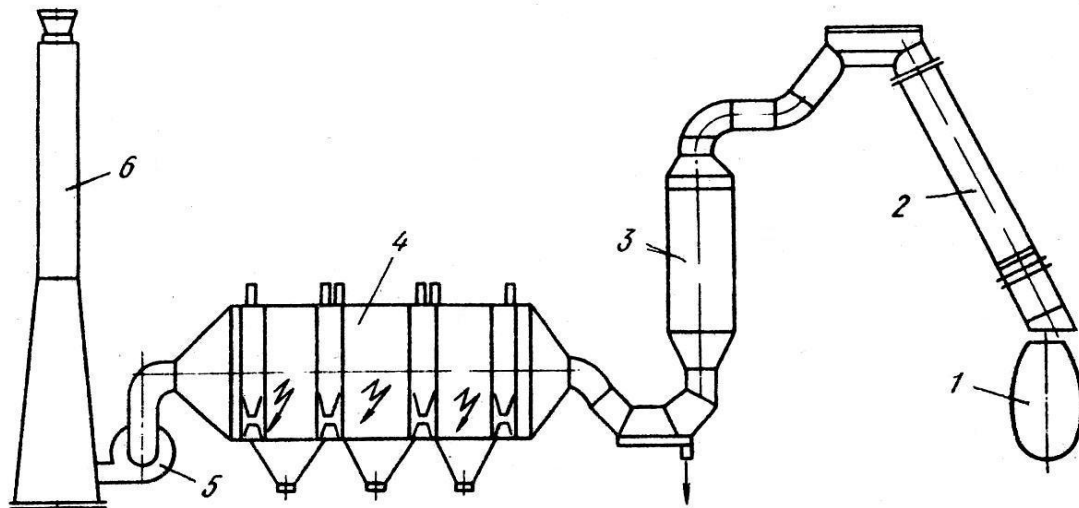


Рис. 4.5. Схема очищення димових конверторних газів в сухих електрофільтрах:

1 – конвертор; 2 – котел-утилізатор; 3 – випарний скрубєр;
4 – сухий пластинчатий електрофільтр; 5 – димосос; 6 – труба

4.5 Тести для самоконтролю

1. Яка запиленість конверторного газу?
а) до 160 г/м^3 ; б) до 50 г/м^3 ; в) до 200 г/м^3 .
2. Від чого залежить вихід конверторного газу?
а) складу чавуну; б) витрати O_2 ; в) складу шлакоутворюючих.
3. Який середній вміст CO у конверторному газі?
а) 85–90 %; б) 55–60 %; в) 65–75 %.
4. Які способи відведення та використання конверторного газу застосовують в сучасній металургії?
а) відведення газу з повним спалюванням; б) відведення газу без допалювання; в) відведення газу з частковим допалюванням.
5. Недоліки системи з повним спалюванням газу:
а) кількість газу перед очисткою у кілька разів перевищує об'єм конверторного газу; б) недостатньо утилізується теплота конверторного газу; в) газ не використовується для потреб заводу.
6. Недоліки системи відводу газу без допалювання:
а) складність герметизації горловини; б) можливість утворення вибухової газової суміші; в) підвищується температура газу.
7. Які елементи включає система очистки конверторного газу з використанням електрофільтрів?
а) котел-утилізатор, випарний скруббер, електрофільтр;
б) котел-утилізатор, електрофільтр; в) труби Вентурі, електрофільтр.

5. ВОДОПОСТАЧАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Проблеми природокористування як у минулому, так і сьогодні займають чільне місце в наукових дослідженнях і актуальні не тільки у зв'язку з попитом на природні ресурси, що встановився (а в останні десятиліття навіть зростає), а й через вичерпання, виснаження, деградації або забруднення останніх.

Забруднення навколишнього середовища зараз досягло рівня, при якому спостерігається суттєвий вплив на здоров'я людини і баланс навколишнього середовища.

За оцінками ООН, поверхневі водні ресурси України оцінюються як невеликі – близько 1 тис. м³/рік на одного жителя. При цьому розподіл територією країни цих ресурсів дуже нерівномірний. Особливе місце займає Дніпро – близько 80 % всіх водних ресурсів. При цьому у промислових регіонах України спостерігається найбільше споживання водних ресурсів та їхнє найбільше забруднення. Останнім часом спостерігається різке зменшення відновлювальної здатності річок та інших природних водойм.

Сумарна величина стоків рік України без Дунаю в середньому за рік становить 87,1 млрд куб. метрів. Безпосередньо на території держави формується відповідно 52,4 та 29,7 млрд куб. метрів води, решта надходять із суміжних територій. Водні ресурси Дунаю становлять у середньому 123 млрд куб. метрів води на рік.

Якісний стан підземних вод у результаті господарської діяльності також постійно погіршується. Найбільш незадовільна якість підземних вод на Донбасі та Кривбасі. Значною небезпекою в експлуатаційних свердловинах Західної України є наявність фенолів (до 5–10 гранично допустимих концентрацій – далі ГДК), а також підвищення мінералізації та зростання вмісту важких металів у підземних водах Криму.

5.1. Норми забруднення та гранично-допустимі концентрації у гідросфері

У всьому світі відбувається постійне підвищення вимог до якості питної та технічної води. За різними забруднювачами в Україні запроваджуються нормативи, прийняті в країнах Євросоюзу та США [11] (табл. 5.1 табл. 5.2) .

5.2. Основні характеристики забруднення води у металургійному виробництві

Чорна металургія є одним із великих споживачів води. Водоспоживання складає 12–15 % загального споживання води промисловими підприємствами

країни. На охолодження обладнання використовується 49% води, очищення газів та повітря – 26, гідротранспорт – 11, обробку та оздоблення металу – 12, інші процеси – 2% води. Безповоротні втрати пов'язані з випаровуванням та винесенням води в системах оборотного водопостачання, з приготуванням хімічно очищеної води, із втратами у технологічних процесах становлять 6–8%. Решта води у вигляді стоків повертається у водойми. Близько 60–70% стічних вод відносяться до «умовно чистих» стоків, тобто мають лише підвищену температуру. У гірничорудному, доменному, сталеплавильному та прокатному виробництвах споживається в середньому 3,5–6 м³ H₂O/1 т продукції.

Питоме споживання води: доменний цех (60 м³/т), сталеплавильний (55 м³/т, прокатний (95 м³/т) [12]. Споживана в промисловості вода використовується, в основному, як холодоагент, що скидається у водоймища. За хімічним складом він мало відрізняється від вихідної води, але має підвищену температуру. Вода, що бере участь у технологічних процесах, насичується безліччю різних сполук і вимагає очищення.

Таблиця 5.1

Гігієнічні нормативи та неорганічні речовини, у питній воді співвіднесені з рекомендаціями ВООЗ, ЄС та стандартами розвинених країн

Речовина	ГДК, мг/л, до 2002 р.	Скоригована ГДК, мг/л	Потенційна дія на здоров'я	Зміна класу небезпеки
Алюміній	0,5 с.-т.	0,2 орг.	Поява суспензії у воді	2–3
Аміак та амоній- катіон	2,0 с.-т.	1,5 орг.	Поява біля води специфічного запаху	3–4
Барій	0,1 с.-т.	0,7 с.-т.	Вплив на серцево-судинну систему	2–2
Миш'як	0,05 с.-т.	0,01 с.-т.	Канцерогенний ефект	2–1
Нікель	0,1 с.-т.	0,02 с.-т.	Алергенний ефект	3–2
Свинець	0,03 с.-т.	0,01 с.-т.	Зниження розумового розвитку дітей	2–2
Сульфід	відсутність заг.	0,003 (H ₂ S) орг.	Поява біля води специфічного запаху	3–4
Сурма	0,05 с.-т.	0,005 с.-т.	Зміна вмісту холестерину в крові	2–2
Уран		0,1 с.-т. _	Нефротоксична дія	2

Примітка: с.-т. , орг. та заг. – відповідно санітарно-токсикологічна, органолептична та загальносанітарна ознаки шкідливості речовин.

Таблиця 5.2

Нормативи канцерогенних речовин у воді співвіднесені з рекомендаціями ВООЗ, ЄС та стандартами розвинених країн на якість питної води

Речовина	ГДК, ОДУ, мг/л	Переглянута ГДК, ОДУ, мг/л	Кратність та напрямок зміни
Акриламід	0,01	0,0001	100 [−]
Бенз про- а -пірен	0,005 мкг/л	0,00001	2
Бензол	0,5	0,01	50 [−]
Бромат		0,025	
Вінілхлорид (хлоретен)	0,05	0,005	10 [−]
Гексахлорбензол	0,05	0,001	50 [−]
1,2-Дібром-3-хлорпропан	0,01	0,001	10 [−]
1,1-Диметилгідразин (гептил)	0,02	0,00006	330 [−]
Дихлорметан	7,5	0,02	375 [−]
1,3-Дихлорпропен	0,4	0,02	20 [−]
1,2-Дихлоретан	0,02	0,02	
Миш'як	0,05	0,01	5 [−]
Стирол	0,1	0,02	5 [−]
Епіхлоргідрин ((хлорметил)проксиран)	0,01	0,0001	100 [−]
Етилендібромід (1,2-диброметан або 1,2-диброметен)		0,00005	

Інші стічні води (30–40%) забруднені різними домішками та шкідливими сполуками.

Найбільша кількість води потрібна в прокатному, доменному та сталеплавильному виробництвах. Всі стічні води насичені зваженими частинками, що утворюються під час очищення від пилу, золи та інших твердих матеріалів. Прокатне виробництво, крім того, є джерелом забруднення мастилами, емульсією та травильними розчинами.

Металургійні підприємства з великою кількістю цехів та допоміжних служб займають площу до 1000 га. Площі земельних угідь, порушених гірничими роботами, зайнятих відвалами, золо- та шлаконакопичувачами, величезні.

На металургійних підприємствах утворюються величезні маси відходів, а утилізуються та знешкоджуються лише 34% їх. Так, газоподібні відходи, що утворюються – це доменний і коксовий газ, і вони використовуються в якості палива. Металевий брухт також використовується в межах підприємства. Так, для ливарного виробництва застосування брухту становить: мартенівської сталі – до 500 кг/т, киснево-конверторної – до 250, електросталі – до 940, чавуну передільного – до 120, чавуну ливарного – до 20, чавунного лиття – до 700 кг/т.

Також при оцінці дії на навколишнє середовище слід враховувати теплове забруднення водойм, що веде до підвищення органічних сполук у воді [13].

Розрахунок допустимої концентрації домішок у стічних водах, що скидаються у водоймища, проводять залежно від переважаючого виду домішок стічних вод та характеристик водойми.

При переважному вмісті завислих речовин їх допустима концентрація в очищених стічних водах визначається:

$$C_0 \leq 3_3 + n \text{ ГДК}, \quad (5.1)$$

де C_3 – концентрація зважених речовин у воді водойми до скидання в нього стічних вод, кг/м³,

n – кратність розведення стічних вод у воді водойми, що характеризує частину витрати води водойми, що бере участь у процесі перемішування і розведення стічних вод;

ГДК – гранично допустима концентрація завислих речовин у воді водойми, кг/м³.

При переважному вмісті розчинених речовин допустима концентрація кожного з них в очищених стічних водах розсіюється:

$$C_{oi} \leq n \cdot (C_{mi} - C_{zi}) + C_{zi}, \quad (5.2)$$

де C_{zi} – концентрація i -ї речовини у воді водойми до скидання в неї стічних вод, кг/м³;

C_{mi} – максимально допустима концентрація тієї ж речовини у воді водойми з

урахуванням максимальних концентрацій та ГДК усіх речовин, що належать до однієї групи лімітуючих показників шкідливості.

Кратність розведення стічних вод у воді водоймища:

$$n = (C_0 - C_3)/(C - C_3), \quad (5.3)$$

де C_0 – концентрація забруднюючих речовин у стічних водах, що скидаються, кг/м^3 ;

C_3 та C – концентрації тих же речовин у воді водойми до і після скидання в них стічних вод, кг/м^3 .

Для водойм із спрямованим перебігом кратність розведення буде:

$$n = (Q_v + m \cdot Q_p) \cdot Q_v, \quad (5.4)$$

де Q_v – об'ємна витрата стічних вод, що скидаються у водоймище з об'ємною витратою Q_p , $\text{м}^3/\text{год}$;

m – коефіцієнт змішування, що показує частку витрати води водоймища, що у процесі змішування.

5.3. Склад стічних вод та основні методи їх очищення

Водовідвідні системи та споруди – це один із видів інженерного обладнання та благоустрою населених пунктів, житлових, громадських та виробничих будівель, що забезпечують необхідні санітарно-гігієнічні умови праці, побуту та відпочинку населення [14]. Системи водовідведення та очищення складаються з комплексу обладнання, мереж та споруд, призначених для прийому та видалення трубопроводами побутових виробничих та атмосферних стічних вод, а також для їх очищення та знешкодження перед скиданням у водоймище або утилізацією. Об'єктами водовідведення є будівлі різного призначення, а також знову забудовувані, існуючі та реконструйовані міста, селища, промислові підприємства, санітарно-курортні комплекси тощо.

Стічні води – це води, використані на побутові, виробничі або інші потреби та забруднені різними домішками, що змінили їх початковий хімічний склад та фізичні властивості, а також води, стікають з території населених пунктів та промислових підприємств у наслідок випадання атмосферних опадів або поливання вулиць. В залежності від походження,

виду та складу стічні води поділяються на три основні категорії:

1. Побутові (від туалетних кімнат, душових, кухонь, лазень, пралень, їдалень, лікарень; вони надходять від житлових та громадських будівель, а також від побутових приміщень та промислових підприємств);

2. Виробничі (води, що використані в технологічних процесах, та не відповідають більш вимогам, які пред'являються їх якості; до цієї категорії вод відносять води, що відкачуються на поверхню землі при видобутку корисних копалин);

3. Атмосферні (дощові та талі; разом з атмосферними відводяться води від поливу вулиць, від фонтанів та дренажів).

Найбільш широкого поширення набули загальносплавні та роздільні системи водовідведення. За загальносплавної системи всі три категорії стічних вод відводяться по одній спільній мережі труб та каналів за межі міської території на очисні споруди. Роздільні системи складаються з кількох мереж труб та каналів: по одній з них відводяться дощові та незабруднені виробничі стічні води, а за іншою або кількома мережами – побутові та забруднені виробничі стічні води.

Стічні води є складні гетерогенні суміші, містять домішки органічного і мінерального походження, які знаходяться в нерозчиненому, колоїдному та розчиненому станах.

Ступінь забруднення стічних вод оцінюється концентрацією, тобто. масою домішок в одиницю об'єму мг/л або г/куб. м.

Склад стічних вод регулярно аналізується. Проводяться санітарно-хімічні аналізи щодо визначення величини ХГК (загальна концентрація органічних речовин); БГК (концентрація органічних сполук, окислюваних біологічним шляхом); концентрації завислих речовин; активної реакції середовища; інтенсивності забарвлення; ступеня мінералізації; концентрації біогенних елементів (азоту, фосфору, калію) та ін.

Найбільш складні за складом стічні води промислових підприємств. На формування виробничих стічних вод впливає вид сировини, що переробляється, технологічний процес виробництва, реагенти, що застосовуються, проміжні вироби та продукти, склад вихідної води, місцеві умови та ін. Для розробки раціональної схеми водовідведення та оцінки можливості повторного використання стічних вод вивчається склад та режим

водовідведення не тільки загального стоку промислового підприємства, але також стічних вод від окремих цехів та апаратів. Крім визначення основних санітарно-хімічних показників у виробничих стічних водах визначаються концентрації специфічних компонентів, зміст яких зумовлюється технологічним регламентом виробництва та номенклатурою застосовуваних речовин.

Оскільки виробничі стічні води становлять найбільшу небезпеку для водойм, розглянемо їх докладніше. Виробничі стічні води поділяються на дві основні категорії: забруднені та незабруднені (умовно чисті). Забруднені виробничі стічні води поділяються на три групи:

1. Забруднені переважно мінеральними домішками (підприємства металургійної, машинобудівної, рудо- та вугледобувної промисловості; заводи з виробництва кислот, будівельних виробів та матеріалів, мінеральних добрив та ін.).

2. Забруднені переважно органічними домішками (підприємства м'ясної, рибної, молочної, харчової, целюлозно-паперової, мікробіологічної, хімічної промисловості; заводи з виробництва каучуку, пластмас та ін.).

3. Забруднені мінеральними та органічними домішками (підприємства нафтовидобувної, нафтопереробної, текстильної, легкої, фармацевтичної промисловості; заводи з виробництва цукру, консервів, продуктів органічного синтезу та ін.).

Крім вищезгаданих 3-х груп забруднених виробничих стічних вод має місце скидання нагрітих вод у водойму, що є причиною так званих теплових забруднень. Виробничі стічні води можуть відрізнятися за концентрацією забруднюючих речовин, за ступенем агресивності та ін.

Склад виробничих стічних вод коливається у значних межах, що викликає необхідність ретельного обґрунтування вибору надійного та ефективного методу очищення у кожному конкретному випадку.

Отримання розрахункових параметрів та технологічних регламентів обробки стічних вод та осаду вимагають досить тривалих наукових досліджень як у лабораторних, так і у напіввиробничих умовах. Кількість виробничих стічних вод визначається залежно від продуктивності підприємства за укрупненими нормами водоспоживання та водовідведення для різних галузей промисловості [15].

Норма водоспоживання – це доцільна кількість води, необхідного для виробничого процесу, встановленого на підставі науково обґрунтованого розрахунку чи передового досвіду. В укрупнену норму водоспоживання входять усі витрати води для підприємства. Норми витрати виробничих стічних вод застосовують при проектуванні новозбудованих та реконструкції діючих систем водовідведення промислових підприємств.

Укрупнені норми дозволяють дати оцінку раціональності використання води на будь-якому підприємстві. У складі інженерних комунікацій промислового підприємства, як правило, є кілька водовідвідних мереж. Незабруднені нагріті стічні води надходять на охолоджувальні установки (бризкальні басейни, градирні), а потім повертаються в систему оборотного водозабезпечення. Забруднені стічні води надходять на очисні споруди, а після очищення частина оброблених стічних вод подається до систему оборотного водозабезпечення у ті цехи, де її склад задовольняє нормативним вимогам.

Ефективність використання води на промислових підприємствах оцінюється такими показниками, як кількість використаної оборотної води, коефіцієнтом її використання та відсотком її втрат. Для промислових підприємств складається баланс води, що включає витрати на різні види втрат, скидання та додавання компенсуючих витрат води у систему.

Проектування новозбудованих та реконструйованих систем водовідведення населених пунктів та промислових підприємств має здійснюватись на основі затверджених у встановленому порядку схем розвитку та розміщення галузі народного господарства, галузей промисловості та схем розвитку та розміщення продуктивних сил з економічних районів. При виборі систем та схем водовідведення має враховуватися технічна, економічна та санітарна оцінки існуючих мереж та споруд, передбачатися можливість інтенсифікації їхньої роботи.

При виборі системи та схеми водовідведення промислових підприємств необхідно враховувати:

- 1) вимоги до якості води, що використовується в різних технологічних процесах;

- 2) кількість, склад та властивості стічних вод окремих виробничих цехів та підприємства в цілому, а також режими водовідведення;

3) можливість скорочення кількості забруднених виробничих стічних вод шляхом раціоналізації технологічних процесів виробництва;

4) можливість повторного використання виробничих стічних вод в системі оборотного водозабезпечення або для технологічних потреб іншого виробництва, де допустимо застосовувати води нижчої якості;

5) доцільність вилучення та використання речовин, що містяться в стічних водах;

6) можливість та доцільність спільного відведення та очищення стічних вод від кількох близько розташованих промислових підприємств, а також можливість комплексного вирішення очищення стічних вод промислових підприємств та населених пунктів;

7) можливість використання у технологічному процесі очищених побутових стічних вод;

8) можливість та доцільність використання побутових та виробничих стічних вод для зрошення сільськогосподарських та технічних культур;

9) доцільність локальної очистки стічних вод окремих цехів підприємства;

10) самоочисну здатність водойми, умови скидання до нього стічних вод та необхідний ступінь їх очищення;

11) доцільність застосування того чи іншого методу очищення. При варіантному проектуванні водовідвідних систем та очисних споруд на підставі техніко-економічних показників приймається оптимальний варіант.

5.4. Методи зниження шкідливих домішок під час використання води на промислових підприємствах

Методи, що застосовуються для очищення виробничих та побутових стічних вод, можна розділити на три групи: механічні, фізико-хімічні, біологічні. У комплекс очисних споруд, як правило, входять споруди механічного очищення [16]. Залежно від необхідного ступеня очищення вони можуть доповнюватися спорудами біологічної чи фізико-хімічної очищення, а за більш високих вимог до складу очисних споруд включаються споруди глибокої очистки.

Перед скиданням у водойму очищені стічні води знезаражуються, осад,

що утворюється на всіх стадіях очищення, або надмірна біомаса, надходить на споруди з обробки осаду. Очищені стічні води можуть прямувати до оборотних систем водозабезпечення промислових підприємств, на сільськогосподарські потреби або скидатися у водойму. Оброблений осад може утилізуватися, знищуватись або складуватися.

Механічна очистка застосовується для виділення зі стічних вод нерозчинених мінеральних та органічних домішок. Як правило, вона є методом попереднього очищення та призначена для підготовки стічних вод до біологічних чи фізико-хімічних методів очищення. Внаслідок механічного очищення забезпечується зниження зважених речовин до 90%, а органічних речовин до 20%. До складу споруд механічного очищення входять ґрати, різного виду уловлювачі, відстійники, фільтри. Пісколовки застосовуються для виділення зі стічних вод важких мінеральних домішок (переважно піску). Зневоднений пісок при надійному знезараженні може бути використаний при виробництві дорожніх робіт та виготовленні будівельних матеріалів.

Усереднювачі застосовуються регулювання складу і витрат стічних вод. Усереднення досягається або диференціюванням потоку стічної води, або інтенсивним перемішуванням окремих стоків. Первинні відстійники застосовуються для виділення зі стічних вод завислих речовин, які під дією гравітаційних сил осідають на дно відстійника, або спливають на його поверхню.

Для очищення стічних вод, що містять нафту і нафтопродукти, при концентраціях більше 100 мг/л застосовують нафтоловки. Ці споруди являють собою прямокутні резервуари, в яких відбувається поділ нафти та води за рахунок різниці їх густин. Нафта та нафтопродукти спливають на поверхню, збираються і видаляються з нафтоловки на утилізацію.

Біологічна очистка – метод, що широко застосовується на практиці для обробки побутових та виробничих стічних вод. В його основі лежить процес біологічного окислення органічних сполук, що містяться у стічних водах. Біологічне окиснення здійснюється суспільством мікроорганізмів, що включають безліч різних бактерій, найпростіших і ряд високоорганізованих організмів-водоростей, грибів і т.д., пов'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаєминами (метабіозу, симбіозу та антагонізму).

Хімічні та фізико-хімічні методи очищення відіграють значну роль під

час обробки виробничих стічних вод. Вони застосовуються як самостійні, так і в поєднанні з механічними та біологічними методами.

Нейтралізація застосовується для обробки виробничих стічних вод багатьох галузей промисловості, що містять луги та кислоти. Нейтралізація стічних вод здійснюється з метою запобігання корозії матеріалів водовідвідних мереж та очисних споруд, порушення біохімічних процесів біологічного окислювання у водоймах.

5.4.1. Характеристика замкнутих водооборотних систем

Одним з основних способів зниження забруднення води є створення систем оборотного водопостачання, при якому мінімізується забір води ззовні, тобто практично вся вода знаходиться в замкнутому контурі і піддається циклічному очищенню.

Необхідність створення водооборотних систем пов'язані з економічними міркуваннями. Вартість очищення стічних вод навіть після значного розведення дуже велика. Так, якщо прийняти вартість очищення на 90% за 1 умовну одиницю (у.о.), то очищення на 99% дорожче в 10 разів, а очищення на 99,9%, яке потрібно найчастіше, буде дорожчим уже в 100 разів, тобто. становитиме 100 у. о. В результаті локальне очищення стічних вод тільки від характерного для даного виду стоків забруднення у разі їх повторного використання виявляється суттєво дешевшим за їх повне очищення, яке здійснюється перед скиданням у водойми відповідно до вимог санітарних норм.

Для характеристики замкнутих водооборотних систем використовується критерій кратності використання води:

$$n = Q_{\text{заг}} / Q_3, \quad (5.5)$$

де n – критерій кратності використання води;

$Q_{\text{заг}}$ – загальний обсяг води, що споживається підприємством ($\text{м}^3/\text{год}$, $\text{м}^3/\text{т}$ сировини чи продукції);

Q_3 – забір свіжої води підприємством ($\text{м}^3/\text{год}$, $\text{м}^3/\text{т}$ сировини або продукції).

Чим більша кратність використання води, тим досконаліша схема водопостачання. У 1995 року середнє значення критерію кратності використання води дорівнювало 7,5. В Росії у 1995 року критерій кратності використання води у різних галузях становив у чорній та кольоровій

металургії становив 5,25.

У нашій країні планувалося довести середній за галузями промисловості критерій кратності використання води до 7,0; а у США – до 22,0.

Створення замкнутих систем водного господарства є дуже важким завданням. Складний хімічний склад стічних вод, різноманітність хімічних сполук, що містяться в них, унеможлиблює розробку універсальної безстічної технологічної схеми водопостачання. Можна говорити лише про загальні принципи створення та проектування безстічних схем водопостачання.

Одним з основних технічних вузлів системи оборотного водопостачання є електрофлотаційний модуль, що складається з електрофлотатора, блоку нерозчинних електродів, пінозбірного пристрою та енергозберігаючого джерела живлення. Вузол водооборотної системи з використанням електрофлотокоагулятора представлений на рисунку 5.1.

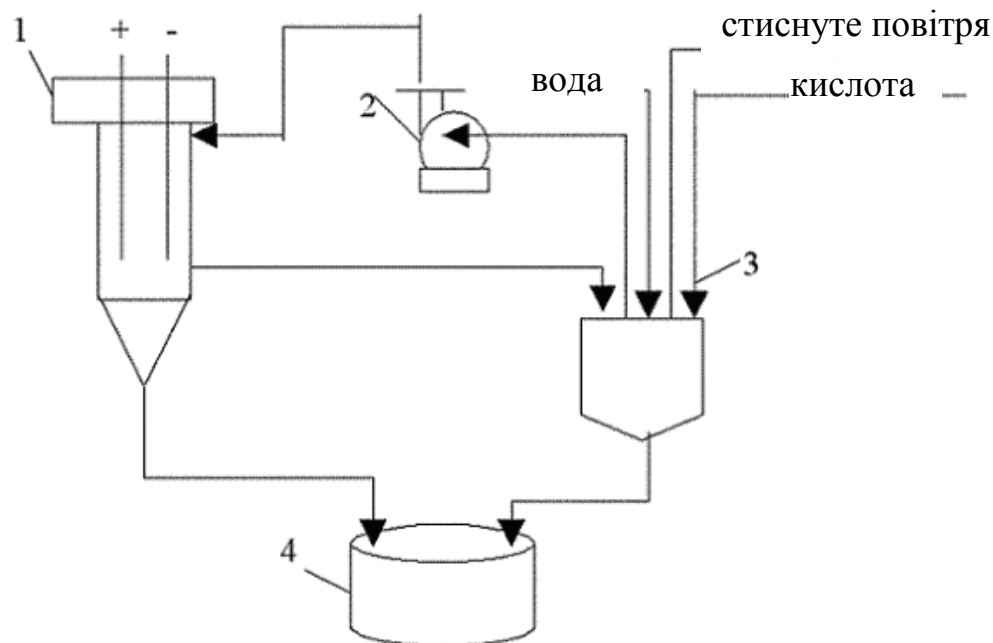


Рис. 5.1. Електрофлотаційний модуль:

1 – електрофлотокоагулятор; 2 – циркуляційний насос; 3 – ємність для приготування водяного розчину кислоти; 4 – ємність для збору шлам

Робота електрофлотатора заснована на процесах виділення електролітичних газів при електролізі води та флотаційному ефекті. Модуль може працювати як у безперервному, так і в періодичному режимі. У процесі електрофлотації відбувається вилучення зі стічних вод комплексу забруднюючих речовин: гідроксидів та фосфатів важких металів на 95–99%,

завислих речовин на 95–99%, нафтопродуктів на 70–90%, поверхнево-активних речовин на 50–70%, у присутності різних аніонів [17].

Електрофлотаційне обладнання є досить компактним, високопродуктивним, значно спрощує технологічні схеми очищення води, процеси керування та експлуатації порівняно легко автоматизуються. При електрохімічному очищенні стічних вод, як правило, не збільшується аніонний (сольовий) склад попередньо очищеної води. При цьому значно знижується кількість і вологість осаду, що утворюється, який легко зневоднюється на недорогих рамних фільтр-пресах вітчизняного виробництва [18].

Крім того, очищення стічних вод методом електрофлотації одночасно супроводжується такими процесами, як зниження концентрації бактерій та мікроорганізмів, мутності (NTU) та хімічного споживання кисню ГСК (COD). Завдяки цим особливостям процесу знижується навантаження на установку мікро-, ультрафільтрації, що продовжує періоди часу між її регенераціями та термін служби мембранних елементів.

Наступні мікро-, ультрафільтри виконують функцію проміжного технологічного вузла системи оборотного водопостачання, забезпечують очищення води від високомолекулярних розчинних органічних сполук ВОС після електрофлотаційного очищення і перед подачею води на установку зворотного осмосу. Мікрофільтрація та ультрафільтрація застосовуються як альтернатива глибинної фільтрації (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Порівняння ефективності методів електрофлотації та електрокоагуляції [19]

Параметр	Електрокоагуляція	Електрофлотація
Енерговитрати, кВт·год/м ³	1–1,5	0,1–0,5
Ступінь очищення, %	80–95	95–99
Вторинне забруднення води	Fe 1 мг/л; Al 0,5-1 мг/л	Відсутнє
Вторинне забруднення твердих відходів ІТМ	30% (Cu, Ni, Zn, Cr)	Відсутнє
Режим експлуатації	Періодичний	Безперервний
Витрата матеріалів та реагентів	Fe та/або Al анод (5–10 днів)	Ti-анод (5–10 років)
Продуктивність, м ³ /год	до 5	1–50
Осад гальванічного шламу	Пульпа 99% вологості	Пінний продукт 94–96% вологості

Мембрани для мікро-, ультрафільтрації найбільш поширені на ринку і є найменш дорогими. Дані типи мембран виготовляються з поліпропілену, акрилонітрилу, нейлону, фторопласту та кераміки.

5.5. Характеристика систем осадження суспензії

Швидкість осадження зважених частинок у воді залежить від багатьох параметрів: розмірів, матеріалу, форми, порізності тощо.

При використанні механічних відстійників для часток малої щільності діє практично лінійний закон, тобто сили, що протидіють осадженню, практично рівні швидкості осадження в першому ступені. При відстоюванні великих частинок діє квадратична залежність, тобто сили протидії осадженню пропорційні швидкості осадження в другому ступені. Для частинок середнього розміру показник ступеня перебуває у межах, тобто від 1 до 2.

Практичний розрахунок швидкості осадження в реальних умовах коагульованої суспензії становить великі труднощі. Тому при проектуванні відстійників використовують емпіричні дані визначення процентного осадження суспензій [20].

Одним із найпоширеніших типів є горизонтальні відстійники (рис. 5.2). Вони, зазвичай, є дві зони: зона осадження і зона накопичення і ущільнення.

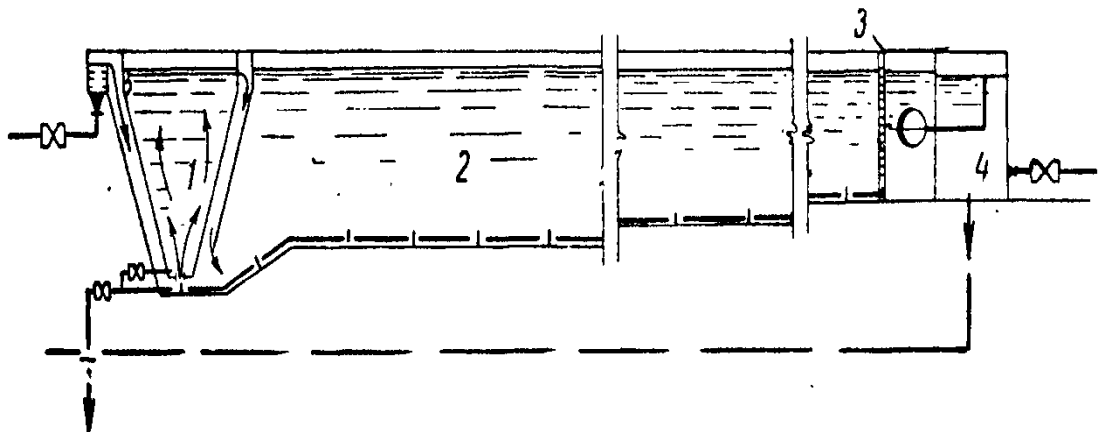


Рис. 5.2. Горизонтальний відстійник:

1 – вихрова камера; 2 – коридор відстійника; 3 – дірчаста перегородка; 4 – камера для всмоктувальних труб насосів

Відстійник працює циклічно і за відсутності механічного чи гідравлічного обладнання видалити осад можна лише у відключеному стані з

повним випорожненню ванни. Гідравлічний спосіб передбачає використання дірчастих дренажних труб, укладених на дні відстійника.

Вертикальні відстійники (рис. 5.3) набагато рідше використовуються в системі водоочисних споруд. При великих обсягах води, що очищається, більш ефективними є освітлювачі зі зваженим осадом.

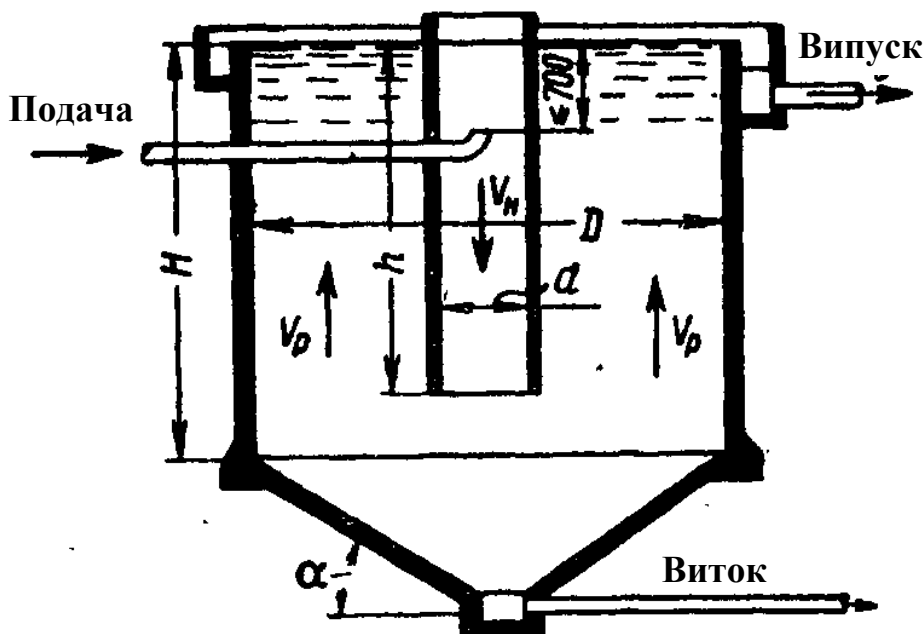


Рис. 5.3. Вертикальний відстійник

Вертикальний відстійник умовно розділений на дві частини – зону осадження та осадову частину. При цьому діаметр вертикального відстійника повинен у півтора рази перевищувати висоту зони осадження. Швидкість потоків води, які спрямовані нагору, як правило, визначаються за емпіричними даними. Однією з вимог цього типу відстійників є те, що граничний зміст суспензії не перевищує 8–12 мг/л.

Осадову частину відстійника виконують із нахилом стін під кутом 50–55° до горизонту. Перевагою цього типу є можливість видалення осаду без переривання роботи. Для особливо забруднених вод можуть використовуватися радіальні відстійники з фермами, що обертаються (рис. 5.4). Ці відстійники часто використовуються на металургійних комбінатах в системі замкнутого циклу водопостачання.

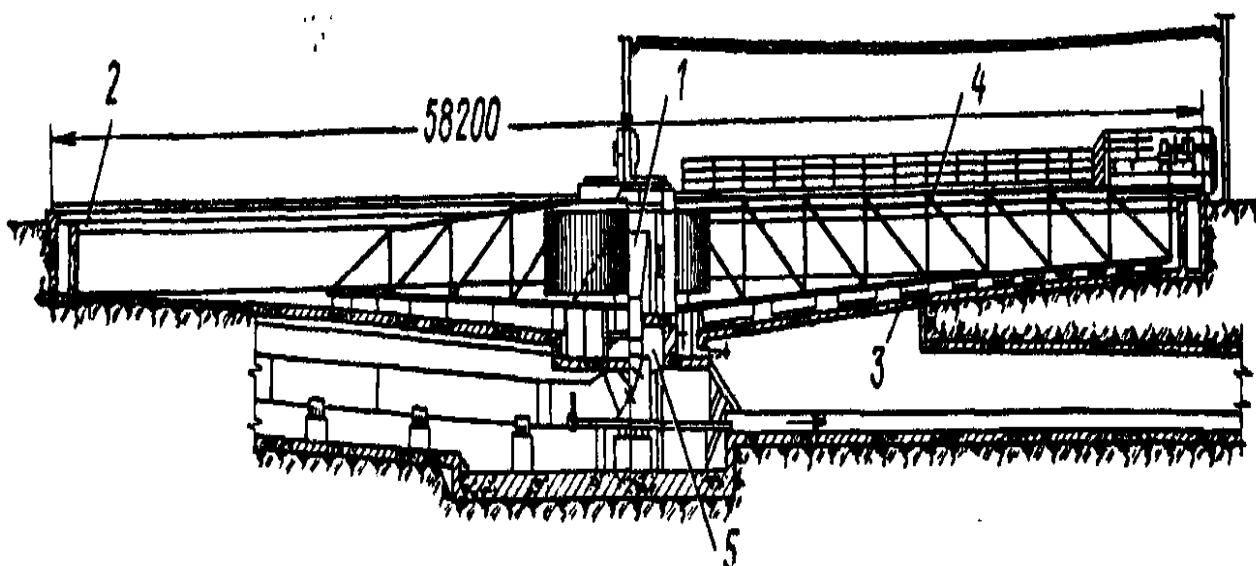


Рис. 5.4. Радіальний відстійник:

1 – труба для випуску води; 2 – збірний жолоб; 3 – скребки; 4 – ферма;
5 – приймач для осаду

Подача води для цього типу проводиться знизу вгору в центральній частині, а потім відбувається її розподіл у радіальному напрямку. Осад за допомогою скребок потрапляє в центральний приямок, а потім шламовими насосами видаляється з відстійника. Очищена вода трубами для випуску надходить у збірний жолоб.

5.6. Основні методи очищення води в межах металургійного виробництва

5.6.1. У доменному виробництві

Більшість води, яка використовується в доменному виробництві, витрачається в системі охолодження печі та допоміжних агрегатів. Також вода застосовується при грануляції шлаку на шлакових відвалах, для гідрозбирання в підбункерних приміщеннях. Для охолодження доменної печі застосовуються системи водяного та випарного охолодження. При цьому випарне охолодження застосовується для прогрітих частин доменної печі: шахти, розпару, запічників.

На рисунку 5.5 представлено структурну схему автоматизації систем охолодження доменної печі.

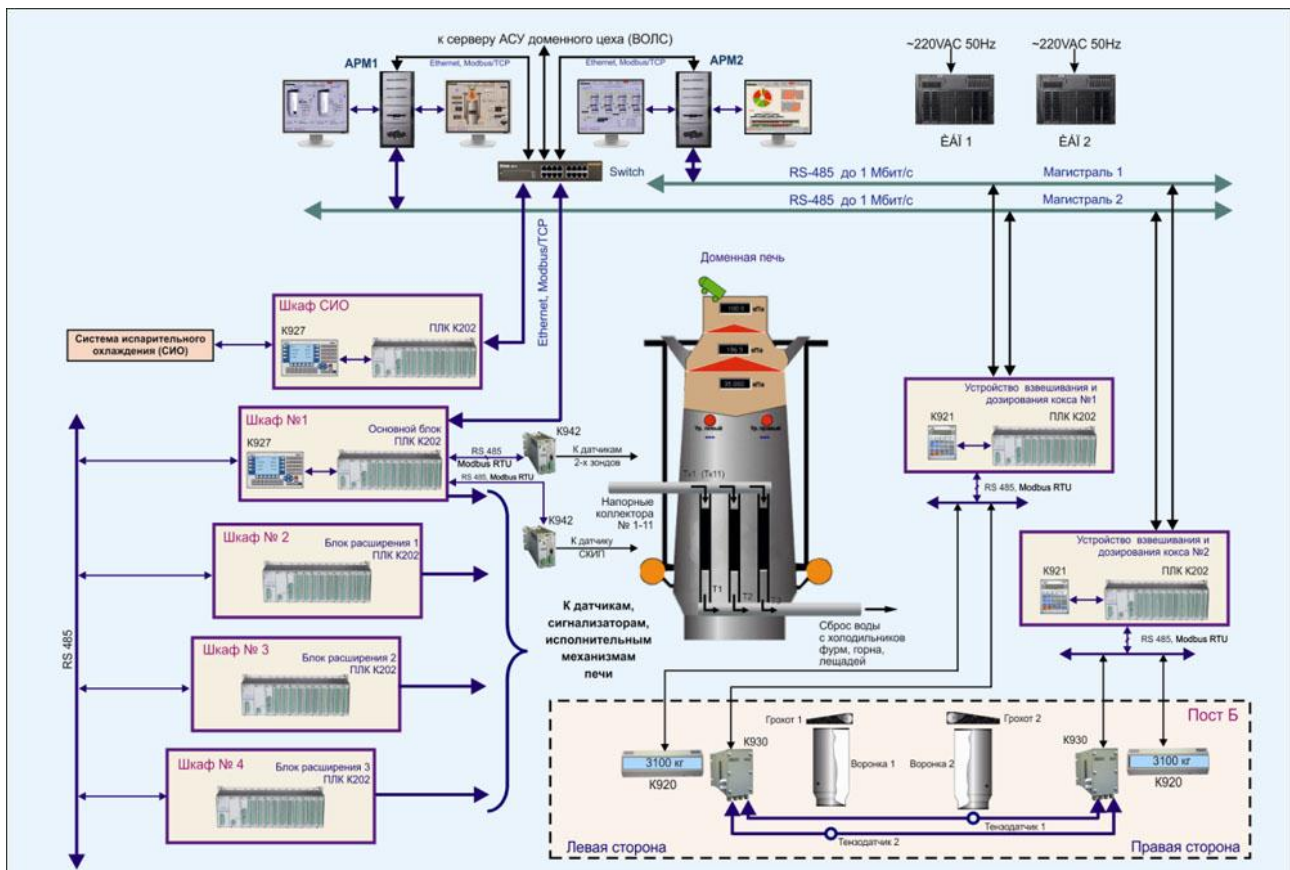


Рис. 5.5. Приклад системи охолодження доменної печі

Загалом система охолодження працює за замкненим оборотним циклом, проте тут також є втрати на рівні 1–2 %. Охолодження води відбувається у спеціальних спорудах, які називаються градирнями.

У підбункерній естакаді вода використовується для гідрозмиву осаджень, що утворюються в процесі завантаження шихтових матеріалів у доменну піч. Вода для цих цілей використовується із системи оборотного водопостачання і може подаватися за допомогою стаціонарних металевих труб з отворами, або за допомогою переносних шлангів. У процесі очищення стоки самопливом потрапляють у першу ступінь очищення – радіальний відстійник. Пил, що осів, прибирають з дна механізовано за допомогою бугер-елеваторів. В якості другого ступеня очищення води часто застосовують великі відкриті гідроциклони. Після другого ступеня ступінь очищення становить до 16–22 г/л, що відповідає вимогам для технічної води. Практично всі великі частинки з діаметром понад 500 мкм уловлюватимуться в такій двоступінчастій системі.

На шлакових відвалах доменних цехів нині використовують два способи грануляції шлаку – мокрий і напівсухий. Мокрий спосіб грануляції передбачає

зливання рідкого шлаку безпосередньо у воду. В результаті процесу кристалізації утворюється матеріал дрібної фракції, який згодом збирається ковшами грейферних кранів.

Напівсухий спосіб використовується в основному для отримання високоякісного цементу. Шлак з ковшів по жолобу подається на лопаті барабана, де розбивається на дрібніші частинки, а вода, що подається, охолоджує гранулят (рис. 5.6).

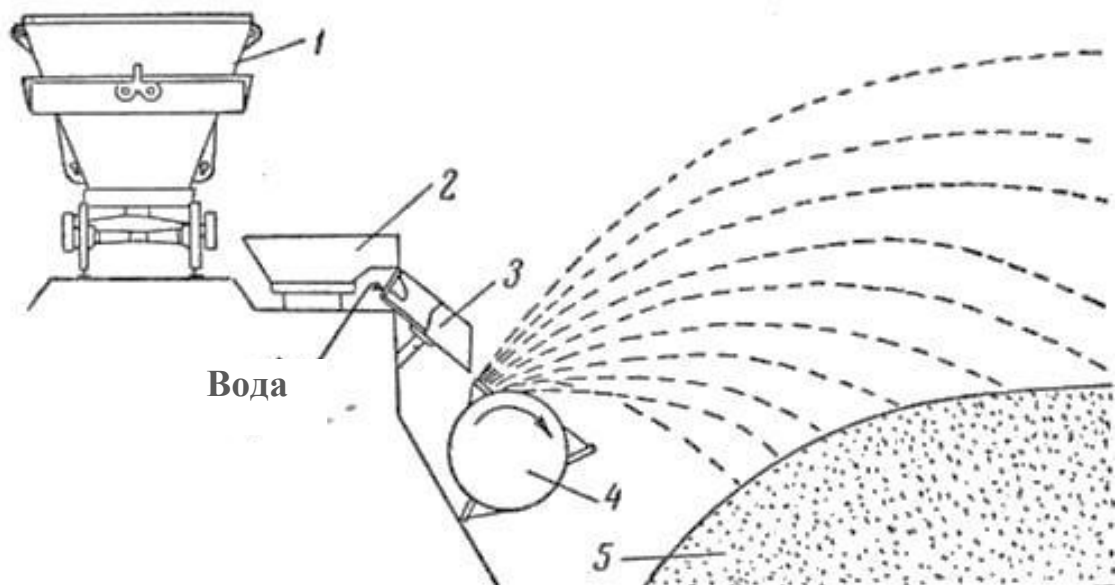


Рис. 5.6. Схема грануляції шлаку:

- 1 – шлаковозний ківш, 2 – приймальна ванна, 3 – жолоб,
4 – барабан, що обертається, 5 – гранульований шлак

Вода при грануляції шлаку виконує кілька функцій: для утворення грануляту при подачі рідини на шлак, для охолодження гранульованого шлаку, для очищення пари, що утворюється від сполук сірки, для очищення прийомних жолобів, а також для охолодження підшипників. Безповоротно при грануляції шлаку втрачається близько 0,7 т води на тону шлаку. Перед повторним використанням воду очищають і охолоджують до 15–20 °С.

Значна кількість вологи, що випарувалася, відводиться через спеціальну витяжну трубу, в основі якої встановлений скруббер для очищення від сірчистого ангідриду. Для ефективнішого уловлювання сполук сірки часто застосовують воду зі зниженою основністю.

Найважливіше значення вода відіграє у системі газоочищення.

Колошниковий газ доменної печі є основним видом палива для доменних повітрянагрівачів та інших теплотехнічних агрегатів металургійного виробництва. Однак, для його повноцінного використання як паливо необхідно проводити очищення газу від великої кількості пилу, що міститься в ньому. Багатоступінчаста система очищення колошникового газу включає також і мокру ступінь очищення, де використовується оборотна система подачі води.

Максимальна запиленість доменного газу після етапу мокрого очищення не повинна перевищувати 10 мг/м^3 , при цьому питома витрата води становить $5\text{--}10 \text{ л/м}^3$. Стічні води після процесу очищення потрапляють у відстійники, де вода освітлюється до потрібних значень чистоти. В даний час у доменних цехах для очищення води використовуються радіальні відстійники із вбудованою камерою флокуляції.

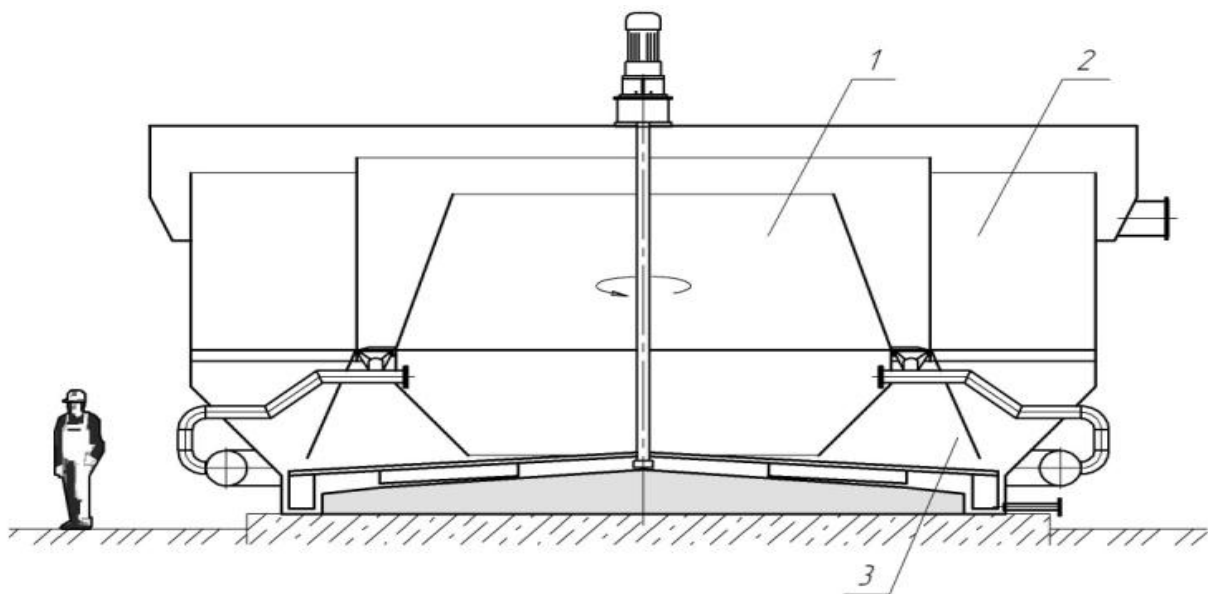


Рис. 5.7. Схема відстійника-флокулятора:

1 – камера флокуляції; 2 – камера відстоювання; 3 – камера первинного ущільнення осаду

Використання води на розливних машинах доменного цеху здійснюється з метою охолодження мульд, а також приготування вапняного молока, яким покривається поверхня чавуновізних ковшів. На розливальних машинах як і в газоочищенні використовується оборотна система водопостачання. Однак за рахунок випаровування втрачається до 30% води, тому існує постійна необхідність у поповненні системи свіжою водою. В основному для очищення забрудненої води використовують радіальні відстійники. Кількість суспензій, що містяться в очищеній воді, не повинна перевищувати $100\text{--}150 \text{ г/л}$.

5.6.2. Сталеплавильний переділ

У сучасному сталеплавильному виробництві постійно збільшується частка сталі, виробленої в конвертерах та електропечах, і зменшується частка мартенівської сталі. Тому тут, в основному, наводиться опис водного господарства киснево-конвертерних та електросталеплавильних цехів.

При киснево-конвертерному способі виплавки відбувається значне виділення забруднених газів з високою температурою, які вимагають багатоступінчастої очистки, перш ніж потрапити до навколишнього середовища. Окрім «вологих» ступенів очищення конвертерних газів значна кількість води використовується в системі охолодження чаші конвертера та фурм. Максимальна витрата води на одну конвертерну піч може досягати $15 \text{ м}^3/\text{т}$. При цьому третина води використовується у системі охолодження, а дві третини у системі газоочищення.

Для охолодження фурм конвертера необхідно подавати воду з надлишковим тиском близько 1,2 МПа, а для системи газоочищення тиск становить 0,4–0,8 МПа. Системи газоочищення конвертерів можна поділити на дві основні групи: без допалювання конвертерного газу та з системою допалювання газів, що відходять. Залежно від використання різних систем відрізнятиметься питома витрата води в системі очищення. Максимальна витрата води спостерігається у разі відсутності допалювання конвертерного газу і становить більше 12 м^3 на 1000 м^3 газ, що очищається, за нормальних умов [21].

Склад стічних вод залежить від технологічних умов цього процесу виплавки сталі. Крім того, склад забрудненої води може змінюватися в процесі самої плавки. На першому етапі відбувається уловлювання зважених частинок діаметром понад 500 мкм. Важливим робочим параметром є питоме гідравлічне навантаження, що приймається для відстійників за одиницю. Для інтенсифікації процесів очищення використовують високомолекулярні коагулянти. Освітлена вода після відстійників повинна містити не більше 300 мг/л завислих речовин. Для охолодження нагрітої після очищення води використовують бризкувальні градирні. Система оборотного водопостачання обладнана системою видалення з води вільного СО шляхом нагнітання повітря через систему перфорованих труб.

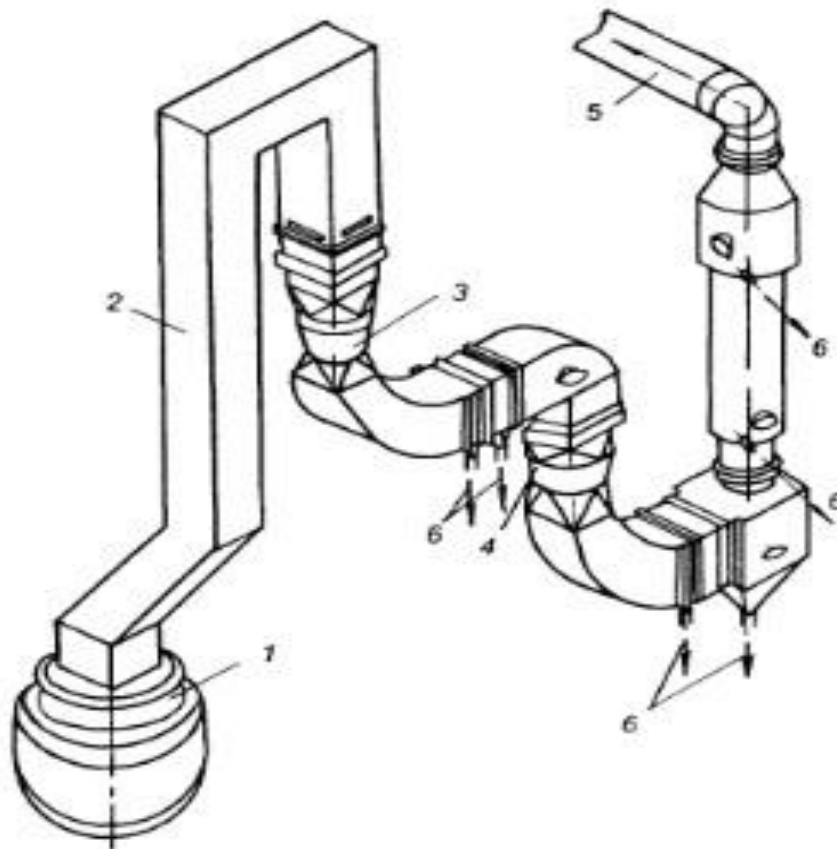


Рис. 5.8. «Мокре» очищення конвертерного газу:

1 – «спідниця»; 2 – підйомний газохід; 3 – скруббер; 4 – регульована труба Вентурі;
5 – димосос; 6 – відведення шламу та води

Найбільш поширені за кордоном схеми зневоднення передбачають згущення шламової пульпи в радіальних згущувачах, фільтрування на вакуум-фільтрах та сушіння в сушильних барабанах. Однак ці схеми відрізняються підвищеними витратами при сушінні шламів у капіталоенергоємних сушильних барабанах. Крім того, шлами після сушіння втрачають свої гідрофільні властивості, особливо цінні при окускуванні. Вперше у вітчизняній практиці на комплексі підготовки відходів було впроваджено нову технологію спільної підготовки сухого вапняного пилу вапняно-випалювальної ділянки та вологого конвертерного шламу.

Для замкнутих систем водопостачання необхідне використання пом'якшеної води для запобігання утворення карбонату кальцію. З метою пом'якшення використовуються цеолітові пом'якшувачі, загальна жорсткість води в системі становить 0,1–0,2 мг-екв/л.

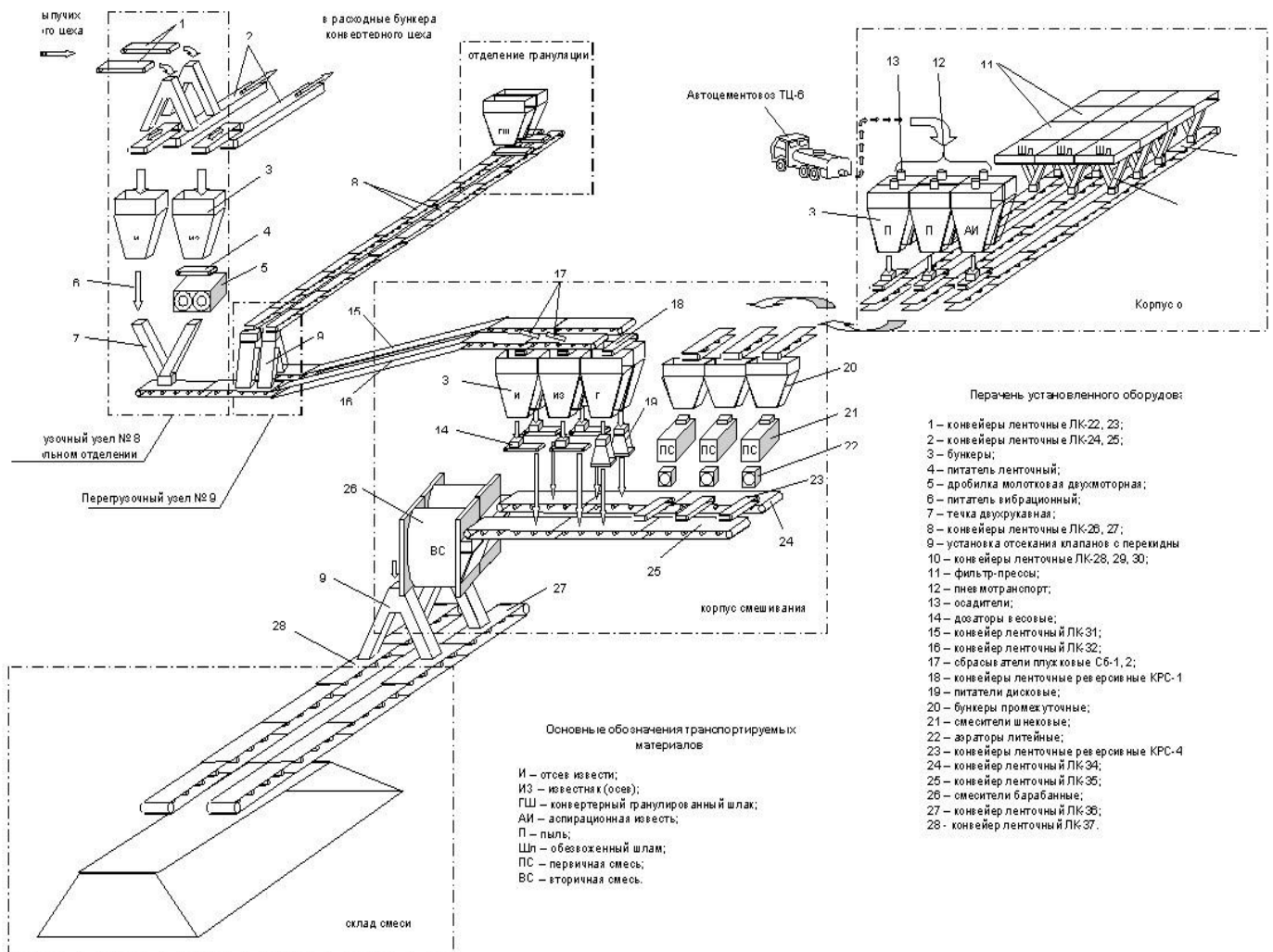


Рис. 5.9. Схема комплекса подготовки отходов ККЦ металлургического завода

5.6.3. У прокатному переділі

Система охолодження машин безперервного лиття заготовок передбачає значну витрату води — до 3 м³ на тону одержуваної сталі. У цій охолоджувальній системі вода практично не забруднюється, а піддається лише незначному нагріванню. При цьому для охолодження нагрітої води використовують градирні та повітряні охолоджувачі. Витрата води на вторинне охолодження заготовок становить до 2,5 м³ тону сталі. Крім того, для збирання відходів під рольгангами на перших клітках чорнового стану використовують систему гідрозмиву. Повторне використання цієї води передбачає багатоступінчасту систему очищення, оскільки така вода забруднена значною кількістю оливи та окалини. Вміст окалини становить до 1500 мг/л, а олії близько 50 мг/м³. У першому ступені очищення використовуються спеціально обладнані приямки для окалини. У цих ямах

відбувається очищення води до показників вмісту окалини 200–250 мг/л та вмісту олії до 30 мг/л. У другому ступені очищення використовуються прямокутні та радіальні відстійники з механізованим очищенням від осаду. Також для найбільш забруднених вод часто використовують коагулянт у вигляді поліакриламід. Після другого ступеня очищення вміст окалини не має перевищувати 100 мг/л, а масел 10 мг/л. Остаточне очищення проводиться в одношарових або двошарових кварцово-антрацитових фільтрах (рис. 5.10).

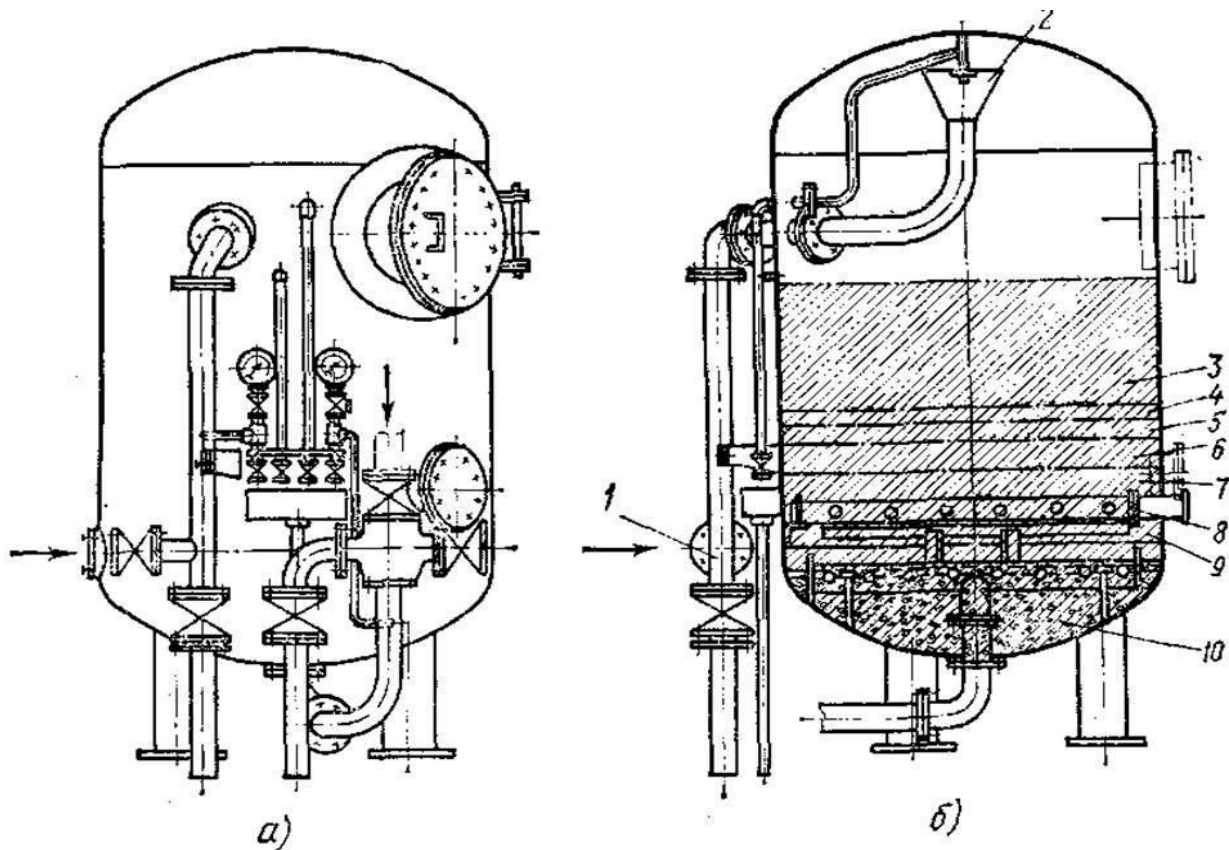


Рис. 5.10. Одношаровий кварцовий фільтр:

а – загальний вигляд, б – пристрій; 1 – водопідводна труба, 2 – воронка,
3, 4, 5, 6 та 7 – шари кварцу різної фракції, 8 – дренажний пристрій,
9 – цементне покриття, 10 – бетонна подушка

5.7 Тести для самоконтролю

1. Для чого використовують воду в сучасній металургії?

- а) охолодження різноманітних механізмів; б) очистки газу;
- в) гідротранспорту.

2. Як розраховується кратність розбавлення стокової води у воді водоймища (n)?

$$\text{а) } n = \frac{(C_0 - C_B)}{(C - C_B)} ; \text{ б) } n = \frac{(C - C_B)}{(C_0 - C_B)} ; \text{ в) } n = \frac{(C - C_0)}{(C_B - C)} ,$$

тут C_0 – концентрація забруднюючих речовин у стоковій воді, кг/м^3 ; C_B і C – концентрації тих же речовин у воді водоймища до і після попадання в них стокової води, кг/м^3 .

3. На які категорії поділяють стокової води?

а) виробничі; б) атмосферні; в) побутові.

4. На які градації підрозділяють виробничі стокові води?

а) які містять, в основному, мінеральні домішки; б) які містять, в основному, органічні домішки; в) які містять як мінеральні, так і органічні домішки.

5. Які методи зменшення шкідливих домішок застосовують при використанні води на промислових підприємствах?

а) механічні; б) фізико-хімічні; в) біологічні.

6. Як розрахувати кратність використання води ($n_{кр}$)?

$$\text{а) } n_{кр} = \frac{Q_{заг}}{Q_{св}} ; \text{ б) } n_{кр} = \frac{Q_{св}}{Q_{заг}} ; \text{ в) } n_{кр} = Q_{заг} \times Q_{св} ,$$

тут $Q_{заг}$ – загальний об'єм води, $\text{м}^3/\text{год}$; $Q_{св}$ – об'єм свіжої води, $\text{м}^3/\text{год}$.

7. Які типи відстійників використовують у промисловості?

а) горизонтальні ; б) вертикальні; в) радіальні.

6. ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ

На діючих промислових агрегатах часто доводиться вирішувати виробничі завдання щодо збільшення продуктивності печі, поліпшення якості нагріву матеріалів, економії палива, заміни одного виду палива на інше та ін. Для цих цілей зазвичай використовують теплотехнічні заходи, пов'язані з підвищенням теплової потужності печі, збільшенням температури у робочому просторі, підігрівом компонентів горіння, збагаченням повітря горіння технологічним киснем, рециркуляцією продуктів згоряння і таке інше.

Розглянемо вплив основних теплотехнічних заходів на валові викиди оксидів азоту.

6.1. Підвищення загальної теплової потужності печі

Загальна теплова потужність печі визначається кількістю теплоти, що подається в агрегат в одиницю часу ($M_{\text{заг}} = B \cdot Q_H^p$), тобто, її можна збільшити, змінюючи витрату палива та його теплоту згоряння.

1. Збільшення витрати палива

При збільшенні витрати палива за збереження теплоти згоряння підвищується загальна витрата продуктів згоряння:

$$V_{\text{пг}} = \vartheta_{\text{пг}} \cdot B, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (6.1)$$

При цьому, якщо умови спалювання палива не зміняться, калориметрична температура і температура печі залишаться незмінними, тому концентрація оксидів азоту практично буде такою ж. Однак при цьому, пропорційно до зростання загальної витрати продуктів згоряння зростуть валові викиди NO_x .

2. Підвищення теплоти згоряння палива

При зміні теплоти згоряння палива, що використовується для конкретного теплового агрегату, його годинна витрата може: не змінюватися, зростати або зменшуватися (за умови, що Q_H^p зростатиме).

Збільшення теплоти згоряння палива можна здійснити за рахунок заміни складу палива (наприклад, замість доменного газу застосувати коксовий) або збагачення бідного газу висококалорійними добавками (коксодоменна, природно-доменна суміші).

При збільшенні теплоти згоряння палива відбудеться зростання калориметричної температури та, відповідно, підвищиться концентрація оксидів азоту. При цьому їх валові викиди зростуть, навіть якщо витрата палива не зміниться.

6.2. Збільшення температури печі

Цей захід може бути реалізований двома способами:

– у разі, коли вид палива не змінюється і калориметрична температура теж залишається незмінною, то зростання температури печі відбувається за рахунок зменшення значення коефіцієнт витрати повітря (n);

– температура печі зростає внаслідок підвищення калориметричної температури горіння за рахунок використання палива з більшою теплотою згорання, підігріву компонентів горіння тощо.

У обох випадках буде спостерігатися зростання концентрацій оксидів азоту, проте це зростання у першому випадку буде менш значним, ніж у другому, оскільки у першому випадку калориметрична температура не змінюється, тоді як у другому – зростає.

6.3. Підігрів компонентів горіння

Наразі цей захід подвійно впливає на масові викиди NO_x . З одного боку, це призводить до економії палива та зниження загальної витрати диму, що зменшує валові викиди NO_x . Але з іншого боку, збільшення температури компонентів горіння викликає зростання концентрацій NO_x , тому що при цьому збільшується калориметрична температура горіння палива:

$$t_k = \frac{Q_H^p + Q_{\phi}^b + Q_{\phi}^t}{V_d \cdot C_o^{t_k}}. \quad (6.2)$$

При цьому зменшення часової витрати диму становитиме:

$$\Delta V_{\text{дг}} = \vartheta_{\text{дг}} \cdot \Delta B. \quad (6.3)$$

Зміну витрати палива ΔB можна визначити:

$$\Delta B = \frac{P \cdot \Delta i}{\text{КВП} \cdot Q_H^p} + \frac{\sum Q_{\text{вит}}}{\text{КВП} \cdot Q_H^p}. \quad (6.4)$$

Якщо P , Δi , Q_H^p і $\sum Q_{\text{вит}}$ не зміняться, то ΔB залежить тільки від КВП.

У цьому випадку існує проблема, що доцільніше: нагрівати повітря чи низькокалорійний газ?

З погляду простоти, надійності та безпеки краще підігрівати повітря. З теплотехнічного погляду – доменний газ (чи його бідні суміші КДС, ПДС).

7. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

7.1. Розрахунок інерційного пиловловлювача типу «пиловий мішок»

Принцип дії таких пиловловлювачів полягає у різкій зміні напрямку руху запиленого газу на 130–180 градусів з одночасним зниженням швидкості з 18–20 м/с до 0,6–0,8 м/с. Внаслідок чого частинки пилу випадають у спеціальний бункер під дією сил інерції. Вважають, що ступінь очищення пилу з розміром частинок понад 40 мкм становить 1. Частинки меншого розміру також випадають із газового потоку, при цьому ступінь очищення визначатиметься за виразом:

$$\eta_{\phi,i} = \frac{m_{\delta,i}}{m_{100}} = \left(\frac{d_i}{40} \right)^3, \quad (7.1)$$

де $m_{\delta,i}$ та m_{100} – маса фракцій пилу з діаметром частинок δ_i та 100 мкм.

Діаметр таких апаратів становить близько 10 м. При цьому висота шару пилу в бункері не повинна перевищувати половину загальної висоти споруди. Рівень пилу регулюється за допомогою пиловипускних затворів.

Найбільшого поширення набули конструкції пиловипускних затворів:

- мигалки з конусним клапаном;
- мигалки із плоским клапаном;
- подвійний пиловий затвор з електроприводом;
- шлюзовий живильник.

Мигалку з конусним клапаном використовують, якщо розрідження над нею не перевищує 1000 Па. Якщо розрідження більше зазначеного, то можна встановлювати послідовно дві мигалки. Ущільнююча дія клапана ґрунтується на підтримці над клапаном шару пилу, аеродинамічний опір якого перевищує різницю тиску на клапані. Необхідна для цього висота вертикального стовпа пилу над клапаном визначається за допомогою формули:

$$h = \frac{\Delta p}{g\rho_{\text{нас}}} + 0,1, \quad (7.2)$$

де Δp – перепад тиску на клапані, Па;

$\rho_{\text{нас}}$ – насипна щільність пилу, кг/м³;

g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 .

В цій формулі пил сприймається як нестислива рідина. Внутрішній діаметр вхідного патрубку мигалки визначають за такою формулою:

$$d = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{пил}}}{q_H}}, \quad (7.3)$$

де q_H – питоме навантаження клапану, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Порядок визначення розмірів пилового мішка

1. Площа та розмір вхідного каналу.

Розрахунок ведеться за прийнятої швидкості газового потоку $W_{г.п}$ в межах 18–20 м/с та витраті газу $V_{г.т}$, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$F = \frac{V_{г.т}}{W_{г.пх}}. \quad (7.4)$$

Розміри вхідного каналу залежать від прийнятої схеми. Для більшості схем це діаметр внутрішньої труби:

$$d = \sqrt{\frac{4F_{вх}}{\pi}}. \quad (7.5)$$

Для радіального пиловловлювача необхідно задаватися шириною вхідного каналу – b , тоді довжина апарата визначається виразом

$$l = \frac{F_{вх}}{b}. \quad (7.6)$$

Найчастіше параметр b становить не більше 0,7–1 м .

Площа кільцевого перерізу пилового мішка:

$$F_{ап} = \frac{V_{г.т}}{W_{ап}}, \quad (7.7)$$

де $W_{ап}$ складає 0,6–1 м/с .

Внутрішній діаметр апарата:

$$d_{ап} = \sqrt{\frac{4 \cdot (F_{ап} + F_{вх})}{\pi}}. \quad (7.8)$$

Висоту циліндричної частини апарата приймають рівною діаметру

апарата $H_{\text{ап.ц}} = d_{\text{ап.}}$.

Висота конічного пилового бункера залежить від нахилу бічних стінок. Кут нахилу для бункерів приймають у межах $\alpha = 35\text{--}45^\circ$. Отже, орієнтовна висота бункера буде:

$$h_{\text{ап}} = \frac{d_{\text{ап}}}{2\text{tg}\alpha}. \quad (7.9)$$

Якщо вивантажувальний пристрій вибрано за таблицями стандартних розмірів, знаходимо діаметр або ширину вивантажуючого проходу пилового бункера – $d_{\text{б.вих}}$, тоді висота бункера:

$$h_{\text{б}} = \frac{d_{\text{ап}} - d_{\text{б.вих}}}{2\text{tg}\alpha_{\text{б}}}. \quad (7.10)$$

При виборі газоочисного апарата раціонально використовувати для вивантаження пилу шлюзовий живильник.

7.2. Розрахунок скрубера Вентурі

Розрахунок труб Вентурі складається з кількох частин [22]:

- розрахунок параметрів газу та визначення витрати газу та рідини, що надходять у скрубер;
- розрахунок розмірів труби Вентурі та вибір (або розрахунок) схеми її зрошування;
- розрахунок втрат тиску в трубі Вентурі;
- розрахунок ефективності очищення труби Вентурі.

Розрахунок параметрів газу та визначення витрати газу та рідини

Масова витрата вологого газу залежить від об'ємної витрати брудного вологого газу – $V_{\text{г.0}}$ та густини – $\rho_{\text{г.0}}$:

$$M_{\text{г}}^{\text{в}} = V_{\text{г.0}} \cdot \rho_{\text{г.0}}. \quad (7.11)$$

Масова теплоємність газів:

$$C_{\text{г}}^{\text{м}} = \frac{C_{\text{г}}^{\text{в}}}{\rho_{\text{г}}}. \quad (7.12)$$

Частка сухого газу на вході в апарат залежить від початкового вмісту вологи брудного газу – x :

$$ДС = \frac{1}{1 + x}. \quad (7.13)$$

Частка вологи в газі на вході в апарат:

$$ДВ = 1 - ДС. \quad (7.14)$$

Масова витрата сухого газу:

$$M_{\Gamma}^c = M_{\Gamma}^B \cdot ДС. \quad (7.15)$$

Масова витрата вологи:

$$M_B = M_{\Gamma}^B - M_{\Gamma}^c. \quad (7.16)$$

Теплоємність сухого газу:

$$C_{\Gamma,0}^c = \frac{C_{\text{ш}}^m - ДВ \cdot C_{\text{H}_2\text{O}}}{ДС}. \quad (7.17)$$

Питома ентальпія газу на вході в скруббер Вентурі при температурі газу – $t_{\Gamma,1}$:

$$i_{\Gamma}^B = ДС \cdot C_{\Gamma,0}^{t_{\Gamma,1}} + ДВ \cdot i_{\text{H}_2\text{O}}^{t_{\Gamma,1}}. \quad (7.18)$$

Питомий тепловміст, віднесений до одиниці сухого газу:

$$i_{\Gamma}^c = \frac{i_{\Gamma}^B}{ДС}. \quad (7.19)$$

Якщо вважати, що охолодження газу повністю відбувається за рахунок теплоти випаровування води, то мінімальна витрата води може бути визначена з рівняння теплового балансу:

$$M_{\Gamma}^c \cdot C_{\Gamma} \cdot (t_{\Gamma,1} - t_{\Gamma,2}) + M_{\Gamma}^c \cdot x_1 \cdot (i_1 - i_2) = M_B \cdot i_2; \quad (7.20)$$

$$M_B^{\min} = \frac{M_{\Gamma}^c \cdot (C_{\Gamma} \cdot (t_{\Gamma,1} - t_{\Gamma,2}) + x_1 \cdot (i_1 - i_2))}{i_2}. \quad (7.21)$$

Мінімальна питома витрата води:

$$m^{\min} = \frac{M_B^{\min}}{V_{г.0}}. \quad (7.22)$$

У процесі охолодження та очищення газу, як правило, вся вода не випаровується. Кількість води, що випаровується, характеризується коефіцієнтом випаровування – ϕ . Ця величина лежить в межах від 0,4 до 0,45.

Витрата води в скрубєрі Вентурі:

$$M_B = \frac{M_{г}^{\min}}{\phi}. \quad (7.23)$$

Температуру води на виході з апарата визначається з рівняння теплового балансу для апарата в цілому:

$$t_{в.к} = \frac{M_{г}^c \cdot (C_{г} \cdot (t_{г.1} - t_{г.2}) + x_1 \cdot i_1 - x_2 \cdot i_2) + M_B \cdot C_B \cdot t_{в.н}}{(M_B - M_{г} \cdot (x_2 - x_1)) \cdot C_B}. \quad (7.24)$$

Розрахунок розмірів труб Вентурі

Геометричні характеристики труб Вентурі, які використовують для охолодження та очищення газів, розраховуються з тих самих міркувань, що і вимірювальні труби Вентурі, тобто з умов максимально можливого плавного звуження при переході в горло труби.

Швидкість газу в горловині труби Вентурі приймають у межах 50–150 м/с – менші значення для низьконапірних труб, більші – для високонапірних. Втрати тиску в низьконапірних трубах не перевищує 5 кПа, і такі труби використовуються для очищення газу від частинок пилу значного діаметру. Втрати тиску у високонапірних трубах становить 20–30 кПа тому їх використовують для очищення газу від тонкодисперсного пилу.

Діаметр горла труб Вентурі – $d_{г}$, як правило, не перевищує 600–650 мм. Довжина горла $l_{г}$ для високонапірних труб (часто і для низьконапірних труб) становить $0,15 d_{г}$.

Таким чином, площа поперечного перерізу горла труби складе:

$$F_{г} = \frac{d_{г}^2 \cdot \pi}{4}. \quad (7.25)$$

Витрата газу через одну трубу Вентурі визначається як:

$$V_{\text{TB}} = V_{\text{r}}^{\text{T}} \cdot \frac{273}{T_{\text{r}}} \cdot F_{\text{r}}. \quad (7.26)$$

Ця витрата значно нижча від загальної витрати газу $V_{\text{r},0}$, тому доцільно використання батарей труб Вентурі, кількість яких визначаємо за виразом:

$$n = \frac{V_{\text{r},0}}{V_{\text{TB}}}. \quad (7.27)$$

Довжина горла труби Вентурі приймається:

$$l_{\text{r}} = 3d_{\text{r}}. \quad (7.28)$$

Така довжина вибирається з міркувань мінімально допустимого рівня змішування у газовому потоці.

Швидкість газового потоку на конфузорі за нормальних умов приймається з урахуванням дійсної швидкості на конфузорі – $W_{\text{r},\text{t}}^{\text{K}}$:

$$W_{\text{r},0}^{\text{K}} = W_{\text{r},\text{t}}^{\text{K}} \cdot \frac{273}{T}. \quad (7.29)$$

Діаметр конфузора на вході в апарат:

$$d^{\text{K}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{r},0}}{\pi \cdot W_{\text{r},0}^{\text{K}}}}. \quad (7.30)$$

Об'ємна витрата газу на виході з дифузора:

$$V_{\text{r}}^{\text{Д}} = V_{\text{r},0} + V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{n}}, \quad (7.31)$$

де $V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{n}}$ – об'ємна витрата водяної пари, яка утворилася в результаті охолодження газу.

Об'ємна витрата водяної пари на виході з дифузора:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{n}} = \varphi \cdot M_{\text{B}} \cdot v_{\text{B}}, \quad (7.32)$$

де v_{B} – питомий об'єм пари. Для водяної пари ця величина становить – 1,244 м³/кг.

Швидкість газу на виході з дифузора, наведена до нормальних умов, становитиме:

$$W_{г.0}^Д = W_{г.т}^Д \cdot \frac{273}{t_г}. \quad (7.33)$$

Діаметр дифузора на вихлопі:

$$d_{вих}^Д = \sqrt{\frac{4 \cdot V_г^Д}{\pi \cdot n \cdot W_{г.0}^Д}}. \quad (7.34)$$

Довжина конфузора:

$$l_к = \frac{d^к - d_г}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_к}{2}}, \quad (7.35)$$

де $\alpha_к$ – кут звуження конфузора, за практичними даними приймаємо $\alpha_к = 8^\circ$.

Довжина дифузору:

$$l_д = \frac{d_{вих}^Д - d_г}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_д}{2}}, \quad (7.36)$$

де $\alpha_д$ – кут звуження дифузора, за практичними даними приймаємо $\alpha_д = 8^\circ$.

Вибір форсунки для розпилювання рідини

Для умов безперервного виробництва (наприклад, доменного) важливим є наявність форсунки, що не схильна до заростання вихідного отвору, особливо при використанні освітленої води. На більшості підприємств застосовується центральна система зрошування з евелльєвентними форсунками. При цьому відбувається відносно грубе розпилення води, що не є критичним через значний розмір часток пилу. Крім того, в процесі змішування води з пилом йде інтенсивне випаровування води, що сприяє розпилюванню води.

Витрата води на труби Вентурі:

$$V_{ТВ}^В = m \cdot V_{ТВ}. \quad (7.37)$$

Розрахунок втрат тиску в трубі Вентурі

Втрати тиску в трубах Вентурі складаються із втрат енергії газового потоку та втрат енергії на взаємодію газового потоку з рідиною, яка подається на охолодження та очищення:

$$\Delta P_{\text{ТВ}} = \Delta P_{\Gamma} + \Delta P_{\text{Ж}}. \quad (7.38)$$

Втрати енергії газовим потоком:

$$\Delta P_{\Gamma} = k_{\Gamma} \frac{V_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\Gamma}}{2}, \quad (7.39)$$

де $k_{\Gamma} = 0,165 + 0,034 \cdot \frac{l_{\Gamma}}{d_{\Gamma}} - \left(0,06 + 0,028 \cdot \frac{l_{\Gamma}}{d_{\Gamma}} \right) \cdot \frac{W_{\Gamma}}{330}$ – коефіцієнт втрат для газу.

Втрати енергії на взаємодію рідини з газом:

$$\Delta P_{\text{Ж}} = k_{\text{Ж}} \frac{W_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\text{Ж}}}{2} \cdot \frac{V_{\text{Ж}}}{V_{\Gamma 0}}, \quad (7.40)$$

де $k_{\text{Ж}} = A \cdot K_{\Gamma}^{1+B}$ – коефіцієнт втрат тиску, при цьому A та B – визначаються за емпіричними формулами.

Розрахунок ефективності роботи труб Вентурі

Сумарна енергія взаємодії:

$$k_4 = \Delta P_{\text{ТВ}} + \frac{P_{\text{Ж}} \cdot V_{\text{Ж}}}{V_{\Gamma 0}}. \quad (7.41)$$

Таким чином, ступінь очистки складає:

$$\eta = 1 - e^{-Bk_4^{\chi}}. \quad (7.42)$$

Величини B і χ залежать від пилу та туман і визначаються за таблицями [7].

7.3 Розрахунки двостадійного спалювання палива

Для зниження викидів оксидів азоту на 30–50%, а також для покращення умов служби вогнетривів (МКВ-72) у нижній зоні кладки камери горіння, де температури та навантаження значні, пропонується зменшити температуру продуктів згоряння в цій зоні за рахунок застосування двостадійного спалювання палива [23].

При нестехіометричному спалюванні палива процес його горіння здійснюється не в одну стадію з відповідними витратами повітря і палива

($n > 1$), а в два етапи з розосередженням факела по довжині робочого простору теплового агрегату.

Зокрема, для доменних повітрянагрівачів можуть бути використані наступні два способи двостадійного спалювання газу:

1) на першій стадії паливо спалюють з $n < 1$, а на другій стадії його допалюють [24];

2) на першому етапі паливо спалюють з $n \gg 1$, а на другому – подають паливо в продукти згоряння, що мають значну кількість надлишкового кисню.

7.3.1 Двостадійне спалювання газу, коли на першій стадії $n < 1$

Схема цього спалювання газу в доменному повітрянагрівачі наведена на рисунку 7.1.

У цьому випадку через пальник подається вся необхідна кількість газу, а повітря горіння ділиться на два потоки. Основний (первинний) потік повітря проходить через пальник у кількості, що забезпечує $n = 0,75\text{--}0,85$. При цьому температура продуктів згоряння буде незначною ($1100\text{--}1150\text{ }^{\circ}\text{C}$, замість $1300\text{--}1450\text{ }^{\circ}\text{C}$), що призведе до підвищення стійкості кладки камери горіння з вогнетривів типу МКВ-72, так як у цій зоні допустимі значення навантажень на цеглу стануть меншими за фактичні. Решта (вторинний) потік повітря подається в додатковий штуцер, розташований на 5–7 м вище від осі газового пальника. Місце введення вторинного повітря визначається закінченістю процесу горіння першої стадії. Кисень вторинного повітря витрачається на допалювання продуктів неповного горіння палива першої стадії та його кількість відповідає $n = 1,05\text{--}1,1$.

У цьому випадку високотемпературні повітрянагрівачі можуть опалюватися лише доменним газом і для забезпечення заданої температури під куполом ($1300\text{--}1450\text{ }^{\circ}\text{C}$) вторинне повітря може бути нагріте або збагачене технологічним киснем.

Розрахунок горіння палива на першій стадії ($n < 1$)

При розрахунку складу продуктів неповного горіння виходять із припущень про досягнення їх рівноважного складу та про відсутність в них метану та сірководню [25]. Таким чином, продукти неповного згоряння

передбачаються наступного складу O_2 , H_2O , CO і H_2 .

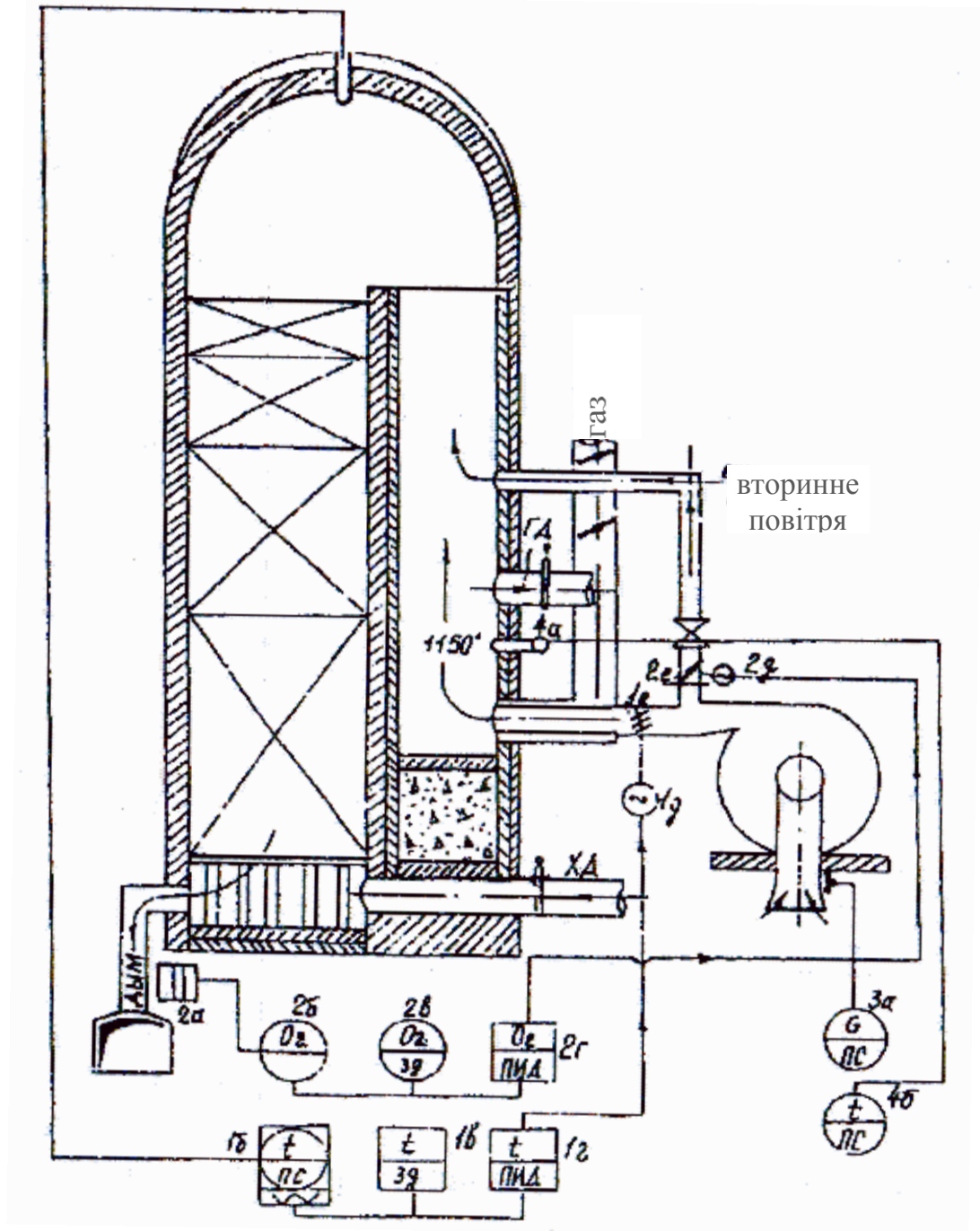


Рис. 7.1 Схема двостадійного спалювання газу в повітрянагрівачі (на першій стадії $n < 1$)

Необхідна кількість кисню за коефіцієнта витрати повітря $n < 1$:

$$L_{O_2} = 0,21 \cdot n \cdot L_0, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (7.43)$$

де L_0 – теоретично необхідна кількість повітря:

$$L_o = \frac{0,01 \cdot \left(0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n - O_2 \right)}{0,21}; \quad (7.44)$$

L_{N_2} – теоретично необхідна кількість азоту:

$$L_{N_2} = \frac{100 - c}{c} \cdot L_{O_2}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (7.45)$$

де c – об'ємна концентрація O_2 у дутті, %.

Загальна кількість азоту з урахуванням N_2 палива:

$$\sum L_{N_2} = L_{N_2} + 0,01 \cdot N_2, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (7.46)$$

де N_2 – вміст азоту у паливі, %.

Позначимо вміст компонентів ($\text{м}^3/\text{м}^3$) у продуктах горіння:

CO_2 - x , CO - y , H_2O - z , H_2 - q .

За балансом вуглецю:

$$x + y = (CO_2 + CO + CH_4 + m \cdot C_m H_n) \cdot 0,01 = A, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (7.47)$$

За балансом водню:

$$z + q = \left[H_2 + H_2O + 2 \cdot CH_4 + \frac{n}{2} \cdot C_m H_n \right] \cdot 0,01 = B, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (7.48)$$

За балансом кисню:

$$2x + y + z = [2 \cdot CO_2 + CO + H_2O + 2 \cdot O_2] \cdot 0,01 + 2 \cdot L_{O_2} = C, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (7.49)$$

Константа рівноваги реакції водяного газу:

$$K = \frac{y \cdot z}{x \cdot q}. \quad (7.50)$$

З рівнянь (7.47), (7.48) та (7.49) відповідно отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} y &= A - x; \\ z &= C - 2x - y = C - A - x; \\ q &= B - z = B - C + A + x. \end{aligned} \right\} \quad (7.51)$$

Тоді

$$K = \frac{(A - x) \cdot (C - A - x)}{x \cdot (B - C + A + x)}. \quad (7.52)$$

Значення константи рівноваги К за різних температур газу наведено у таблиці 7.1 [25].

Таблиця 7.1

Константи рівноваги реакції водяного газу

Температура, °C	500	600	700	800	900	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300
Константа К	0,205	0,392	0,645	0,96	1,32	1,73	1,94	2,15	2,37	2,58	2,79	3,00

Рішення квадратного рівняння (7.52) дає значення x , а підстановка цього значення у формули (7.51) дозволяє визначити інші складові продуктів неповного згоряння.

Загальний обсяг продуктів неповного згоряння:

$$V_d = x + y + z + q + \sum L_{N_2}, \text{ м}^3/\text{м}^3. \quad (7.53)$$

Склад продуктів неповного згоряння:

$$CO_2 = \frac{x}{V_d} \cdot 100 \text{ і т.д.} \quad (7.54)$$

Ентальпія продуктів згоряння визначається залежно від їх складу та температури:

$$i_d = (i_{CO} \cdot CO + i_{H_2} \cdot H_2 + \dots) \cdot 0,01, \text{ МДж/м}^3 \quad (7.55)$$

де $i_{CO}, i_{H_2}, \dots$ - ентальпія CO, H_2 та інших газів, що входять до складу продуктів згоряння;

CO, $H_2, \dots$ - вміст цих газів у продуктах згоряння, %.

Калориметрична температура горіння:

$$t_k = \frac{Q_H^p + Q_\phi - Q_H}{V_d \cdot C_0^{t_k}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (7.56)$$

де Q_ϕ - фізична теплота, що вноситься з підігрітим повітрям та газом, МДж/м³ або МДж/кг палива;

Q_H - втрати теплоти від недопалу палива у тих самих одиницях;

V_d – обсяг продуктів згоряння, $\text{м}^3/\text{м}^3$ або $\text{м}^3/\text{кг}$ палива;

$C_0^{t_k}$ – середня теплоємність продуктів згоряння в інтервалі температур $0 - t_k$, $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$.

У свою чергу величина:

$$Q_\phi = L_d \cdot i_\pi + i_r, \text{ МДж}/\text{м}^3, \quad (7.57)$$

де i_π та i_r – ентальпія, відповідно повітря та газоподібного палива, $\text{МДж}/\text{м}^3$.

*Приклад розрахунку двостадійного спалювання палива
коли на першій стадії $n < 1$*

Початкові дані:

- температура доменного газу – $t_r = 150^\circ \text{C}$;
- температура повітря горіння – $t_\pi = 150^\circ \text{C}$;
- вологість доменного газу – $W = 100 \text{ г}/\text{м}^3$;
- коефіцієнт витрати повітря на першій стадії – $n_1 = 0,8$;
- склад доменного газу:

$\text{CO}_2 = 10,7\%$; $\text{CO} = 28,5\%$; $\text{H}_2 = 2,5\%$; $\text{CH}_4 = 0,1\%$; $\text{N}_2 = 58,2\%$;

- пірометричний коефіцієнт – $\eta_{\text{пир}} = 0,90\text{--}0,95$.

Спочатку визначимо температуру під куполом при звичайному одностадійному спалюванні палива за $n = 1,1$. Для цього здійснимо розрахунок горіння доменного газу.

1. Перерахунок складу сухого домену на вологий.

Об'єм води в 100 м^3 доменного газу:

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{W \cdot 100}{803,6 + 100}; \quad \text{H}_2\text{O} = \frac{100 \cdot 100}{803,6 + 100} = 11,06 \%$$

Коефіцієнт перерахунку на вологий газ:

$$K_{c-v} = \frac{100 - \text{H}_2\text{O}}{100}; \quad K_{c-v} = \frac{100 - 11,06}{100} = 0,889.$$

Склад вологого доменного газу, %:

$$\text{CO}_2^{\text{вл}} = K \cdot \text{CO}_2 = 0,889 \cdot 10,7 = 9,51;$$

$$\text{CO}^{\text{БЛ}} = 0,889 \cdot 28,5 = 25,3;$$

$$\text{H}_2^{\text{БЛ}} = 0,889 \cdot 2,5 = 2,22;$$

$$\text{N}_2^{\text{БЛ}} = 0,889 \cdot 58,2 = 51,8;$$

$$\text{CH}_4^{\text{БЛ}} = 0,889 \cdot 0,1 = 0,088;$$

$$\text{H}_2\text{O} = 11,06.$$

2. Теплота згоряння доменного газу.

$$Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 0,127 \cdot \text{CO} + 0,108 \cdot \text{H}_2 + 0,357 \cdot \text{CH}_4;$$

$$Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 127,7 \cdot 25,3 + 108 \cdot 2,22 + 357 \cdot 0,088 = 3508 \text{ кДж/м}^3.$$

3. Кількість повітря, необхідного спалювання газу.

$$L_o = \frac{0,01 \cdot \left(0,5 \cdot \text{CO} + 0,5 \cdot \text{H}_2 + \sum_{i=1}^m \left(m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m \text{H}_n - \text{O}_2 \right)}{0,21} =$$

$$= \frac{0,01 \cdot (0,5 \cdot 9,51 + 0,5 \cdot 2,22 + 2 \cdot 0,088)}{0,21} = 0,66 \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

$$L_{\text{д}} = L_o \cdot n = 0,66 \cdot 1,1 = 0,726 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

4. Питомий вихід та склад продуктів згоряння.

$$V_{\text{д}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}, \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot \left(\text{CO}_2 + \text{CO} + \sum_{i=1}^m m \cdot C_m \text{H}_n \right) = 0,01 \cdot (9,51 + 25,3 + 0,088) = 0,349;$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot \left(\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2 + \sum_{i=1}^n C_m \text{H}_n \cdot 0,5 \cdot n \right) =$$

$$= 0,01 \cdot (11,06 + 2,22 + 0,088) = 0,133;$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot (\text{N}_2 + 79 \cdot L_{\text{д}}) = 0,01 \cdot (51,8 + 79 \cdot 0,726) = 1,091;$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot 0,1 \cdot 0,66 = 0,014;$$

$$V_{\text{д}} = 0,349 + 0,133 + 1,091 + 0,014 = 1,587;$$

$$\% \text{CO}_2 = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,349}{1,587} \cdot 100 = 21,99 \%$$

Аналогічно розраховуємо для інших компонентів. Результати розрахунку таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Склад продуктів горіння, %

CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Σ
21,99	8,38	68,75	0,88	100,00

5. Калориметрична температура та температура під куполом.

$$i_k = \frac{Q_H^p + Q_{\phi}^{\text{пов}} + Q_{\phi}^{\Gamma}}{V_d} = \frac{3508 + 0,726 \cdot 1,3 \cdot 150 + 1 \cdot 1,3 \cdot 150}{1,587} = 2418 \text{ кДж/м}^3.$$

По $i - t$ діаграмі (рис. 7.2) $t_k = 1450 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$t_{\text{куп}} = t_k \cdot \eta_{\text{пир}} = 1450 \cdot 0,9 = 1305 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

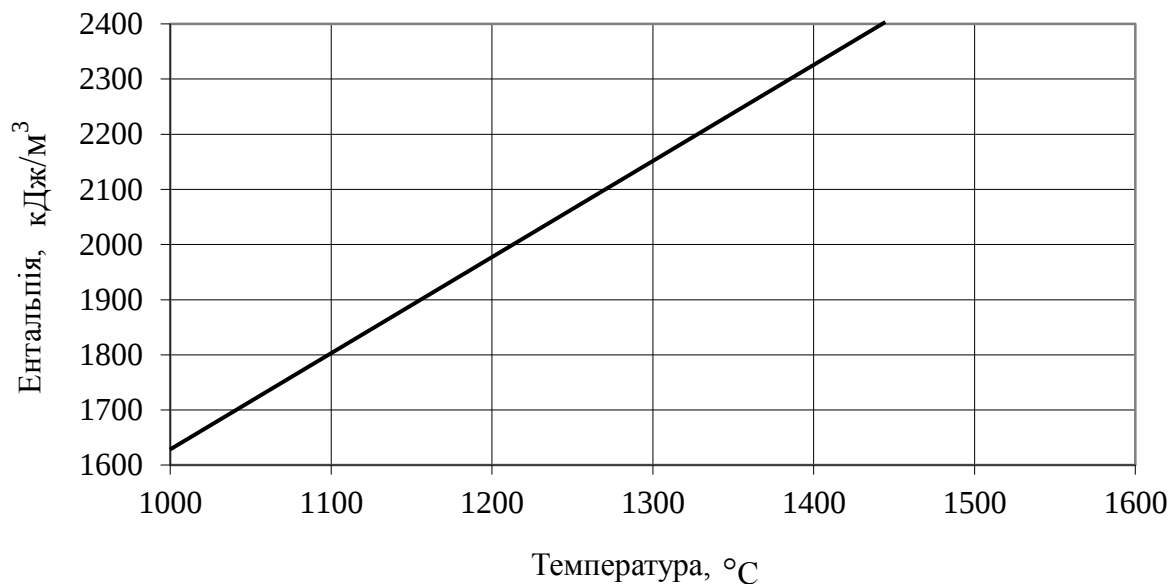


Рис. 7.2. Залежність ентальпії продуктів згоряння від температури

Розрахунок горіння палива, коли на першій стадії $n = 0,8$

Необхідна кількість кисню:

$$L_{\text{O}_2} = 0,21 \cdot n \cdot L_0 = 0,21 \cdot 0,8 \cdot 0,66 = 0,1117 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Разом з O_2 і повітрям вноситься N_2 :

$$L_{N_2} = \frac{79}{21} \cdot L_{O_2} = \frac{79}{21} \cdot 0,1117 = 0,42 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Загальна кількість азоту з урахуванням азоту, що міститься у паливі:

$$\sum L_{N_2} = L_{N_2} + 0,01 \cdot N_2 = 0,42 + 0,01 \cdot 51,8 = 0,93 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Для визначення складу продуктів горіння позначимо вміст компонентів у продуктах горіння:

$$CO_2 = x, \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$CO = y, \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$H_2O = z, \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$H_2 = q, \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

За балансом вуглецю:

$$x + y = (CO_2 + CO + CH_4 + m \cdot C_m H_n) \cdot 0,01 = A, \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$x + y = (9,51 + 25,34 + 0,088) \cdot 0,01 = 0,348, \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

За балансом водню:

$$z + q = \left(H_2 + H_2O + 2 \cdot CH_4 + \frac{n}{2} \cdot C_m H_n \right) \cdot 0,01 = B, \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$z + q = (11,066 + 2,22 + 2 \cdot 0,088) \cdot 0,01 = 0,1346, \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

За балансом кисню:

$$2 \cdot x + y + z = (2 \cdot CO_2 + CO + H_2O + O_2) \cdot 0,01 = C, \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$2 \cdot x + y + z = (9,51 + 25,34 + 11,066) \cdot 0,01 = 0,77, \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

За таблицею 7.1 константа рівноваги реакції водяного газу за температури 1150 °C $K = 2,37$, $x = 0,302$.

Підставимо значення x формули:

$$y = A - x; \quad y = 0,348 - 0,302 = 0,046;$$

$$z = C - A - x; \quad z = 0,77 - 0,348 - 0,302 = 0,12;$$

$$q = B - C + A + x; \quad q = 0,1346 - 0,77 + 0,348 + 0,302 = 0,0146.$$

Загальна кількість продуктів горіння:

$$V_d = x + y + z + q + \sum L_{N_2}, \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V_d = 0,302 + 0,046 + 0,12 + 0,0146 + 0,93 = 1,42, \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Склад продуктів неповного горіння:

$$\text{CO} = \frac{y}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,046}{1,42} \cdot 100 = 3,33\%;$$

$$\text{CO}_2 = \frac{x}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,302}{1,42} \cdot 100 = 21,24\%;$$

$$\text{H}_2 = \frac{q}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,0146}{1,42} \cdot 100 = 0,589\%;$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{z}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,12}{1,42} \cdot 100 = 8,88\%;$$

$$\text{N}_2 = \frac{L_{N_2}}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,42}{1,42} \cdot 100 = 65,94\%.$$

Калориметрична температура та температура після першої стадії горіння:

$$i_{\text{к}}^1 = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}} - Q_{\text{нед}}}{V_d} = \frac{3508 - 3,33 \cdot 107 - 0,589 \cdot 108}{1,42} = 2122 \text{ кДж/м}^3.$$

По $i - t$ діаграмі $t_{\text{к}}^1 = 1250 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$t_{\text{д}}^1 = 1250 \cdot 0,92 = 1150 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Розрахунок горіння палива на другій стадії

Тут в якості палива використовуються продукти неповного горіння після першої стадії.

$$L_o = \frac{0,01 \cdot (0,5 \cdot \text{CO} + 0,5 \cdot \text{H}_2)}{0,21};$$

$$L_o = \frac{0,01 \cdot (0,5 \cdot 3,33 + 0,5 \cdot 0,589)}{0,21} = 0,0935 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Дійсна витрата повітря при коефіцієнті витрати повітря $n = 1,1$:

$$L_{\text{д}} = n L_o = 1,1 \cdot 0,0935 = 0,103 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Кількість продуктів горіння, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \cdot (\text{CO} + \text{CO}_2) = 0,01 \cdot (21,24 + 3,33) = 0,245;$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \cdot (\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2) = 0,01 \cdot (8,88 + 0,589) = 0,0947;$$

$$V_{\text{N}_2} = \frac{69,12}{100} + (1 - K_{\text{O}_2}) \cdot L_d = \frac{69,12}{100} + (1 - 0,21) \cdot 0,103 = 0,77;$$

$$V_{\text{O}_2} = (n - 1) \cdot K_{\text{O}_2} \cdot L_d = (1,1 - 1) \cdot 0,21 \cdot 0,103 = 0,001;$$

$$V_d = 0,245 + 0,0947 + 0,77 + 0,001 = 1,111.$$

Таблиця 7.3

Склад продуктів горіння, %

CO_2	H_2O	N_2	O_2	Σ
22,07	8,53	69,30	0,10	100,00

Теплота згоряння продуктів неповного горіння:

$$Q_{\text{H}_1}^p = 127 \cdot 3,33 + 108 \cdot 0,589 = 487,6 \text{ кДж/м}^3.$$

Калориметрична температура та температура на виході з другої стадії:

$$i_{\text{K}_2} = \frac{Q_{\text{H}_1}^p + Q_{\text{ф}}^{\text{пов}} + Q_{\text{ф}}^{\text{ГІ}}}{V_d} = \frac{487,6 + 0,103 \cdot 150 \cdot 1,3 + 1150 \cdot 1,83}{1,11} = 2354 \text{ кДж/м}^3.$$

$$t_{\text{K}_2} = 1410 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$t_{\text{куп}_2} = 1410 \cdot 0,93 = 1311 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Так як значення $t_{\text{куп}}$ при одностадійному і двостадійному спалюванні палива практично збігаються ($t_{\text{куп}} = 1305 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{куп}_2} = 1311 \text{ }^\circ\text{C}$), то розрахунки виконані правильно.

7.3.2 Двостадійне спалювання газу, коли на першій стадії $n \gg 1$

Схема цього способу спалювання палива наведена на рисунку 7.3.

У цьому способі, як і в раніше аналізованому, концентрація NO_x знижується на 30–50% за рахунок зменшення температури (до 1150–1250 $^\circ\text{C}$)

наприкінці першої стадії. З цієї причини також підвищується стійкість кладки камери горіння у її нижній зоні, де спостерігаються значні статичні навантаження на вогнетриви [26].

Все повітря від вентилятора проходить через пальник, а газ ділиться на два потоки: первинний подається в пальник у кількості, що забезпечує коефіцієнт витрати повітря $n_1 = 1,3-1,4$, а вторинний (решта) – подається через додатковий патрубок, розташований на 1,8–2,0 м вище осі штуцера гарячого дуття.

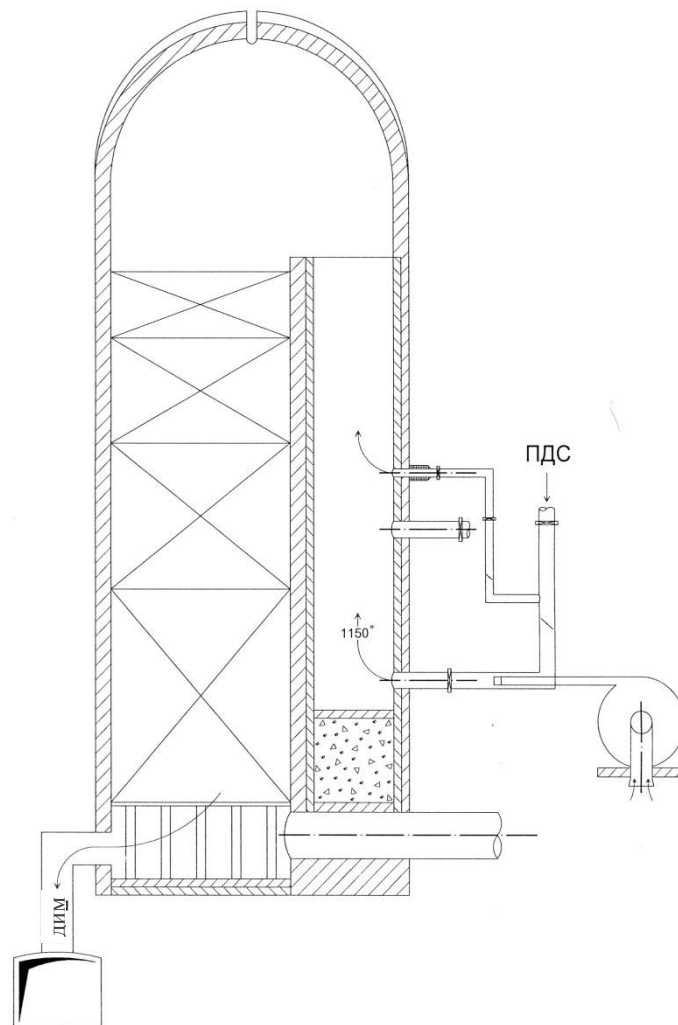


Рис. 7.3. Схема двостадійного спалювання палива
(на першій стадії $n \gg 1$)

На другій стадії паливо спалюється за рахунок надлишкового кисню продуктів горіння першої стадії за $n_2 = 1,05-1,10$.

Методика розрахунку цього способу двостадійного спалювання палива аналогічна звичайному спалюванню при $n > 1$. На другій стадії, в якості окиснювача (кисню) приймаються продукти горіння першої стадії, що мають значний вміст O_2 .

Приклад розрахунку двостадійного спалювання палива при $n \gg 1$

Початкові дані:

- температура природно-доменної суміші – $t_r = 40^\circ C$;
- температура вентиляторного повітря – $t_n = 20^\circ C$;
- теплота згоряння палива – $Q_H^p = 5 \text{ МДж/м}^3$;
- коефіцієнт витрати повітря на першій стадії – $n_1 = 1,3$;
- вологість доменного газу – $W = 63 \text{ г/м}^3$;
- склад доменного газу приймаємо такий самий:
- склад природного газу, %:

$$\begin{aligned} CH_4 &= 89,9; C_2H_6 = 3,1; C_3H_8 = 0,9; \\ C_4H_{10} &= 0,4; CO_2 = 0,3; O_2 = 0,2; N_2 = 5,2. \end{aligned}$$

Спочатку визначимо температуру під куполом за звичайного одностадійного способу спалювання при $n = 1,1$. Для цього виконаємо розрахунок горіння природно-доменної суміші.

1. Перераховуємо склад сухого доменного газу на вологий.

Об'єм води в 100 м^3 доменного газу:

$$H_2O = \frac{W \cdot 100}{803,6 + W} = \frac{63 \cdot 100}{803,6 + 63} = 7,27.$$

Коефіцієнт перерахунку на вологий газ:

$$k = \frac{100 - H_2O}{100} = \frac{100 - 7,27}{100} = 0,927.$$

Склад вологого доменного газу:

$$CO_2^{вл} = k \cdot CO_2 = 0,927 \cdot 10,7 = 9,92\%.$$

Результати розрахунку зводимо до таблиці 10.9

Таблиця 7.4

Склад вологого доменного газу, %

CO ₂	CO	H ₂	N ₂	CH ₄	H ₂ O	Σ
9,922132	26,42811	2,31825525	53,96898	0,09273	7,26979	100,00

2. Визначення теплоти згоряння газів.

Теплота згоряння доменного газу:

$$Q_H^p = 0,127 \cdot CO + 0,108 \cdot H_2 + 0,358 CH_4;$$

$$Q_H^p = 0,127 \cdot 26,43 + 0,108 \cdot 2,32 + 0,358 \cdot 0,093 = 3,37 \text{ МДж/м}^3.$$

Теплота згоряння природного газу:

$$\begin{aligned} Q_H^p &= 0,358 CH_4 + 0,636 \cdot C_2H_6 + 0,913 \cdot C_3H_8 + 1,185 \cdot C_4H_{10} = \\ &= 0,358 \cdot 89,9 + 0,636 \cdot 3,1 + 0,913 \cdot 0,9 + 1,185 \cdot 0,4 = 35,45 \text{ МДж/м}^3. \end{aligned}$$

3. Визначення складу суміші.

Частка доменного газу суміші:

$$X = \frac{Q_{H, \text{пг}}^p - Q_{H, \text{см}}^p}{Q_{H, \text{пг}}^p - Q_{H, \text{дг}}^p} = \frac{35,45 - 5}{35,45 - 3,37} = 0,96.$$

Частка природного газу:

$$1 - X = 1 - 0,96 = 0,04.$$

Склад змішаного газу:

$$CO_{2\text{см}} = CO_{2\text{дг}} \cdot X + CO_{2\text{пг}} \cdot (1 - X) = 9,92 \cdot 0,96 + 0,3 \cdot 0,04 = 9,51 \%;$$

$$CO = CO_{\text{дг}} \cdot X + CO_{\text{пг}} \cdot (1 - X) = 26,43 \cdot 0,96 + 0 \cdot 0,04 = 25,3 \%.$$

Результати розрахунку змішаного газу наведено у таблиці 10.10

4. Необхідна кількість повітря для спалювання газу.

$$L_o = \frac{0,01 \cdot \left(0,5 \cdot CO + 0,5 \cdot H_2 + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) - O_2 \right)}{K_{O_2}} =$$

$$= \frac{0,01 \cdot (0,5 \cdot 25,3 + 0,5 \cdot 2,22 + 2 \cdot 3,93 + 3,5 \cdot 0,13 + 5 \cdot 0,04 + 6,5 \cdot 0,02 - 0,01)}{0,21} =$$

$$= 1,065 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

$$L_d = n \cdot L_o = 1,1 \cdot 1,065 = 1,17 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

Таблиця 7.5

Склад змішаного газу, %

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	CO ₂	O ₂	N ₂	CO	H ₂	H ₂ O	Σ
3,93	0,13	0,04	0,02	9,51	0,01	51,88	25,30	2,22	69,96	100,00

5. Питомий вихід та склад продуктів горіння.

$$V_d = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2};$$

$$V_{CO_2} = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + \sum m \cdot C_m H_n) = 0,01 \cdot (9,51 + 25,30 + 3,93 + 2 \cdot 0,13 + 3 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,02) = 0,39 \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

$$V_{H_2O} = 0,01 \cdot (H_2 + H_2O + \sum \frac{n}{2} \cdot C_m H_n) = 0,01 \cdot (2,22 + 6,96 + 2 \cdot 3,93 + 3 \cdot 0,13 + 4 \cdot 0,04 + 5 \cdot 0,02) = 0,177 \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

$$V_{N_2} = 0,01 \cdot (N_2 + 79 \cdot L_d) = 0,01 \cdot (51,88 + 79 \cdot 1,17) = 1,44 \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (n - 1) L_o = 0,21 \cdot 0,1 \cdot 1,065 = 0,02 \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

$$V_d = 0,39 + 0,177 + 1,44 + 0,02 = 2,027 \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

$$V_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,39}{2,027} \cdot 100 = 19,24 \text{ } \%$$

Результати розрахунку наведено у таблиці 7.6

Таблиця 7.6

Склад продуктів горіння, %

CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	Σ
19,24	8,73	71,04	0,99	100,00

6. Калориметрична температура та температура під куполом.

$$i_k = \frac{Q_H^p + Q_{\phi}^{\text{пов}} + Q_{\phi}^{\text{п}}}{V_d} = \frac{5000 + 1,17 \cdot 10 \cdot 1,29 + 1 \cdot 40 \cdot 1,29}{2,027} = 2500 \text{ кДж/м}^3.$$

По $i - t$ діаграмі $t_k = 1535 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$t_{\text{куп}} = t_k \cdot \eta_{\text{пир}} = 1535 \cdot 0,9 = 1377 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Розрахунок першої стадії горіння палива при $n_1 = 1,4$

Необхідна кількість повітря для горіння:

$$L_0 = 1,065 \text{ м}^3/\text{м}^3; \quad L_d = 1,065 \cdot 1,4 = 1,491 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Кількість та склад продуктів горіння.

Витрати CO_2 і H_2O залишаються такими ж, як і при спалюванні палива в одну стадію: $\text{CO}_2 = 0,392 \text{ м}^3/\text{м}^3$; $\text{H}_2\text{O} = 0,177 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

$$V_{\text{O}_2} = 1,065 \cdot 0,21 \cdot (1,4 - 1) = 0,09 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \cdot 51,88 + (1 - 0,21) \cdot 1,491 = 1,70 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$V_d = 0,392 + 0,177 + 0,09 + 1,70 = 2,36 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Склад продуктів горіння:

$$\text{CO}_2 = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,392}{2,36} \cdot 100 = 16,61\%;$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,177}{2,36} \cdot 100 = 7,50\%;$$

$$\text{O}_2 = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_d} \cdot 100 = \frac{0,067}{2,36} \cdot 100 = 3,81\%;$$

$$\text{N}_2 = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_d} \cdot 100 = \frac{1,70}{2,36} \cdot 100 = 72,08\%.$$

Калориметрична ентальпія димових газів:

$$i_k = \frac{Q_H^p + Q_{\phi}^{\text{пов}} + Q_{\phi}^{\text{г}}}{V_d},$$

де $Q_{\text{ф}}^{\text{пов}}, Q_{\text{ф}}^{\text{г}}$ – фізична теплота, що вноситься з підігрітим повітрям та паливом, кДж/м³.

$$i_{\text{к}} = \frac{5000 + 1,491 \cdot 20 \cdot 1,29 + 1 \cdot 40 \cdot 1,29}{2,36} = 2157 \text{ кДж/м}^3.$$

$$t_{\text{к}} = 1340 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{\text{куп}} = 1340 \cdot 0,95 = 1270 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Розрахунок горіння палива на другій стадії

На другій стадії за допомогою додаткового патрубка, розташованого тангенціально вище за штуцер гарячого дуття, використовуючи надлишок повітря з основного пальника, спалюємо газ.

Витрата повітря:

$$L_{\text{о}} = \frac{V_{\text{O}_2}}{K_{\text{O}_2}} = \frac{0,224}{0,0381} = 5,87 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$L_{\text{д}} = 5,87 \cdot 1,05 = 6,16 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Кількість продуктів горіння з урахуванням горіння на першій стадії.

Кількість CO_2 і H_2O залишається незмінною:

$$\text{CO}_2 = 0,566 \text{ і } \text{H}_2\text{O} = 0,255 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$V_{\text{N}_2} = 51,88 + (100 - 3,81) \cdot 6,16 = 6,44 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$V_{\text{O}_2} = 5,81 \cdot 0,0381 \cdot 0,4 = 0,09 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Загальну кількість продуктів горіння знаходимо за формулою:

$$V_{\text{д}} = 0,566 + 0,255 + 6,44 + 0,09 = 7,095 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Склад продуктів горіння:

$$\text{CO}_2 = \frac{0,566}{7,095} \cdot 100 = 16,61\%;$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{0,255}{7,095} \cdot 100 = 7,50\%;$$

$$\text{N}_2 = \frac{6,44}{7,095} \cdot 100 = 72,08\%;$$

$$O_2 = \frac{0,09}{7,095} \cdot 100 = 3,81\%.$$

Калориметрична ентальпія димових газів:

$$i_k = \frac{Q_H^p + Q_{\phi}^r + Q_{\phi}^{пов}}{V_d} = \frac{5000 + 1 \cdot 40 \cdot 1,29 + 1270 \cdot 6,16 \cdot 1,45}{7,095} = 2376 \text{ кДж/м}^3;$$

$$t_k = 1440 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{куп} = 1440 \cdot 0,95 = 1368 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Таким чином, температура під куполом при спалюванні палива на другій стадії ($t_{куп} = 1368 \text{ }^{\circ}\text{C}$) практично збіглася з розрахунковою температурою ($t_{куп} = 1377 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

ЛІТЕРАТУРА

1. Шатоха В. І. Екологічне забезпечення виробництва чавуну : підручник. Дніпропетровськ : Пороги, 2001. 181 с.
2. Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. Металлургия чугуна. Киев : Вища школа, 1981. 496 с.
3. Реймус Н. Ф. Охрана природы и окружающей человека среды. М. : Просвещение, 1992. 320 с.
4. Лавров Н. В., Розенфельд Э. И., Хаустович Г. П. Процессы горения топлива и защита окружающей среды. М. : Metallurgiya, 1981. 240 с.
5. Кун П., Зуккер Д. Исследование горячей печной атмосферы в промышленных печах и топках // Черные металлы, 1988. – № 5. – С. 26-31.
6. Шульц Л. А. Элементы безотходной технологии в металлургии. М. : Metallurgiya, 1990. 183 с.
7. Ярошенко Ю. Г., Гордон Я. М., Ходоровская И. Ю. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии. Учебное пособие. Екатеринбург : ООО «УИПЦ», 2012. 670 с.
8. Патент 11154, Україна. МКІ С 21В 9/10. Спосіб захисту проти спрацювання футеровки пристрою для взяття доменної печі на «тягу» / С. В. Бичков, Л. П. Грес, Є. О. Каракаш та інші. – № 200505114, опубл. 15.12.05. – Бюл. № 12. – 5 с.
9. Грес Л. П. Высокоэффективный нагрев доменного дуття : монографія. Днепропетровск, Пороги, 2008. 491 с.

10. Юдашкин М. Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. М. : Металлургия, 1984. 320 с.
11. «Инструкция по нормированию выбросов (сбросов) загрязняющих веществ в атмосферу и в водные объекты». М., 1989 г. 69 с.
12. Шульц Л. А. Элементы безотходной технологии в металлургии. – М.: Металлургия, 1991. 174 с.
13. Торочешников Н. С., Родионов А. И. и др. Техника защиты окружающей среды. М. : Химия, 1981. 368 с.
14. Сергеев Е. М., Кофф Г. Л. Рациональное использование и охрана окружающей среды городов // Государство и право, 1997. – № 1. – С. 100-119.
15. Охрана окружающей среды [Текст] / И. Ф. Ливчак, Ю. В. Воронов. М. : Стройиздат, 1988. 192 с.
16. Г. В. Стадницкий, А. И. Родионов. «Экология». // Экология. Стадницкий Г. В., Родионов А. И. 3-е изд., стер. СПб.: 1997. 240 с.
17. Колесников В. А., Капустин Ю. И. и др. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / Под ред. В. А. Колесникова. М., 2007.
18. Колесников В. А., Меньшутина Н. В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. М. : ДеЛи принт.: учеб. пособие / А. Н. Павлов. М. : Издательство Высшая Школа, 2005. 343 с.
19. Колесников В. А., Мешалкин В. П. и др. Технологические процессы и системы водоочистки экологически безопасных гальванических производств : учеб. пособие. М. : Иваново, 2001. 255 с.
20. Авдеев В. А., Друян В. М., Кудрин Б. И. Основы проектирования металлургических заводов ДОС. Справочное издание. М. : Интермет Инжи-ниринг, 2002.
21. Опыт освоения технологии утилизации пылей и шламов конверторного производства: Перистый М. М., Ростовский В. И., Кравченко А. В. / Сборник докладов научно-технической конференции аспирантов и доцентов. Донецк, ДонНТУ, 2006. – С. 38-46.
22. Абраменков Ю. Я. Розрахунки системи газоочистки колошникового газу. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2001. 18 с.
23. Грес Л. П. Охрана окружающей среды при сжигании топлива : учебное

- пособие. Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2002. 104 с.
24. Грес Л. П. Высокоэффективный нагрев доменного дутья : монография. Днепропетровск : Пороги, 2008. 492 с.
25. Расчеты нагревательных печей. С. И. Аверин, Э. М. Гольдфарб, А. Ф. Кравцов и др. К : Техніка, 1969. 540 с.
26. Fenimore C.P. Formation of nitric oxide from fuel nitrogen in ethylene flame // Combustion and Flames. 1972. V. 19, № 2. – p. 289-296.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПІДПРИЄМСТВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ	4
2. ШКІДЛИВІ ВИКИДИ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	6
2.1. Характеристика шкідливих викидів в агломераційному виробництві	8
2.2. Очищення агломераційних газів від пилу	9
2.3. Заходи щодо зниження шкідливих викидів з аглогазом.....	14
2.3.1. Використання аглогазу в якості окислювача при спалюванні палива	14
2.3.2. Рециркуляція аглогазу (технологія EOS).....	14
2.4 Тести для самоконтролю	19
3. ШКІДЛИВІ ВИКИДИ ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЇХ ЗНЕШКОДЖЕННЯ.....	20
3.1. Шкідливі викиди трактом руху шихтових матеріалів	20
3.2. Шкідливі викиди трактом руху та переробки рідких продуктів плавки ..	21
3.3. Пилогазові викиди на ливарному дворі.....	22
3.4. Шкідливі викиди в період позапічної обробки чавуну (десульфурація чавуну).....	23
3.5. Очищення доменного газу від пилу	24
3.6. Шкідливі викиди під час шлакопереробки	28
3.7. Шкідливі викиди, пов'язані з подачею шихтових матеріалів в доменну піч за допомогою засипного пристрою	30
3.8. Шкідливі викиди при короткочасних зупинках доменних печей	32
3.9. Шкідливі викиди, що утворюються під час спалювання палива у повітрянагрівачах.....	35
3.10. Знепилення об'єктів доменного цеху	39
3.11 Тести для самоконтролю	42
4. ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ПРИ КОНВЕРТОРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ СТАЛІ	44
4.1. Система з повним спалюванням газу.....	44
4.2. Відведення конверторного газу без допалювання	46
4.3. Відведення та очищення конверторного газу з частковим його допалюванням	48
4.4. Очищення конверторного газу в тканинних фільтрах та сухих електрофільтрах	48
4.5 Тести для самоконтролю	50
5. ВОДОПОСТАЧАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ	50
5.1. Норми забруднення та гранично-допустимі концентрації у гідросфері...	51

5.2. Основні характеристики забруднення води у металургійному виробництві	51
5.3. Склад стічних вод та основні методи їх очищення	55
5.4. Методи зниження шкідливих домішок під час використання води на промислових підприємствах	59
5.4.1. Характеристика замкнутих водооборотних систем	61
5.5. Характеристика систем осадження суспензії	64
5.6. Основні методи очищення води в межах металургійного виробництва..	66
5.6.1. У доменному виробництві	66
5.6.2. Сталеплавильний переділ	70
5.6.3. У прокатному переділі	72
5.7 Тести для самоконтролю	73
6. ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ	74
6.1. Підвищення загальної теплової потужності печі	75
6.2. Збільшення температури печі	75
6.3. Підігрів компонентів горіння	76
7. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ	77
7.1. Розрахунок інерційного пиловловлювача типу «пиловий мішок»	77
7.2. Розрахунок скрубера Вентурі	79
7.3 Розрахунки двостадійного спалювання палива	84
7.3.1 Двостадійне спалювання газу, коли на першій стадії $n < 1$	85
7.3.2 Двостадійне спалювання газу, коли на першій стадії $n >> 1$	94
ЛІТЕРАТУРА	101

Навчальне видання

Грес Леонід Петрович
Єрьомін Олександр Олегович
Каракаш Євген Олександрович
Радченко Юрій Миколайович

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

(І частина)

Навчальний посібник

Комп'ютерний набір А. В. Коршилова

Тем. план 2022, поз. 140

Підписано до друку 30.09.2022. Формат 60x84 1/16. Папір друк. Друк
плоский. Облік.-вид. арк. 6,24. Умов. друк. арк. 6,15. Замовлення № 81

Український державний університет науки і технологій
49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2

Редакційно-видавничий відділ УДУНТ