



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОГО
УСТАТКУВАННЯ

Навчальний посібник

Частина 1

ЗАХИСТ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів

Харків 2011

УДК 504:621.1
ББК 30.69
З-386

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(№ 1/11-1936 від 11.03.11 р.)*

Авторський колектив:

Н.А. Шаройко, А.О. Каграманян,
І.П. Полтавський, В.В. Савенко

Рецензенти:

проф. О.В. Канило (Інститут проблем машинобудування
НАН України ім. А.М. Підгорного),
проф. В.А. Маляренко (ХНАМГ),
проф. О.В. Шапка (УкрДАЗТ)

**Захист навколишнього середовища при роботі теплотехно-
логічного устаткування:** Навч. посібник / Н.А. Шаройко,
А.О. Каграманян, І.П. Полтавський та ін. – Харків: УкрДАЗТ,
2011. – 395 с., табл. 18, рис. 52.
ISBN 978-966-2033-60-1

Навчальний посібник складається з двох частин.

У першій частині навчального посібника розглядається антропогенний вплив технічного прогресу й особливо теплоенергетики на атмосферне повітря, нормування його якості, наводиться токсикологічна характеристика та розрахунок масових викидів шкідливих компонентів продуктів згоряння органічного палива. Приділено велику увагу методам та технічним засобам зменшення забруднення атмосфери. Наведено методику розрахунків розсіювання шкідливих речовин в атмосфері.

Друга частина посібника присвячена захисту водних об'єктів і ґрунтового покриву. Розглянуті екологічні проблеми природних вод, показники якості води, види забруднень, питання нормування водокористування. Особлива увага приділяється характеристикам і методам очищення стічних вод теплотехнологічним устаткуванням. Розглянуті питання забруднення ґрунтів, класифікації відходів підприємств, їх переробки й утилізації.

Навчальний посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів спеціальності «Теплоенергетика», а також може бути корисним для вивчення питань захисту навколишнього середовища студентами інших спеціальностей.

УДК 504:621.1
ББК 30.69

ISBN 978-966-2033-60-1

© Українська державна академія
залізничного транспорту, 2011

Навчальний посібник

Шаройко Ніна Артемівна,
Каграманян Артур Олександрович,
Полтавський Іван Павлович
та ін.

ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

Відповідальний за випуск Каграманян А.О.

Редактор Ібрагімова Н.В.

Підписано до друку _____ р.

Формат паперу 60x84 1/8. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 6,25. Тираж 300. Замовлення №

Видавець Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Виготовлювач ТОВ «Енергозберігаючі технології»
61050, Харків, Харківська набережна, 8.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1360 від 19.05.2003 р.



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
ПРИ РОБОТІ ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЧНОГО
УСТАТКУВАННЯ

Навчальний посібник

Частина 2

ЗАХИСТ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ І ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів

Харків 2011

ЗМІСТ

Передмова.....	5
Вступ.....	7
1. Антропогенний вплив технічного прогресу на атмосферне повітря	13
1.1. Загальні джерела забруднення атмосфери та їх вплив на людину.....	13
1.2. Парниковий ефект.....	16
1.3. Руйнування озонового шару Землі.....	19
1.4. Радіоактивне забруднення.....	20
2. Забруднення атмосфери енергетичними підприємствами та транспортними засобами.....	23
2.1. Екологічні аспекти розвитку теплоенергетики України.....	23
2.2. Джерела утворення шкідливих викидів транспортними засобами	31
2.3. Класифікація шкідливих компонентів продуктів згоряння.....	33
2.4. Нормування якості атмосферного повітря.....	35
2.4.1. ГДК шкідливих речовин в атмосферному повітрі..	38
2.4.2. Гранично допустимі викиди (ГДВ) забруднюючих речовин.....	41
3. Основні шкідливі компоненти продуктів згоряння в атмосфері, їх токсикологічна характеристика та розрахунок масових викидів.....	44
3.1. Тверді викиди (зола та пил).....	44
3.2. Оксиди сірки	46
3.3. Оксиди азоту.....	48
3.4. Бенз(а)пірен.....	50
3.5. Оксиди ванадію.....	51
3.6. Оксиди вуглецю.....	52
3.7. Двооксид вуглецю.....	54
3.8. Ртуть.....	54
4. Зменшення забруднення атмосфери сірчистими сполученнями.....	57
4.1. Вміст сірчистих сполук у паливі та механізм їх утворення.....	57
4.2. Методи зниження викидів сполук сірки.....	58

4.2.1. Видалення сірки з палива до його спалювання.....	58
4.2.2. Сірководокислення димових газів.....	70
5. Зменшення викидів оксидів азоту при спаленні палива.....	81
5.1. Класифікація оксидів азоту й механізм їх утворення...	81
5.2. Методи зниження утворення оксидів азоту в топках котлів.....	86
5.2.1. Рециркуляція димових газів.....	87
5.2.2. Двостадійне спалювання палива.....	89
5.2.3. Спеціальні пальникові пристрої.....	91
5.2.4. Подача води й пари в зону горіння.....	93
5.2.5. Хімічні методи.....	94
6. Очищення повітря й продуктів згоряння від твердих часток..	97
6.1. Основні фізико-хімічні властивості золи й пилу.....	97
6.2. Властивості очищувальних газів.....	99
6.3. Основи теорії зололовлювання.....	103
6.4. Способи очищення продуктів згоряння від твердих часток.....	112
6.4.1. Апарати сухого очищення газів.....	112
6.4.2. Очищення газів у мокрих пиловловлювачах.....	129
6.4.3. Електричне очищення димових газів.....	139
6.4.4. Очищення газів у фільтрах.....	145
7. Розсіювання шкідливих речовин в атмосфері.....	154
7.1. Рівняння турбулентної дифузії домішок в атмосфері...	154
7.2. Розрахунок розсіювання шкідливих домішок в атмосфері..	159
7.3. Розрахунок мінімальної висоти димової труби на ТЕЦ.....	169
7.4. Розрахунок гранично допустимих викидів (ГДВ) для ТЕС і котелень.....	171
7.5. Визначення границь санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємств.....	172
7.6. Типи димових труб.....	173
7.7. Вибір основних параметрів димових труб.....	179
Бібліографічний список	185
Предметно-алфавітний покажчик.....	190

ПЕРЕДМОВА

Сучасні проблеми екологічної безпеки становляться першочерговими проблемами людства, тому що без екологічно чистого навколишнього середовища не можливе утворення повноцінного і здорового суспільства. Науково-технічний прогрес тісно пов'язаний з використанням різноманітних природних ресурсів, що уже само по собі утворює відомі глобальні екологічні проблеми, тому непрофесійне й некваліфіковане втручання у більшість екологічних ситуацій може призвести до матеріальних втрат або до негативного ставлення до нових програм розвитку промисловості, енергетики, транспорту та будівництва.

У зв'язку з цим виникла необхідність комплексного системного підходу при розробленні правових, економічних, організаційних основ раціонального природокористування й охорони навколишнього середовища.

В екологічній загрозі людству нині домінує глобальний фактор. Вважати, що можна створити необхідні екологічні умови для існування окремих країн, у сучасний період нереально. Трансграничні забруднення, руйнування природної рівноваги й безконтрольне виснаження природних ресурсів навіть в окремих регіонах призводить до деградації глобального середовища та посилення небезпеки для всієї планети.

Охорона природи, боротьба з її хімічним забрудненням та екологічними наслідками можливі тільки одночасними зусиллями багатьох країн й потребують не тільки нової ідеології життя, а й нової системи знань, побудованої на єдиній теоретичній основі, що охоплює такі питання, які стосуються проблем природокористування, охорони довкілля, здоров'я людей, розвитку й використання найсучасніших фізичних, хімічних й геологічних методів екологічного моніторингу, моделювання екологічних процесів та екологічного управління.

Сучасна вища школа зобов'язана підготувати спеціаліста, який повинен розбиратися в основних екологічних проблемах, який засвоїв головні екологічні закони й основні принципи взаємодії природи та суспільства, готовий до використання екологічної освіти у своїй подальшій діяльності та положенні у

суспільстві. При цьому знання з захисту навколишнього середовища, які студент повинен отримати у навчальному закладі, безпосередньо охоплюють взаємопов'язані напрямки спеціальності.

Навчальний посібник, що пропонується, відрізняється всебічним обміркуванням проблеми забруднення навколишнього середовища різноманітним обладнанням промислового й, особливо, теплотехнологічного спрямування та транспорту.

Посібник складається з двох частин, у яких розглядаються питання захисту атмосфери, гідросфери і літосфери від забруднення теплотехнологічним обладнанням, що використовує спалювання природного органічного палива.

В окремих розділах розглянуті основні забруднюючі речовини, дана характеристика сполук, які викликають найбільшу небезпеку для людини, рослинності й тваринного світу. Розглянуті також механізми виникнення різноманітних шкідливих сполук та вплив їх на атмосферу, гідросферу, літосферу й особливо на здоров'я людини. У спеціальних розділах наведені відомості про гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі й воді, про гранично допустимі викиди теплоенергетичних об'єктів. Викладені основні методи та прийоми зменшення й обмеження найбільш шкідливих викидів у навколишнє середовище.

ВСТУП

Під терміном «навколишнє природне середовище» розуміють не тільки природне фізичне середовище, але й олюднене середовище, компоненти якого є наслідком діяльності людини: населені пункти, природні зони, водосховища тощо.

Основним компонентом природного середовища є біосфера. За визначенням В.І. Вернадського, біосфера – це зовнішня оболонка Землі, сфера поширення життя.

Біосфера – сукупність екосистеми, що охоплює нижню частину атмосфери (до 25-30 км у висоту, до озонового шару), практично всю гідросферу (ріки, озера, моря, океани) і верхню частину земної кори – літосферу (до 3 км у глибину).

Основною частиною біосфери є екосистема, за терміном англійського біолога А. Теслі. Екосистема – це просторова система, що охоплює історично сформований комплекс живих істот, пов'язаних між собою трофічними зв'язками, та неживих компонентів середовища їх існування, які залучаються в процесі обміну речовин та енергії.

Екосистема може бути різних розмірів і складності. Взаємодія організмів в екосистемі надзвичайно складна і відбувається через речовинні й енергетичні обміни. Для кожної екосистеми характерний власний біологічний кругообіг речовин, який здійснюється внаслідок існування в екосистемах трофічних ланцюгів (ланцюгів живлення).

У кожній екосистемі можна виділити два основні компоненти: живі організми й об'єкти неживої природи. Незважаючи на різноманітність екосистем, всім їм притаманна приблизно однакова біотична структура. Іншими словами, всі вони містять однакові категорії організмів, які подібно взаємодіють у всіх екосистемах.

Завдяки живим організмам у біосфері підтримуються взаємозв'язок і взаємообумовленість. Цей зв'язок визначає біосферу як гігантську екологічну систему, у якій людина є, з одного боку, біологічною часткою усієї системи, а з іншого – активним її перетворювачем. Технічна та енергетична оснащеність людства негативно впливає на процеси у біосфері, тому найважливішим завданням для людства є визначення та

застосування допустимих меж шкідливого впливу різноманітних факторів на біосферу з метою запобігання екологічній катастрофі.

Усі проблеми навколишнього середовища можна звести до людини, тобто будь-який негативний вплив на середовище йде від людини як суб'єкта господарчої діяльності, виробника, діяча технічного прогресу, так і просто мешканця планети. У цьому зв'язку необхідно проаналізувати деякі аспекти діяльності людини, які мають особливу шкідливу дію на природне середовище. Серед них промисловість, транспорт, споживання, використання сучасної техніки, урбанізація та ін., які є основними джерелами забруднення навколишнього середовища. Такий підхід дає можливість виділити ті сфери діяльності людини, що наносять шкоду або створюють загрозу середовищу, намітити шляхи їх виправлення або запобігання.

Сьогодні людство впливає на навколишнє середовище для задоволення своїх потреб все більше та більше, досягнувши найвіддаленіших куточків земної кулі та ближнього космосу.

Усі ці фактори призвели до того, що на земній кулі відбувається екологічна катастрофа. Деякі регіони повністю деградують і люди в них жити не можуть, або живуть в екстремальних умовах, наприклад, зона ЧАЕС, Донбас та ін.

У результаті господарської діяльності інтенсивно використовуються природні ресурси з великою кількістю хімічних речовин. За оцінкою Всесвітньої організації охорони здоров'я, із 6 млн відомих хімічних сполук людство використовує до 500 тис., з них близько 40 тис. мають шкідливий вплив на природне середовище, а 12 тис. сполук є токсичними для людини.

За останні десятиріччя різко підвищилася потреба мінеральних й органічних сировинних ресурсів: у 1913 р. на одного жителя Землі щорічно витрачалося 5 т мінеральної сировини, у 1940 – 7,4, у 1960 – 14,4, а у 2000 р. потреба досягла 14,3 т мінеральної сировини [1].

У минулому столітті виникла значна зміна якості навколишнього середовища через різке підвищення промислового виробництва та зростання кількості відходів, які забруднюють навколишнє середовище. Ця зміна безпосередньо впливає на здоров'я населення, наносить величезну шкоду

економіці, зменшує трудові ресурси та створює небезпеку для здоров'я не тільки теперішніх, але і майбутніх поколінь.

Забруднення навколишнього середовища носить різноманітний характер. До основних видів забруднення належно поставити: техногенні забруднення шкідливими речовинами, глобальні антропогенні викиди, кислотні дощі, порушення озонового шару, радіоактивні забруднення, парникові гази.

Одним із факторів, що негативно впливає на природне середовище, є урбанізація. За даними ООН, нині у містах більшості розвинених країн мешкає 70-80% загальної кількості населення. У світі є вже понад 160 міст з мільйонним населенням, які негативно впливають на довкілля в радіусі багатьох десятків кілометрів: атмосферне повітря забруднюється великою кількістю пилу, газів; ґрунти і природні води – мільйонами тонн стічних вод, побутових та промислових відходів; виводяться із землекористування тисячі гектарів родючих земель та лісів під забудову житловими масивами, промисловими комплексами, аеропортами. Відбувається безупинна концентрація людей у містах, з'являються і розростаються багатомільйонні міста-мегаполіси, а водночас виникають серйозні проблеми в системах «людина – жива природа».

На карті світу з'явилися мегаполіси, що перевищують п'яти-шести- і навіть десятимільйонний рівень численності мешканців. В Україні тільки столиця є містом, населення якого сягнуло трьох мільйонів. Сім міст уже перевищили або досягають одномільйонного рубежу.

Переважно великі міста – це індустріальні комплекси, основна їх проблема – продукування виробничих відходів, сміття, виділення токсичних речовин у навколишнє середовище. Слід зауважити, що ґрунти в сучасних містах уже не можуть самоочищуватися, вони, як правило, мають підвищену кислотність, містять мало поживних речовин, є ущільненими.

Міське середовище має комплексну шкідливу дію на здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря, дефіциту сонячного проміння, води, нестачі зелених насаджень, шумових та вібраційних навантажень, впливу електромагнітних, теплових та іонізуючих випромінювань.

Ступінь поширення багатьох хвороб у великих містах набагато вищий, ніж у малих містах чи селах. Тут більше хворіють на рак легенів, бронхіт, астму, алергічні хвороби. Рівень інфекційних захворювань у містах також удвічі вищий. Одночасно з розвитком міст збільшується негативний тиск на біосферу.

Захворювання населення – це динамічний процес, який знаходиться в тісному зв'язку з соціально-економічними умовами і якістю навколишнього середовища. Прийнято вважати, що близько 30 % захворювань є екологічно обумовленими. Для підтримання якості навколишнього середовища на прийнятному рівні в індустріально розвинутих країнах у середньому витрачається близько 2-3% бюджету [1].

Чорна та кольорова металургія належать до тих галузей виробництва, що найбільше забруднюють природне середовище. У середньому на 1 млн т річної продукції заводів чорної металургії становить виділення пилу – 350, сірчаного ангідриду – 200, оксиду вуглецю – 400, оксидів азоту – 42 т/доб. Ця галузь є одним з великих споживачів води, водоспоживання становить 12-15% загального споживання усіма промисловими підприємствами країни [2]. Концентрація шкідливих речовин у навколишньому середовищі великих металургійних центрів значно перевищує норми. Неприятлива екологічна обстановка спостерігається у таких металургійних центрах України, як Донецьк, Запоріжжя, Дніпропетровськ, Кривий Ріг. Викиди шкідливих речовин через велику токсичність стали причиною перевищення допустимих санітарно-гігієнічних норм.

Забруднення навколишнього середовища підприємствами кольорової металургії у першу чергу визначається викидами сірчаного ангідриду (75%), оксиду вуглецю (10,5%) і пилу (10,4%).

У регіоні України Рубіжне – Лисичанськ – Сєверодонецьк зосереджена величезна кількість хімічних заводів, тривала діяльність яких призвела до забруднення підземних вод та поверхні землі. Навіть тепер, після зупинки ряду промислових підприємств, у місті Лисичанськ вміст шкідливих речовин у повітрі перевищує норму в 3-4 рази. Це визначає той факт, що в Луганській області найвища в Україні смертність і найнижча народжуваність, а захворювання по регіону в 1,5-2,5 рази перевищують середні показники [1].

Основою розвитку кожного регіону або економіки є енергетика. Темпи зростання виробництва, його технічний рівень і в кінцевому підсумку рівень життя людини значною мірою залежать від розвитку енергетики. Основним джерелом енергії в Україні, як і більшості інших країн, є зараз і буде, імовірно, залишатися в майбутньому теплова енергетика.

Теплові електростанції, які використовують більше третини усього добутого палива, суттєво впливають на навколишнє середовище у районі їх розташування, а також на загальний стан біосфери. Взаємодія енергетичного підприємства з навколишнім середовищем відбувається на усіх стадіях добування і використання палива, перетворення і передачі енергії. Розвиток енергетики впливає на різні компоненти біосфери:

- на атмосферу – використання кисню, викиди газів, пари й твердих часток;

- на гідросферу – використання води, скидання стічних і нагрітих вод, скидання рідких відходів, створення нових водосховищ;

- на літосферу – споживання палива, зміна водного балансу, зміна ландшафту, викиди твердих, рідких і газоподібних токсичних речовин на поверхні і в надра.

У сучасних умовах жодна галузь не може існувати без транспортної системи. Негативна роль транспортно-шляхового комплексу в погіршуванні якості навколишнього середовища з кінця ХХ ст. постійно підвищується. На викиди автомобільного транспорту та шляхо-будівельного комплексу припадає більше 80% усієї кількості викидів транспортно-шляхового комплексу, 8% припадає на залізничний транспорт [2].

Понад 500 млн автомобілів щорічно викидають у біосферу 400 млн т оксидів вуглецю, 100 млн т вуглеводнів, сотні тисяч тон свинцю, сажі та ін. Більше 200 найменувань шкідливих речовин і сполук, у тому числі і канцерогенних, мають відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання. Нафтопродукти, продукти зносу шин і тормозних колодок, сипкі і пилоподібні грузи, хлориди, які використовуються у якості антикригових шляхових покриттів, забруднюють пришляхові полоси і водні басейни.

Вплив залізничного транспорту на навколишнє середовище обумовлено такими факторами [3]:

- великий обсяг споживання природних ресурсів, які не відновлюються, при експлуатації залізничного транспорту в Україні (паливо, мастила, вода, метал та ін.), який становить у 2-5 разів більше, ніж у розвинутих країнах;

- низька паливна економічність;

- використання для прокладання доріг та розміщення підприємств великої кількості земель, у тому числі й родючих;

- забруднення атмосферного повітря, водних басейнів й ґрунтів токсичними викидами при експлуатації рухомих засобів;

- забруднення середовища відходами, сміттям та різними втратами сипких вантажів при їх навантаженні;

- забруднення водоймищ стоками, які мають нафтопродукти, феноли, солі важких металів, які порушують біоценози водоймищ;

- забруднення навколишнього середовища у результаті аварій при перевезеннях небезпечного навантаження.

На частку залізничного транспорту припадає 64% усіх перевезень. Залізничний транспорт України – технічно складний транспортний комплекс, широко розповсюджений практично по всій території країни. Тому також важливо розглянути усі екологічні проблеми залізничного транспорту.

З 1991 р. в Україні діє програма СЕМ «Україна» системного екологічного моніторингу навколишнього середовища, в якій беруть участь понад 30 установ різних галузей науки і техніки. На жаль, більшість нормативних актів, спрямованих захистити природу, та дані моніторингу навколишнього середовища в Україні недоступні широким колам населення, а тому малоефективні. Хоча важливу роль у галузі охорони навколишнього середовища повинні відіграти громадські організації та рухи, які об'єднують у своїх природоохоронних діях відомих вчених, діячів різних професій, а також широкі маси населення країни і планети у цілому.

1. Антропогенний вплив технічного прогресу на атмосферне повітря

1.1. Загальні джерела забруднення атмосфери та їх вплив на людину

Атмосфера – це природна зовнішня газоподібна оболонка Землі. Вона є резервуаром кисню і забезпечує фізіологічні процеси дихання, регулює інтенсивність сонячної радіації, є джерелом атмосферної вологи, а також середовищем, у яке відводяться газоподібні продукти життєдіяльності всіх живих організмів. Сумарна маса земної атмосфери складає $5,9 \cdot 10^{15}$ т. Приблизно 90 % маси повітря знаходиться на висоті до 15 км [4].

За характером зміни температур з висотою атмосфера поділяється на п'ять шарів. Найбільше значення для розсіювання шкідливих забруднень має нижній шар висотою $\sim 10-11$ км, у якому відбуваються горизонтальні, вертикальні, кругові (турбулентні) переміщення повітря. Звідси й назва шару – **тропосфера** (від грецьк. «тропос» – поворот). У ньому температура монотонно падає в середньому на $0,65^{\circ}\text{C}$ на кожні 100 м підйому. Починаючи з 10-12 км температура перестає знижуватися – це **тропопауза**. Частина атмосфери, розташовану над тропосферою, називають **стратосферою** (від лат. «стратус» – шар), передбачуючи, що над тропосферою є тільки пошаровий рух атмосфери. У межах стратосфери, починаючи з висоти 20-25 км температура повітря поступово збільшується від $(-55-60^{\circ}\text{C})$ до 0°C на межі цього шару (~ 40 км). Інші шари атмосфери: **мезосфера** (від грецьк. «месос» – проміжний), **термосфера** (від грецьк. «термо» – теплота) – теж виділені відповідно до зміни температури (аж до 700°C на висоті 800-1000 км) [5]. Зовнішню частину атмосфери називають **екзосферою** (від грецьк. «ек», «екс» – видалення). У тропосфері міститься 75% загального об'єму повітря атмосфери. Тропосферу при цьому умовно поділяють на три шари: приземний (40-70 м), промежовий (~ 1 км від рівня Землі) і вільна атмосфера.

Середній хімічний склад повітря в нижніх шарах атмосфери становлять в основному три гази – азот, кисень і аргон – у кількості 99,96 % об'єму атмосфери. Крім них у повітрі

міститься велика кількість різних газоподібних речовин більших складного стану, але набагато менше за кількістю [4].

Антропогенний фактор постійно змінює хімічний склад і фізичний стан атмосфери. У результаті людської діяльності, особливо процесів горіння, поглинається кисень і утворюється вуглекислий газ та багато інших різноманітних шкідливих речовин – оксиди сірки та азоту, вуглеводні, тверді частки (пил) та ін. Великим джерелом забруднення є теплові електростанції, які при процесах горіння палива викидають насамперед оксиди сірки і азоту, тверді частки, а також багато інших сполук. Майже половина всіх забруднень (45%) припадає на «класичну» енергетику, побудовану на згорянні органічного палива [6]. Спалювання органічного палива відіграє відповідальну роль у забрудненні атмосфери.

Розповсюдження перелічених викидів в атмосферу залежить від рельєфу місцевості, швидкості вітру, перегріву їх відносно температури атмосфери, фазового складу опадів і їх інтенсивності.

За рахунок антропогенного походження утворюються кислотні дощі і смоги. Кислотні дощі – сірчана й азотна кислоти, які утворюються у воді при розчиненні діоксинів сірки й азоту, що випадають з дощем, туманом, снігом і пилом. Кислотні дощі більшою частиною спостерігають у регіонах з розвинутою промисловістю. Кислотні опади, що попадають у водойми і річки, нерідко спричиняють загибель риб або усього тваринного світу, пошкодження листя і загибель рослинності, прискорюють корозію металів, порушення різних споруд.

Взаємодія викидів і туманів призводить до виникнення стійкої сильно забрудненої дрібнодисперсної хмари – смогу, найбільш густої біля поверхні землі.

Сучасна індустрія постійно зменшує кількість атмосферного кисню: більш інтенсивним є утворення вуглекислого газу при згорянні органічного палива, ніж його поглинання рослинністю, водами морів і океанів. Викиди в атмосферу аерозолів наближується до кількості пилу і золи, яка надходить із вулканів.

Забруднення атмосфери продуктами виробничої діяльності має різноманітний шкідливий вплив на побут людини та виробництво.

Ряд речовин у забрудненому повітрі (бензол, оксиди вуглецю, сірки та азоту, свинець, пил тощо) можуть сприяти розвитку онкології, появі дефектів у новонароджених, пошкодженням мозку та нервової системи, а також легенів і шляхів дихання. Людина може і не одержати специфічних захворювань від даного конкретного фактора, але при цьому страждає його загальний стан здоров'я, знижується імунітет, загострюються хронічні захворювання, які має людина, виникають різні генетичні зміни або порушення здоров'я.

Високий рівень алергічних та респіраторних захворювань виникає в районах, де високий рівень забруднення повітря пилом, оксидом сірки й азоту.

Встановлені зв'язки між вмістом сіркового ангідриду в повітрі і розвитком стенокардії, захворювань шкіри і верхніх дихальних шляхів населення.

З забрудненням навколишнього середовища залізом пов'язана поява у населення захворювань сечовидільної системи, міддю – ожиріння та захворювань кістково-м'язової системи, марганцем – ішемічної хвороби серця, бенз(а)піреном (Б(а)П) – фарингітів та онкологічних захворювань.

Алюмінієва промисловість підвищує рівень захворювання на виразку шлунку і дванадцятипалої кишки, холецистит, хвороби кістково-м'язової системи, шкіри і підшкірної клітини.

Найбільшою мірою також забруднює повітря транспорт, переважно автомобільний і залізничний. Сучасні тенденції на транспорті призводять до перевантаження та забруднення атмосфери, ушкодження здоров'я та небезпеки для життя людини і, крім того, загальних економічних втрат. Багато захворювань пов'язано з викидами залізничного та автомобільного транспортів тому, що більшість вихлопних газів важче за повітря і накопичується біля поверхні землі.

Сажа, яка викидається електростанціями в атмосферу, підвищує рівень захворювань на астму.

Виявлено, що навіть дуже малі концентрації діоксинів у повітрі впливають на репродуктивну функцію людини. Діоксини

офіційно признані речовинами, які викликають онкологічні захворювання. Основним джерелом діоксинів в атмосферному повітрі є сміттєспалювальні установки, особливо коли спалюють різноманітні пластики.

Оцінка дії людини на атмосферу засновується на дотриманні існуючих нормативів, але часто існує спільна присутність в атмосфері кількох речовин, які мають сумачію дії.

Зв'язок між захворюваннями населення та високою жорсткістю води, її мінералізацією і хімічним забруднюванням має місце в багатьох регіонах України.

Аналіз зв'язку між якістю атмосферного повітря і захворюванням населення виявив пріоритетний вплив підвищеної концентрації формальдегіду в житлових районах на формування хронічних патологій з боку дихальних шляхів у людини й особливо у дітей.

1.2. Парниковий ефект

Склад атмосфери, включно з мікродомішками, суттєво впливають на кліматичні умови Землі як на глобальному, так і на регіональному рівні.

Помітний вплив на кліматичні умови мають водяна пара, вуглекислий газ, оксиди азоту та інші багатоатомні гази, які утворюють парниковий ефект. За останні сторіччя середньорічна температура виросла на $0,5^{\circ}\text{C}$, вважається, що це через збільшення концентрації CO_2 і таких газів, як CO , CH_4 , C_2H_6 , N_2O .

Вміст CO_2 в атмосфері Землі невеликий і складає соті частки процента, але у минулому столітті цей вміст підвищувався, що призводило до повільного зростання середньорічної температури на планеті. Парникові гази поступають в атмосферу з природних джерел, а також у результаті діяльності людини.

Природними джерелами CO_2 є гази, які виділяються з земної глибини, при диханні живих організмів, з продуктів горіння. Природа завжди прагне рівноваги, тому у процесі фотосинтезу виникає поглинання CO_2 рослинами, морями та океанами, відбувається кругообіг вуглеводу в природі. Решта кількості CO_2 , яка рівномірно розподіляється в атмосфері до висоти приблизно

70 км, залежить від його рівноважної концентрації з морською водою і твердим карбонатом кальцію океанічного дна [4].

На природну рівновагу, яка існує мільйони років, у сучасних умовах накладаються процеси, які викликані господарчою діяльністю людини. У результаті цієї діяльності підвищується кількість CO_2 , що поступає в атмосферу насамперед за рахунок спалювання великої кількості органічного палива. Тільки на цей процес щорічно витрачається 10 млрд т кисню, що перетворюється на еквівалентну кількість CO_2 . 75% CO_2 надходить в атмосферу за рахунок спалювання палива. За останні 20 років концентрація CO_2 в атмосфері підвищилася на 15%, а в результаті спалювання органічних палив концентрація CO_2 в атмосфері з 1750 по 1992 р. підвищилася у 1,3 рази, що і призвело до підвищення температури на поверхні Землі. Найбільш імовірні прогнози стверджують, що до середини цього століття окислювально-відновлювальні реакції горіння органічного палива залишаться основою для енергетики мира, що швидко розвивається. За цей час вміст CO_2 може вирости у декілька разів.

Механізм утворення парникового ефекту надзвичайно простий. Звичайне сонцеве випромінювання за безхмарної погоди й чистої атмосфери порівняно легко досягає поверхні Землі, поглинається поверхнею ґрунту, рослинністю, будівлями та ін. Нагріті поверхні віддають теплову енергію знову в атмосферу, однак у вигляді довгохвильового випромінювання відповідно до закону Віна, згідно з яким частота випромінювання з максимальною інтенсивністю V_{\max} прямо пропорційна абсолютній температурі T :

$$V_{\max} = b \cdot T, \quad (1.1)$$

де b – константа.

Максимум випромінювання у сонцевому спектрі лежить у жовто-зеленій області видимого інтервалу довжини хвилі. Ця область практично не поглинається атмосферними газами N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O та ін., оскільки температура нагрітої поверхні на Землі багато нижче за температуру поверхні Сонця. Тому максимум випромінювання з поверхні Землі відповідно до закону Віна припадає вже на інфрачервону частку спектра.

У найближчому інфрачервоному діапазоні це випромінювання інтенсивно поглинається молекулами N_2O , CO , CO_2 , H_2O , CH_4 , C_2H_6 , які мають інтенсивні смуги поглинання в інтервалах довжини хвиль 2-5 нм. Основний внесок у парниковий ефект мають: CO_2 – 80%, CH_4 – 20%. У результаті інфрачервоне випромінювання Землі не розсіюється у космічному просторі, а витрачається на підвищення теплового руху молекул в атмосфері, що й викликає загальне підвищення температури. Для попередження або повного виключення нахождення в атмосфері оксидів вуглецю й азоту, зниження парникового ефекту й кислотних опадів запропоновані різні й своєрідні проекти.

Сучасні дослідження глобального циклу вуглецю включають по можливості найбільш точні оцінки запасів ґрунтового вуглецю, а також вуглецю антропогенних джерел. Активне знищення лісів зараз призводить до підвищення поступу вуглецю в атмосферу.

Головна небезпека підвищення середньої температури на планеті впливає на рівень води у морях та океанах і в зміненні клімату Землі.

Метеорологи уже зараз реєструють підвищення стихійних лих типу тропічних ураганів або циклонів, засух та повенів.

Вирішення даної проблеми може бути одне – зменшення викидів парникових газів в атмосферу та припинення варварського знищування лісів, особливо тропічних.

Викиди парникових газів в Україні складають: 1990 р. – 960 млн т (700 млн т – CO_2), 2000 р. – 300 млн т, 2015 р. (прогноз) – 630-750 млн т.

У 1992 р. на міжнародній конференції в м. Ріо-де-Жанейро 150 країн підписали Погодження, згідно з яким вони зобов'язуються працювати над зниженням викидів CO_2 в атмосферу.

Кіотський протокол (1997 р.) визначив кількісні зобов'язання країн зі скорочення викидів парникових газів до 2008-2012 рр. на 5,2% порівняно з рівнем викидів їх в 1990 р. Україна підписала Кіотський протокол у 1999 р. і ратифікувала в 2004 р. Після ратифікації його Росією в жовтні 2004 р. він набув чинності.

1.3. Руйнування озонового шару Землі

Високо в стратосфері існує шар газу з відповідальною функцією – затримувати більшу частку небезпечного ультрафіолетового випромінювання Сонця. Цей газ називають озоном. Молекула озону триатомна – O_3 . Це синій газ із їдким запахом. Він активний, тому час його існування у приземних шарах атмосфери малий. Озонова оболонка розповсюджена на висоті від 10 до 50 км від поверхні Землі з максимальною концентрацією озону в проміжку 20-25 км. Незначна його кількість завжди втримується в атмосфері. Загальна його маса в атмосфері $3,1 \cdot 10^{15}$ г.

Загальна кількість озону на планеті була стабільною багато років, однак діяльність людини призвела до порушення цього балансу. Озоновий шар порушують хлорфторуглероди (фреони), які до недавнього часу вважалися одними з найкорисніших речовин, що були створені людиною [2].

Таке широке використання фреонів пояснюється невисокою вартістю їх виробництва, тим, що вони негорючі, нетоксичні і не вступають у реакції з іншими речовинами. Світове виробництво їх у 1980 р. досягло 1 млн т.

Фреони, потрапивши в стратосферу, розкладаються під дією УФ-промінів Сонця з виділенням атомів хлору, які каталізують перетворення озону на кисень. Тобто головними причинами виявилися викиди хлору і його сполук. Це пояснюється інтенсивним використанням фреонів у холодильниках, кондиціонерах, у теплових насосах, у засобах пожежогасіння, у виробництві піноматеріалів, в аерозольних балончиках.

Збереження озонового шару – одне із глобальних завдань людства. Необхідна відмова від виробництва хлорвмісних речовин, яких у 1990 р. вироблялося 1,3 млн т, з них в СРСР менше 10 %, США – 35 %, країнах-членах ЄЕС – 40 % [1].

Зменшення вмісту O_3 в стратосфері Землі призводить до посилення потоку ультрафіолетового випромінювання на рівні поверхні Землі, а до цього біосфера планети не пристосована. Посилений потік ультрафіолетового випромінювання не тільки провокує виникнення раку шкіри, але і пригнічує імунну систему організму. На думку лікарів, кожний загублений процент озону у

масштабах планети може викликати до 150 тис. випадків сліпоти, на 2,6% підвищити кількість онкологічних захворювань шкіри, значно підвищити кількість хвороб, які викликаються послабленням імунної системи людини.

У березні 1985 р. була прийнята Віденська конвенція про охорону озонового шару, а в 1987 р. був підписаний Монреальський протокол, відповідно до якого до 2000 р. виробництво ХФВ має бути скорочене на 50%. У Західній Європі виробництво речовин, що руйнують озоновий шар, зменшилося на 90%. Однак тривалість збереження цих речовин в атмосфері означає, що озоновий шар, можливо, повністю відновиться лише після 2050 р.

Завдяки сильним окисним властивостям озон використовують у виробництві багатьох органічних речовин, при одержанні нітрату амонію з аміаку. Він убиває мікроорганізми, тому його застосовують для очищення стічних вод і води для господарських потреб. На одержання 1кг O_3 витрачається ~20 кВт·год. Однак озон при великому вмісті його в повітрі отрутний. Сильно подразнює очі, дихальні шляхи. Клас його небезпеки – 1.

1.4. Радіоактивне забруднення

Досить небезпечним видом впливу на біосферу є радіоактивне випромінювання. Це α -промені, що складаються з ядер гелію; β -промені, що являють потік швидких нейтронів; γ -промені, що мають високу проникну здатність.

Радіаційний фон сформований природним випромінюванням, а також самовипромінюванням всіх інших техногенних джерел: випробування атомної зброї, наслідки катастрофи на ЧАЕС та ін.

Після чорнобильської катастрофи рівень злоякісних захворювань різко збільшився, у сотні разів підвищилося число дітей, які страждають на анемію, алергічні захворювання, а також захворювання органів дихання і слуху. На забруднених після чорнобильської катастрофи територіях виявляються ранні катаракти у дітей, високий рівень захворювань шкіри, щитовидної залози та інших органів, зниження імунітету. По усій

країні страждають на багато хвороб тисячі ліквідаторів наслідків аварії.

Природний радіаційний фон складається з радіонуклідів космічного випромінювання, випромінювання від розсіяних у земній корі, ґрунті, повітрі й інших об'єктах.

Зниження опромінення населення досягається шляхом обмежень на вміст окремих природних радіонуклідів у готових виробках відповідно до ДБН В.1.4-1.01-97. Ефективна питома активність не повинна перевищувати для будівельних матеріалів житлових і суспільних будинків певних значень, наприклад, для щебенів сумарна β -активність 113,5 Бк/кг.

Найбільш вагомим джерелом внутрішнього опромінення є радон і продукти його розпаду. Сам радон є продуктом розпаду урану і радію й у більших кількостях зустрічається в місцях з підвищеною активністю ґрунтів. Радон – безбарвний інертний газ, що не має присмаку і запаху, густина його в 7,5 рази більше, ніж у повітря, тому він накопичується в підвалах і нижніх поверхах будинків. Основне джерело надходження радону – це ґрунт, будівельні матеріали, які містять уран. Концентрація його в приміщеннях може перевищувати допустимі значення. Найефективніший захід щодо зниження вмісту радону в приміщеннях – це примусова вентиляція, особливо в холодний час, коли його концентрація підвищується на 35% у зв'язку з малою вентиляцією.

Питання для самоперевірки

1. Що таке навколишнє середовище?
2. Які регіони України найбільш забруднені?
3. Фактори впливу залізничного транспорту на навколишнє середовище.
4. Що таке біосфера і що є її основною частиною?
5. На які компоненти біосфери впливає розвиток енергетики?
6. Що таке атмосфера?
7. На скільки шарів поділяється атмосфера і чому?
8. На якій висоті знаходиться тропосфера і які властивості вона має?

9. Як поводиться температура у межах стратосфери?
10. З яких речовин складається атмосфера?
11. Механізм утворення парникового ефекту.
12. Які гази називають парниковими?
13. Чому підвищується кількість CO₂?
14. Вплив парникового ефекту на природне середовище.
15. Як зменшити викиди парникових газів?
16. Де розповсюджена озонна оболонка?
17. Головні причини руйнування озонного шару Землі.
18. До чого призведе подальше руйнування озонного шару?
19. Як зупинити руйнування озонного шару?
20. У яких виробництвах використовують озон?
21. Який клас небезпеки озону?
22. Джерела радіоактивного забруднення атмосфери України.
23. Основне джерело надходження радону.
24. Шляхи зменшення радіоактивного забруднення.
25. Як вплинула чорнобильська катастрофа на стан атмосферного повітря і здоров'я населення?

2. Забруднення атмосфери енергетичними підприємствами та транспортними засобами

2.1. Екологічні аспекти розвитку теплоенергетики України

Для задоволення потреби в енергетиці населення нашої планети, яка постійно підвищується, необхідно все більше енергії та матеріалів, для добування і виробництва яких, у свою чергу, необхідна енергія.

Рівень і вартість енергетики визначають технічний рівень країни. За рахунок спалювання органічних палив (кам'яне вугілля, нафта, газ) у всьому світі виробляється близько 95% енергії.

Основним джерелом забруднення атмосферного повітря є теплові електричні станції, промислові та опалювальні котельні і транспортні засоби з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ).

При спалюванні палива на ТЕС наряду з газоподібними відходами утворюються величезні маси твердих відходів: зола, шлаки, продукти вуглезбагачення. Відходи фабрик вуглезбагачення вмістять 55-60% SiO_2 , 22-26% Al_2O_3 , 5-12% F_2O_3 , 0,5-1% CaO , 4-4,5% K_2O і Na_2O , до 5% C . Вони поступають у відвали, які пилять, і різко погіршують стан атмосфери і прилеглих територій [7].

Потенціал електроенергетики України становить 44 потужних ТЕС (найбільші – Вуглегірська – 3600 МВт, Запорізька – 3600 МВт, Криворізька 2820 МВт), 8 ГЕС (з них 6 утворюють каскад на Дніпрі: Київська – 361,2 МВт, Канівська – 444 МВт, Кременчуцька – 625 МВт, Дніпродзержинська – 1532 МВт, Каховська – 351 МВт, Дністровська ГЕС – 702 МВт, Терещівська – 27 МВт), 4 АЕС (Запорізька потужністю 6000 МВт, Південно-Українська – 3000 МВт, Рівненська – 1818 МВт, Хмельницька – 1000 МВт) [8].

Виробництво електроенергії в Україні забезпечують на 46% АЕС, на 11,2% – ГЕС, на 39,1% – ТЕС [8].

У 2001 р. ТЕС України виробили близько 80 млрд кВт·год, що склало близько 50% загального вироблення [9].

З огляду на вибір Україною європейського шляху розвитку й екологічну спрямованість енергетичної політики в країнах Європейського Союзу можна констатувати, що питання екологічного удосконалення устаткування ТЕС, а також процесів горіння палива та очищення димових газів мають і матимуть все більше значення.

Основу теплоенергетики України складають 104 енергоблоки електричною потужністю від 150 до 800 МВт, велика частина яких була введена в експлуатацію в 60-70 р. ХХ ст. Тому устаткування ТЕС не відповідає сучасним європейським вимогам як за техніко-економічними, так і екологічними показниками [10].

Ступінь забруднення атмосфери продуктами згоряння визначається головним чином видом палива, який згоряє, умовами протікання процесу в топках котлів та наявністю спеціального устаткування з вловлювання шкідливих викидів.

Основними компонентами, що викидаються в атмосферу під час спалювання різних видів палива, є продукти окислення, що утворюються в процесах горіння. Під час окислення виділяється нетоксичний двооксид вуглецю CO_2 і водяна пара H_2O . Але, крім них, в атмосферу викидаються з продуктами згоряння дуже шкідливі речовини, які містять значну кількість токсичних речовин. Серед них основні:

- оксиди сірки SO_x (SO_2 та SO_3);
- оксиди азоту NO_x (NO , NO_2);
- продукти неповного згоряння CO ;
- тверді частки (сажа, зола, пил);
- канцерогенні речовини (наприклад – бенз(а)пірен);
- вуглеводні CH_4 , C_2H_4 та ін.;
- сполуки ртуті, свинцю, кадмію, миш'яку, фтору та ін.

Під час спалювання твердого палива в котлах ТЕС поряд з оксидами основних горючих елементів – вуглеводу та водню – в атмосферу поступають летюча зола з частками палива, які не згоріли, сірчаний та сірчистий ангідриди, оксиди азоту, деяка кількість сполук фтору, а також газоподібні продукти неповного згоряння палива.

Переведення котельних установок на рідке паливо суттєво зменшує золоутворення, але практично не впливає на викиди

двооксиду сірки, оскільки мазут, що використовується як паливо, вміщує в собі до 2% сірки. При згорянні сірчастого мазуту з димовими газами в атмосферу викидається ще, крім всього іншого, й сполуки ванадію, солі натрію, а також відкладення, які видаляються з поверхні нагрівання при очищенні котлів.

Під час спалювання природного газу в димових викидах також є сполучення сірки й азоту, але в меншій кількості. Спалювання газоподібного палива характеризується найменшим вмістом шкідливих викидів у продуктах згорання порівняно з твердим або рідким паливом.

За останні 20 років світова потреба газу підвищилась на 65%, при тому його частка в балансі первинних ресурсів підвищилась з 17 до 21%. На даний момент на частку природного газу України припадає 24% сумарного виробництва первинних ресурсів, а Росії – 50%. Крім екологічної безпеки природного газу, важливим фактом є незначний вплив всієї газової промисловості на навколишнє середовище.

Більшість шкідливих домішок належить до числа токсичних, що навіть у невеликих концентраціях шкідливо впливають на людину і природу в цілому. Концентрація твердих часток, оксидів сірки й азоту в димових газах більшості енергоблоків України перевищує європейські нормативи. Концентрація пилу на деяких ТЕС, що спалюють вугілля, становить 1000-1300 мг/м³, а Європейська директива 88/609/ЄЕС для теплосилових установок тепловою потужністю більше 50 МВт встановлює норматив по твердих частках – 50-100 мг/м³ [10].

Концентрація SO_x і NO_x при спалюванні вугілля на ТЕС України коливається у межах відповідно:

- по SO_x – 1200-4000 мг/м³;
- по NO_x – 600-1600 мг/м³.

Європейська норма, встановлена тією самою директивою, становить:

- по SO_x – 400 мг/м³;
- по NO_x – 650 мг/м³, при спалюванні антрацитів – 1300 мг/м³.

Україна підписала і частково ратифікувала більше 20 міжнародних договорів, конвенцій і протоколів у сфері захисту

навколишнього середовища, які накладають на неї серйозні зобов'язання. Останні протоколи по Конвенції з трансграничних забруднень повітря 1979 р. встановлюють більш жорсткі вимоги щодо очищення димових газів. Орхуський Протокол з важких металів 1998 р. ставить завдання зниження концентрації твердих часток у газах до 50 мг/м³. Гетерборзьким Протоколом про боротьбу з підкисленням, евтрофікацією і приземним озоном 1999 р. передбачає зниження до 200 мг/м³ рівня граничних концентрацій SO_x і NO_x для вугільних котлів паропродуктивністю 420 т/год і вище, а також зниження до 2010 р. валових викидів SO_x і NO_x порівняно з рівнем 1990 р. відповідно на 48 і 35%. У проектах нових документів ставиться задача про подальше зниження концентрації в димових газах твердих часток до 30 мг/м³.

Після прийняття в 2001 р. нової редакції Закону України «Про охорону атмосферного повітря» в нашій країні вводяться технологічні нормативи викидів – поточні і перспективні. Перспективні технологічні нормативи будуть установлюватися на рівні сучасних європейських екологічних вимог.

Таким чином, при прогнозованому збільшенні вироблення електроенергії й орієнтації на переважне спалювання вугілля на ТЕС у найближчому майбутньому Україна постане перед проблемою невиконання своїх міжнародних екологічних зобов'язань, що може призвести до непередбачених санкцій.

У відповідності зі статтею 51 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. природоохоронні органи зобов'язані забороняти введення в експлуатацію енергоустановки після реконструкції у випадку недотримання природоохоронних норм. Застосування цієї міри в сполученні з висновком з експлуатації енергоблоків унаслідок їхнього природного зносу призведе до різкого скорочення споживання високосольного вугілля [11].

Слід також зазначити, що підписання Кіотського Протоколу хоча і не висуває сьогодні перед країною вимог про скорочення парникових газів, все-таки змушує замислитися про можливі наслідки у випадку його невиконання при збільшенні вироблення електроенергії на ТЕС.

Усе викладене свідчить про необхідність проведення робіт, спрямованих на забезпечення енергетиками виконання твердих норм європейського законодавства про охорону природного середовища. Для цього доцільно розробити єдиний план робіт з екології, у якому мають бути враховані поряд з реконструкцією або заміною устаткування теплоенергетики питання паливної політики і зниження втрат при передачі енергії споживачам.

Досвід ряду електростанцій показує, що навіть без реконструкції електростанцій, тільки за рахунок зміни паливної політики, можна досягнути значного скорочення викидів забруднюючих речовин. Так, перехід на спалювання вугілля, що надходить на електростанцію після попереднього збагачення, може забезпечити зниження питомого викиду SO_x на 32-37% (у розрахунку на 1 кВт·год виробленої електроенергії). При цьому питомий викид твердих часток може знижуватися на 35-40%. Велике значення має і вибір оптимального співвідношення між двома основними видами палива: вугілля і природний газ.

Досвід же закордонної енергетики говорить про можливість зниження викидів за рахунок:

- використання для спалювання вугілля з високим вмістом сірки і золи котлів циркулюючого киплячого шару, що мають широкий діапазон змін як зольності вихідного палива, так і навантаження котла, а також таких, що мають високі екологічні параметри з викидів SO_x і NO_x ;
- переходу на нові пиловугільні парогенератори із надкритичними параметрами пари й електричним ККД, що дорівнює 50-53 %;
- застосування високоефективних парогазових установок для спалювання природного газу;
- збільшення вироблення електроенергії в режимі когенерації;
- спалювання біомаси в енергетичних котлах, зокрема спільного спалювання біомаси з вугіллям на блокових ТЕС.

Таким чином, реконструкція ТЕС повинна проводитися з застосуванням нових технологій, що забезпечують підвищення як техніко-економічних показників, так і екологічних. Отже, крім виконання заходів щодо підвищення надійності, економічності і продовження терміну служби устаткування, необхідно

передбачити проведення робіт, спрямованих на охорону атмосферного повітря:

- заміну чи реконструкцію золоочисних установок (скрубєрів, електрофільтрів, циклонів та ін.) на високоефективні, щоб рівень концентрації твердих часток знижувався до 50 мг/м³ і менше;

- впровадження на ТЕС країни технологій сіркоочищення, що забезпечують ефективність очищення димових газів від оксидів сірки на існуючих котлоагрегатах до 50%;

- проведення режимно-технологічних заходів процесів горіння чи впровадження установок азотоочищення для зниження викидів NO_x;

- установлення систем безупинного автоматичного контролю за викидами твердих часток, оксидів сірки й азоту.

У подальшому необхідно буде переходити до модернізації теплоенергетичних установок і будівництва повномасштабних установок з сіркоочищення й азотоочищення та комплексного впровадження режимно-технологічних заходів процесів горіння.

Відповідно до Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про охорону атмосферного повітря» від 21.06.2001 р. № 2556 [12], який враховує основні вимоги Директиви 2001/80/ЄС, мають бути встановлені найбільш жорсткі нормативи з викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Директива 2001/80/ЄС встановлює значно жорсткіші вимоги з викидів в атмосферу (табл. 2.1 і 2.2) порівняно з Директивою 88/609/ЄЕС, яка діяла раніше, досягнути які навіть розвинутим країнам буде нелегко. Тому передбачений перехід на нові показники у два етапи, причому нові установки поділені на дві групи: установки, які вводяться в експлуатацію до 27.11.2003 р. (група А), і установки, які вводяться після цього року (група В) [13].

Для переходу на нові нормативи дається строк 15 років. Враховуючи економічний спад в Україні, зробити такий перехід Україні буде надто складно. Установлення практично на усіх енергоблоках сучасного газоочисного обладнання, що є необхідною вимогою виконання європейських норм, призведе до високих витрат у теплоенергетиці.

Таблиця 2.1

Граничні значення концентрації викидів для групи А, мг/м³ [13]

Речовина	Тип палива	Теплова потужність, МВт			
		100≥ N>50	300≥ N>100	500≥ N>300	N>500
Тверді частки	тверде	100			50
	рідке	50			
	газо-подібне	5			
SO _x	тверде	2000	2000-400 лінійне зниження		400
	рідке	1700	1700-400 лінійне зниження		400
	газо-подібне	35			
NO _x	тверде до 1.01.91 р. після 1.01.91 р.	600			500
	рідке	450			400
	Газопо-дібне	300			200
	рідке	600			200

Тому упровадження сучасного газоочисного обладнання, а також модернізацію теплоенергетичних установок слід вести відповідно до стратегії реабілітації ТЕС, розробленої Мінпаливенерго [14].

Відповідно до цієї стратегії усі електрогенеруючі установки поділяються на три групи:

- енергоблоки, на яких буде проводитися першочергова заміна обладнання або його модернізація;

- енергоблоки, які повинні постійно нести робоче навантаження, поки на решті енергоблоків буде проводитися заміна або модернізація, на цих блоках будуть виконуватися маловитратні реконструктивні роботи;

- генеруючі установки, які будуть застосовані обмежений час до повного зносу, тобто постійно будуть знаходитися у стані резерву і запускатися у випадку крайньої необхідності.

Таблиця 2.2

Граничні значення концентрації викидів для групи В, мг/м³ [13]

Речовина	Тип палива	Теплова потужність, МВт			
		100 \geq N>50	300 \geq N>100	500 \geq N>300	N>500
Тверді частки	тверде	50	30		
	рідке	50	30		
	газоподібне	5			
SO _x	тверде,	850	200		200
	у тому числі біомаса	200			
	рідке	850	400 - 200 лінійне зниження		200
	газоподібне	5			
NO _x	тверде,	400	200		
	у тому числі біомаса	400	300		200
	рідке	450	200		
	газоподібне	150			100

Для обладнання, що модернізується, доцільно поділити перспективні нормативи на дві підгрупи:

- установки спалювання, які модернізуються до 2011 р.;
- установки спалювання, які модернізуються після 2011 р.

Для першої групи встановлюються нормативи, які близькі до граничних значень за групою А Директиви 2001/80/ЄС, а для другої групи – відповідних вимогам Директиви 2001/80/ЄС для нового обладнання групи В. Тобто з існуючого обладнання доцільно виділити обладнання в групу установок зі строком

роботи до 2016 р., щоб виключити можливість застосування до них жорстких технологічних нормативів. Для існуючого обладнання ТЕС України поточні нормативи повинні встановлюватися як середні з найліпших для однотипових обладнання і палива.

2.2. Джерела утворення шкідливих викидів транспортними засобами

Найбільше забруднюють атмосферне повітря транспортні засоби, які працюють на вуглеводневому паливі: бензині, гасі, мазуті, вугіллі, природному газі, дизельному паливі та ін.

Потужним джерелом забруднення атмосфери є автотранспорт. Він, на відміну від промислових підприємств, належить до рухомих джерел забруднення атмосфери. Токсичними викидами двигунів внутрішнього згоряння цього транспорту є відпрацьовані й картерні гази, пари палива із карбюратора та паливного бака, які накопичуються в атмосфері на рівні дихання людини (приблизно 1,5 м від поверхні землі).

За підрахунками, в автомобільних двигунах внутрішнього згоряння спалюється близько 2 млрд т нафтового палива. У містах з розвинутою промисловістю до 80% усіх забруднень дає автотранспорт.

Застосування етилового бензину, що має в своєму складі сполуки свинцю, призводить до сильного забруднення цими сполуками. Близько 70% свинцю, що додається до бензину з етиловою рідиною, потрапляє у вигляді сполук в атмосферу з відпрацьованими газами, із них 30% осідає на землі одразу ж за вихлопною трубою автомобіля, 40% залишається в атмосфері.

Оцінку забруднення повітря відпрацьованими газами двигунів автомобіля здійснюють за сумарною кількістю викинутих компонентів з урахуванням шкідливості кожного з них.

Залізничний транспорт також викидає в атмосферу значну кількість різноманітних речовин, кожна з котрих дуже небезпечна для живих організмів, споруд та ін.

Щорічний сумарний викид шкідливих речовин в атмосферу об'єктами залізничного транспорту України у 1995-1999 рр. склав

приблизно 150 тис. т без урахування пилю сипких вантажів при перевезеннях [3]. Тільки стаціонарними джерелами викидається більше 50 тис. т шкідливих речовин, з яких вловлюється і знешкоджується лише близько 30%.

Значна частина викидів (близько 85%) утворюється за рахунок спалювання органічного палива при експлуатації дизельного магістрального та маневрового рухомого складу, рефрижераторних потягів, а на частку стаціонарних джерел припадає 10-15% валового об'єму викидів.

Найбільш важливими джерелами забруднення атмосфери серед стаціонарних джерел є локомотивні і вагонні депо, заводи з ремонту рухомого складу й залізничної техніки, промислові і комунальні котельні. Приблизно 90% валового об'єму забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу стаціонарними джерелами, припадає на частку котельних, близько 5% – на решту теплоагрегатів, які використовують тверде, рідке і газоподібне паливо. При цьому в атмосферу викидається близько 20 тис. т за рік золи, оксидів азоту, сірки, вуглецю. Решта викидів (близько 5%) пов'язані з такими технологічними процесами, як механічна обробка, зварювання металів, хімічистка, зарядка акумуляторів, нанесення гальванопокриття та ін. [3].

Стаціонарними джерелами забруднення на підприємствах залізничного транспорту є котельні (у кількості 2060 шт.), промивально-пропарювальні станції (5 шт.), цехи локомотивних вагонних депо, заводи з ремонту рухомого складу. Щорічно від стаціонарних джерел викидається в атмосферу близько 6 тис. т твердих речовин (приблизно 2 тис. т золи), 7 тис. т сірчаного ангідриду, 5 тис. т оксиду вуглецю, 450 т вуглеводнів, а також десятки і сотні тонн таких небезпечних речовин, як сажа, ксилол, уайт-спірит, ацетон та ін.

Шкідливі речовини, які утворюються при різноманітних виробничих процесах, викидаються системами вентиляції в атмосферу, що забруднює приземний шар повітряного басейну. Значна частина технологічного обладнання не оснащена системами очищення викидів, експлуатація існуючих систем очищення і контроль за їх роботою здійснюється на низькому технічному рівні і не відповідає сучасним вимогам (ефективність

50-75%). У результаті забрудненість атмосфери в районах розповсюдження крупних підприємств залізничного транспорту надзвичайно висока.

Аналіз складу викидів структурних підрозділів залізничних підприємств показав, що основні викиди забруднюючих речовин за останні роки зменшилися через скорочення об'єму перевезень, упровадження заходів зі зменшення викидів в атмосферу.

Середньорічна кількість твердих речовин, які викидаються підприємствами усіх залізниць, за останні шість років практично не змінювалась.

Викиди оксидів азоту в атмосферу у середньому по усій мережі залізниць дещо знизилися у 1999 р. порівняно з 1995 р. (на 3,5%). Спостерігають також зниження викидів оксидів сірки. Викиди СО в атмосферу підвищилися, що відповідає тенденції усіх галузей України. Викиди вуглеводнів коливаються в широких межах, що пов'язано з різною структурою паливних балансів залізниць. Рухомими джерелами забруднення, до яких належать тепловози, дрезини, рефрижераторні і дизель-поїзди, пасажирські вагони з вугільним опалюванням, машини і механізми, викидається в атмосферу значна кількість токсичних речовин з відпрацьованими газами двигунів. Крім того, при максимальному навантаженні дизелів порівняно з холостим ходом концентрації у відпрацьованих газах різко підвищуються. Домінуюче значення серед них мають оксиди азоту, яких у декілька разів більше, ніж оксидів вуглецю і сірки. При цьому кількість оксидів азоту коливається на холостому ході від 121 до 208 мг/м³, а при максимальному навантаженні – від 295 до 421 мг/м³. Концентрація оксидів вуглецю становить відповідно від 56 до 144 мг/м³ і від 71 до 318 мг/м³, сірчаного ангідриду – від 1,7 до 3,5 мг/м³ і від 2,6 до 82 мг/м³. Але режими роботи маневрових тепловозів менш стабільні, ніж магістральних, тому і викиди у них можуть бути у декілька разів більші.

2.3. Класифікація шкідливих компонентів продуктів згоряння

Токсичні речовини, які містяться в димових газах, діють на рослини, тварин та людину, а також на будівельні конструкції та

спорудження. Кількісне обґрунтування ступеня технологічного забруднення атмосфери засновується на встановленні екологічно допустимого рівня несприятливого впливу на людину і тварин.

Класифікація забруднюючих атмосфери речовин може бути проведена за такими ознаками:

- агрегатний стан: тверді, крупно- і дрібнодисперсні аерозолі пилу, рідкі, змішані і газоподібні;
- склад, наприклад, оксиди сірки, азоту і вуглецю, хлористий водень, фтористі з'єднання та ін.;
- походження: природне і штучне (антропогенне).

Забруднення атмосферного повітря може бути глобальним, регіональним і локальним. Однак чітко розділити ці види забруднення важко, тому що атмосферне повітря не має межі. Масштаби забруднення пов'язані з потужністю викиду і характером повітряних потоків. Коли ці два фактори співпадають за направленням і часом, то забруднення може бути глобальним, а коли не співпадають – регіональним, місцевим або локальним.

Під *регіональним* забрудненням розуміють забруднення повітря на території сотні кілометрів, яка знаходиться під дією викидів великих промислових і сільсько-господарчих комплексів.

Міське забруднення визначають сукупністю викидів безлічі джерел, які розміщені на території, що знаходиться у цій зоні впливу.

Локальне забруднення може бути обумовлено одним або декількома джерелами викидів, зона впливу яких визначається, головним чином, мінливою швидкістю та напрямком вітру.

Природне забруднення відбувається за рахунок природних факторів: пильних бурь, виверження вулканів, видування ґрунтів, лісових пожеж.

Антропогенні джерела забруднення поділяються на такі групи: промислові підприємства, транспорт, побутове і комунальне господарство. Промислові джерела, у свою чергу, поділяються за галузями, а також за інгредієнтами.

Для оцінки стану й рівня забруднення атмосфери використовують якісні та кількісні критерії. Залежно від токсичності забруднень можна виділити 6 рівнів якісної оцінки токсичності: нешкідлива, мала, суттєва, інтенсивна, дуже інтенсивна, катастрофічна.

Про кількісний склад речовини у повітрі визначають за його концентрацією ($\text{мг}/\text{м}^3$, $\text{мкг}/\text{м}^3$). Концентрація – величина, що характеризує кількість даного компонента в багатокомпонентній системі та середовищі.

Залежно від особливостей впливу на атмосферне повітря всі шкідливі речовини поділяють на 4 класи небезпеки:

- I – надзвичайно небезпечні;
- II – високо небезпечні;
- III – помірно небезпечні;
- IV – небезпечні.

Для розрахунку впливу шкідливих викидів енергетичного об'єкта на атмосферу основним вихідним показником виявляється викид шкідливої речовини за одиницю часу.

Шкідливі викиди ТЕС та котелень умовно можна розподілити на дві групи: *керовані й некеровані*.

До *керованих* належать викиди технологічних речовин, на утворення яких можлива дія шляхом організації процесу спалювання в топках котельного агрегату (CO , сажа та ін.).

При спалюванні палива, яке містить сірку, викиди сірчаного газу, V_2O_5 та деяких інших речовин виявляються пропорційними кількості спалюваного палива, тобто їх можна вважати *некерованими*. Застосування режимних й конструктивних заходів з організації процесу горіння практично не може подіяти на їх сумарну кількість.

2.4. Нормування якості атмосферного повітря

При проектуванні ТЕС та котелень необхідно розробляти заходи з захисту атмосфери від шкідливих викидів з продуктами згоряння. У наш час намітилося два заходи підходу в сфері боротьби з забрудненням атмосферного повітря.

Перший, який називається *методом найліпших практично досягнутих заходів*, полягає в тому, що незалежно від ступеня забруднення атмосферного повітря в населених пунктах впроваджують найліпші практичні технологічні заходи боротьби з забрудненням, які досягнені на сучасному рівні.

Другий, який називається *методом управління якістю повітря*, припускає наявність стандартів якості, на базі яких здійснюються усі заходи з контролю й боротьби з забрудненням атмосфери. Ці підходи прийняті зараз в усіх промислово розвинутих країнах як найбільш діючі.

Наявність стандартів якості повітря дозволяє спрямувати зусилля на оздоровлення атмосферного повітря найбільш раціонально, тобто направляти заходи в райони, в яких забруднення атмосферного повітря перевищує допустиму межу.

Сучасні уявлення про допустимі рівні забруднення атмосфери засновані на відомості про шкідливу дію речовин на здоров'я людини й тварин, рослинність, матеріальні цінності.

Всесвітньою організацією з питань охорони здоров'я при ООН в 1963 р. рекомендовано визначення критерію чистоти атмосферного повітря за чотирма рівнями [16]:

1-й рівень – неможливо виявити прямого або непрямого впливу на людину, тварин або рослинність;

2-й рівень – можливе подразнення органів чуття, шкідлива дія на рослинність, зменшення прозорості повітря та ін.;

3-й рівень – порушення життєво важливих фізіологічних функцій й виникнення хронічних захворювань у людини та тварин;

4-й рівень – виникнення гострих захворювань й загибель людей й тварин.

У нашій країні нормативи для факторів зовнішнього середовища взагалі й атмосферного повітря особливо складають нижче захисної реакції, які пристосовані в розрахунку на ранимі групи населення.

Закон України про охорону атмосферного повітря (ст. 4–6) встановлює такі нормативи [15]:

1. Нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря.
2. Нормативи гранично допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря й шкідливий вплив фізичних і біологічних факторів стаціонарними джерелами.
3. Нормативи гранично допустимих утворень забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферне повітря.
4. Нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах пересувних джерел (ст. 11).

До нормативів екологічної безпеки відносять:

1) ГДК (гранично допустима концентрація) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі для людей і об'єктів навколишнього природного середовища;

2) гранично допустимі рівні акустичного, іонізуючого, електромагнітного й іншого фізичного й біологічного впливу на атмосферне повітря для людей і об'єктів навколишнього середовища;

3) нормативи гранично допустимих викидів (ст. 8) (ГДВ) забруднюючих речовин стаціонарними джерелами в атмосферне повітря. Шкідливий вплив фізичного й біологічного факторів на нього встановлюється на рівні, при якому сумарні викиди забруднюючих речовин і шкідливий фізичний та біологічний вплив всіх джерел у даному районі не призведе до перевищення нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря. Тут уже йдеться про урахування фонові концентрації шкідливих речовин у повітрі або фону іншого фізичного впливу.

При вимірюванні концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі найчастіше використовують одиницю вимірювання повітря в нормальних фізичних умовах – мг/м³. У той же час результати безпосереднього вимірювання концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів виражають у таких одиницях: млн⁻¹ (ppm) або % (за об'ємом).

ppm (part per million by volume) – об'ємна концентрація –
 $10^{-6} = 10^{-4} \%$.

Одиниці вимірювання ppm застосовуються для вимірювання малих концентрацій шкідливих речовин, менше 0,1 %.

Для позначення концентрацій менше 1 ppm застосовують одиницю вимірювання ppb (part per billion) – одна мільярдна частина числа – $10^{-9} = 10^{-7} \%$.

Для перерахування за необхідності концентрації в грамах на метр кубічний (г/м³) в ppm використовують коефіцієнт k_{Π} :

$$k_{\Pi} = 10^3 \cdot (22,4/\mu), \quad (2.1)$$

де 22,4 – об'єм одного моля газу при нормальних фізичних умовах, м³/моль;

μ – молекулярна маса речовини, г/моль.

2.4.1. ГДК шкідливих речовин в атмосферному повітрі

Для санітарної оцінки повітряного середовища використовується декілька видів гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин, у тому числі ГДК робочої зони, ГДК максимально разова, ГДК середньодобова, які встановлені на основі рефлекторних реакцій організму людини на присутність у повітрі токсикантів.

ГДК – це максимальна концентрація хімічних домішок в атмосфері, віднесена до певного часу осереднення, що при щоденній дії протягом всього життя людини не має на нього й навколишнє середовище в цілому прямого або непрямого впливу, не викликає ніяких захворювань, що виявляються на сучасному рівні, включаючи віддалені наслідки. У якості основного показника ГДК приймається масова концентрація домішки (мг/м^3). ГДК, які встановлені до сучасного часу, визначені виключно за умовами дії на організм людини. У нашій країні прийнято найнижчий рівень ГДК з чотирьох, рекомендованих Всесвітньою організацією з питань охорони здоров'я при ООН, – перший. ГДК затверджується на **рівні дихання людини**, тобто забруднення не має на людину прямого або непрямого впливу й не знижує його працездатність.

ГДК устанавлюються Міністерством охорони здоров'я, які при цьому розрізняють:

$ГДК_{p.z.}$ – робочої зони;

$ГДК_{m.p.}$ – максимальну разову;

$ГДК_{c.d.}$ – середньодобову.

$ГДК_{p.z.}$ – концентрація, що при щоденній роботі (крім вихідних днів) протягом 8 год або іншої тривалості, але не більше 41 год/тижд, протягом усього робочого стажу не може викликати захворювання або відхилення в стані здоров'я, що виявляється сучасними методами дослідження в процесі роботи або в окремий термін життя нинішнього й наступного покоління.

Робоча зона – простір висотою 2 м над рівнем підлоги або площадки, на якій знаходиться місце постійного або тимчасового перебування працюючого.

Максимальна разова $ГДК_{m.p.}$ – основна характеристика небезпеки шкідливої речовини. Установлена для попередження

рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості, біоелектричної активності головного мозку) при короткочасному (20-30 хв) впливі атмосферних домішок.

Середньодобова $ГДК_{с.д.}$ встановлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного й іншого впливу речовини на організм людини.

$ГДК_{с.д.}$ – це середнє арифметичне значення разових концентрацій домішок в атмосфері, отриманих через рівні проміжки часу, у тому числі в обов'язковий термін: 1, 3, 13 і 19 год, а також за даними безперервної реєстрації протягом доби (за 24 год).

Конкретні значення $ГДК_{м.р.}$, $ГДК_{с.д.}$ і класів небезпеки для більше 700 шкідливих речовин встановлені санітарними нормами (СН 1-245-71), а $ГДК_{р.з.}$ – ГОСТ 12.1. 005 – 88.

При одночасному вмісті в атмосферному повітрі й у повітрі робочої зони речовин, що мають односпрямовану дію, тобто ефект сумачії впливу, фактична концентрація кожного з них ($C_1, C_2 \dots C_n$) у повітрі до їх $ГДК$ ($ГДК_1, ГДК_2 \dots ГДК_n$) не повинна перевищувати одиниці:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1 . \quad (2.2)$$

При одночасному вмісті в повітрі декількох шкідливих речовин, що не мають односпрямованої дії, $ГДК$ залишаються такими, як і при ізольованій дії.

Перелік речовин, що мають ефект взаємного підсилення, постійно поповнюється й на сьогоднішній день нараховує більше 50 груп речовин односпрямованої дії.

Основні з них:

- 1) ацетон і фенол;
- 2) аерозолі п'ятиоксидів ванадію й оксидів марганцю;
- 3) аерозолі п'ятиоксидів ванадію й сірчистий ангідрид;
- 4) озон, двооксид азоту й формальдегід;
- 5) сірчистий газ і аерозоль сірчистої кислоти;
- 6) сірчистий ангідрид і двооксид азоту;
- 7) сірчистий газ і сірководень;
- 8) сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна й азотна).

Найнебезпечнішим для теплоенергетики є сполучення сірчистого ангідриду (SO_2) і двооксиду азоту (NO_2), що обов'язково враховується в розрахунках мінімально допустимої висоти димових труб для розсіювання шкідливих викидів.

Так, за наявності у викидах сірчаного ангідриду й оксидів азоту, які мають сумарний ефект шкідливого впливу на навколишнє середовище, при одночасній присутності їх допустима концентрація визначається з умов [16]:

$$g = \frac{C_{\text{SO}_2}}{\text{ГДК}_{\text{SO}_2}} + \frac{C_{\text{NO}_2}}{\text{ГДК}_{\text{NO}_2}} \leq 1. \quad (2.3)$$

Останнім часом багато вчених дійшли висновку, що для канцерогенних речовин й іонізуючої радіації не існує нижчої межі безпеки чи будь-якої їх кількості, які підвищують природний фон, небезпечні для живих організмів, якщо не посередньо, то генетично, у ланцюгу послідовних поколінь.

ГДК шкідливих речовин встановлюють, як правило, експериментально, з використанням піддослідних тварин. Для оцінки дії токсикантів на живі організми прийняті такі величини:

- LK_{50} – летальна концентрація речовини, яка викликає при вдиханні загибель 50 % піддослідних тварин, мг/л. Значення LK_{50} виражають також у міліграм – молях на літр;

- $PK_{гост}$ – порогова концентрація гострої дії, яка встановлюється на лабораторних тваринах при однократному інгаляційному впливі, мг/л;

- $PK_{хр}$ – порогова концентрація хронічної дії, яка встановлюється на лабораторних тваринах при довготривалому інгаляційному впливі по 6 год щоденно, мг/л.

Встановлення *ГДК* кожної окремої речовини потребує тривалих експериментальних досліджень, тоді як нові хімічні сполуки й їх комбінації отримують значно швидше. Для усунення цього розриву використовують розрахункові методи визначення *ГДК*, які дозволяють прогнозувати токсичну дію хімічних сполук на основі їх фізико-хімічних характеристик.

У табл. 2.3 наведені *ГДК* шкідливих речовин, які є типовими для ТЕС.

Таблиця 2.3

ГДК найпоширеніших шкідливих речовин (мг/м³), які є типовими для теплових електростанцій і котелень [16]

Речовина	Формула	ГДКр.з.	ГДКм.р.	ГДКс.д.
Діоксид азоту	NO ₂	5	0,085	0,040
Оксид азоту	NO	-	0,60	0,060
Оксид вуглецю	CO	-	5,0	1,0
Бенз(а)пірен	C ₂₀ H ₁₂	0,00015	-	0,000001
П'ятиоксид ванадію	V ₂ O ₅	0,1	-	0,002
Нетоксичний пил	-	-	0,5	0,15
Сірководень	H ₂ S	10	0,008	0,008
Двооксид сірки	SO ₂	10	0,5	0,05
Вуглець (газова сажа)	C(сажа)	-	0,15	0,05
Двооксид вуглецю	CO ₂	20	3	1
Зола	-	-	-	0,5

2.4.2. Гранично допустимі викиди (ГДВ) забруднюючих речовин

Для забезпечення охорони повітряного середовища встановлена ще одна нормативна величина, яка характеризує кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу окремими джерелами забруднення, – гранично допустимі викиди.

Гранично допустимі викиди (*ГДВ*) забруднюючих речовин в атмосферне повітря – це загальна кількість викиду речовини, при якій досягається гранично допустима концентрація даної речовини. Норматив *ГДВ* встановлюють із умови, що викиди шкідливих речовин від даного джерела в сукупності з іншими джерелами не створюють приземну концентрацію, що перевищує *ГДК* за межами санітарно-захисної зони:

$$ГДК = C + C_{\phi}, \quad (2.4)$$

де *C* – концентрація речовини в приземному шарі від проектного або діючого джерела при збереженні нормативів *ГДВ*;

C_{ϕ} – фонові концентрації цієї речовини в розрахунковій точці, обумовлені роботою заводів підприємств і транспорту. Фонові концентрації для C_{ϕ} встановлюються місцевими органами охорони здоров'я й гідрометеорології або єдиними по місту, або диференційованими по території міста.

ГДВ розраховують за методами, які розроблені Гідрометром й стандартизовані. При його встановленні для кожного підприємства береться до уваги перспектива розвитку промислового виробництва в тому районі, розташування вже діючих підприємств й будівель, географічні й кліматичні умови місцевості, розташування санітарно-захисних й рекреаційних зон.

Ураховується також **критичний рівень концентрації забруднювачів** атмосфери як гранично допустимий рівень концентрації забруднювачів (для конкретного рівня впливу), нижче якого відповідно до сучасного рівня знань не виникають безпосередньо шкідливі наслідки для людини, рослин й усієї екосистеми в цілому.

Орієнтовно безпечний рівень впливу шкідливих речовин (ОБУВ) – гігієнічний рівень шкідливих речовин, що тимчасово встановлюється на основі розрахунку за фізико-хімічними властивостями або інтерполяцією в рядах близьких за будовою сполук.

Питання для самоперевірки

1. Основні шкідливі викиди ТЕС і котелень.
2. Основні напрямки розвитку теплоенергетики з питань екології.
3. Джерела викидів підприємств залізничного транспорту в атмосферу.
4. Чому автомобільний транспорт найбільш шкідливий для людини?
5. Якісні і кількісні критерії забруднення атмосфери.
6. Класи небезпеки забруднення атмосфери.
7. Які існують заходи в області боротьби з забрудненням атмосферного повітря?

8. Які критерії чистоти атмосферного повітря рекомендовані Всесвітньої організацією з питань охорони здоров'я при ООН?
9. Які нормативи встановлює Закон України про охорону атмосферного повітря?
10. Як класифікуються забруднюючі повітря речовини за агрегатним станом?
11. Як класифікуються забруднюючі повітря речовини за хімічним складом?
12. Як класифікуються забруднюючі повітря речовини за походженням?
13. Що таке ГДК і як її визначають?
14. Що таке ГДВ?
15. Що таке ГДК_{р.з.} і як її визначають?
16. Що таке робоча зона?
17. Що таке ГДК_{м.р.} і як її визначають?
18. Що таке ГДК_{с.д.} і як її визначають?
19. З яких умов визначають допустиму концентрацію речовин, які мають односпрямовану дію?
20. Що таке глобальне забруднення?
21. Що таке регіональне забруднення?
22. Що таке місцеве забруднення?
23. Від чого залежить локальне забруднення?
24. За рахунок чого обумовлюється природне забруднення?
25. На які групи поділяють антропогенне забруднення?
26. Для чого ураховується критичний рівень концентрації забруднювачів?
27. Що таке ОБУВ і для чого він встановлюється?
28. Що таке LK_{50} ?
29. Що таке $PK_{гост}$?
30. Що таке $PK_{кр}$?

3. Основні шкідливі компоненти продуктів згоряння в атмосфері, їх токсикологічна характеристика та розрахунок масових викидів

3.1. Тверді викиди (зола та пил)

Основним джерелом твердих викидів в атмосферу є електростанції, промислові та опалювальні котельні, металургійні та цементні заводи, вугле- і рудозбагачувальні фабрики. Близько 50% твердих часток припадає на котельні установки, при цьому частка котельних малої потужності значна. Крім того, природа має такі явища, як виверження вулканів, пил лісних й степних пожеж, космічний пил, що суттєво підсилюють викиди промислових підприємств. Між окремими господарствами тверді викиди теплових електростанцій становлять 29,5 %.

Тверді частки мають велику сумарну поверхню й, як наслідок, високу біологічну й хімічну активність. Деякі речовини у повітряно-дисперсному стані набувають нові властивості, які можуть бути небезпечні.

Промисловий пил залежно від механізму утворення поділяється на класи:

а) механічний пил – утворюється в результаті здрібнення продукту у ході технологічного процесу;

б) сублімат – утворюється в результаті об'ємної конденсації парових речовин при охолодженні пари води;

в) летюча зола – утримується в димових газах у зваженому стані, це частка палива, яка не згоріла й утворюється з його мінеральних домішок;

г) промислова сажа – це промисловий викид твердого вуглеводу, який входить до складу палива і утворюється при частковому згорянні або термічному розкладанні вуглеводнів.

У складі аерозольних забруднень виявляються сполуки кремнію, кальцію, вуглеводу, оксиди металів (заліза, марганцю, цинку, міді, нікелю, свинцю та ін.).

60% загальної кількості аерозолів, які утворюються від промислових джерел, становлять тверді частки від згоряння палива.

Склад твердих часток залежить від типу палив, які згоряють у топках котлів, типу топкових пристроїв.

Найбільшу зольність мають горючі сланці та буре вугілля, а також деякі сорти кам'яного вугілля. Рідке паливо має незначну зольність, природний газ виявляється беззольним паливом.

Шкідлива дія золи на людину залежить від ряду факторів:

- концентрації у повітрі;
- хімічного складу;
- розміру часток;
- дисперсності;
- твердості.

Вміст у повітрі твердих часток виявляється найбільшою проблемою забруднення повітря для здоров'я людини.

Тверді частки уражають легені людини, при розмірах до 1 мкм проникають глибоко в легені і не видаляються. При концентрації 300 мг/м³ різко загострюються симптоми бронхіту, а при 750 мг/м³ – можливі смертельні випадки.

Впливаючи на навколишнє середовище, вони знижують сонячне освітлення і видимість, підвищують хмарність і туманність, руйнують і забруднюють матеріали.

Тверді частки у повітрі підвищують швидкість хімічних та фотохімічних реакцій в атмосфері, зменшують прозорість повітря, підвищують кількість опадів, впливають на ґрунти та рослинність.

Розрахунок викидів твердих часток при згорянні палива у котлах продуктивністю до 30 т/год можна виконати за такою формулою, г/с:

$$M_z = B \cdot \frac{A^p}{100} \cdot \chi \cdot (1 - \eta), \quad (3.1)$$

де B – витрата палива, г/с;

A^p – зольність на робочу масу палива, %;

η – ефективність золовловлювання;

χ – коефіцієнт, якій залежить від частки золи у виносі.

Але при розрахунку викидів твердих часток необхідно враховувати кількість незгорілої горючої маси палива. Кількість

золи, яка уноситься з димовими газами, на 1 кг згорілого палива з урахуванням недопалу становить, г/кг [16],

$$g = a_{вин} \cdot \frac{A^p}{100} \left(1 + \frac{\Gamma_{вин}}{100 - \Gamma_{вин}} \right), \quad (3.2)$$

де $a_{вин}$ – частка твердих часток, які уносяться з димовими газами і залежать від виду палива;

$\Gamma_{вин}$ – склад горючих у золі виносу, %.

Викид золи в атмосферу в одиницю часу з урахуванням вловлювання її в золовловлювачеві визначається за формулою, г/с,

$$M_z = 10^3 \cdot a_{вин} \cdot B \cdot \frac{A^p + q_4 \frac{Q_n^p}{32,7}}{100} (1 - \eta), \quad (3.3)$$

де q_4 – механічний недопал палива для камерних топків, %;

Q_n^p – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

32,7 – середня теплота згоряння горючого складу у виносі, МДж/кг.

3.2. Оксиди сірки

Одним з головних токсичних компонентів, що міститься в органічному паливі й окислюється до оксидів SO_x , яка впливає на навколишнє середовище в районі розташування ТЕС і котелень, є сірка.

До 80% викидів оксидів сірки SO_x припадає на котельні установки, й частка котельних малої потужності тут значна.

Разом з тим оксиди сірки належать до найнебезпечніших і значних забруднень навколишнього середовища, для тваринного й рослинного світу, споруджень із металу й каменю.

Найбільш чутливі до SO_x рослини. Токсична дія їх пов'язана з пошкодженням поверхні листя або хвої через порушення хлорофілу, який міститься у них.

При взаємодії SO_2 з водяною парою повітря утворюються аерозолі сірчаної кислоти H_2SO_4 , що призводить до утворення «кислотних дощів», до загибелі риби. Уже при концентрації SO_2 $0,9 \text{ мг/м}^3$ порушується процес фотосинтезу у сосни, ялини, клена й через 5-10 діб хвоя рудіє й обпадає, при концентрації SO_2 2 мг/м^3 урожайність соняшника, кукурудзи, гороху знижується на 25%.

SO_2 вважається найнебезпечнішим забруднювачем для металів і будівельних матеріалів (вапняку, мармуру, шиферу й ін.). Особливо чутливі до впливу SO_2 синтетичні тканини.

При вмісті SO_2 у повітрі 0,008-0,015% уже можливі серйозні отруєння через 30 хв, при 0,06% короткочасна дія небезпечна для життя людини.

Першими з атмосферних забруднень SO_2 на людину негативно впливають *токсичні тумани*, які виникають при різкому підвищенні концентрації атмосферних забруднень й несприятливих метеорологічних умовах, тобто різкий підйом у повітрі сірчистого газу і завислих речовин у період несприятливих умов.

Друга проява дії SO_2 пов'язана з *хронічними неспецифічними захворюваннями*. Серед цих захворювань суттєве значення має атеросклероз та пов'язані з ним коронарні й дегенеративні захворювання серця, хронічний бронхіт, емфізема, бронхіальна астма та ін.

Двооксид сірки взаємодіє з киснем повітря та утворює SO_3 , причому найбільш сприятливі умови протікання цієї реакції знаходяться у межах озонового шару атмосфери, де в процесі розпаду молекул озону генерується атомарний кисень. У результаті в стратосфері на висоті 18 км присутній шар з високою концентрацією SO_3 .

Оксиди сірки активно взаємодіють в атмосфері з оксидами азоту, утворюючи токсичні комплекси, дія яких значно сильніша, ніж їхніх окремих компонентів. Це приклад взаємного підсилення дії шкідливих речовин.

Основна кількість сірки (близько 99%) окисляється до SO_2 , тому її масовий викид в атмосферу визначається за цим оксидом, г/с [16]:

$$M_{SO_2} = 2 \cdot 10^3 \frac{S^P}{100} B(1 - \eta'_{SO_2})(1 - \eta''_{SO_2}), \quad (3.4)$$

де S^P – вміст сірки на робочу масу палива, %;

η'_{SO_2} – частка оксидів сірки, яка вловлюється летючою золою в газоходах котла;

η''_{SO_2} – частка оксидів сірки, яка вловлюється в золовловлювачі.

Коефіцієнт **2** у формулі (3.4) враховує відношення молекулярних мас SO_2 та S .

3.3. Оксиди азоту

Азот – один з найпоширеніших елементів у природі. Це газ без кольору і запаху. Азот у вигляді з'єднань (зв'язаний азот) входить до складу всіх рослинних і живих організмів. Життя зобов'язане азоту. У складі білків 16-17 % азоту. Кругообіг азоту в природі – складний процес, у якому вирішальна роль належить живим організмам. У біосфері азот існує в газоподібній формі (N_2 , NH_3 , NO , NO_2), у вигляді сполук азотної HNO_3 і азотистої HNO_2 кислот, солей амонію, а також входить до складу різноманітних органічних сполук.

Джерелом викидів NO_x є котельні установки різного призначення, на які припадає більше половини усіх техногенних викидів (при цьому частка викидів опалювальних котелень малої потужності відносно невелика), а також транспорт. Оксиди азоту утворюються в процесі термічного окислювання азоту повітря та палива при спалюванні палива в топках котлів, у циліндрах двигунів внутрішнього згоряння, у камерах промислових печей, при електрогазозварюванні, при підривних роботах.

При контролі складу атмосфери звичайно фіксується сума оксидів азоту NO_x :

$$NO_x = NO + NO_2. \quad (3.5)$$

Основна частка оксидів азоту в топці котла знаходиться у вигляді NO , однак викиди оксидів азоту розраховують за NO_2 за

рахунок швидкісного окислювання NO в атмосферному повітрі до NO₂.

За присутності вологи й крапель дощу в атмосфері NO₂ перетворюється на азотну кислоту HNO₃. Проникнувши в ґрунт, кислота утворює із його сполуками природні добрива. Вони вимиваються із ґрунту в річки й озера, викликають шкідливе цвітіння водойм, розносяться повітряними потоками. Азотні сполуки, особливо нітрати, шкідливі, можуть стати причиною отруєння людей. Допускається вміст нітратів у продуктах до 300 мг/кг, гранично допустиме споживання нітратів для людини ~ 500 мг/доб. У багатьох випадках виявляється перевищення вмісту нітратів в овочах, мг/м³: томати – ГДК=60, фактично – 85; капуста: ГДК=300, фактично – 892; огірки – ГДК=150, фактично – 283 і т. д.

До числа найбільш шкідливих у професійному відношенні сполук азоту належать: азотна кислота, аміак, аміносполуки, а також суміші оксидів азоту або нітратів (N₂O, NO, NO₂, N₂O₄, N₂O₅). Загальний характер дії на організм людини нітрогазів залежить від вмісту в газовій суміші різних оксидів азоту.

При взаємодії нітритів і аміаків у живих організмах утворюються нітрозаміни, що є канцерогенними й здатні викликати порушення хромосомного апарату, спадковості. При контакті оксидів азоту з вологою поверхнею легенів утворюються азотні й азотисті кислоти, що вражають легеневу тканину, викликаючи набряк легенів. У крові людини утворюються нітрати, що діють на кровоносні судини, знижуючи кров'яний тиск. Оксиди азоту мають різко виражену подразнюючу дію на слизисту оболонку ока. Вони погано розчиняються в рідких середовищах, тому можуть проникати глибоко у легені, викликати при цьому пошкодження бронхів, знижувати функції дихання, підвищувати респіраторні хвороби.

Гостре отруєння NO₂ починається з кашлю, почуття стиснення в грудях, головного болю, через 2-18 год наростає набряк легенів, спостерігається підвищення температури, розлад шлунково-кишкового тракту, відбувається зміна в периферії крові (метгемоглобін). Загальним наслідком дії оксидів азоту є киснева недостатність.

Двоокис азоту в концентрації 4-6 мг/м³ викликає гостре пошкодження рослин, а при тривалій дії його при концентрації 2 мг/м³ призводить до хлорозу рослин.

Оксиди азоту поглинають природну радіацію як в ультрафіолетовій, так і у видимій частині спектра, тому знижують прозорість атмосфери і спричиняють виникнення фотохімічного туману – смогу.

Їхній вміст визначає токсичність продуктів згоряння вугілля й мазуту на 40-50 %, а при згорянні газу – 90-95%.

Секундний масовий викид оксидів азоту визначають за формулою, г/с [16],

$$M_{NO_2} = 0,034\beta_1 \cdot k \cdot B \cdot Q_n^p \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot (1 - \beta_2 \cdot r) \cdot \beta_3, \quad (3.6)$$

де β_1 – безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив на вихід оксидів азоту якості спалюваного палива, вмісту N^r та способу шлакозоловидалення;

β_2 – коефіцієнт, який враховує ефективність впливу рециркуляції газів залежно від умов подачі їх у топку;

β_3 – коефіцієнт, який враховує конструкцію пальників: для віхрових пальників – 1, для прямотокових – 0,85;

r – ступінь рециркуляції інертних газів (димових, сушильного агента та ін.);

k – коефіцієнт, який враховує вихід оксидів азоту на 1 т спаленого умовного палива, кг/т.

3.4. Бенз(а)пірен

Це поліциклічний ароматичний вуглеводень – C₂₀H₁₂ (раніше – 3,4-бензпірен), одна з найбільш сильнодіючих сполук.

Утворення C₂₀H₁₂ у промисловості відбувається при високотемпературних процесах (900-1000⁰С) термічної обробки органічної сировини і спалюванні палива при умовах, за яких з'являються продукти неповного згоряння, особливо в топках котлів невеликого об'єму й з високим ступенем екранування, що характерно для опалювальних котлів. Одним з потужних джерел C₂₀H₁₂ є двигуни внутрішнього згоряння: у відпрацьованих газах

карбюраторних двигунів до 20 мкг/м³, дизелів – до 1 мкг/м³. Бенз(а)пірен присутній у забрудненому атмосферному повітрі, сажі, димових газах, пилю, у ґрунтах, водоймах, у різних копчених харчових продуктах, у тютюновому димі. Його знаходять у легенях людини, у бронхіальних лімфатичних вузлах і секретах сальних залоз. З ним зв'язують захворювання курців, сажотрусів, парафінників і працівників газової промисловості на рак легенів.

Канцерогенна дія бенз(а)пірена пояснюється його взаємодією з білками й нуклеїновими кислотами, що викликає порушення, які призводять до трансформації нормальних кліток у пухлинні.

Новоутворення виникають в організмі через великий строк, що приблизно дорівнює 1/5-1/7 максимальної тривалості життя (15-20 років). Організм людини інтенсивно накопичує бенз(а)пірен і втримує його в дитячому віці й людей від 50 років.

Викиди бенз(а)пірену при спалюванні палива в котлах можна визначити за формулою, г/с,

$$M_{БП} = C_{БП} \cdot V_2 \cdot 10^{-8}, \quad (3.7)$$

де V_2 – об'ємна витрата відхідних газів, м³/с;

$C_{БП}$ – концентрація бенз(а)пірену в димових газах, мкг/100 м³.

Твердо встановлена залежність канцерогенного ефекту $C_{20H_{12}}$ від його дози дозволила встановити ГДК у повітрі населених місць – 0,1 мкг/100 м³ = 0,000001 мг/м³; у повітрі робочої зони – 15 мкг/100 м³.

3.5. Оксиди ванадію

Чистий ванадій – яскраво-сірий крихкий, дуже твердий метал, що не окисляється на повітрі. У подрібненому стані при нагріванні енергійно взаємодіє з киснем, найбільш стійкі оксиди V_2O_5 . Вони й утворюються при спалюванні палива, у якому він міститься: у вугіллях Донецького басейну – 0,08%, у мазуті М100 – від 0,0005 до 0,15%.

Професійне отруєння зустрічається в промисловому застосуванні ванадію і його сполук, а так само при очищенні

поверхонь нагрівання котлів, що працюють на неочищеній нафті й високосірчистому мазуті. Найбільш токсичний V_2O_5 – це отрута широкого спектра дії, вражає систему кровообігу, органи дихання, нервову систему, викликає запальні й алергійні захворювання шкіри.

Для лікування необхідна ізоляція джерела отруєння та здійснення симптоматичного лікування. Аскорбінова кислота підсилює виведення ванадію з організму й частково його зв'язує.

Профілактикою є робота без пилу, автоматизація виробничого процесу, протигазу з аерозольними фільтрами.

Розрахунок маси викидів V_2O_5 з топок котлів визначають за формулою, г/с,

$$M_{V_2O_5} = 10^{-6} G_{V_2O_5} \cdot B \cdot (1 - \eta_{oc}) \cdot (1 - \eta_y), \quad (3.8)$$

де η_{oc} – коефіцієнт осідання V_2O_5 на поверхні нагрівання котла;

η_y – частка твердих часток, які вловлюються в пристроях для очищення газів;

$G_{V_2O_5}$ – кількість ванадію у паливі в перерахунку на V_2O_5 .

ГДК у повітрі робочих приміщень: для диму – V_2O_5 – 0,1 мг/м³, для пилу V_2O_5 – 0,5 мг/м³.

3.6. Оксиди вуглецю

Оксид вуглецю утворюється при неповному згорянні палива. Він становить близько 50% загальної масової кількості всіх шкідливих речовин, що надходять у повітряний басейн міста. Більше половини цієї кількості надходить від автомобільного транспорту, інше – агломераційне виробництво чорних металів, опалювальні котли, вагранки й ін.

Опалювальні установки викидають в атмосферу у 20 разів більше СО на одиницю теплоти, ніж промислові котельні, й в 50 разів більше, ніж ТЕС.

У відпрацьованих газах бензинових ДВЗ міститься від 0,5 до 12%, дизеля – від 0,005 до 0,4% СО.

СО дуже стабільний. В атмосферному повітрі може перебувати до 4 місяців. За допомогою каталізаторів (оксидів Mn

і Cu) можна змусити CO повільно взаємодіяти із O_2 при кімнатній температурі, що використовується в протигазах при захисті від CO . У тютюновому димі міститься від 0,5 до 1% CO . Вміст CO в повітрі у природних умовах 0,01-0,02 мг/м^3 , у повітрі великих міст до 250 мг/м^3 .

CO – дуже токсичний (чадний) газ. Отруєння ним можливі в доменних, мартенівських, ковальських, ливарних цехах, у шахтах і рудниках після підричних робіт, на коксохімічних й коксогазових заводах, у гаражах автомобілів, у залізничних тунелях, у побуті при передчасно закритих заслінках печей, при випалі цегли, цементу, на хлібозаводах, при ферментації тютюну, при користуванні несправними газовими плитами в побуті, у повітрі міських магістралей з інтенсивним рухом автомобілів.

Гостре отруєння настає при вмісті CO 100-200 мг/м^3 , отруєння з колапсом при концентрації 400-600 мг/м^3 через 2-5 год. При більш високих концентраціях отруєння розвивається через кілька хвилин. CO вступає в реакцію з гемоглобіном крові, при цьому утворюється карбоксигемоглобін, який загрожує життю людини. Отруєння характеризується комплексом клінічних симптомів з боку центральної нервової системи, органів дихання, серцево-судинної системи, крові. При порушенні центральної нервової системи виникають запаморочення, головний біль, втрата свідомості й колапс. При тяжкому отруєнні – швидкий розвиток коми з летальним кінцем. З боку серцево-судинної системи – серцебиття, аритмія, виникнення стенокардії, розвиток інфаркту міокарда.

Орієнтована оцінка викидів оксиду вуглецю визначається за формулою, г/с ,

$$M_{\text{CO}} = 0,001 \cdot B \cdot Q_n^p \cdot k_{\text{CO}} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right), \quad (3.9)$$

де B – витрата палива, г/с ;

Q_n^p – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг ;

q_4 – механічний недопал палива, %;

k_{CO} – кількість CO , яка утворюється на одиницю теплоти, що виділяється при горінні палива.

3.7. Двооксид вуглецю

Вуглекислий газ CO_2 , вугільний ангідрид, є побічним продуктом при випалі вапняку, спалюванні коксу, спиртовому зброджуванні, спалюванні інших палив. На 1 ГДж тепла, що виділяється при спалюванні палива, утворюється CO_2 : вугілля – 94 г/ГДж; мазут – 78,1 г/ГДж; дизельне паливо – 73,8 г/ГДж; бензин – 71,2 г/ГДж; гас – 70,8 г/ГДж; природний газ – 56,1 г/ГДж.

Щорічно ґрунтовий покрив Землі віддає в атмосферу 5% ґрунтових запасів вуглецю за рахунок утворення CO_2 з органічної речовини, це більш, ніж у 10 разів перевищує його надходження в атмосферу в результаті спалювання палива.

CO_2 хімічно інертний і для людини в малих концентраціях нешкідливий. Але при вмісті в повітрі більше 4% спостерігається подразнення дихальних шляхів, головний біль, шум у вухах. При концентраціях більше 10% можуть наступити непритомність та смерть. ГДК = 30 мг/м³.

Зростаючі концентрації CO_2 в атмосфері можуть призвести до глобального потепління, «парникового» ефекту.

3.8. Ртуть

Ртуть зустрічається в природі як у самородному стані, так і в сполуках (ртутні мінерали: кіновар Hg та ін.). Земна кора містить усього $8,3 \cdot 10^{-6}$ % ртуті за масою. Ртуть – розсіяний метал. У родовищах ртуті сконцентровано лише 0,02 % всіх відомих її запасів у земній корі.

Ртуть – єдиний рідкий метал при кімнатній температурі, найбільш важка із відомих рідин (13,502 г/см³). Ртуть проводить електричний струм та теплоту в 50 разів гірше, ніж срібло. Питома теплоємність ртуті в 30 разів менше, ніж у води. При нагріванні ртуть дуже розширюється ($\alpha = 0,00016$ 1/К), що використовують для вимірювання температури ртутними термометрами. Пари ртуті при високих температурах випромінюють блакитно-зелене світло, багате на ультрафіолетові промені. Також випромінювання відбувається і під впливом електричного розряду в скляних трубках, в яких містяться пари

ртуті. Ртутні кварцові лампи набагато економічні від електричних ламп розжарювання. В електротехніці ртуть використовують у вимикачах, сигналізаторах, у вимірювальних приладах, а також у медицині. Але ртуть небезпечна своєю летючістю, якщо зберігати її відкритою в приміщенні лабораторії. ГДК ртуті 0,01 мг/м³.

Пари ртуті навіть при кімнатній температурі швидко поширюються в повітрі. Ртуть, що витекла з розбитого термометра, створює велику небезпеку, тому що у зв'язку з великим поверхневим натягом (у шість разів більше, ніж у води) метал поділяється на дрібні крапельки, які важко зібрати й вони активно випаровуються. Ртуть необхідно ретельно зібрати гумовою грушею в ємність з водою, а поверхню, де могли залишитися крапельки ртуті, обробляють розчином хлорного заліза FeCl₃.

Шкідлива дія ртуті головним чином спрямована на центральну нервову систему. Вона виникає внаслідок вдихання, всмоктування через шкірний покрив або споживання з харчовими продуктами. Гостре отруєння солями ртуті проявляється в розладі кишечника, набуханні ясен, ураженні нирок, порушенні серцевої діяльності, послабленні пульсу, можлива непритомність і смерть. Необхідно промити шлунок, дати молоко з яєчними білками.

При хронічному отруєнні ртуттю або її з'єднаннями виникає металевий присмак у роті, припухлість ясен, слинотеча, погіршення пам'яті, легка збудливість. За іншими даними, ртутна інтоксикація здатна викликати спалах гніву, відчуття наближення катастрофи, марення, галюцинації.

Антропогенним джерелом ртуті є металургійні комбінати, використання ртуті в електромеханічних промислових процесах (одержання хлору, лугів), у вимірювальних приладах, люмінесцентних лампах, при спалюванні палива. Наприклад середня концентрація ртуті у вугіллі 0,07 г/кг. Стан повітряного басейну при концентрації ртуті 0,00054 мг/м³ небезпечний, при 0,00096 мг/м³ – дуже небезпечний. ГДК_{сер.д.} = 0,0003 мг/м³.

Питання для самоперевірки

1. Джерела утворення твердих викидів в атмосфері.
2. Фактори, від яких залежить шкідлива дія золи.
3. Токсикологічна характеристика золи і пилу.
4. Визначення масового викиду золи або пилу.
5. Яку шкідливу дію має SO_x на людину, рослинність, тваринний світ та споруди?
6. Джерела утворення SO_x в атмосфері.
7. Чому розрахунок оксидів сірки ведеться за SO_2 ?
8. Визначення масового викиду оксидів сірки.
9. Джерела виникнення NO_x .
10. Яку шкідливу дію має NO_x на атмосферу?
11. Чому розрахунок оксидів азоту ведеться за NO_2 ?
12. Визначення масового викиду оксидів азоту.
13. Яку шкідливу дію має бенз(а)пірен?
14. Джерела виникнення бенз(а)пірену.
15. Визначення масового викиду бенз(а)пірену.
16. Яку шкідливу дію має оксид ванадію?
17. Джерела виникнення оксидів ванадію.
18. Визначення масового викиду оксиду ванадію.
19. Умови утворення оксидів вуглецю.
20. Токсична дія CO на людину і тварин.
21. Визначення масового викиду CO.
22. Шкідлива дія ртуті на біосферу.

4. Зменшення забруднення атмосфери сірчистими сполуками

4.1. Вміст сірчистих сполук у паливі та механізм їх утворення

Оксиди сірки у формі двооксиду SO_2 й триоксиду SO_3 утворюються в зоні горіння мазуту й твердих палив, які містять зв'язану сірку. При спалюванні природного газу утворення оксидів сірки має місце в незначній кількості за наявності в паливі сірководню H_2S й частково – сірковуглецю C_2S .

У паливі сірка знаходиться в трьох видах:

- органічна;
- колчеданна;
- сульфатна.

Нафта дуже багато вмістить сірки у вигляді складних полігетероциклічних сполук.

У твердому паливі міститься сульфатна сірка, а також сірка, яка входить до складу залізного колчедану FeS_2 , та ін.

Вміст горючої сірки в різних видах палива коливається в широких межах [16]:

- у рідкому паливі 0,05...0,15 % (гас);
- мазуті до 3,5 %;
- вугіллях 0,5...6 %;
- антрацитах до 2 %;
- сланцях до 13 %.

Основна кількість сірки, що міститься у паливі, згоряє до двооксиду сірки і в такому вигляді викидається в атмосферу:



Можуть також відбуватися реакції між двооксидом сірки та атомарним киснем і створюватися триоксид сірки:



Таким чином, при спалюванні палива, яке містить у своєму складі сірку, продукти згоряння мають оксиди сірки, причому 98-99% сірки знаходяться у вигляді SO_2 й лише 1% у вигляді SO_3 .

При виході з димової труби в денний час під дією сонячного випромінювання сірчистий ангідрид окислюється в сірчаний, а потім переходить у сірчану кислоту.

Основними джерелами викидів оксидів сірки є промислові об'єкти, на їх частку припадає більше 90% усіх викидів, останні 10% викидів пов'язані з викидами побутових джерел. 50-60% викидів сірки промисловими об'єктами пов'язані з роботою теплотехнологічних установок.

Вугілля України містять 1,7-3,5% сірки за вагою. Особливо високі концентрації оксидів сірки в димових газах агрегатів з переробки руд кольорових металів – мідних, свинцевих, нікелевих, вольфрамових, цинкових: вони становлять 100-290 г/м³; такі ж за порядком величини концентрацій оксидів сірки й в газах, які відходять від сіркокислого виробництва [17].

4.2. Методи зниження викидів сполук сірки

Існують два підходи до вирішення проблеми зниження викидів сполук сірки при спалюванні органічних палив:

1. Видалення сірки з палива до його спалювання:

- очищення нафтового палива від сірки на нафтопереробних заводах;

- переробка палива на ТЕС до його спалювання з метою одержання малосірчаного газу.

2. Очищення продуктів згоряння від сполук сірки (сіркоочищення димових газів).

За обома напрямками досягнені значні результати, які дозволяють зменшити викиди сполук сірки у продуктах згоряння.

4.2.1. Видалення сірки з палива до його спалювання

Основною перевагою методів даного напрямку є те, що очищення здійснюється незалежно від режимів роботи ТЕС, у той час як установки з сіркоочищення димових газів різко погіршують економічні показники ТЕС за рахунок того, що більшу частину часу змушені працювати у не розрахунковому режимі. Установки ж сіркоочищення можна завжди використовувати в номінальному режимі, а очищене паливо складувати.

Методи очищення палива від сірки й ступінь їх освоєння знаходиться у прямій залежності від виду палива та потрібного ступеня очищення. Очищення від сірки рідких палив практично засвоєне і його доцільність визначається лише економічними даними.

Очищення нафтового палива від сірки на нафтопереробних заводах

Сірка міститься в нафті у вигляді складних циклічних сполук. Ці сполуки хімічно малоактивні й мають високу термостабільність, у зв'язку з чим їх важко зруйнувати впливом кислот або лугів. Тому для видалення сірки з палива до спалювання його піддають або дії високих температур, або цей процес сполучається із впливом хімічних речовин.

При переробці нафти на нафтопереробних заводах у легкі фракції переходить лише невелика кількість сірки, а більша частина сірчистих сполук (70-90%) концентрується у висококиплячих фракціях і залишкових продуктах, що входять до складу мазуту.

У цей час застосовують два методи очищення рідкого палива від сірки: прямий і непрямий.

При прямому методі сіркоочищення рідке паливо обробляється шляхом каталітичного гідрування. При цьому відбувається взаємодія водню із сіркоорганічними сполуками й утворюється сірководень, який потім уловлюється й може використовуватися для одержання сірки і її сполук. Процес протікає при температурі 300-450 °С і тиску до 10 МПа в присутності каталізаторів – оксидів молібдену, кобальту й нікелю. Вартість обробки залежить від багатьох факторів:

- виду нафти;
- глибини сіркоочищення;
- потужності установки й ін.

Непрямий метод сіркоочищення полягає в перегонці палива під вакуумом. Глибина сіркоочищення доходить до 0,3- 0,5 % при вмісті сірки у відходах до 10 %.

Переробка сірчистих палив перед спалюванням на ТЕС

Газифікація

Одним зі способів очищення палива від сірчистих сполук є його газифікація з одночасним видаленням сірки і її сполук. Поняття «*газифікація палив*» містить у собі ряд процесів переведення твердого або рідкого палива в газоподібний стан шляхом неповного окислювання при високій температурі з одночасним видаленням шкідливих домішок, що виступають як побічні продукти й мають товарне значення (елементарна сірка, концентрат ванадію й ін.). Газ, який отримують у результаті цього процесу, називають генераторним газом. Горючими компонентами цього газу є метан та його гомологи, оксид вуглецю та водень. З сірки палива при цьому утворюється сірководень, який є найбільш активною речовиною порівняно з SO_2 . Очищення газу від сірководню здійснюється абсорбцією. Апарати, які застосовують для газифікації палива, називають газогенераторами [18].

Одержання горючих газів шляхом безперервної газифікації твердого палива, при якій вся горюча маса перетворюється на газ, уперше було здійснено в 1936 р., коли було запропоновано для цих цілей «вогнеоборотну піч», що виявилася прообразом сучасних газогенераторів.

Газогенератор (рис. 4.1) являє собою вертикальну металеву шахту, футеровану усередині вогнетривкою цеглою. Крізь отвір, який розташований у верхній частині газогенератора, в шахту завантажують паливо, а знизу відбувається дуття. Газ, який утворюється в газогенераторі, відводиться крізь отвір у стінці шахти. Схематично весь процес можна розбити на чотири зони: зону горіння або окислення, зону відновлення, зону сухої перегонки й зону підсушки.

У зоні горіння кисень, який міститься у дуттьовому повітрі, вступає в реакцію з вуглецем палива, утворює вуглекислоту й оксид вуглецю. У цій зоні встановлюється найвища температура. Вуглекислота, яка піднімається вище в зону відновлення, у розпаленому паливі відновлюється до оксиду вуглецю.

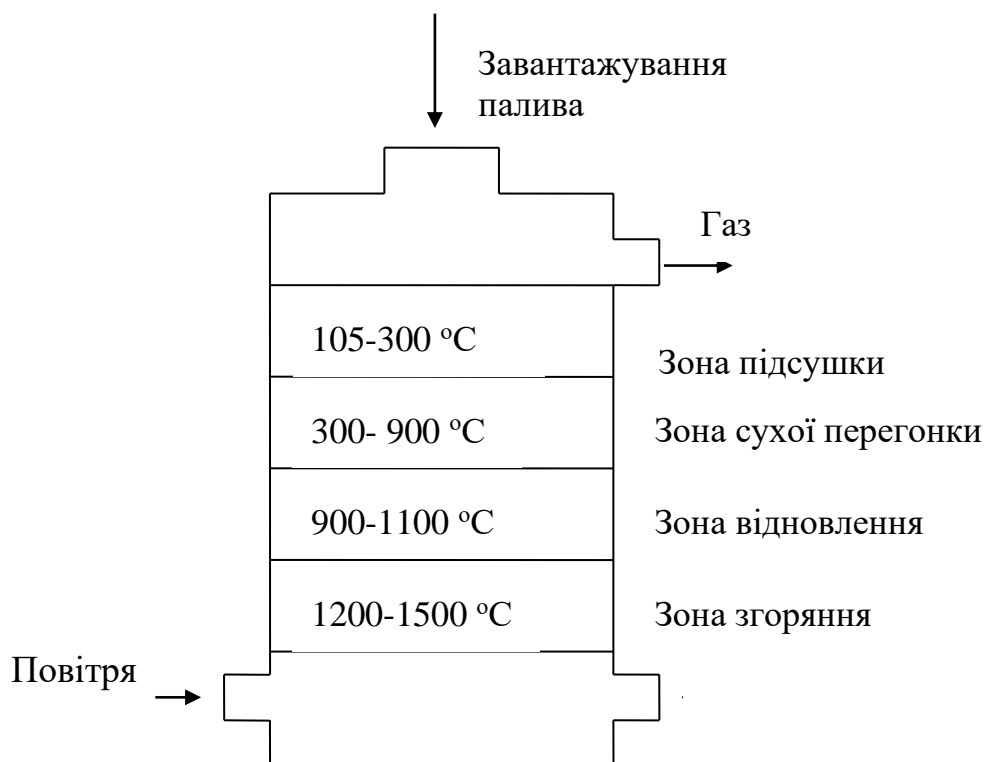


Рис. 4.1. Схема прямого процесу газифікації

У зоні відновлення здійснюється також розкладання водяної пари, яка міститься у паливі й дуттьовому повітрі, з утворенням водню.

При русі вгору в зону сухої перегонки розпечених газів відбувається відгонка з палива летючих речовин, які змішуються з продуктами сухої перегонки. У цій зоні завантажене в газогенератор паливо поступово перетворюється спочатку на напівкокс, а потім на кокс. Суміш газів й летючих речовин, яка створювалась, далі рухається до вихідного отвору, омиває верхні шари палива й підсушує його.

Зі згорянням палива в зоні горіння тверді продукти усіх зон, які розташовані вище зон газогенератора, поступово переміщуються униз, а в зону підсушки подається нова порція палива.

Зони горіння й відновлення сумісно називають реакційною зоною або зоною газифікації, оскільки у них протікають реакції утворення генераторного газу. Зони сухої перегонки й підсушки називають зоною підготовки палива.

При газифікації палива в якості газифікуючого реагенту приймають повітря, водяну пару, суміш повітря з парою,

технічний кисень у суміші з паром, повітря, збагачене киснем, та ін. Незважаючи на велику різноманітність методів газифікації, всі вони характеризуються однаковими хімічними реакціями [16].

При газифікації твердого палива окислюванню киснем або водяною паром піддається безпосередньо вуглець:



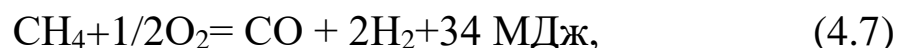
При цьому частину вуглецю не вдається перевести в СО і він згоряє повністю:



Вуглекислий газ, що утворився, реагує з розпеченим вуглецем:



У процесах газифікації рідких палив під дією високої температури відбувається розщеплення вуглеводнів до низькомолекулярних з'єднань або елементарних речовин, які піддаються окислюванню:



Газоподібні продукти, що утворюються при газифікації, реагують між собою:



Назви одержуваних при газифікації газів визначаються складом суміші, використовуваних при дутті [19].

Повітряний газ утворюється при подачі в газогенератор повітря. Склад повітряного газу, отриманого з коксу (об'ємні %): 0,6СО₂; 33,4СО; 0,9Н₂; 0,5СН₄; 64,6N₂. Теплота згоряння – 4,53 МДж/м³.

Склад повітряного газу, отриманого з *мазуту* під тиском 1,5 МПа (об'ємні %):

3,5(СО+Н₂С); 21,0СО; 17,5Н₂; 58N₂. Теплота згоряння – 5 МДж/м³.

Водяний газ утворюється при взаємодії розпеченого палива з водяною парою і є побічним продуктом процесу газифікації.

При *газифікації мазуту* під тиском 3 МПа утворюється газ такого складу (об'ємні %):

46,8CO; 48,8H₂; 3,8CO₂; 0,3CH₄; 0,3N₂. Теплота згоряння – 12,3 МДж/м³.

Склад водяного газу з *кам'яновугільного коксу*:

37CO; 50H₂; 0,5CH₄; 5,5N₂; 6,5CO₂; 0,3H₂S; 0,2O₂. Теплота згоряння – 11,5 МДж/м³.

Міський газ із вугілля одержують при парокисневому дутті під тиском до 2-3 МПа. При цьому газ збагачується метаном.

Так, при газифікації *бурого вугілля* утворюється газ за таким складом (об'ємні %):

23,6CO; 55,7H₂; 14,3CH₄; 5,5N₂; 0,2(CO₂+H₂S) і 0,7CmHn. Теплота згоряння – 16,8 МДж/м³.

Міський газ *із рідкого палива* одержують комбінуванням газифікації й піролізу під тиском.

Переважна тенденція в розвитку техніки газифікації – процеси під високим тиском (до 10 МПа й вище). ККД газифікації (ступінь використання теплоти палива) – 70-90 %.

Як напрямок зниження викидів сполук сірки, на відміну від сіркоочищення газів, газифікація має ряд переваг, і зокрема відсутність необхідності відновлення сірки, тому що в процесі газифікації сірка не окислюється й виходить у вигляді H₂S, переробка якого в елементарну сірку більш рентабельна, ніж двооксиду сірки. Сучасні тенденції використання газифікації в енергетиці спрямовані в основному на розвиток установок з виробництва газу з низькою теплотою згоряння, розміщених у безпосередній близькості від електростанцій. При цьому є два напрямки:

- для знов проєктованих електростанцій газ спалюється в установках, що працюють за парогазовим циклом;

- на діючих електростанціях газ спалюється у звичайних енергетичних котлах.

Газифікація твердого палива

Оскільки вугілля становить близько 85 % світових ресурсів органічного палива, першочергові зусилля зосереджені на вишукуванні економічних методів одержання синтетичних

рідких і газоподібних палив з кам'яного й бурого вугілля й горючих сланців, причому одночасно вирішується завдання очищення цих палив від сірки й інших шкідливих домішок. При газифікації вугілля можна одержувати сировину у вигляді суміші вуглецю з воднем або чистий водень.

Гази з низькою теплотою згоряння (до 6700 кДж/м³) отримують при газифікації з повітряним або пароповітряним дуттям і містять N, CO, CO₂, H₂ і деяку кількість вуглеводнів.

Гази середньої теплоти згоряння (до 12500 кДж/м³) отримують у процесах парової або парокисневої газифікації. У ньому міститься суміш оксиду вуглецю з воднем, що дозволяє використати його в якості відновлювача в металургії.

Найбільш важливе виробництво газу з високою теплотою згоряння (31500-35500 кДж/м³) – заміника природного газу, який можна транспортувати магістральними газопроводами на значну відстань. Такий газ одержують шляхом збагачення продуктів газифікації метаном.

Енергетичний ККД *процесу Вінклера* (гідрогазифікація вугілля) становить 56-72%, *процесу Копперса-Тотцека* (парокиснева газифікація) – 68-74%, *процесу Лурги* (газифікація в шарі з дуттям під тиском) – близько 60%.

У процесі Лурги газифікація відбувається під тиском, газ збагачується воднем, очищається від зважених часток шляхом абсорбції в органічному розчиннику (метанол) і здійснюється синтез метану. Для видалення фенолу й аміаку застосовується скраплення газу. Отриманий газ має теплоту згоряння 36500 кДж/м³. Така установка складається з 30 газогенераторів діаметром 3,65 м. На думку фахівців, конверсія вугілля в газ дешевше й ефективніше, ніж безпосереднє спалювання вугілля для виробництва електроенергії.

У процесі Копперса-Тотцека вугілля реагує з парою й киснем у газогенераторі й виходить сирий синтетичний газ. Газ охолоджується й очищається від зважених часток. При високій температурі газифікації (1500 °C) одержуваний газ вільний від органічних компонентів, що конденсуються. У ряді країн ведуться роботи з інших методів газифікації вугілля.

Наприклад, метод газифікації вугілля у *твердому шарі* з використанням газогенератора Лурги. Процес відбувається при

тиску 2,0 МПа й пароповітряному дутті. Однак методи газифікації у твердому шарі мають ряд недоліків: дозоване завантаження, обмежений обсяг, вимога неспікання вугілля та ін.

Також розробляються методи газифікації в *киплячому шарі*. Дроблене вугілля підсушується в сушарці з киплячим шаром і подається в реактор, де воно піддається піролізу при температурі 720-950 °С і з нього виділяється летюча зола й сірка. Як сорбент H_2S у реакторі використовується вапняк (CaO). Остаточна газифікація коксу, що утворився в реакторі (з низьким вмістом сірки), відбувається в газогенераторі при температурі 1160 °С із використанням пароповітряного дуття.

Тривають спроби *підземної* газифікації вугілля, основною перевагою якої є низькі капітальні витрати. Значення підземної газифікації полягає у тому, що вона дозволяє звільнити людину від тяжкої праці, яка неминуча майже при усіх сучасних досягненнях у видобуванні палива. Відомі два методи підземної газифікації вугілля: поточний й фільтраційний. Поточний метод потребує значного об'єму підземних робіт: проходка шахт, штреків тощо. Фільтраційний метод розрахований на проведення лише буріння свердловини з поверхні.

Є досвід з переробки сланців (що мають велику зольність і великий вміст сірки) в малосірчане котельне рідке паливо й газ із високою теплотою згоряння, а також досвід переробки бурого вугілля в газ.

Переробка дрібнозернистого сланцю в сланцеве масло й газ здійснюється термічним методом з використанням твердого зольного теплоносія. Зі сланців з теплотою згоряння 6,7-8,4 МДж/кг виходить рідке паливо з теплотою згоряння 35-40 МДж/кг і газ, а також технологічна сировина – етилен, пропілен, фенол й ін. Попередня переробка сланців поліпшує умови експлуатації електростанції, зменшує викиди золи й сполук сірки в атмосферу в 4-5 разів.

Газифікація мазуту

Процес газифікації високосірчистого мазуту відбувається під тиском 0,8 МПа при неповнім забезпеченні повітрям (коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 0,43$) й температурі 1300 °С. У цих умовах утворюється газ із низькою теплотою згоряння (4600 кДж/м³) і невелика кількість сажі.

З реактора газ, пройшовши систему охолодження, надходить у систему газоочищення, що складається зі скрубєрів і труб Вентурі, де очищається від сірчистих сполук і механічних домішок. Потім потрібне очищення від сірчистих сполук в абсорбері. Очищений газ складається з водню (15%), оксиду вуглецю (20%) і азоту.

Очевидно, що використання синтетичного рідкого палива й газу, які одержувані із твердого палива, сприяє значному зменшенню викидів сірки й сірчистого ангідриду в продуктах згоряння. Із сірки палива утворюється при цьому сірководень, що є більш активною речовиною в порівнянні з оксидами сірки й має бути вилучений перед надходженням горючого газу в топку котла.

При пароповітряному дутті виходить газ із низькою теплотою згоряння – близько 4,5 МДж/м³. У теплоту згоряння газу при цьому переходить лише близько 70% хімічної енергії вихідного палива, а 30% утримується у вигляді фізичної його теплоти. Застосовуючи парокисневе дуття, можна підвищити його теплоту згоряння до 12 МДж/м³.

Можна навести приклад такої установки (рис. 4.2), що являє собою установку з газифікації мазуту під тиском 0,5-2,0 МПа на парокисневому дутті [16].

Утворюється висококалорійний газ, що містить близько 90 % водню й оксиду вуглецю. При температурі газифікації 1000-1300 °С витрата пари становить 0,4 кг, а кисню – 0,75 кг на 1 кг мазуту. Газ, який виходить з газогенератора, промивається водою в скрубєрі й сажовіддільнику. Сажа відокремлюється від охолодної води у відстійнику, і вода використовується повторно для зрошення газу.

Піроліз

При комплексному енерготехнологічному використанні палива, коли виникає завдання одержання з палива хімічної сировини й чистого енергетичного палива, для термічного розкладання мазуту використовують високотемпературний піроліз із наступною газифікацією твердого продукту (нафтового коксу).

Піроліз мазуту відбувається при його нагріванні до температури 700-1000 °С без доступу окислювача.

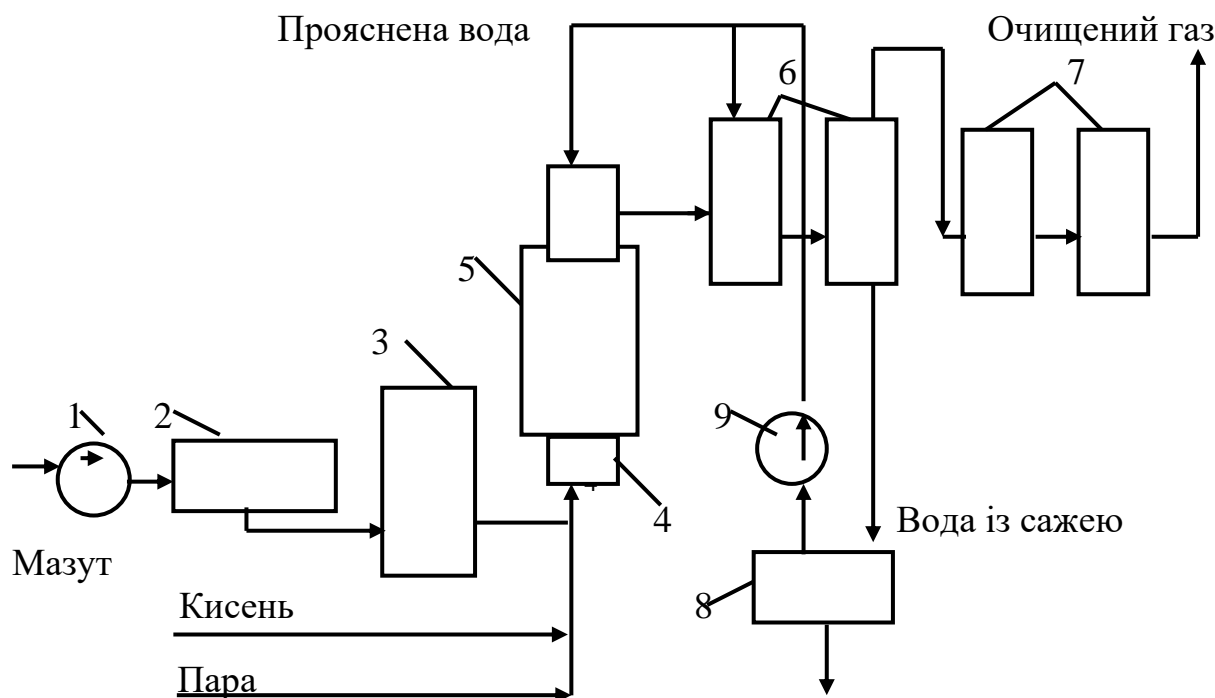


Рис. 4.2. Схема установки з газифікації мазуту:
 1 – насос; 2 – підігрівник; 3 – ресивер; 4 – форсунка;
 5 – газогенератор; 6 – сажовіддільник; 7 – скруббер;
 8 – відстійник; 9 – насос

Піроліз мазуту можна здійснити шляхом безпосереднього контакту розпилюваного мазуту з теплоносієм, що перебуває або в нерухомому, або у рухомому стані.

Як теплоносії використовуються тверді речовини в дрібнозернистому й пилоподібному стані: кварцит, нафтовий кокс, водяна пара. Розмір зерен твердого теплоносія варіюється в межах від 3-5 мм у випадку нерухомого шару й до 100 мкм і менше у випадку циркулюючого теплоносія.

При високошвидкісному піролізі мазут нагрівається при контакті з теплоносієм за 0,02 – 0,4 с до температури 760-920 °С. Горючий газ, що утворюється, очищається від сірчистих сполук й інших небажаних домішок і використовується в якості чистого енергетичного палива. Рідкі смолопродукти, які конденсуються, розділяються при охолодженні на легкі й важкі фракції. Легкі фракції (бензол та ін.) використовуються як хімічна сировина, а важкі піддаються повторному піролізу. Водяний газ, що утворився, з теплотою згорання 11,7 МДж/м³ після сіркоочищення використовується в якості чистого енергетичного палива.

Зв'язування сірки в киплячому шарі

Паливо може спалюватися в киплячому шарі часток розмеленого вапняку. Подібний спосіб спалювання може використовуватися для рідкого, твердого й газового палива, що містять сірку. При температурі близько 900 °С відбувається дисоціація CaCO_3 на CO_2 і CaO , а в реакцію із сіркою вступає CaO , утворює в остаточному підсумку CaSO_4 – сульфат кальцію. Очищення палива від сірки при цьому може становити близько 90%.

Частина киплячого шару, що поглинув сірку палива, подається пневмотранспортом на регенерацію. При температурі 1000-1500 °С під безпровальні ґрати подаються продукти згоряння, що підтримують температуру в шарі на рівні 1000-1100 °С, при цьому протікає реакція



Газоподібні продукти містять до 10% сірчистого ангідриду, що може бути використаний для виробництва сірчаної кислоти. Регенований оксид кальцію повертається в топковий пристрій котла. Така схема спалювання в киплячому шарі розроблена, зокрема, для сірчистого мазуту. Поряд з певними перевагами цей спосіб має й ряд недоліків: потрібні створення принципово нових конструкцій котлів, організація установок для готування фракцій вапняку, створення установок з регенерації сірчистих сполук кальцію, уловлювання твердих часток, які виносяться з киплячого шару, пневмотранспорт абразивних часток і т. д.

Видалення сірки із твердого палива

У результаті найпростішого збагачення вугілля можна видалити тільки колчеданну сірку, використовуючи більшу її густину у порівнянні з іншою масою вугілля.

Відділення колчедану дає відчутний ефект, якщо колчеданна сірка становить значну величину від загальної сірки й вкраплення колчедану досить великі. Відсепарований колчедан можна використовувати для одержання сірчаної кислоти.

Для видалення з вугілля колчеданної й органічної сірки може бути застосоване гідротермічне безсірковання вугілля, що полягає в обробці здрібненого палива в автоклавах при тиску 1,75 МПа й температурі близько 300 °С лужними розчинами, що

містять гідрати натрію й калію. При цьому виходить вугілля з досить малим вмістом сірки, що відокремлюється від рідини центрифугуванням і потім сушиться. Рідина, що містить сульфати натрію й калію, регенерується в результаті обробки вуглекислотою, а із сірководню, що виходить при цьому, витягається елементарна сірка.

Очищення газів від сірководню

Очищення газу від сірководню звичайно здійснюється абсорбцією. Ефективним абсорбентом є моно- і діетаноламін. Абсорбція сірководню моноетаноламіном, що відбувається при температурі 30-40 °С, протікає відповідно до реакції



При температурі 105 °С реакція йде у зворотному напрямку з утворенням моноетаноламіну й сірководню, який десорбується з розчину. Регенерований розчин спрямовується назад в абсорбер. На практиці частіше застосовується моноетаноламін, тому що він стабільний і має більш активні властивості (рис. 4.3).

Добування сірководню й попутно деякої кількості двооксиду вуглецю з газу відбувається в протитоковому абсорбері, у якому сорбент насичується H_2S і CO_2 .

Відпрацьований сорбент направляється у відгінну колону, у якій регенерація розчину проводиться водяною парою, що утворюється в результаті кипіння розчину в нижній частині колони. Ефективність очищення газу від сірководню при подібному способі досягається 99 %.

Абсорбція сірководню може бути також проведена розчинами солей лужних металів. Газ промивається розчином у протитоковому абсорбері, де відбувається реакція поглинання сірководню. Розчин регенерується продувкою стисненим повітрям. Подача повітря призводить до зниження концентрації сірководню в розчині.

Деякі переваги має вакуумний варіант процесу. Повнота добування становить близько 90%. Є й інші способи мокрого очищення сірководню – фенолятний, глікольміновий, фосфатний й ін.

Незважаючи на простоту й ефективність мокрих методів очищення горючого газу від сірководню, всі вони пов'язані з його охолодженням до температури 30 °С, що викликає додаткові

теплові втрати. Існують сухі методи очищення, при яких застосовують залізну руду.

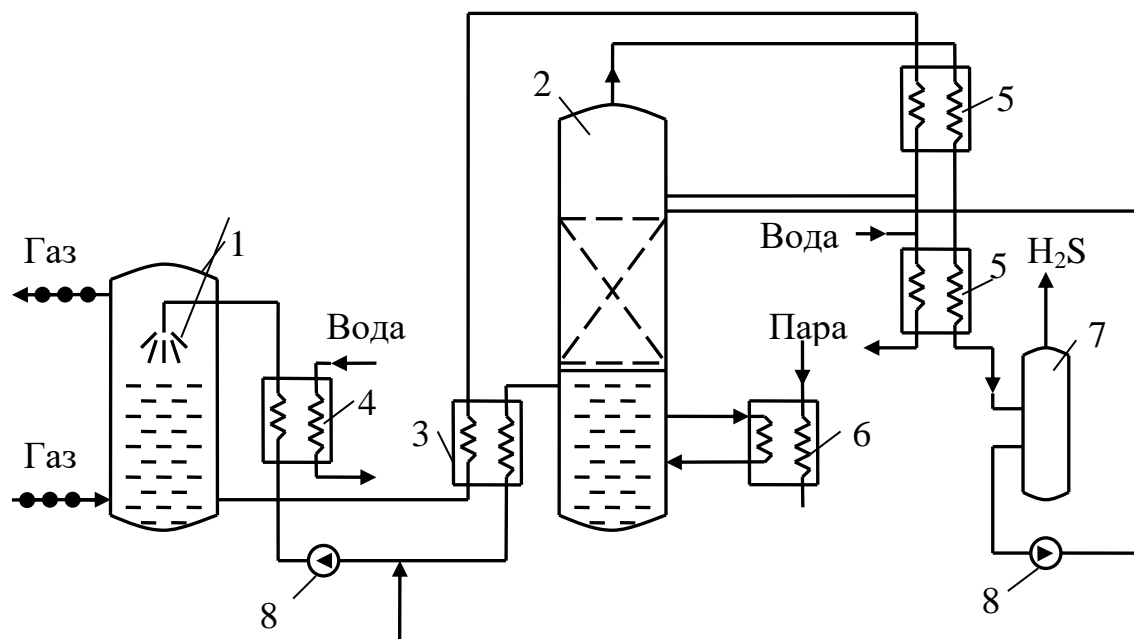


Рис. 4.3. Схема очищення газу від сірководню:

- 1 – абсорбер; 2 – відгінна колона (десорбер); 3 – теплообмінник;
- 4 – холодильник; 5 – конденсатор; 6 - паровий підігрівник;
- 7 – сепаратор; 8 – насос

При контакті із сірководнем гідроксид переходить у сульфід заліза. Феросульфід, що утворюється, регенерується в процесі випалу в присутності водяної пари з утворенням елементарної сірки. Оскільки вміст сірководню в горючому газі є порівняно великим, а його вловлювання відбувається більш ефективно, ніж двооксиду сірки, то більшість способів очищення газів від сірководню є рентабельними.

4.2.2. Сірководнеочищення димових газів

У числі основних переваг цього напрямку варто назвати його безумовну ефективність (видалення викидів до 90-95 %) і можливість застосування практично незалежно від виду палива.

До числа недоліків варто віднести порівняно більші капітальні вкладення й практичну неможливість визначити на сьогоднішній день для більшості методів експлуатаційну надійність. Великими є також експлуатаційні витрати.

Відомо багато методів сіркоочищення, серед яких найбільш відомі:

- вапняний і вапняковий;
- аміачно-циклічний;
- магнезитовий;
- метод каталітичного окислювання;
- содово-циклічний;
- двоциклічний лужний.

Найбільш перспективними методами для промисловості є аміачно-циклічний, магнезитовий і вапняковий. При цьому перші два способи дають товарну продукцію у вигляді рідкого сірчистого ангідриду, сірчаної кислоти й елементарної сірки. Однак широкого промислового розвитку сіркоочищення в нашій країні в енергетиці поки не одержало.

Але є позитивний досвід у металургійній промисловості. За оцінкою Американського національного агентства з захисту навколишнього середовища, сіркоочищення зареєстроване як доступний спосіб вирішення проблеми викидів сірки. У наш час, за оцінкою деяких американських фірм, практично доведеними до стадії промислового впровадження вважаються вапняний і вапняковий. Енергетичні втрати для ТЕС, пов'язані з установкою сіркоочищення, орієнтовно становлять 3-7 %.

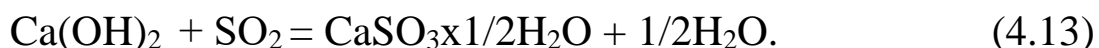
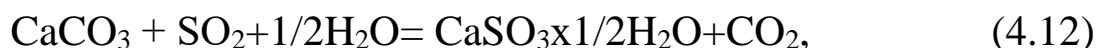
Усього за останні роки в різних країнах запропоновано більше 50 різних методів очищення димових газів від сірки.

Ось деякі з них.

Вапняний і вапняковий

Вони містять у собі кілька варіантів мокрого очищення газів з використанням вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або вапняка CaCO_3 .

В основі процесів лежать хімічні реакції:



Метод очищення заснований на нейтралізації сірчаної кислоти, яка утворюється у результаті розчинення двооксиду сірки, що міститься у димових газах, лужними реагентами: гідратом оксиду кальцію або карбонатом кальцію.

На рис. 4.4 наведена схема одного з варіантів вапняного методу очищення димових газів від оксидів сірки котла, який

працює на вугіллі. Димові гази очищуються в золовловлювачі, а потім прямують у скруббер, який зрошується розчином, що містить дрібнорозмолоте вапно й продукти нейтралізації.

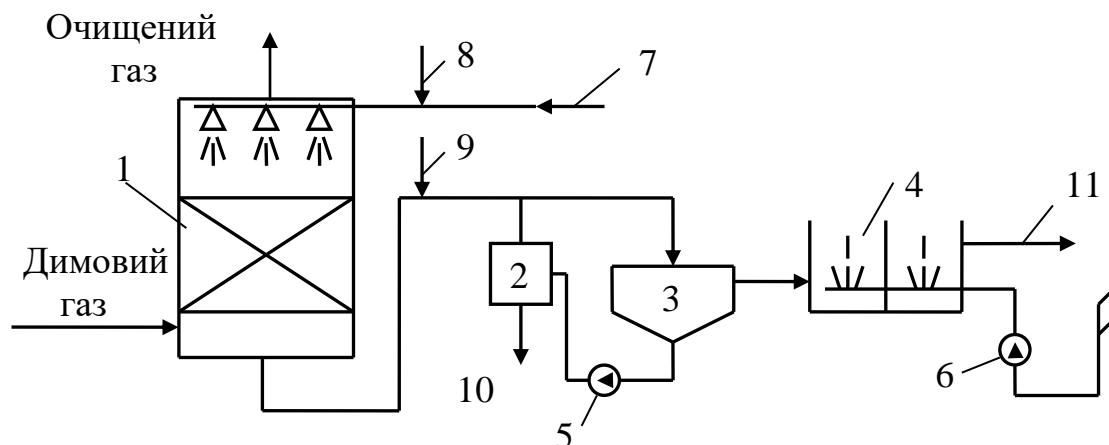


Рис. 4.4. Вапняний метод очищення димових газів:
 1 – абсорбер; 2 – фільтр; 3 – відстійник; 4 – аератор; 5 – шламовий насос; 6 – повітродувка; 7 – річна вода; 8 – вапняне молоко; 9 – флокулятор; 10 – викид шламу; 11 – скид очищеної води у річку

Суспензія вапна готується у спеціальній установці, щоб не було небезпеки виникнення відкладень на поверхні нагріву.

Очищені гази звільняються від бризків розчину у бризковловлювачі. Після цього передбачено встановлення теплообмінника для підвищення температури газів, що виводяться.

У кислий розчин, який виходить зі скрубера, додають свіжу вапняну суспензію для нейтралізації кислоти. Після видержки у спеціальних ємкостях для завершення процесу кристалізації сульфату кальцію рідина прямує на зрошення в скруббер.

З накопленням частина суспензії відводиться з циклу зрошення й через згущувач прямує у шлакозбірник й далі у відвал.

Витрата вапна на установку визначається за формулою, кг/с,

$$G_{CaCO_3} = \mu_1 \cdot B \cdot \frac{S^p}{100} \cdot \frac{\eta}{K_{CaCO_3} \cdot K_{викор}}, \quad (4.14)$$

де μ_1 – відношення молекулярних мас CaCO_3 і сірки;

B – витрата палива, кг/с;

S^p – вміст сірки у паливі, %;

η – ступінь очищення газів від SO_2 (порядку 0,9);

K_{CaCO_2} – вміст вуглекислого кальцію у природному вапні;

$K_{\text{викор}}$ – коефіцієнт використання вапна.

Розрахунок завжди ведуть за SO_2 , тому що в димових газах він становить 99% всіх сірчистих сполук. В обох процесах шлам, що складається із продуктів реакції, летючої золи й компонентів, які не прореагували, після знешкодження видаляється у відвал. Ефективність уловлювання сірки становить 85-95% при роботі на паливі із сірчаністю 3,5-4%.

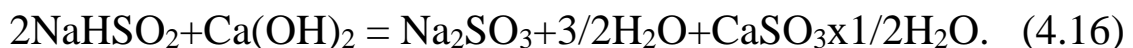
Перевага даних методів: порівняно невисокі капітальні й експлуатаційні витрати й можливість зниження викидів летючої золи.

Недоліки: відсутність виходу товарної продукції й великий вихід шламу (у кілька разів перевищує за об'ємом вихід золи при роботі на вугіллях). Тому такі установки не рекомендовані для міських ТЕС.

Двоциклічний лужний метод

В основі методу лежить скруберний процес очищення димових газів проясненим розчином солей натрію й аміаку з наступною обробкою вапном або вапняком (рис. 4.5).

У результаті утворюються шлаки, що йдуть у відвал, і лужний розчин, який використовується для скруберного процесу. Для натрієвого варіанта основні реакції відповідно будуть:



Ефективність очищення газу від SO_2 при відпрацюванні процесу становить 90-99%.

Переваги: порівняно низька вартість, мінімальна корозія устаткування й мала схильність до утворення твердих відкладень у скрубері за рахунок слабких розчинів солей натрію, можливість одночасного зниження викидів твердих часток.

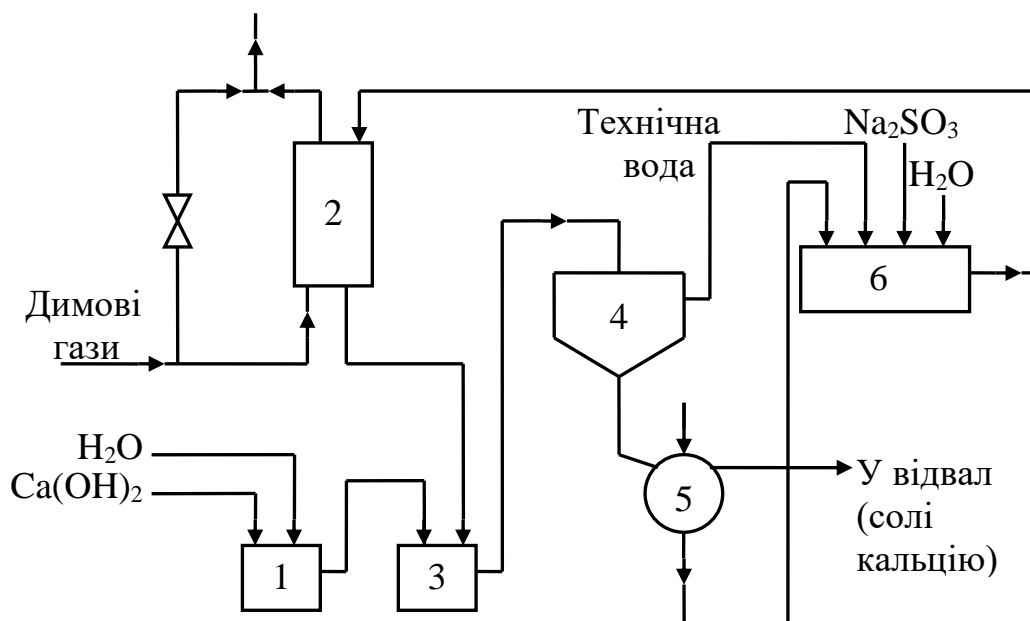


Рис. 4.5. Схема двоцикличного лужного методу очищення димових газів від оксидів сірки:

1 – змішувальний бак; 2 – скруббер; 3 – реактор; 4 – відстійник; 5 – вакуумний фільтр; 6 – зливальний бак

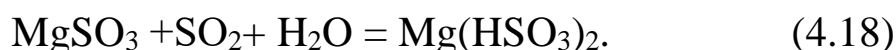
Недоліки: необхідність видалення великої кількості непридатного шламу, а також складності виключення влучення сульфіту кальцію в лужний розчин, що може призвести до утворення твердих відкладень по поверхні нагрівання.

Магnezитовий метод

Димові гази надходять в абсорбер типу Вентури, де зрошуються суспензією, що містить кристали сульфіту й сульфату магнію й оксиду магнію (рис. 4.6). Зв'язування SO_2 відбувається при взаємодії її з магнезитом за реакцією



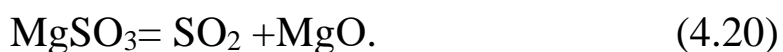
Сульфит магнію, що утворився, знову взаємодіє із двооксидом сірки й водою та утворює при цьому бісульфіт магнію:



Бісульфіт магнію, що утворився, нейтралізується додаванням магнезиту:



Додатковий сульфід магнію, що утворився в процесі реакції, при випалі з температурою 800-900 °С піддається термічному розкладанню, при якому утворюються початкові продукти:



Отриманий двооксид сірки переганяється в 98%-у сірчану кислоту або елементарну сірку, а MgO повертається в процес.

Переваги: одержання високоякісних побічних продуктів – сірчаної кислоти й елементарної сірки; можливість технологічного поділу скрубєрного процесу й процесу регенерації Mg на більшій відстані, що дозволяє використати прилеглі заводи хімічної промисловості.

Процес дає можливість одержання ККД сірковловлювання приблизно 90 % у димових газах.

На рис. 4.6 зображена схема магнезитового способу очищення димових газів від сполук сірки.

Газ очищається від оксидів сірки до концентрації 0,03% у скрубєрі, а розчин, що утворився, бісульфіту магнію з концентрацією 50-70 г/л надходить у циркуляційний збірник, звідки частина розчину подається в напірний бак і повертається на зрошення в скрубєр, а інша частина – в нейтралізатор для виділення сульфїту магнію. Розчин з нейтралізатора виводиться в гідроциклони, потім пульпа направляєється на стрічковий вакуум-фільтр і потім у випалювальну піч, де утворюються двооксид сірки й магнезит, повторно використовуваний у циклі.

Вихідний розчин і промивна вода після фільтрпреса надходить у збірник проясненого розчину, куди додається магнезит з випалювальної печі. Розчин зі збірника подається в напірний бак, де змішується з кислим розчином із циркуляційного збірника й направляєється на зрошення скрубєра.

Переваги: низька експлуатаційна вартість і досить високий ККД з видалення SO₂ (90% і більше). Одержання високоякісних побічних продуктів (сірчаної кислоти 98% міцності й елементарної сірки). Випал сульфїту магнію може вироблятися на хімічному підприємстві за межами ТЕС, тому що висушені й зневоднені кристали можуть досить зручно транспортуватися.

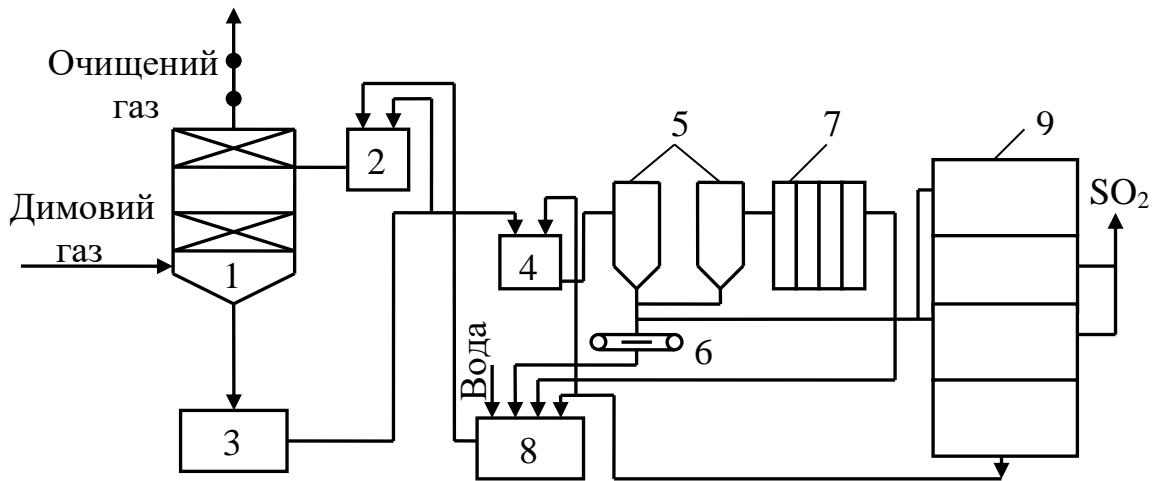


Рис. 4.6. Схема магnezитового методу очищення димових газів:
 1 – скруббер; 2 – напірний бак; 3 – циркуляційний збірник;
 4 – нейтралізатор; 5 – гідроциклони; 6 – стрічковий вакуум-фільтр; 7 – фільтрпрес; 8 – збірник проясненого розчину;
 9 – випалювальна піч

Недоліки: наявність численних операцій із твердими речовинами (кристалами сульфїту магнію, золи), що пов'язана з абразивним зношуванням апаратури і пилянням. Також метод витрачає значну кількість теплоти на розкладення сульфїту магнію.

Содово-циклічний метод

На рис. 4.7 зображена схема содово-циклічного методу, в основі якого лежать реакції:

поглинання (в абсорбері)



і регенерації (у кристалізаторі-випарнику) сульфїту натрію



За рахунок поглинання SO_2 й окислювання сульфїту натрію утворюється також неактивний сульфат натрію Na_2SO_4 , що повинен видалятися.

Ефективність методу з видалення SO_2 з газів перевищує 90%. До переваг методу належать: простота й надійність процесу й можливість одержання високоякісної сірчаної кислоти або елементарної сірки.

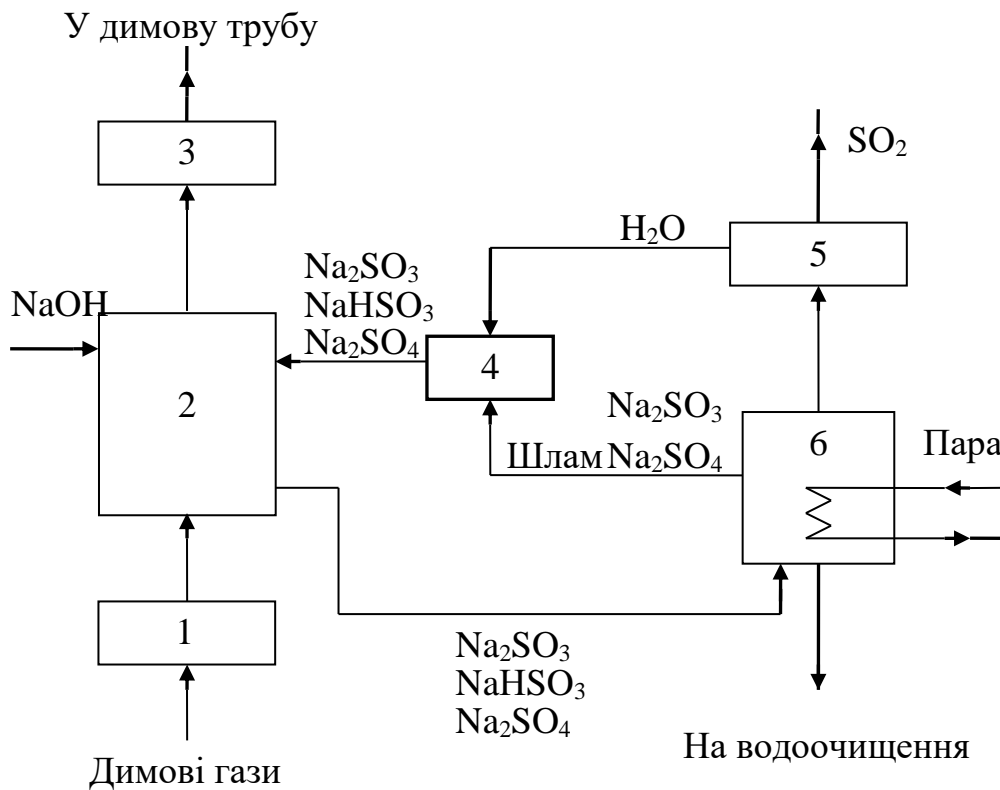


Рис. 4.7. Схема содово-циклічного методу очищення димових газів:

1 – скруббер; 2 – абсорбер; 3 – підігрівник; 4 – розчинник;
5 – конденсатор; 6 – кристалізатор-випарник

Недоліки методу: значне енергоспоживання – 3-6% потужності ТЕС і великий вихід солей натрію.

Метод каталітичного окислювання

У процесі каталітичного окислювання SO_2 доокислюється в SO_3 у спеціальному абсорбері, за яким знаходиться пристрій для сепарації й видалення туманоподібної H_2SO_4 .

Гази, що виходять, після високоефективної фільтрації твердих часток (99,6%) підігріваються перед каталітичним окислюванням до $455\text{ }^\circ\text{C}$. Як каталізатор використовується п'ятиоксид ванадію. Одержувана в процесі сірчана кислота має міцність 75-80%.

Основними перевагами методу є низькі експлуатаційні витрати й досить високий ККД з видалення SO_2 . До недоліків методу варто віднести порівняно низьку якість побічного продукту й більші капітальні витрати.

Сухе сіркоочищення

При сухих методах сіркоочищення як абсорбент застосовують оксиди алюмінію, марганцю, заліза, калію, активоване вугілля, напівкокс.

Принцип сухого очищення димових газів від SO₂ можливо розглянути на прикладі активованого оксиду марганцю. Останній виходить шляхом обробки сульфату марганцю аміаком:



Дрібно розмелений оксид марганцю подається в димові гази, де реагує з SO₂ з утворенням сульфату марганцю.

Частина виділеного в пиловловлювачах абсорбенту повертається на очищення димових газів, а інша – на регенерацію. Сульфат амонію, що утворився при регенерації, може використовуватися як добриво. Ступінь очищення від SO₂ за цим способом становить 90 %.

Внаслідок більших втрат абсорбенту експлуатаційні витрати при сухих способах очищення звичайно виявляються вище, ніж при мокрих.

Вибір сірковловлювальної установки

Зараз у нашій країні й за межами накопичений значний досвід з очищення димових газів від SO₂, однак всі відомі методи є складними та дорогими й необхідно їхнє подальше вдосконалювання.

Вибір сірковловлювальної установки повинен виконуватися на підставі техніко-економічного розрахунку [16]. Порівняльні варіанти повинні приводитися до однакової концентрації SO₂ в атмосфері на рівні дихання. Якщо порівнювані варіанти дають різний ступінь очищення, приведення їх до однакової концентрації шкідливості досягається вибором димових труб різної висоти. Вибір варіанта сіркоочищення для тієї або іншої ТЕС залежить від великої кількості параметрів: концентрації SO₂ у димових газах, потужності ТЕС, характеру навантаження тощо.

Економічна ефективність порівнюваних методів визначається за мінімумом розрахункових витрат, грн/р.,

$$Z = I + E_n \cdot K, \quad (4.24)$$

де I – експлуатаційні витрати, грн/р.;

K – капітальні витрати, грн;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, 1/р.

До капітальних витрат належать: капітальні вкладення на установку, включаючи спорудження димової труби (K_1), капітальні вкладення на виробництво реагентів (K_2), на видалення відходів (K_3) і на вкладення в енергетичну базу, що забезпечує енергією сіркоочищення (K_4).

У випадку реалізації одержуваного в сіркоочисних установках продукту з капітальних витрат віднімаються капітальні вкладення у виробництвах, що випускають аналогічну продукцію, що виходять у результаті очищення димових газів від сірчистого ангідриду (K_5).

У річні експлуатаційні витрати з очищення газів від сірчистого ангідриду входять: витрати на реагенти (R), споживані енергоресурси (E), зарплату персоналу (L), амортизаційні відрахування від капітальних вкладень основного виробництва $P_a(K_1+K_3)$ та інші витрати. З перерахованих вище експлуатаційних витрат віднімається вартість річної реалізованої продукції основної (P) і побічної (F).

Для зменшення концентрації сполук сірки в повітрі міст реальними заходами визначаються такі:

- заміна твердого палива й високосіркового мазуту на природний газ та малосірковий мазут в опалювальних й промислових котельнях й ТЕЦ;

- засвоєння методів вловлювання сіркових сполук на ТЕС;

- очищення мазуту від сірки на нафтопереробних заводах;

- застосування й упровадження методів газифікації та піролізу твердого й рідкого палива.

Питання для самоперевірки

1. У якому вигляді знаходиться сірка в паливі?
2. Що виявляється основним джерелом утворення SO_x ?
3. Механізм утворення SO_x при горінні палива.
4. Методи зниження викидів оксидів сірки при згорянні палива.

5. Які методи існують для виділення сірки з палива до його спалювання?
6. Які методи застосовують при очищенні нафтового палива від сірки?
7. Методи переробки палива перед спалюванням на ТЕС з метою зменшення сполук сірки.
8. Що таке газифікація палива?
9. Як проходить прямий процес газифікації?
10. Які хімічні реакції відбуваються при газифікації?
11. Види генераторного газу за складом суміші, яка використовується при дутті?
12. Методи газифікації твердого палива і їх енергетичний ККД.
13. Метод газифікації в твердому шарі.
14. Схема і сутність газифікації мазуту.
15. Як і для чого відбувається піроліз мазуту?
16. Які ще є методи виділення сірки з твердого палива?
17. Схема і сутність очищення газів від сірководню.
18. Методи сіркоочищення димових газів (перелічити).
19. Вапняний метод очищення димових газів від оксидів сірки.
20. Двоциклічний лужний метод очищення димових газів від оксидів сірки.
21. Магnezитовий метод очищення димових газів від оксидів сірки.
22. Содово-циклічний метод очищення димових газів від оксидів сірки.
23. Метод каталітичного окислювання димових газів.
24. Сухе сіркоочищення димових газів.
25. Як оцінюється ефективність методів очищення від сполук сірки?

5. Зменшення викидів оксидів азоту при спаленні палива

5.1. Класифікація оксидів азоту й механізм їх утворення

У топках парових котлів при горінні палива утворюються оксиди азоту двох типів: оксид NO і двооксид NO₂, причому на виході з димових труб оксид NO становить до 95% суми оксидів NO + NO₂. Доокислювання NO до NO₂ відбувається в атмосфері в процесі поширення димового факела вільним киснем (озоном) повітря. Тому викид оксидів азоту з котлів розраховується за NO₂.

У топках котлів кількість NO₂, що утворюється, залежить від багатьох факторів й у першу чергу від потужності котла. В опалювальних котельнях середньої потужності з котлами, наприклад, ДКВР NO₂ становить 4,8%; для котлів малої потужності типу АВ-1 – 6-10%; для малометражних котлів типу КЧМ-3 – 25-45%. Інше відноситься на NO [16].

Оксиди азоту утворюються при згорянні палива в ядрі факела трьома можливими шляхами й тому в залежно від першоджерела утворення поділяються на три групи:

- **термічні** – утворюються при високих температурах факела (більше 1600 К) за рахунок окислювання азоту повітря, залежать від кількості азоту в повітрі й надлишку повітря;
- **паливні** – утворюються при температурі 2000-2100 К за рахунок азоту, що входить у паливо (N^p);
- **швидкі (фронтальні)** – утворюються при контакті проміжних вуглеводнів сполук палива (при спалюванні газу й мазуту) з азотом повітря, що надходить у пальники, у початковій зоні (у фронті полум'я) горіння факела при температурі вище 1000 К.

$$\sum NO_x = NO_x^t + NO_x^n + NO_x^\phi. \quad (5.1)$$

Термічні оксиди азоту

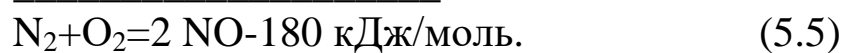
Механізм й умови утворення цих оксидів докладно описані на підставі теорії Я.Б. Зельдовича, П.Я. Садовникова й Д.А. Франк-Каменецького.

Згідно з цією теорією утворення NO відбувається за фронтом полум'я в зоні високих температур за ланцюговим

механізмом. Основною умовою окислювання азоту повітрям є дисоціація молекул кисню під впливом високих температур, що відбувається з поглинанням теплоти:



Атомарний кисень реагує з молекулою азоту, а атомарний азот, що утворюється в результаті ендотермічної реакції, вступає в екзотермічну реакцію з молекулярним киснем:



Зміна концентрації окису азоту в одиницю часу записується виразом

$$\frac{dG_{NO}}{d\tau} = k_1 \cdot C_{N_2} \cdot C_{O_2} - k_2 [C_{NO}]^2, \quad (5.6)$$

де C_{N_2}, C_{O_2} – концентрації відповідно азоту й кисню, г/м³;

$[C_{NO}]$ – рівноважна концентрація NO (тобто концентрація, що виходить при необмежено довгому протіканні реакції);

k_1, k_2 – константи швидкості прямих і зворотних реакцій.

Концентрація NO, що утворилась, не перевищує рівноважну при максимальній температурі в зоні реагування.

Термічна теорія припускає експонентну залежність рівноважної концентрації від температури:

$$[C_{NO}] = 4,62 \sqrt{C_{O_2} \cdot C_{N_2}} \cdot \exp\left(-\frac{90 \cdot 10^3}{RT}\right), \quad (5.7)$$

характерний час установлення рівноважної концентрації теж має аналогічну залежність від температури, с:

$$[\tau_{NO}] = \frac{2,06 \cdot 10^{-12}}{\sqrt{C_{N_2}}} \exp\left(-\frac{107500}{RT}\right). \quad (5.8)$$

З аналізу формул видно, що рівноважна концентрація оксидів азоту зростає зі збільшенням температури й концентрації кисню (концентрація азоту змінюється мало).

Вихід NO визначається максимальною температурою горіння й концентрацією N_2 і O_2 у зоні реагування.

За наявності вільного O_2 ($\alpha > 1$) вихід NO визначається максимальною температурою в зоні реакції, а при $\alpha < 1$ – кінетикою розкладання NO, тобто швидкістю охолодження продуктів згоряння.

При спалюванні вуглеводних або вологих палив у процесі реакції горіння утворюються гідроксильні радикали, які беруть участь в утворенні NO.

При розрахунку утворення NO у топках котлів замість концентрації кисню застосовується величина надлишку повітря α . Між коефіцієнтом надлишку повітря й концентрацією кисню має місце залежність

$$C_{O_2} = 300 \frac{\alpha - 1}{\alpha + \Delta\alpha_2}, \quad (5.9)$$

де $\Delta\alpha_2$ – підвищення теоретичного об'єму газу порівняно з теоретичним об'ємом повітря, необхідного для повного згоряння.

Вважають, що утворення NO в основному відбувається на початковій ділянці факела з максимальною температурою, де встигає утворитися основна кількість NO. Процес утворення завершується на відстані 1/3 довжини факела топкового пристрою. У конвективному газоході деяка частина NO (1-2 %) окисляється до NO_2 .

При викиді в атмосферу NO внаслідок зниження температури переходить в NO_2 за 30 с до 32 %. Сонячні промені прискорюють реакцію окислювання азоту. Розкладання NO по ходу руху газів газоходом котла не відбувається.

Паливні оксиди азоту

Дослідженнями було встановлено, що азотовмісні сполуки, що входять до складу палив, також є джерелом утворення оксидів азоту, що надходять в атмосферу із продуктами згоряння.

З табл. 5.1 видно, що у вугіллі стан хімічно зв'язаного азоту у твердому паливі різко відрізняється залежно від родовища. У сирій нафті – 0,65%; у мазуті – 1,4%; у бензині – 0,07%.

Паливні оксиди NO утворюються з азотовмісних сполук палива при продувці його гарячим повітрям вже при температурі 900-1400 К на початковій ділянці факела, де відбувається запалювання й горіння летючих.

Таблиця 5.1

Вміст азоту у вугіллях деяких родовищ

Родовище	Марка вугілля	N, %
Донецьке	АШ	0,8
Кузнецьке	Т	2,1
Кузнецьке	2СС	1,9
Кузнецьке	ГЖ	2,2
Екібастузьке	СС	1,2
Печерське	Д	2,7
Березовське	БЗ	0,95

Якщо уся кількість азоту, який міститься у паливі, окислювалася б в NO, то тільки за рахунок паливного азоту могло утворюватися при горінні вугілля до 2-4 г/м³, а при горінні мазуту до 0,5-1 г/м³. Але в дійсних процесах лише деяка частина паливного азоту переходить в оксиди азоту.

Дослідженням встановлена кінетика окислення зв'язаного азоту та отримано рівняння для концентрації NO, який утворюється при окисленні азоту палива.

$$\frac{C_{NO}}{[C_{NO}]} = 1 - \exp\left[\frac{-([C_{NO}] + C_{NO})}{2 \cdot [C_{NO}]}\right], \quad (5.10)$$

де C_{NO} – вихід оксиду азоту при окисленні усього зв'язаного азоту палива в NO.

Рівняння показує, що при підвищенні вмісту зв'язаного азоту його концентрація буде зростати тільки до тих пір, поки не буде досягнутий рівновагий вихід оксидів азоту. При цьому

частка переходу паливного азоту буде тим вище, чим менший вміст азоту в паливі й чим нижче температура горіння.

Механізм утворення паливних оксидів азоту NO ще не повністю розроблений, але є достовірні дані мас-спектроскопічних аналізів, які показують наявність радикалів HCN, CN, NH, NH₂, OH в зоні горіння азотовмісних палив. Це послужило основою розроблення орієнтованого механізму утворення паливного азоту, згідно з яким азот палива спочатку переходить у проміжні сполуки, а потім частково окислюється до оксидів азоту, а значна частка переходить у молекулярний азот.

Встановлено, що вихід паливних NO мало залежить від температури й сильно від вмісту молекулярного кисню в зоні горіння.

Тому дуже важливим є такий параметр, як ступінь конверсії. Ступінь конверсії X азоту – це відношення дійсної концентрації NO^m до максимально можливої, тобто при повному переході N_2 в паливі в NO .

$$X = \frac{C_{NO}^m}{C_{NO}^{\max}} = C_{NO} - \frac{\alpha_{\text{умов}} \cdot V_{\text{газів}}^0 \cdot \mu_N}{N^p \cdot 10^4 \cdot \mu_{NO_2}} \cdot 100\%, \quad (5.11)$$

де $\alpha_{\text{умов}}$ – умовний коефіцієнт надлишку повітря α , який приймається 1,05;

$V_{\text{газів}}^0$ – теоретична кількість продуктів згорання, м³/м³;

N^p – вміст N в робочій масі палива, %;

μ_{NO_2} – молекулярна маса NO₂;

μ_N – атомна маса N.

Досвід досліджень дозволяє зробити практичні висновки:

- конверсія N_2 палива в NO відбувається у фронті полум'я при швидкості, яка вимірювана зі швидкістю реакцій горіння;
- ступінь конверсії X зменшується з підвищенням концентрації азоту палива;
- конверсія має слабку залежність від температури полум'я, тобто з підвищенням температури вона підвищується незначно;
- конверсія не залежить від виду азотовмісних з'єднань, а визначається вмістом азоту;

- конверсія підвищується з підвищенням α ;
- частка паливного NO в сумарному виході оксидів азоту буде тим більше, чим нижче теплові напруження й температури в топці.

Фронтальні (швидкі) оксиди азоту

Вони мають місце при згорянні усіх видів палива. Хімічний механізм синтезу NO близький за своїм характером до механізму паливного NO, який відбувається з участю проміжних продуктів й радикалів у фронті полум'я. Швидкість протікання реакцій порівняна зі швидкістю горіння.

Дія механізму швидких NO обмежується фронтом полум'я вузькою зоною, яка безпосередньо знаходиться за фронтом. Дослідження визначили:

- фронтальні NO утворюються в зоні, яка характеризує фронт полум'я;
- час утворення NO порівняно з часом реакцій горіння;
- фронтальні NO мають слабку залежність від температури й сильну від надлишку повітря α ;
- частка фронтальних NO в сумарному виході оксидів азоту незначна й буде менше зі зменшенням теплопродуктивності котлів й температури в топці.

5.2. Методи зниження утворення оксидів азоту в топках котлів

Методи зниження оксидів азоту впливають із аналізу впливу основних факторів на утворення оксидів азоту.

Зниження утворення оксидів азоту звичайно полягає в зниженні або ліквідації термічних NO_x, а також за необхідності зниження паливних NO_x. Зниження термічних NO_x досягається шляхом впливу, головним чином, на максимальну температуру горіння, що забезпечується введенням газів рециркуляції, води й пари в зону горіння або в дуттьове повітря, а також двостадійним спалюванням палива, що знижує максимальну температуру й вміст кисню в зоні максимальних температур. Вихід паливних оксидів меншою мірою залежить від максимальної температури, але залежить від надлишку повітря, тому тут ефективним є двостадійне горіння.

При спалюванні газу часто вдається повністю ліквідувати термічні оксиди, наблизивши концентрації оксидів азоту до рівня швидких, або до 100-120 мг/м³ при холодному повітрі, або до 160-200 мг/м³ при гарячому.

5.2.1. Рециркуляція димових газів

Одним з найпоширеніших і найбільш добре вивчених методів зниження кількості оксидів азоту, що утворюються, є рециркуляція продуктів згоряння в зону горіння.

При цьому більш ефективною є не внутрішня рециркуляція гарячих топкових газів, а зовнішня рециркуляція попередньо охолоджених газів із хвостової частини котла в дуттьове повітря. Так, наприклад, при подачі газів рециркуляції з температурою 300-400 °С у ядро факела в кількості, що дорівнює 20% обсягу повітря, яке надходить на горіння, максимальна температура факела знижується звичайно на 120-130 °С [17].

Для організації рециркуляції димові гази звичайно після водяного економайзера при температурі 300-400 °С відбираються спеціальним рециркуляційним димососом і подаються в топкову камеру. Застосування рециркуляції дозволяє регулювати тепловіддачу до топкових екранів і температуру перегріву пари, зближувати характеристики котлів при спалюванні різних палив, наприклад, рідких і газоподібних.

Вплив рециркуляційних газів у зону горіння на вихід оксидів азоту обумовлюється дією декількох факторів:

а) зниження максимальної температури в зоні горіння через охолоджені продукти згоряння;

б) зниження концентрації реагуючих речовин через розведення продуктами згоряння.

Крім того, рециркуляція призводить до зниження швидкості горіння й розтягування зони горіння й внаслідок цього більш ефективного охолодження цієї зони топковими екранами. Ефективність рециркуляції оцінюється коефіцієнтом рециркуляції r – це відношення об'єму рециркуляційних газів до загального об'єму газів і повітря. Залежність концентрації оксидів азоту від коефіцієнта рециркуляції показана в табл. 5.2, де $\overline{C_{NO_x}}$ – відношення виходу оксидів азоту при рециркуляції до виходу оксидів на тій же режимі або без неї.

$$\overline{C_{NO_x}} = \frac{(C_{NO_x})_r}{C_{NO_x}} \quad (5.12)$$

Таблиця 5.2

Залежність концентрації оксидів азоту від коефіцієнта рециркуляції й концентрації кисню

Коефіцієнт рециркуляції	C_{O_2} (%)	$\overline{C_{NO_x}}$
1,0	0	20,9
0,91	6	20,3
0,76	11	19,7
0,6	14	19,0
0,48	18	18,7
0,42	22	18,7
0,4	25	18,4

Було проведене вивчення впливу різних способів рециркуляції газів на вихід оксидів азоту в котлах паропродуктивністю 230-1250 т/год [16]:

- 1 – через шліци в поді топки;
- 2 – через шліци під пальниками;
- 3 – через кільцевий канал навколо пальника;
- 4 – підмішуванням у дуттьове повітря.

При $r = 20$ %:

- подача рециркуляційних газів у дуттьове повітря знижує оксиди азоту на 50 %;
- подача через кільцевий канал навколо пальника – 25 % ;
- подача через шліци під пальником – 15 %.

З аналізу результатів промислової перевірки впливу рециркуляції на вихід оксидів азоту було зроблено такі висновки:

- 1) рециркуляція газів у тракт дуттьового повітря або в пальник є ефективним способом зниження утворення оксидів азоту в топковій камері;
- 2) подача рециркуляційних газів більш ефективна при високих навантаженнях і при $r < 20$ %;

3) застосування рециркуляції газів у загальний канал або канал первинного повітря на котлоагрегатах, вже оснащених рециркуляційними димососами й каналами, вимагає незначної реконструкції й може знайти широке застосування;

4) ефективність рециркуляції тим більше, чим вище температура в зоні горіння, й буде знижуватися при зменшенні навантаження котла, підвищенні коефіцієнта надлишку повітря й підвищенні вмісту азотовмісних сполук у паливі;

5) при подачі 1 % газів рециркуляції ККД котла знижується на 0,02 %.

Варто мати на увазі, що організація рециркуляції газу пов'язана з деякими додатковими ускладненнями. Транспортування запиленних газів підвищеної температури вимагає установа спеціальних димососів рециркуляції й пов'язана з витратою додаткових енергоресурсів на власні потреби.

Максимальна ефективність рециркуляції має місце при спалюванні природного газу при номінальному навантаженні й при малому коефіцієнті надлишку повітря.

5.2.2. Двостадійне спалювання палива

Це найбільш радикальний спосіб зниження утворення оксидів азоту. За цим методом у первинну зону горіння подається повітря менше, ніж це теоретично необхідно для спалювання палива (0,8-0,95) (див. рис. 5.1).

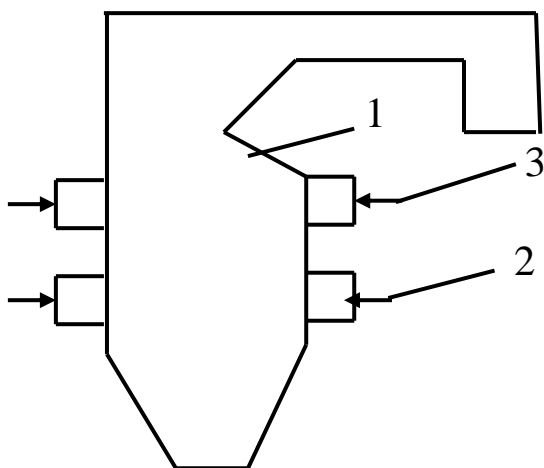


Рис. 5.1. Схема топки двостадійного спалювання палива:
1 – топкова камера; 2 – пальники, у які подається все паливо й 85% теоретично необхідного повітря; 3 – шліци, у які подається 21% теоретично необхідного повітря

У *первинній* зоні відбувається неповне горіння палива із частковою його газифікацією при зниженій температурі й, отже, зниженні вмісту оксидів азоту.

У *вторинну* подається чисте повітря або збіднена паливна суміш для доспалювання продуктів неповного згорання. Тепловідвід у первинній зоні горіння знижує температуру газів настільки, що завершальна стадія процесу відбувається при більш низькій температурі.

Найбільш точно цей процес відбувається, коли основні пальники працюють при надлишку повітря менше 1, а останнє повітря вводиться через фурми повітряного дуття, розташовані за ними. Може використовуватися й проміжний варіант, коли нижні яруси пальників працюють із нестачею повітря ($\alpha_1 < 1$), а верхній ярус зі значним надлишком повітря ($\alpha_2 > 1$).

Досліди на газомазутних котлах ТГМ-96 показали, що припинення подачі палива в третій по висоті ярус пальників призводить до зниження генерації оксидів азоту при спалюванні природного газу майже вдвічі. При спалюванні мазуту зниження коефіцієнта надлишку повітря в пальниках нижнього ярусу менше 1 призвело до зменшення генерації оксидів азоту приблизно на 25%. На інших котлах на мазуті отримане зниження генерації оксидів азоту за рахунок двостадійного спалювання на 35% [16].

Двостадійне спалювання можна відносити до радикального методу зменшення викидів оксидів азоту, який не потребує суттєвої переробки котла.

Поєднання спалювання палива при малих α з двостадійною подачею повітря або рециркуляцією продуктів згорання дозволяє досягнути зниження викидів оксидів азоту на 70-90 % при спалюванні газу й мазуту, й на 40-60 % при спалюванні вугілля.

Для визначення ефективності процесу двостадійного спалювання отримана така залежність, %:

$$\eta = \left[1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}} \right)^m \right] \cdot 100, \quad (5.13)$$

де α_1 – коефіцієнт надлишку повітря на першому рівні згоряння;
 α_2 – коефіцієнт надлишку повітря на другому рівні згоряння.

Дослідження показує, що:

- двостадійне спалювання палива виявляється дешевим, надійним й практично універсальним методом зниження виходу оксидів азоту при спалюванні газів, мазуту й вугілля;

- при спалюванні газу і мазуту стадійний процес може бути організований шляхом подачі повітря в окремі пальники з нестачею повітря, а в пальники, які знаходяться вище, з надлишком повітря або шляхом створювання спеціальних пальників двостадійного спалювання палива;

- також перспективними виявляються топкові пристрої для тристадійного спалювання.

5.2.3. Спеціальні пальникові пристрої

Викладені методи не вичерпують весь перелік можливих режимно-конструкторських заходів, спрямованих на зниження викидів оксидів азоту.

Так, спалювання вугілля в псевдозрідженім шарі – один зі шляхів зниження викидів оксидів азоту.

Зокрема ведуться роботи з удосконалювання конструкції пальникових пристроїв, топків і котлоагрегатів.

Отримавши велике поширення, турбулентні (вихрові) пальники з інтенсивним закрученням повітряного потоку підвищують концентрацію оксидів азоту в продуктах згоряння у зв'язку з більшою інтенсивністю вигорання й близьким розташуванням від пальника ядра полум'я.

Спеціальні пальникові пристрої застосовуються для системи двостадійного горіння або одержання розтягнутого по довжині топкової камери факела, що дозволяє знизити викиди оксидів азоту.

Інститутом газу АН України був запропонований пальник з осьовим і закрученим підведенням повітря. Дослідження, які проведені на цьому пальнику, показали, що збільшення подачі повітря по внутрішній трубі без закручення у кількості 40% загальної кількості повітря дозволяє знизити утворення оксидів азоту на 40% у порівнянні з подачею всього повітря, закрученим

у міжтрубний простір. При висуванні убік топки внутрішньої труби первинне повітря не бере участі у початковій стадії горіння й відбувається двостадійне горіння палива [16].

Одним з типів пальниково-топкових пристроїв, у яких здійснюється двостадійне спалювання палива, є передкамерний пальник. Пальник має трубу-камеру, що складається з окремих обичайок, між якими залишені щілини для проходження повітря. У пальник газ підводиться по колектору й подається в камеру через конічну насадку. Мазутна форсунка розташована усередині газового колектора. Через щілини між обичайками камери й лопатевим ротором у торці камери подається 60 % необхідного для горіння повітря. Допалення продуктів газифікації (С, Н₂) відбувається в топковій камері. Температура стінок труби-камери становить 400-700 °С.

На котлі продуктивністю 270 т/год концентрація оксидів азоту перебуває на рівні 0,2-0,3 г/м³ замість 0,3-0,49 на таких самих котлах, обладнаних вихровими пальниками.

Пальники двостадійного горіння ГДС-50 й ГДС-100 були розроблені Інститутом газу НАН України. У пальниках дуттьове повітря розділяється на первинне і вторинне. Первинне повітря набуває обертового руху в результаті проходження через аксіальний лопатевий апарат; вторинне – надходить по осі пальника прямим потоком через центральну осьову трубу. Газове паливо подається в закручений потік первинного повітря радіальними струменями з газової камери, змішується з ним і згоряє з недостатчею окислювача. На деякій відстані від зрізу пальника струмінь вторинного повітря інjektує продукти неповного згорання, що утворилися на першій стадії. При контакті з осьовим потоком ці продукти окисляються, потім утворюють другу реакційну зону. При цьому температури в зоні горіння знижуються на 100-130 °С, що й є основним фактором, який визначає знижування утворення оксидів азоту.

Застосування цих пальників дозволило знизити концентрацію оксидів азоту на номінальному режимі в 3 рази, на режимі 50 % навантаження в 2-2,5 рази при збереженні ККД котла [16].

5.2.4. Подача води й пари в зону горіння

Подача води і пари в зону горіння призводить до деякого зниження утворення оксидів азоту. У цей час ще немає досить апробованих даних про кількісний бік цього впливу стосовно котлів, хоча в газотурбінних установках отриманий деякий позитивний ефект. Також вплив додавання води в зону горіння вивчався у зв'язку з проблемою спалювання водо-паливних суспензій – збідненого мазуту й водо-вугільних суспензій (ВВС). При використанні рідкого палива у вигляді водо-паливних емульсій вміст NO_x у димових газах знижується на 20-30% й значно знижується вміст сажі. Однак при додаванні до мазуту 10% води ККД котла знижується на 0,7%.

Зниження утворення NO_x при подачі пари й води в зону горіння можна пояснити:

- зниженням максимальної температури в зоні горіння;
- зменшенням часу перебування в зоні горіння за рахунок інтенсифікації горіння CO :



- витратою гідроксильного радикалу:



Очевидно, що введення водяної пари або води за зоною утворення NO_x взагалі не впливає на утворення NO_x . Коли ж вони вводяться у паливно-повітряну суміш, то вплив є таким же, ніж як за об'ємом й тепловмістом кількості рециркуляційних газів.

Тому подача води й пари в зону горіння з метою зниження NO_x викликає інтерес у зв'язку з такими обставинами:

- порівняно мала витрата середовища, відсутність необхідності виробництва трубопроводів більшого діаметра, що необхідно при подачі газів при рециркуляції;
- позитивним є не тільки вплив на зниження оксидів азоту, але й на догорання у факелі оксиду вуглецю;
- можливість використовувати для спалювання твердих палив.

Можуть використовуватися й деякі інші методи зниження генерації оксидів азоту:

- зменшення коефіцієнта надлишку повітря;
- зниження температури підігріву повітря;
- зниження теплової напруги;
- збільшення ступеня екранування.

При зниженні коефіцієнта надлишку повітря до $\alpha=1,03...1,07$ відбувається зменшення концентрації кисню й відповідне зменшення оксидів азоту. Цій захід можливий в обмежених межах й в основному для природного газу й мазуту, оскільки зниження надлишку повітря на твердому паливі призводить до збільшення механічного недопалу. Умовами роботи з низьким коефіцієнтом надлишку повітря є точне дозування палива й повітря в кожен пальник, висока щільність топкової камери.

Зниження теплової напруги в топковій камері призводить до зменшення температурного рівня в топці, але пов'язане зі збільшенням габаритів і вартості котла.

Зниження температури підігріву повітря можливо в обмежених межах, тому що при цьому може погіршитися процес горіння й ускладнитися процес глибокого охолодження газів, що відходять, необхідні для підвищення ККД котлів.

5.2.5. Хімічні методи

Як й у випадку з оксидами сірки, оксиди азоту принципово можна видалити з димових газів. Правда, тут є більші труднощі, пов'язані, зокрема, зі значно більш низькою концентрацією оксидів азоту в димових газах й їх більш високою хімічною стійкістю.

Принципово здійсненні два підходи до питання очищення димових газів від оксидів азоту:

- уловлювання оксидів азоту з наступною переробкою в товарну продукцію;
- руйнування оксидів азоту до нетоксичних складових.

Для першого підходу характерні методи абсорбції й адсорбції.

Абсорбція – поглинання (добування) речовин з газової суміші усім об'ємом рідини (абсорбенту).

Адсорбція – процес, що призводить до аномально високої концентрації речовини з газу або рідини на поверхні її поділу з рідиною або твердим тілом (адсорбентом).

Одним з найпоширеніших абсорбційних методів є лужне поглинання оксидів азоту. Тут використовується Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або розчини аміаку, що забезпечують поглинання оксидів азоту.

З абсорбційних методів очищення найбільш перспективна адсорбція силікагелем ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) і торфолужними сорбентами.

Перспективними для енергетики є також і методи каталітичного розкладання оксидів азоту. Однак очищення димових газів шляхом відновлення оксиду азоту до азоту й кисню являє собою складне завдання у зв'язку:

1) з наявністю в димових газах золи й оксидів сірки, що забруднюють каталізатор;

2) потребою в більш високій температурі газів каталізатора ($400\text{ }^\circ\text{C}$), ніж за системою зололовлення.

Аміак є єдиною доступним відновником вибіркової дії, здатним відновити домішки оксиду азоту до азоту й кисню. Каталізатором є п'ятиоксид ванадію, нанесений на активний оксид алюмінію.

Конструктивно аміачно-каталітичне очищення здійснюється таким чином. У потік димових газів, звичайно між економайзером й повітропідігрівачем котла, вводиться колектор – перфорована труба, через отвір якої відходить аміак. На відстані 0,5-1,5 м від неї розташована касета з каталізатором (звичайно V_2O_5). При цьому одна з головних задач – зниження опору каталізатора. Ступінь очищення аміаком звичайно становить 71-95%. При очищенні з продуктами згоряння викидаються надлишки аміаку, що дещо підвищують токсичність продуктів згоряння, і це є недоліком методу.

Вартість очищення газів шляхом відновлення аміаком перевищує вартість рециркуляції й двоступінчатого спалювання в 10-20 разів. Тому ці методи слід застосовувати тільки тоді, коли потрібна суттєва знижка NO_x .

Перераховані способи при комплексному їх використанні суттєво знижують утворення оксидів азоту. При виробництві нових котлів необхідно, щоб основні положення зі зниження генерації оксидів азоту були закладені в їх конструкцію.

Зменшення концентрації оксидів азоту в продуктах згоряння палива може бути досягнуто введенням до палива присадок, які призводять до відновлення або розкладення оксидів азоту. У якості присадок можуть бути використані металоорганічні речовини, чотирихлористий вуглець, анілін, нітрат амонію тощо. Наприклад, введення присадок у мазут може призвести до зниження оксидів азоту на 30-49 %, однак такі методи, як правило, дорогі й тому мало доступні [16].

Для зниження концентрації оксидів азоту у вихлопних газах автотранспорту пропонують використання збіднених сумішей, присадок до палива, додавання води у паливо, а також використання у якості палива метанолу або його модифікацій, оскільки вихлопні гази при цьому містять оксиди азоту у нормі.

Питання для самоперевірки

1. Які оксиди азоту утворюються при горінні палива?
2. За яким оксидом азоту ведеться розрахунок викидів?
3. На які групи поділяють оксиди азоту і чому?
4. Механізм утворення термічних оксидів азоту.
5. Від чого залежить утворення NO_x ?
6. Що таке рівноважна концентрація оксидів азоту і як вона визначається?
7. Як визначають характерний час встановлення рівноважної концентрації NO_x ?
8. Механізм утворення паливних NO_x .
9. Від чого залежить утворення фронтальних NO_x ?
10. Що таке ступінь конверсії азоту і як він визначається?

6. Очищення повітря й продуктів згоряння від твердих часток

6.1. Основні фізико-хімічні властивості золи й пилу

Надійність й ефективність роботи систем газоочищення значно залежить від таких фізико-хімічних властивостей золи й пилу [20, 21]:

1. *Густина часток.* Розрізняють насипну, уявну, дійсну. Густина золи впливає на вловлювання її в золовловлювачах.

Насипна густина враховує наявність повітряних зазорів між частками.

Уявна густина – відношення маси часток до об'єму, який займають частки, включаючи пори, пустоти, нерівності.

Дійсна густина – відношення маси часток до об'єму, який займають частки без пор, пустот та ін. Для більшості палив $\rho_{ч}$ золи лежить у межах 1900-2500 кг/м³ і в середньому становить 2300 кг/м³.

2. *Дисперсний склад* – це розподіл часток за розмірами, визначає ступінь очищення газів у золовловлювачах, впливає на самоочищення повітря в атмосфері. Дисперсний склад золи залежить від виду палива, систем паливоприготування й спалювання. Дисперсний склад відіграє велику роль у виборі й розрахунку золовловлювачів. Про величину часток судять за розміром найменшого отвору сита (d), через який частки проходять при просіванні. Найменший розмір – 44 мкм. Тому для визначення дисперсного стану фракцій менше цього розміру використовують інші методи: повітряну сепарацію, рідинну седиментацію й мікроскопічний аналіз.

3. *Адгезійні властивості* – схильність часток до злипання, впливають на забивання елементів пиловловлювача. Поділяють на 4 групи за розривною міцністю пилових шарів:

1) незлиплювальна зола – жужельний пил, шамотний пил, глиноземний пил ($P \leq 60$ Па);

2) слабозлиплювальна зола – летюча зола з недопалом 30 %, коксовий пил, сланцева зола ($60 < P \leq 300$ Па);

3) середньозлиплювальна зола – летюча зола без недопалу, сухий цемент, торф'яна зола ($300 < P \leq 600$ Па);

4) сильнозлиплювальна зола – вологий цементний пил, волокнистий пил (азбест, бавовна, вовна) ($P \geq 600$ Па).

4. *Абразивність.* Абразивна дія летючої золи – один з основних факторів, що знижує надійність котельного устаткування. Стиральна дія золи враховується при виборі швидкостей запилених потоків, товщини металу газоходів, при виборі лицювального матеріалу. Абразивність золи враховується як при проектуванні нового обладнання, так і при переведенні існуючого обладнання на спалювання іншого виду твердого палива. Зі збільшенням розміру часток золи зношування металу спочатку зростає й, досягши 90 ± 2 мкм, знижується. Зношування характеризується коефіцієнтом абразивності *a*. Він визначає стоншення стінки поперечно обтічної труби зі сталі марки Ст. 20 у місцях її максимального зношування при концентрації часток золи 1 г/м^3 і швидкості 1 м/с протягом 1 год. Для розмірів часток 90 мкм цей коефіцієнт дорівнює для золи донецького вугілля $5,4 \cdot 10^{-9}$, екібастузького вугілля – $8,8 \cdot 10^{-9}$.

5. *Питомий електричний опір.* Для електричного очищення газу в електрофільтрах велике значення має питомий електричний опір ρ шару золи або пилу. За цією ознакою зола, відносно спалювання вугіль, поділяється на 3 групи:

1) $\rho < 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Висока електропровідність. При торканні осаджувального електрода зола цієї групи швидко втрачає негативний заряд, одержує позитивний заряд осаджувального електрода фільтра, може відштовхуватися й знову попадати в газовий потік. Ці властивості має зола, у якій міститься велика кількість вуглецю, що не догорів (наприклад донецьке вугілля, АШ);

2) $10^2 < \rho < 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Найбільш повно вловлюється в електрофільтрах (наприклад донецький, Т);

3) $\rho > 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Фактично електричний ізолятор, який зменшує напруженість поля в електричному просторі. При високих ρ золи можуть виникнути явища зворотної корони й вторинне зношування осілої золи (наприклад екібастузьке, кузнецьке й ін. вугілля).

Електричний опір часток золи залежить від температури газового середовища та її складу. Якщо на поверхні часток утворюється плівка адсорбованої або водяної пари, що

сконденсувалися, з розчиненими в них оксидами сірки, то електричний опір їх різко падає.

6. *Електрична зарядженість часток.* Впливає на їхнє поведіння в газоходах і пиловловлюючих апаратах, на вибухонебезпечність й адгезійні властивості. У бункерах електрофільтрів свіжовловлювана зола має кут скосу, близький до нуля, тобто поводить майже як рідина. Через кілька годин після втрати частками електричного заряду кут скосу $\approx 50^\circ$.

7. *Змочуваність часток.* Впливає на роботу мокрих золовловлювачів. При зіткненні погано змочуваних часток з поверхнею рідини вони не поринають у неї, а залишаються на поверхні й накопичуються. Очищення газу погіршується, тому що частки, які знов спливають до поверхні після зіткнення з тими, що на поверхні, повертаються в потік газу.

8. *Здатність пилу до самозаймання.* Горючий пил внаслідок сильно розвинутої поверхні контакту часток з киснем повітря здатний до самозаймання й утворення вибухових сумішей з повітрям. Первинний вибух виникає при невеликих скупченнях пилу поблизу джерела запалення, піднімає в повітря великі скупчення пилу й виникає другий, більш сильний вибух. Мінімальна вибухонебезпечна концентрація зваженого в повітрі пилу – 20-500 г/м³, максимальна – 700-800 г/м³. Найбільш вогненебезпечна концентрація пилу – 300-600 г/м³. При $O_2 \leq 16\%$ пилова хмара не вибухає. Вибухонебезпечні температури пилоповітряної суміші при виході летючих при $V^л > 36\%$ $t = 65-70^\circ C$, при $30\% \geq V^л \geq 12\%$ – $t = 75-80^\circ C$. Мінімальна концентрація, нижче якої пил не вибухає: бурі вугілля – 124 г/м³, донецькі газові вугілля – 385 г/м³.

6.2. Властивості очищувальних газів

Вологість газів

Волога викликає налипання пилу, корозію стінок пиловловлювача, особливо при температурі газу, близької до точки роси t_p . Необхідно, щоб мінімальна температура для негігроскопічних пилів була більше на 15-20 $^\circ C$, для гігроскопічних – на 40-50 $^\circ C$ температури точки роси.

Вміст вологи характеризується такими параметрами:

- абсолютним вологовмістом газів – концентрацією водяної пари d , кг/кг сухого газу;
- концентрацією водяної пари f' , г/м³ вологого газу за нормальних умов й f'' , г/м³ вологого газу за дійсних умов;
- величиною парціального тиску водяної пари P_w , Па;
- ступенем наближення до насиченого стану за даних умов, тобто величиною відносної вологості ϕ .

Для вирішення питань, пов'язаних з проектуванням або експлуатацією систем золовловлювання, великий інтерес являє точка роси очищувальних газів, яку можливо визначити за Hd-діаграмою, коли тиск димових газів близький до барометричного.

Абсолютний вологовміст d_2 газів, які надходять у систему газоочищення від котельних агрегатів, можна розрахувати за формулою

$$d_2 = \frac{\rho_{H_2O}^0 \cdot V_{H_2O}^{ex}}{1 - 0,01(A^p + W^p + 9H^p) + \rho_6^0 \cdot \alpha_{36}^{ex} \cdot V^0}, \quad (6.1)$$

де $V_{H_2O}^{ex}$ – об'єм водяної пари за нормальних умов на вході у вловлювач, м³/кг палива;

$\rho_{H_2O}^0, \rho_6^0$ – густина водяної пари й сухого повітря за нормальних умов, кг/м³;

A^p, W^p, H^p – зольність, вологість й вміст водню в робочій масі палива, %;

α_{36}^{ex} – коефіцієнт надлишку повітря на вході в систему вловлювання;

V^0 – теоретичний об'єм повітря, необхідний для спалювання палива, м³/кг палива.

Об'єм водяної пари на вході у вловлювач, який встановлений після котельного агрегату, приблизно можна розрахувати за теоретичним об'ємом водяної пари, яка утворюється при спалюванні палива, м³/кг:

$$V_{H_2}^0 = 0,111H^p + 0,012W^p + 0,0161V^0 + 1,24G_\delta, \quad (6.2)$$

де G_δ – кількість пари, яка вноситься з дуттям повітря, кг/кг палива.

Особливо важливо знати абсолютний вологовміст димових газів, які використовуються у теплотехнологічних установках як теплоносії.

У паливі з вмістом сірки при $S^{np} \geq 0,05$ % на 1 МДж/кг суттєво впливає на точку роси присутність сірчистого ангідриду. Він утворює деяку кількість сірчаної кислоти, розчин якої конденсується при більш високих температурах, ніж водяна пара.

Точка роси за таких умов визначається з достатнім ступенем точності за формулою, °С,

$$t_p = t_{\text{конд}}^{H_2O} + \frac{\beta \sqrt[3]{S^{np}}}{1,05^{4,19 \cdot \alpha_{\text{вин}} \cdot A^{np}}}, \quad (6.3)$$

де $\beta = 195$ для $\alpha_t = 1,2 \dots 1,25$;

$\beta = 208$ для $\alpha_t > 1,25$;

α_t – коефіцієнт надлишку повітря в кінці топки.

При температурі точки роси сірчистої корозія відбувається найбільш інтенсивно, а при відхиленні від точки роси в той або інший бік швидкість корозії швидко падає. Однак при подальшому зниженні температури газів починається конденсація водяної пари на стінках газоходів й швидкість корозії трохи підвищується. Тобто має місце два максимуми швидкості корозії, тому необхідно враховувати обидві точки роси. Мінімумально допустима температура газів враховує гігроскопічні властивості золи або пилу, які вловлюються. Наприклад, для вугільної або сланцевої золи чи пилу й інших видів негігроскопічного пилу допустима температура газів визначається з умови

$$t_{\text{дійсна}} = t_p + (15 \dots 20^\circ \text{C}). \quad (6.4)$$

Для гігроскопічного пилю (цемент, глина тощо) –

$$t_{\text{дійсна}} = t_p + (40 \dots 50^\circ \text{C}). \quad (6.5)$$

Густина димових газів

Усі димові гази, які утворюються при згорянні палива, складаються з кількох компонентів. При проведенні замірів й розрахунків необхідно знати значення густини й в'язкості газів. З достатнім для розрахунків ступенем точності густина продуктів згоряння енергетичних видів палива за нормальних умов може бути прийнята рівною густині повітря – $1,3 \text{ кг/м}^3$. Дійсна густина продуктів згоряння або їх суміші з повітрям можна визначити за формулою, кг/м^3 ,

$$\rho_{\text{дійсна}} = \rho_2^0 \frac{273(B+p)}{B(273+t)}, \quad (6.6)$$

де B – барометричний тиск, Па;

p – надлишковий тиск або розрідження у газоході, Па;

t – температура газів, $^\circ\text{C}$.

Густина димових газів на вході у вловлювач за нормальних умов визначається як

$$\rho_2^0 = \frac{1 - 0,01A^p + 1,306\alpha_{zy}^{ex} \cdot V^0}{V_2^{ex}}. \quad (6.7)$$

При сильній вологості продуктів згоряння густина димових газів також змінюється й при відомому вологовмісті вона розраховується за формулою, кг/м^3 ,

$$\rho_{0_{\text{волог}}} = \frac{1+d}{\frac{1}{\rho_{0_{\text{сух}}} + \frac{d}{0,804}}}, \quad (6.8)$$

де d – вологовміст;

V_2^{ex} – об'ємна витрата газів на вході у вловлювач, $\text{м}^3/\text{с}$.

Запиленість

Запиленістю або концентрацією пилу чи золи в димових газах називають вміст твердих часток в 1 м³ газів, приведених до нормальних умов (мг/м³, г/м³). На вході у вловлювач концентрація може розраховуватися за формулою, г/м³,

$$C_{\text{золи}}^{\text{вх}} = \frac{G_{\text{золи}}^{\text{вх}} \cdot 10^3}{V_2^{\text{вх}}}, \quad (6.9)$$

де $C_{\text{золи}}^{\text{вх}}$ – концентрація пилу або золи на вході у золовловлювач, мг/м³;

$G_{\text{золи}}^{\text{вх}}$ – витрата золи або пилу на вході у вловлювач, г/м³.

6.3. Основи теорії золовловлювання

Основним показником роботи установки золовловлювання, тобто оцінка ефективності процесу очищення в конкретних випадках їх використання, є ступінь вловлювання або коефіцієнт очищення, % [20, 21].

$$\eta = \frac{G_{\text{ул}}}{G_{\text{вх}}} \cdot 100 = \frac{G_{\text{вх}} - G_{\text{вих}}}{G_{\text{вх}}} \cdot 100 = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{C_{\text{вих}}}{C_{\text{вх}}}\right) \cdot 100, \quad (6.10)$$

де $G_{\text{вх}}, G_{\text{ул}}, G_{\text{вих}}$ – маса часток, яка утримується в газах до їх надходження в апарат, уловлених в апараті й утримується в газах після виходу з апарата;

$C_{\text{вх}}, C_{\text{вих}}$ – середні концентрації часток у газах на вході в апарат й на виході з нього.

Коефіцієнт очищення залежить від умов експлуатації вловлювачів, а також від дисперсного стану уловлених часток.

Про ступінь досконалості апарату можна судити за значеннями фракційних й парціальних коефіцієнтів очищення при техніко-економічних умовах експлуатації.

Фракційний коефіцієнт очищення показує відношення кількості твердих часток даної фракції, уловленої в апараті, до кількості часток тієї же фракції, яка надходить в апарат, %:

$$\eta_{\phi} = \frac{G_{\phi_{yl}}}{G_{\phi_{ex}}} \cdot 100 = \frac{\Phi_{yl} \cdot G_{yl}}{\Phi_{ex} \cdot G_{ex}} \cdot 100 = \eta \cdot \frac{\Phi_{yl}}{\Phi_{ex}} \cdot 100. \quad (6.11)$$

Парціальний коефіцієнт одержують, коли оперують розмірами (діаметром) часток, %:

$$\eta_n = \frac{G_{N_{yl}}}{G_{N_{ex}}} \cdot 100 = \frac{N_{yl} \cdot G_{yl}}{N_{ex} \cdot G_{ex}} \cdot 100 = \eta \cdot \frac{N_{yl}}{N_{ex}} \cdot 100. \quad (6.12)$$

Звичайно фракційні або парціальні коефіцієнти очищення для різноманітних вловлювачів визначаються експериментально, шляхом проведення відповідного випробування апарата.

Повний коефіцієнт очищення може бути розрахований за фракційним або порційним станом твердих часток, які входять в апарат, за фракційним або парціальним коефіцієнтом очищення.

$$\eta = \sum \eta_{\phi} \cdot \frac{\Phi_{ex}}{100}, \quad (6.13)$$

$$\eta = \sum \eta_n \cdot \frac{N_{ex}}{100} \cdot \Delta d_{\phi} = \int_0^{\infty} \eta_n \frac{N_{ex}}{100} d(d_{\phi}). \quad (6.14)$$

Суми Φ_{ex} та $N_{ex}d(d_{\phi})$ повинні кожна дорівнювати 100 %.

Диференціальну криву розподілу часток за розміром можна отримати, коли процентний вміст кожної фракції розділити на різниці розмірів часток, прийнятих у якості граничних, й отримані значення викласти у системі координат як ординати, а як абсциси – середнє або відповідне розміру часток.

Розподіл часток золи більшості вугілля відповідає логарифмічно-нормальному закону, тому найбільш зручним є графічне зображення результатів дисперсних аналізів у вигляді інтегральних кривих $R(d_{\phi})$ й $D(d_{\phi})$, де $R(d_{\phi})$ – залишок на ситі; $D(d_{\phi})$ – проходження часток крізь сито.

Кожна точка інтегральних кривих показує відносний вміст часток з розмірами більше або менше даного розміру, а усі розподіли часток за фракціями можна характеризувати двома величинами: d_{50} – медіанним діаметром, який відповідає залишку на ситі $R_d=50$ %, й середнім квадратичним відхиленням σ :

$$\sigma = \frac{d_{50}}{d_{15,9}} = \frac{d_{84,1}}{d_{50}}, \quad (6.14)$$

де d_{50} , $d_{15,9}$, $d_{84,1}$ – діаметри часток, які відповідають залишкам на ситах 50, 15,9 й 84,1 %.

Для цілого ряду розрахунків, у яких використовуються дані дисперсних аналізів, зручно користуватися аналітичним описом функцій розподілу часток за розмірами. Розподіл часток за первинними розмірами найчастіше є логарифмічно-нормальним і може бути записаний у вигляді залежності

$$\xi = \frac{1}{\lg \sigma_u \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-\lg\left(\frac{d_u}{d_m}\right)}{2\lg^2 \sigma_u}}, \quad (6.15)$$

де ξ – питомий вміст часток з розмірами d_u ;

$\lg\left(\frac{d_u}{d_m}\right)$ – логарифм відношення поточного розміру часток d_u

до медіанного для даного розподілу розміру d_m ;

d_m – розмір, при якому кількість часток, більших за d_m , дорівнює кількості часток, менших за d_m ;

$\lg \sigma_u$ – середнє квадратичне логарифмічне відхилення у функції даного розподілу.

Коли розподіл часток, які уловлюються, за розмірами є логарифмічно-нормальними, а залежність $\eta_n = f(d_u)$ може бути записана у вигляді інтеграла імовірності, то значення повного коефіцієнта очищення можна визначити за формулою

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dx = \frac{1}{2} [\Phi(x) + 1], \quad (6.16)$$

$$\text{де } t = \frac{\lg\left(\frac{d_u}{d_{50}}\right)}{\lg \sigma_u}; \quad (6.17)$$

$$x = \left(\frac{\lg \left(\frac{d_m}{d_{50}} \right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\epsilon}} \right); \quad (6.18)$$

$\Phi(x)$ – нормальна функція розподілу (табличне значення) [21, 22];

$\lg \sigma_\eta$ – стандартне квадратичне відхилення у функції розподілу парціальних коефіцієнтів очищення.

При розрахунку комбінованих вловлювачів, які складаються з двох або більше послідовно з'єднаних апаратів різноманітного типу, потрібно визначити фракційний стан часток, які виходять з попереднього ступеня й входить до наступного ступеня. У такому разі кожна фракція визначається за формулою

$$\Phi_{вих}^{(1)} = \Phi_{вих}^{(2)} = \Phi_{вих}^{(1)} \left(\frac{100 - \eta_\phi^{(1)}}{100 - \eta^{(1)}} \right), \quad (6.19)$$

$$N_{вих}^{(1)} = N_{вих}^{(2)} = N_{вих}^{(1)} \left(\frac{100 - \eta_\phi^{(1)}}{100 - \eta^{(1)}} \right), \quad (6.20)$$

де $\eta_\phi^{(1)}, \eta_n^{(1)}$ – відповідно фракційний й парціальний коефіцієнти очищення газу в першому ступені, %;

$\eta^{(1)}$ – повний коефіцієнт очищення газу в першому ступені.

Загальний коефіцієнт очищення газу в двоступінчастому вловлювачі визначається за формулою, %,

$$\eta_{заг} = \eta^{(1)} + \eta^{(2)} \left(1 - \frac{\eta^{(1)}}{100} \right). \quad (6.21)$$

У тих випадках, коли необхідно оцінювати кінцеву запиленість або порівняти відносну запиленість на виході з апаратів, доцільно користуватися коефіцієнтом проскакування ϵ , який визначається як, %,

$$\varepsilon = \frac{G_{вих}}{G_{вх}} \cdot 100 = \frac{C_{вих}}{C_{вх}} \cdot 100. \quad (6.22)$$

Цей параметр пов'язаний з коефіцієнтом очищення відношенням

$$\eta = 1 - \varepsilon. \quad (6.23)$$

Також для розрахунків ступеня золовловлювання зручно користуватися параметром золовловлення, який можливо розрахувати згідно з принциповою схемою золовловлювача (рис. 6.1) [16].

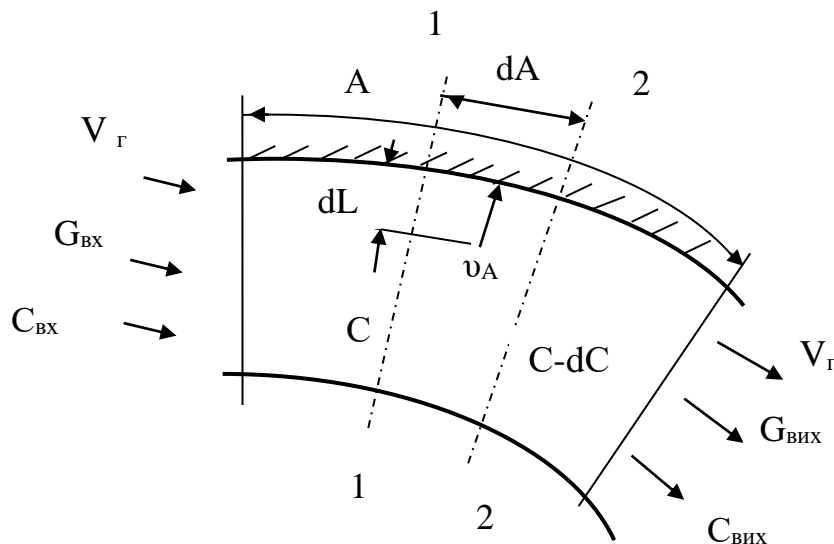


Рис. 6.1. Принципова схема моделі золовловлювання

Припустимо, що у каналі золовловлювача поверхнею А рухається потік газу об'ємом V_g , м³/с, з середньою концентрацією золи на вході $C_{вх}$, кг/м³.

Виберемо в золовловлювачі два нескінченно близьких перетини, які перпендикулярні до руху основного потоку, між якими розташована поверхня осадження dA .

Коли через перетин 1-1 (рис. 6.1) в одиницю часу пройшла маса часток G_1 , кг/с, то через осадження їх маса у перетині 2-2 зменшилася до величини G_2 , кг/с.

Якщо прийняти, що середня концентрація у перетині 1-1 становить C , а в перетині 2-2 – $C - dC$, то зміна маси в одиницю часу на даній ділянці становить

$$dG = G_2 - G_1 = V_2 \cdot (C - dC) - V_2 \cdot C = -V_2 \cdot dC. \quad (6.23)$$

Зміну маси часток між перетинами можна розраховувати за формулою

$$dG = v \cdot C_A \cdot dA, \quad (6.24)$$

де v – швидкість руху часток золи під дією сил осадження до поверхні осадження (швидкість дрейфу), м/с;

C_A – концентрація часток поблизу поверхні осадження, кг/м³, яка може суттєво відрізнятися від середньої концентрації часток у даному перетині.

Прирівнюємо обидва рівняння, отримуємо найбільш загальне диференціальне рівняння для золотловлювачів усіх перерахованих типів й форм:

$$\frac{dC}{C_A} = -\frac{v}{V_2} dA. \quad (6.25)$$

Праву частину рівняння зазначимо як диференціал деякої функції Π :

$$d\Pi = \frac{v}{V_2} dA. \quad (6.26)$$

Якщо швидкість дрейфу часток незмінна уздовж усієї поверхні осадження, то вираз (6.26) легко інтегрується, а для функції Π отримуємо простіше рівняння:

$$\Pi = \frac{v \cdot A}{V_2}. \quad (6.27)$$

Функція Π називається параметром золотловлювання. Тоді загальне рівняння золотловлювання набуде вигляду

$$\frac{dC}{C_A} = -d\Pi. \quad (6.28)$$

Для інтегрування цього виразу необхідно знати співвідношення між середньою концентрацією у деякому перетині C й концентрацією золи у поверхні осадження C_A .

Тут необхідно розглядати два граничних випадки в русі часток у потоці.

1. Коли потік газів рухається турбулентно, частки досить малі (менше 30 мкм) й активно беруть участь у турбулентних пульсаціях потоку, то з достатнім припущенням можна прийняти, що концентрація часток біля поверхні мало відрізняється від середньої концентрації у перетині золотловлювача, який розглядається, тобто $C = C_A$.

Тоді рівняння (6.28) набуває вигляду

$$\frac{dC}{C} = -d\Pi \quad (6.29)$$

і його можна проінтегрувати:

$$\int_{C_{вх}}^{C_{вих}} \frac{dC}{C} = -\int_0^{\Pi} d\Pi. \quad (6.30)$$

Остаточний вираз для коефіцієнта проскакування набуває вигляду

$$\varepsilon = \frac{C_{вих}}{C_{вх}} = \exp(-\Pi). \quad (6.31)$$

2. Другим граничним випадком є випадок, коли частки не пульсують у потоці й кожна частка рухається відповідними лініями течії (за відсутності осаджувальних сил). Це має місце, коли потік рухається ламінарно або частки настільки крупні, що практично не беруть участі в пульсаціях потоку, хоча останній рухається турбулентно. Ламінарний потік зустрічається в умовах ТЕС рідко. Другий має місце при відносно крупних частках золи (більше 30 мкм), які мало беруть участь у турбулентних пульсаціях потоку внаслідок більшої інерції.

Для випадку часток, які не пульсують, можна прийняти, що концентрація часток біля поверхні не змінюється й залишається

рівною середній концентрації у вхідному перетині золовловлювача, тобто $C_A = C_{ex}$.

При цьому диференціальне рівняння (6.28) набуде вигляду

$$\frac{dC}{C_{ex}} = -d\Pi, \quad (6.32)$$

а після інтегрування

$$\varepsilon = 1 - \Pi, \eta = \Pi. \quad (6.33)$$

На рис. 6.2 наведені криві змінення ступеня вловлювання при підвищенні параметра золовловлювання Π .

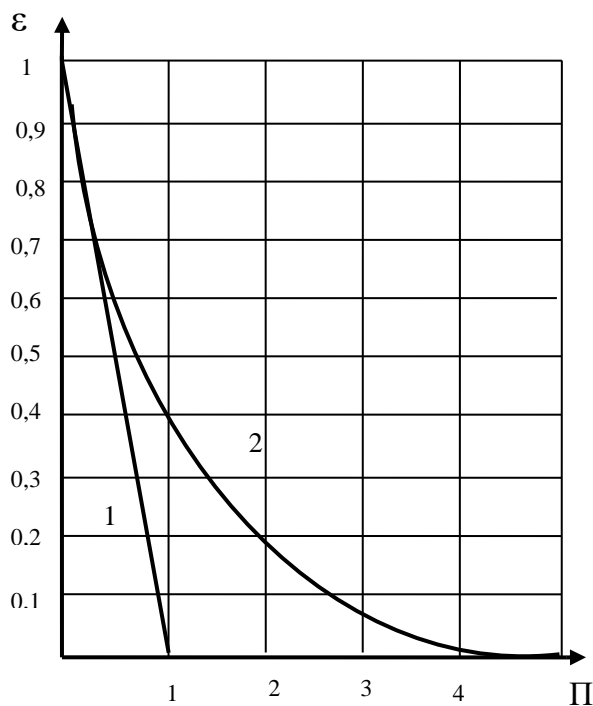


Рис. 6.2. Змінення ступеня проскакування при підвищенні параметра золовловлювання:

- 1 – для часток, які не беруть участі у пульсаціях (>30 мкм);
- 2 – для малих часток (<10 мкм)

З рис. 6.2 видно, що за відсутності пульсацій уловлювання відбувається більш інтенсивно й повністю закінчується при $\Pi=1$. У випадку турбулентних пульсацій часток вловлювання відбувається менш інтенсивно й повне вловлювання має місце при $\Pi=\infty$.

У всіх випадках ступінь золовловлювання підвищується зі збільшенням параметра золовловлювання Π . Як видно з виразу (6.27), параметр золовловлювання підвищується зі збільшенням швидкості дрейфу, поверхні осадження й зменшується з підвищенням витрати газу, який очищується.

Параметр золовловлювання можна подати у вигляді двох безрозмірних параметрів:

$$\Pi = K \cdot \Phi, \quad (6.34)$$

де Φ – геометричний параметр (параметр форми) золовловлювача, який показує відношення поверхні осадження до поперечного перетину для проходження газів,

$$\Phi = \frac{A}{f} = \frac{A \cdot \omega}{V_c}, \quad (6.35)$$

де ω – швидкість газу в перетині золовловлювача, м/с;

K – кінематичний параметр, який є відношенням швидкості дрейфу часток золи на поверхню осадження до середньої швидкості потоку газів у золовловлювачі:

$$K = \frac{v}{\omega}. \quad (6.36)$$

Ступінь вловлювання тим вище, чим більше добуток цих параметрів. Коли параметр форми залежить тільки від форми й геометричних відношень у самому золовловлювачі, то кінематичний параметр визначається характером сил, які діють на частки, розмірами часток, фізичними властивостями часток й газового потоку та аеродинамічними характеристиками потоку.

Наведені загальні відношення для ступеня вловлювання в золовловлювачах виведені за умов деяких обмежень:

- кожна частка золи, яка досягла поверхні осадження, не може повернутися назад у потік, тобто відсутнє вторинне винесення;
- усі частки мають однакову швидкість осадження (дрейфу);
- розподіл швидкостей газу перетином потоку виявляється рівномірним.

Частки, які вловлюються, мають різні розміри й частки кожного розміру мають свою швидкість дрейфу. Отже,

розрахунок ступеня вловлювання ведуть для кожної фракції окремо. Загальне проскакування золи визначається за формулою

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \frac{\Phi_i}{100}, \quad (6.37)$$

де n – кількість фракцій;

ε_i – коефіцієнт фракційного проскакування.

При послідовно встановлених ступенях золовловлювання коефіцієнт ε кожної фракції визначається як

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i1} \cdot \varepsilon_{i2} \cdot \varepsilon_{i3} \dots, \quad (6.38)$$

де $\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, \varepsilon_{i3} \dots$ - проскакування деякої фракції через перший та наступні ступені золовловлювача.

6.4. Способи очищення продуктів згоряння від твердих часток

Усі котли на твердому паливі, які встановлені на теплових електростанціях, забезпечені пристроями для вловлювання золи з продуктів згоряння. Залежно від виду палива, потужності котла, способу спалювання палива у котлах уловлювання золи промислових котелень й ТЕС здійснюється різноманітними золовловлювачами. Вони класифікуються насамперед за способом очищення на механічні й електричні.

Механічні способи поділяють на сухі й мокрі. Сухі способи очищення здійснюються гравітаційними й відцентровими апаратами, а також фільтрами. Мокрий спосіб очищення здійснюється різноманітним обладнанням, серед якого найчастіше застосовують відцентрові скрубери, швидкісні й пінні газопромивники, масляні фільтри, а також спеціальні апарати.

6.4.1. Апарати сухого очищення газів

Відцентрові апарати

До апаратів сухого очищення, які отримали найбільшого поширення для очищення димових й технологічних газів, належать відцентрові апарати: циклони, прямотокові циклони, батарейні циклони й жалюзійні золовловлювачі.

Їх перевага в простоті конструкції, високій надійності. Крім того, вони забезпечують можливість виділення з газів пилу й золи у сухому вигляді.

Циклонні золовловлювачі використовуються головним чином у котельних промислових підприємствах, комунально-побутових котельних й установках теплоенергетики, особливо при шаровому спалюванні палива. Крім того, вони використовуються у якості першого ступеня золовловлювання для парових котлів середньої й також більшої потужності.

Залежно від вимог до ступеня очищення газів, властивостей й дисперсного складу часток, які зважені в газі, апарати сухого інерційного очищення газів можуть мати самостійне значення або використовуватися одним зі ступенів очищення в сукупності з іншими газоочисними спорудами.

В апаратах відцентрового типу для відділення золи або пилу використовується відцентрова сила, яка виникає внаслідок обертання газу в корпусі циліндричної, циліндрично-конічної й конічної форми.

За схемою руху газу циклонні апарати можна поділити:

- на протитокові, у яких газ змінює свій напрямок на 180° ;
- прямотокові, які зберігають напрямок руху.

На рис. 6.3 зображена схема протитокового циклона.

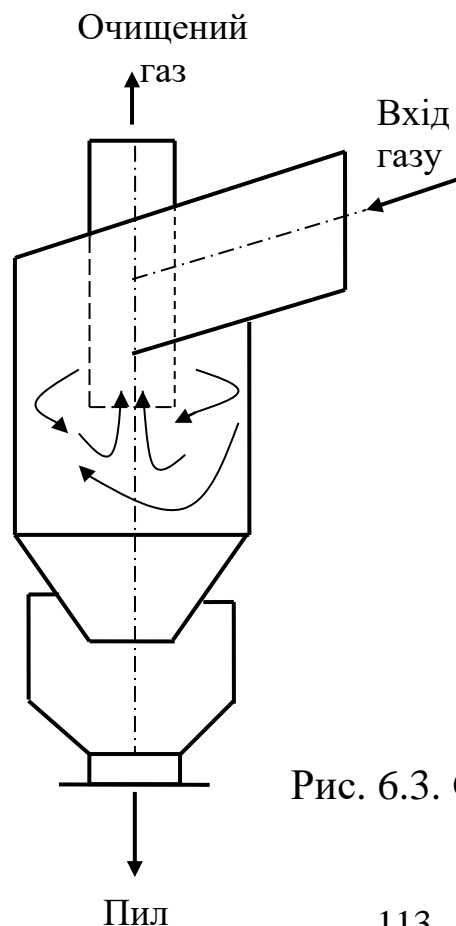


Рис. 6.3. Схема протитокового циклона

У свою чергу обидва типи циклонних апаратів залежно від способу підведення газу й конструктивного оформлення пристрою, який закручує потік газу, можна розбити на циклони з боковими патрубками введення газу й аксіальні циклони, в яких газ вводиться вдовж осі, а для закручування потоку використовується лопатевий завихрювач (рис. 6.5).

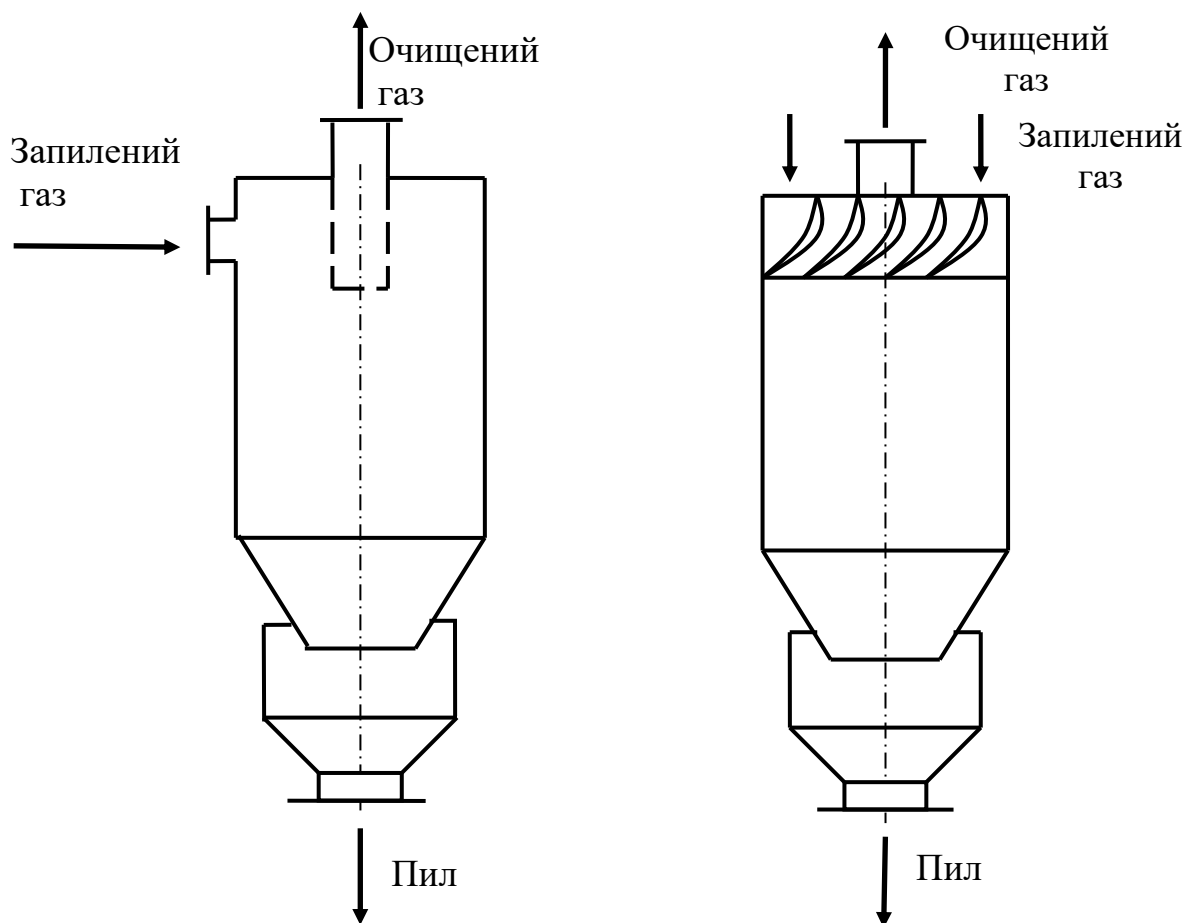


Рис. 6.4. Схеми циклонів з боковим підведенням газу й аксіальних

Циклони складаються (рис. 6.5) з циліндричної частини корпусу 1 діаметром D й конічної частини корпусу 2. Для підведення газу циклон має вхідний патрубок 3, який розташований тангенціально під кутом α . Вихідний патрубок 4 діаметром d розташований аксіально відносно корпусу. Газ, який надходить у циклон, рухається тангенціально у каналі, що складається з внутрішньої циліндричної поверхні корпусу та циліндричної поверхні вихідного патрубка, де під дією відцентрових сил відбувається відділення золи. Очищений газ

видаляється через циліндр вихідного патрубку вгору, а осівши на внутрішній поверхні циліндричного корпусу, зола осипається під дією ваги в конічну частину корпусу і далі в загальний бункер.

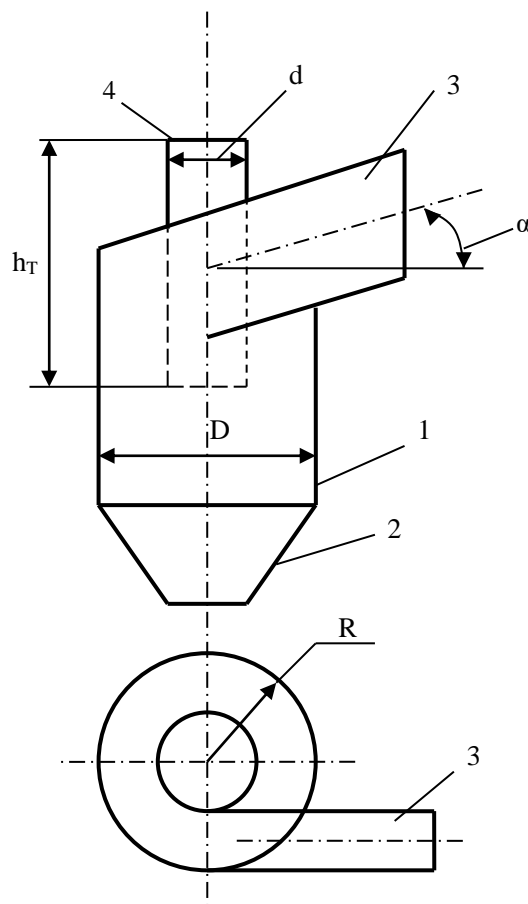


Рис. 6.5. Схема відцентрового циклона:

1 – циліндрична частина корпусу; 2 – конічна частина корпусу; 3 – вхідний патрубок; 4 – вихідний патрубок

Величину відцентрової сили F , що діє на частку діаметром $d_{\text{ч}}$, м, яка рухається по радіусу циклона R , м, при швидкості потоку газів на вході ω_0 , м/с, можна визначити за формулою

$$F = \rho_{\text{ч}} \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ч}}^3}{6} \cdot \frac{\omega_0^2}{R}, \quad (6.39)$$

де $\rho_{\text{ч}}$ – густина часток, кг/м³;

ω_0 – швидкість руху часток у вхідному патрубку, м/с.

Руху часток до поверхні осадження перешкоджає сила лобового опору F_c , яка для часток у діапазоні діаметрів від 2 до 50 мкм визначається за законом Стокса:

$$F_c = 3\pi \cdot \mu \cdot d_q \cdot v, \quad (6.40)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості газу, Па·с;

v – швидкість дрейфу часток до поверхні осадження, м/с.

Прирівнявши обидва вирази, визначаємо швидкість дрейфу:

$$v = \frac{\tau_p \cdot \omega_0^2}{R}, \quad (6.41)$$

де τ_p – час релаксації, тобто час розгону часток від нульового до заданого значення швидкості (швидкості дрейфу) при постійному прискоренні. Значення часу релаксації визначається розміром часток і фізичними властивостями часток й середовища.

Параметр золотловлювання Π для процесу вловлювання в циклоні визначається таким чином:

- кінематичний параметр:

$$K = \frac{v}{\omega} = \frac{\tau_p \cdot \omega_0}{R}; \quad (6.42)$$

- параметр форми:

$$\Phi = \frac{A}{f} = \frac{2\pi n}{1 - D_0}, \quad (6.43)$$

де $\overline{D_0} = \frac{d}{D}$.

Тоді

$$\Pi = K \cdot \Phi = \frac{\tau_p \cdot \omega_0}{R} \cdot \frac{2\pi \cdot n}{1 - D_0}, \quad (6.44)$$

тобто ступінь вловлювання підвищується зі збільшенням часу релаксації, швидкості газів й зменшенням радіуса циклона.

Друга частина рівняння визначає вплив форми циклона на ефективність уловлювання, тобто відносним діаметром, глибиною занурювання вихідної труби й кутом вставлення патрубку, який підводить газ до циклона.

Рівняння (6.44) дозволяє оцінювати лише характер впливу основних величин на параметр золовловлювання, практично же розрахунок ведеться за емпіричною формулою

$$P_i = 0,5 \sqrt{\frac{\omega_0}{4,5}} \cdot \sqrt[3]{d_i^2}, \quad (6.45)$$

де d_i – середній діаметр фракції;

ω_0 – дійсна швидкість газу.

Серед різноманітних типів циклонів найчастіше використовуються такі [20]:

1. Циклони типу ЦН – розробка НПОГАЗ, з яких найбільш економічними є апарати ЦН-15 з кутом нахилу вхідного патрубка 15° . Ці апарати мають загальне промислове призначення й оптимальне співвідношення між ефективністю уловлювання й гідравлічним опором.

При обмежених габаритних розмірах по висоті можна використовувати апарат типу ЦН-15у. Однак необхідно мати на увазі, що цей апарат, який має приблизно однаковий з ЦН-15 гідравлічний опір, забезпечує дещо меншу ефективність золовловлювання.

Для вловлювання золи, яка складається з крупних часток, а також при великих концентраціях золи або пилу, у якості першого ступеня очищення можна застосовувати апарат типу ЦН-24 з кутом нахилу вхідного патрубка 24° . В апаратів цього типу коефіцієнт гідравлічного опору значно менше, ніж в апаратів ЦН-15, але значно менше й ефективність золовловлювання.

За необхідності забезпечення підвищеного ступеня очищення можна встановити апарати типу ЦН-11 з кутом нахилу вхідного патрубка 11° , але вони мають більший коефіцієнт гідравлічного опору.

2. Циклони типу Ц – розробка ЦКТІ (центрального котлотурбінного інституту) спеціально для очищення димових газів котлів паропродуктивністю від 2,5 до 20 т/год. Вони мають той самий гідравлічний опір, ефективність й металоємність, що й циклони ЦН-15, й виконуються з завитковим відведенням газів. Відношення діаметра вихідної труби до діаметра циліндричної частини циклона становить 0,34.

Циклони типів ЦН й Ц можуть встановлюватися одиночно або у групах.

3. Конічні циклони зі спіральними підведенням газу СК-ЦН-34 – розробка НПОГАЗу. Вперше були розроблені для очищення газів від сажі, яку важко уловити. Завдяки вдалій конструкції цей апарат почав широко застосовуватися у багатьох галузях промислової теплоенергетики.

Підхід газу в циклони виконується по спіралі Архімеда. Для них характерні значно більші габарити при однаковій продуктивності порівняно з роботою інших циклонів, тому не використовуються у груповому виконанні.

При використанні на установках каталітичного крекінгу нафтопродуктів були розроблені модернізовані циклони типу СК-ЦН-34М. Вони також використовуються для вловлювання пилу, який має більш високі абразивні властивості часток при їх високому злипанні.

4. Циклони ЦМ-27 розроблені інститутом Гіпрогазоочищення й можуть бути використані в малих котельних й установках промислової теплоенергетики, які працюють на природній тязі димової труби. Гідравлічний опір й ефективність циклона ЦМ-27 суттєво нижчі, ніж у циклонів такого самого типу, які розглянуті вище.

Прямотокові циклони

Значна частка втрат на гідравлічний тиск у звичайних циклонах пов'язана з характерною для них зміною напрямлення руху закрученого потоку газів на 180°. Спроба знизити гідравлічний тиск циклонних золловлювачів призвела до розроблення прямотокових циклонів.

Ці циклони більшого діаметра знаходять використання у якості першого ступеня при вловлюванні високоабразивної золи за потужними енергетичними котлами. Як правило, прямотокові циклони не витримують порівняння зі звичайними циклонами за техніко-економічними показниками через меншу ефективність вловлювання. Проте у ряді спеціальних випадків їх використання оправдано. На прямотокових циклонах великого діаметра зручно наносити футерівку й вони мають малий гідравлічний тиск. Тому їх використовують у якості протизносних золловлювачів для

виділення крупних часток, які викликають найбільший знос, та високоабразивної золи. Для ряду систем зололовлювання у якості першого ступеня рекомендують вертикальні футеровані прямотокові циклони. Футерівка виконується з термокислототривкої керамічної плитки типу ТК.

Орієнтоване значення швидкості газового потоку у прямотоковому циклоні, при якому коефіцієнт очищення досягає значення, близького до максимального, становить 8 м/с.

Батарейні циклони

Для підвищення ефективності використовують батарейні циклони (рис. 6.6), які застосовують для очищення димових газів від всіх видів палива й для очищення технологічних газів установок промислової теплотехніки. У якості самостійних зололовлювачів використовуються головним чином для котлів середньої й малої потужності.

Батарейний циклон являє собою апарат, який складається з великої кількості паралельно включених циклонних елементів, з'єднаних в одному корпусі й що мають загальне підведення та відведення газів, а також збірний бункер.

Газ, який очищається, поступає через вхідний патрубок 1 (рис. 6.6) у розподільну камеру 2, звідки він входить у кільцеві зазори між корпусами елементів 3 й вихлопними трубами 4. У цих зазорах встановлюються напрямні апарати 5, які закручують потік газу таким чином, що відцентровий ефект, який створюється, призводить до відкидання часток золи до стінок корпусів елементів й вона зсипається через золовідвідний отвір 6 у загальному бункері 7. Очищений газ через вихлопні труби поступає у камеру очищеного газу 8. Для кріплення корпусів елементів й вихлопних труб служать відповідно нижня й верхня 9 опорні решітки. Апарат монтується на опорному поясі 10.

При техніко-економічному порівнянні батарейних циклонів з групами звичайних циклонів слід враховувати наступне: ступінь очищення газів у батарейних циклонах нижче того, який може бути досягнутий в еквівалентних групових циклонах, але групові циклони займають більшу площу, ніж батарейні такої самої продуктивності.

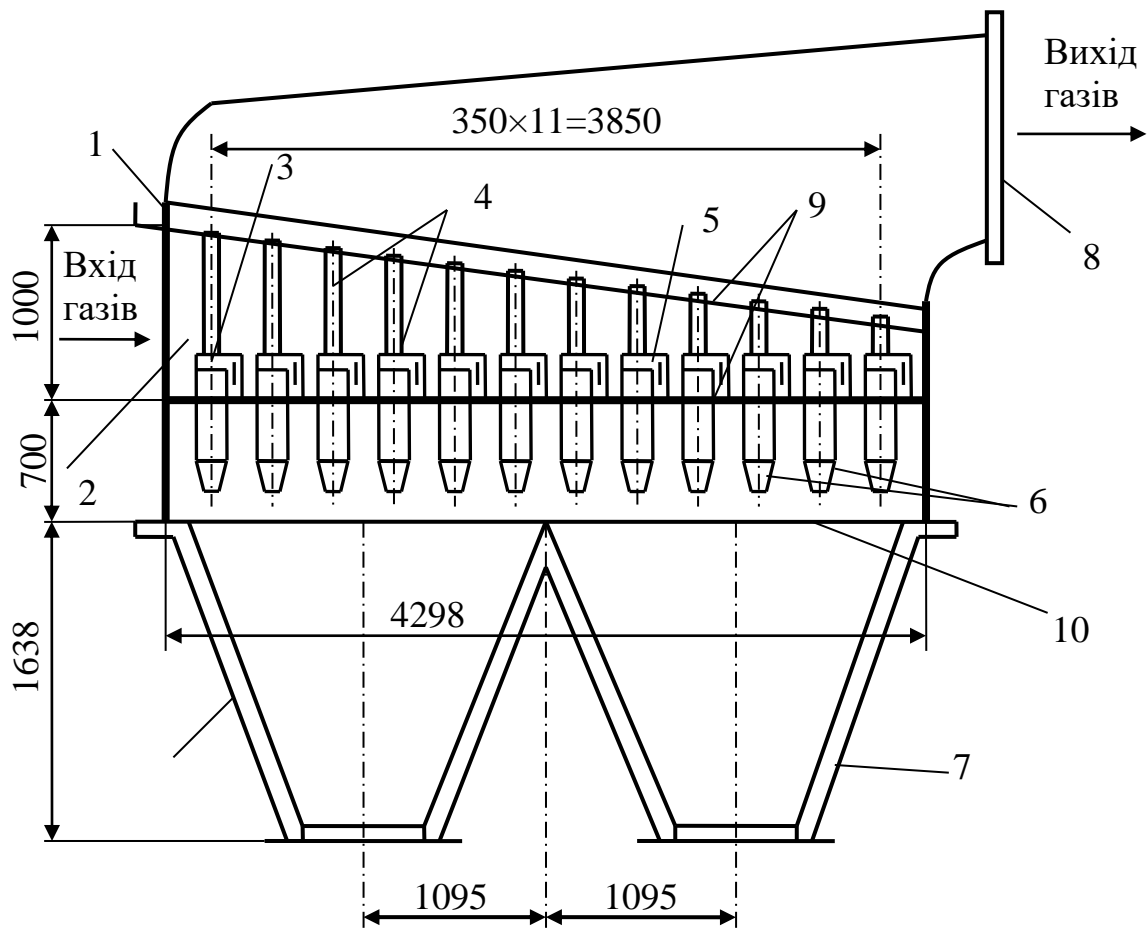


Рис. 6.6. Схема батарейного циклона:

1 – вхідний патрубок для запиленого газу; 2 – розподільна камера; 3 – циклонний елемент; 4 – вихлопні труби; 5 – напрямні апарати; 6 – золівідвідний отвір; 7 – загальний бункер для золи; 8 – вихідний патрубок очищеного газу; 9 – нижня і верхня опорні решітки; 10 – опорний пояс

Доцільність застосування батарейних циклонів обумовлена тим, що за великої кількості газів, які підлягають очищенню, або при стиснутих умовах компоновання звичайних циклонів виникають труднощі.

Елемент батарейного циклона (рис. 6.7) складається з корпусу, вихлопної труби й напрямного апарата. Характер руху газового потоку й процес відділення золи в таких елементах не відрізняється від звичайних циклонів.

Для закручення газів у циклонних елементах застосовують або напрямні апарати типу «Гвинт» з двома гвинтовими лопатками, які нахилені під кутом 25° , або типу «Розетка» з вісьмома лопатками, які нахилені під кутом $25-30^\circ$.

Найбільш поширені циклонні елементи діаметром 100, 150, 250 мм. Досвід експлуатації батарейних циклонів різного діаметра показує, що апарати, які складені з великої кількості циклонів малого діаметра, працюють недостатньо надійно й ефективно.

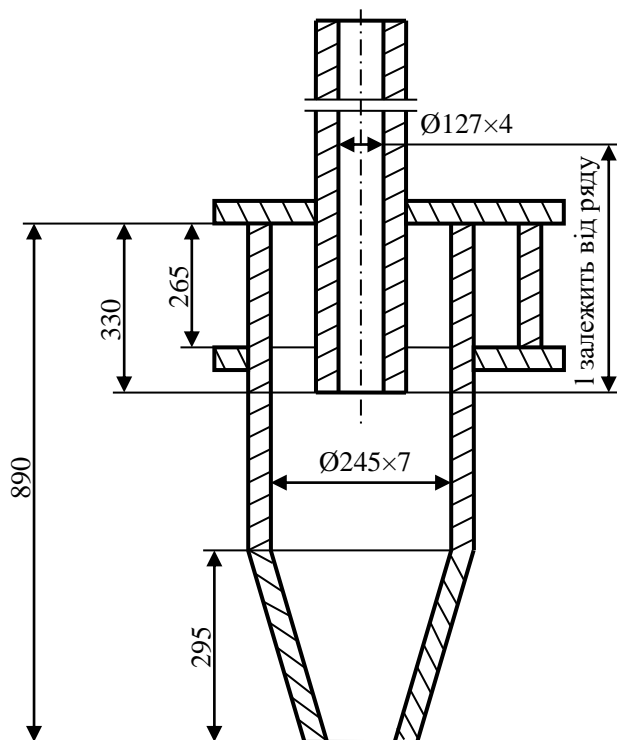


Рис. 6.7. Елемент батарейного циклона

Найбільшого поширення знайшли батарейні апарати таких типів:

- апарати з прямокутними корпусами (НПОГАЗу), наприклад ПС-5-25, де ПС – прямокутна секція, 5 – число рядів у глибину, 25 – загальна кількість елементів у секції;

- батарейні циклони ЦКТІ, які залежно від спалюваного палива передбачають три типи виконання батарейних циклонів:

- а) для золи звичайних вугіль – типу БЦ;

- б) для високоабразивної золи – типу БЦА;

- в) для торф'яної золи – типу БЦТ;

- батарейні циклони типу „Енерговугілля” з тангенціальним підведенням газу й внутрішнім діаметром 231 мм.

Приклад даних циклонів: 1x8x9 – односекційний, 8 елементів у секції по глибині, 9 елементів у секції по ширині.

Для вибору типу циклонного елемента, визначення коефіцієнта очищення, який очікується, аеродинамічних розрахунків й проектування батарейних циклонів у цілому необхідні такі дані:

- об'єм газів, які підлягають очищенню;
- запыленість газів на вході в апарат;
- температура газів на вході в апарат;
- дані про дисперсний стан пилу та ступень його злипання;
- максимально допустимий гідравлічний тиск;
- потрібний коефіцієнт очищення.

Вибір типу елемента повинен проводитися не тільки з точки зору отримання максимальної ефективності апарата за ступенем очищення газів, але і з урахуванням забезпечення надійної його роботи. Ефективність очищення газів зі зменшенням діаметра елемента батарейного циклона підвищується, однак практично при елементах малого діаметра не забезпечується підвищення ККД, що відбувається через різні труднощі, які пов'язані з забезпеченням необхідної геометрії, нерівномірного розподілу газів й підвищення шкідливих перетоків газів.

Варіантні розрахунки, які пов'язані з вибором напрямного апарата, числа й діаметра циклонних елементів, зручно проводити за методикою, відповідно до якої число необхідних елементів визначають згідно з оптимальною швидкістю потоку газів в елементі (3,5-4,75 м/с). При підвищенні швидкості потоку коефіцієнт очищення майже не збільшується, однак підвищується небезпека абразивного зносу елементів. При швидкості потоку менше 3,5 м/с суттєво знижується коефіцієнт очищення, а також виникає небезпека забивання елементів золою.

Витрата газу через один елемент визначається за формулою

$$v_2 = \omega \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (6.46)$$

де ω – швидкість газу в елементі, м/с;

D – діаметр елемента, м.

Необхідна кількість циклонних елементів визначається на основі об'ємної витрати газу, який очищається:

$$Z = \frac{V_z}{v_z}, \quad (6.47)$$

де V_z – об’ємна витрата газу, який очищається, м³/с.

Для розрахунку гідравлічного опору батарейних циклонів необхідно визначитися з коефіцієнтом гідравлічного опору ζ , який залежить від типу елемента (табл. 6.1):

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho_c \cdot \omega_c^2}{2}. \quad (6.48)$$

Таблиця 6.1

Коефіцієнт гідравлічного опору основних типів елементів

Тип елемента	ζ
«Розетка», $\alpha=25^\circ$	90
«Розетка», $\alpha=30^\circ$	65
«Розетка», $\alpha=25^\circ$ з безударним входом	65
«Гвинт», $\alpha=25^\circ$	65
Прямотокові циклони	8,5

Загальний коефіцієнт очищення визначається після розрахунку коефіцієнта очищення окремих елементів батарейних циклонів.

Жалюзійні зололовлювачі

Раніше жалюзійні зололовлювачі широко використовувалися завдяки простоті конструкції й малому гідравлічному тиску. Зараз цей апарат знаходить деяке використання для очищення газів від крупних часток з метою захисту хвостових поверхонь нагріву котла від стирання золою та для очищення від золи газів, які утворюються при спалюванні вугілля у невеликих котлах на звичайних колосникових решітках, тобто у випадках, коли установлення більш ефективних зололовлювачів неможливе через відсутність площини.

Жалюзійний зололовлювач складається з основних частин: жалюзійної решітки й відсмоктувального зололовлювача, часто звичайного циклона (рис. 6.8).

Призначення жалюзійної решітки – розподілити газовий потік на дві частини: одну, яка значною мірою звільнена від золи й становить 80-90% усієї кількості газу, й другу, в якій зосереджена основна маса золи, що вміститься у газі й яка потім вловлюється у циклоні.

Газ, який очищений у циклоні, потім повертається в основний потік газів, що очищений за допомогою жалюзійної решітки.

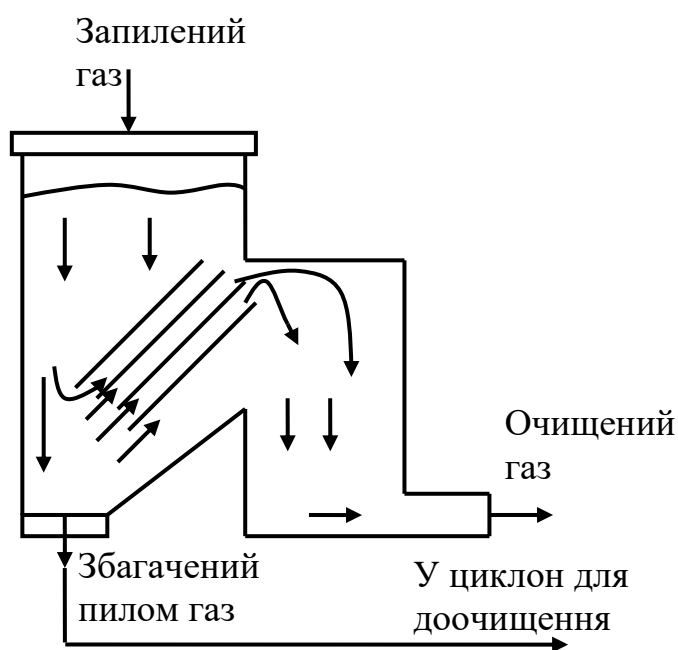


Рис. 6.8. Схема дії жалюзійного золовловлювача

Принцип вловлювання золи заснований на різниці сил інерції твердих часток й газів. Газ проходить між лопатями решіток й тягне за собою лише невелику кількість дрібної фракції золи, а більш крупні вловлюються у циклоні.

Оскільки жалюзійний золовловлювач складається з жалюзійної решітки й відсмоктувального золовловлювача (циклона), ефективність вловлювання часток залежить від ефективності самої решітки, ефективності циклона, який застосовується, й частки відсмоктувального газу. Ступінь очищення газу в жалюзійному золовловлювачі можна визначити відношенням

$$\eta_z = \eta_u \left[1 - (1 - \varphi)(1 - \eta_p) \right], \quad (6.49)$$

де φ – відносна частка газу, яка прямує з пиловим концентратором;

η_u – ступінь очищення газів у відсмоктувальному циклоні;

η_p – ступінь очищення на решітці.

Для практичних розрахунків коефіцієнт очищення газів у жалюзійному золовловлювачі можна приймати $0,8 \eta_p$.

Переваги жалюзійних золовловлювачів – малі габарити, можливість установа в горизонтальних й вертикальних газоходах, невеликий гідравлічний опір.

Недоліки – часта зміна решіток через їх стирання (6-10 місяців). Як показує практика, жалюзійні золовловлювачі не забезпечують помітного вловлювання часток більше 20 мкм.

Пилоосаджувальні камери

У них використовується гравітаційне осадження часток з горизонтально направленою потоку (рис. 6.9). Осадження відбувається в основному під дією сил ваги. Тому перешкоджає сила опору середовища.

На початку осадження, поки малий опір, частки під дією сил ваги починають швидкісний рух. Підвищення швидкості припиняється, коли сили зрівнюються й далі процес відбувається рівномірно з постійною швидкістю. Такий процес називають седиментацією.

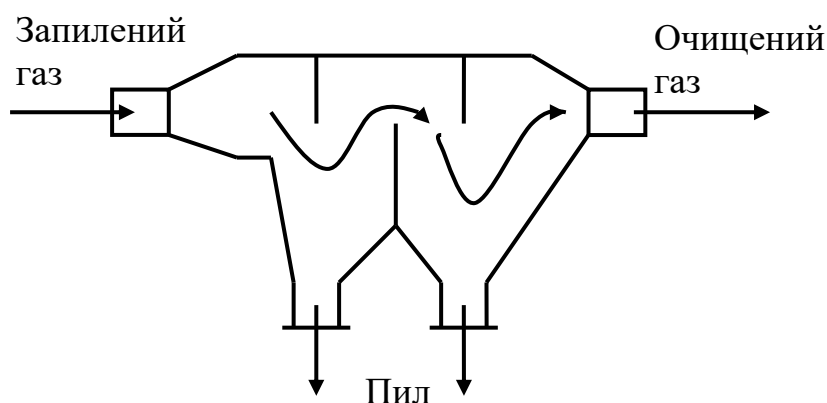


Рис. 6.9. Схема пилоосаджувальної камери

Цю кінцеву сталу швидкість не складно визначити, коли вираз для сили ваги прирівняти до виразу сили Стокса.

$$\frac{1}{6} \pi \cdot d_u^3 \cdot g (\rho_{cp} - \rho_z) = 3\pi \cdot \mu \cdot d_u \cdot \omega_c, \quad (6.50)$$

звідси маємо

$$\omega_c \approx \frac{d_u^2 \cdot \rho_u \cdot g}{18\mu} = g \cdot \tau_p, \quad (6.51)$$

де τ_p – час релаксації, тобто час руху від початкового моменту до моменту руху зі швидкістю ω_c ,

$$\tau_p = \frac{d_u^2 \cdot \rho_u}{18\mu}. \quad (6.52)$$

Звичайно розрахункову швидкість приймають близько 1 м/с. Ефект седиментації тим більший, чим менша швидкість газу в камері. Чим менший час релаксації, тим швидше частка придбає сталу швидкість. Формула застосується для часток розміром до 70 мкм.

У загальному випадку швидкість осадження сферичної частки перетином f у результаті дії зовнішніх сил F можна визначити з виразу

$$\omega = \sqrt{\frac{2F}{\zeta \cdot \rho_u \cdot f}}, \quad (6.53)$$

де ζ – коефіцієнт опору, який залежить від режиму руху.

В основі розрахунку осаджувальних камер лежить принцип, який припускає, що процес осадження часток у рухомому середовищі – це результат складення двох рухів, тому час проходження газу через камеру висотою H , шириною B й довжиною L при об'ємній витраті V_z , м³/с, становить

$$t = \frac{H \cdot B \cdot L}{V_z}. \quad (6.54)$$

За цей час частка, яка осаджується зі швидкістю ω_c , пройде шлях H_c , що дорівнює $\omega_c \cdot t$. Коли $H_c = H$, то частки розміром d_c осядуть у межах камери.

Мінімальний розмір часток, які осядуть у камері завданих розмірів, визначають за формулою

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{18 \cdot V_2 \cdot \mu}{(\rho_{\text{сер}} - \rho_2) \cdot g \cdot B \cdot L}}, \quad (6.55)$$

тобто ефективність осаджувальної камери тим більша, чим менша її висота або більша площа фундаменту при тому самому об'ємі. Для досягнення прийнятної ефективності очищення газів необхідно, щоб частинки знаходилися в пилоосаджувальній камері якомога більше часу. Тому пилоосаджувальні камери, які розраховані для осадження й відносно великих часток, є громіздкими спорудами.

Матеріалом для спорудження камер можуть бути цегла або збірний залізобетон, рідко приймають сталь й дерево (для холодних газів).

Габарити камери, які необхідні для осадження часток, більших за завданий розмір $d_{ч.з.}$, звичайно підбираються за допомогою приблизного відношення

$$L = H \frac{\omega_2}{\omega_{ч.з.}}, \quad (6.56)$$

де ω_2 – швидкість руху газів у камері (звичайно вибирають від 0,2 до 0,8 м/с);

$\omega_{ч.з.}$ – швидкість витання часток з розміром $d_{ч.з.}$ (знаходиться за допомогою діаграм).

Теоретично досягнута ефективність очищення газів у пилоосаджувальній камері буде дорівнювати відносній частці часток з розміром більше за $d_{ч.з.}$, які знайдені за результатами дисперсного аналізу пилу. Однак турбулентність потоку порушує нормальне осадження.

Для камер з відношенням $L/H > 3$ значення парціальних коефіцієнтів очищення можна досить точно визначити після

попередніх розрахунків середньої концентрації часток відповідного розміру у вихідному перетині камери за рівнянням

$$\eta_n = 100 \left[1 - \frac{1}{i} \sum_0^i n \right], \quad (6.57)$$

де i – число точок, для яких розраховується концентрація часток;
 n – відношення концентрації часток даного розміру у лічильній точці вихідного перетину камери до концентрації у вхідному перетині.

Концентрація цих часток у вхідному перетині приймається рівномірно розподіленою по перетину.

Визначення n проводять за рівнянням

$$n = \frac{1}{2} [\Phi(x_1) + \Phi(x_2)]. \quad (6.58)$$

А значення x_1 й x_2 у свою чергу визначають з відношень

$$x_1 = \frac{H + x - \omega_q \cdot L / \omega_2}{\sqrt{2 \cdot D_t \cdot L / \omega_2}}, \quad (6.59)$$

$$x_2 = \frac{H - x + \omega_q \cdot L / \omega_2}{\sqrt{2 \cdot D_t \cdot L / \omega_2}}, \quad (6.60)$$

де Φ – фракційний коефіцієнт очищення;

x – відстань від стелі камери;

D_t – коефіцієнт турбулентної дифузії часток;

ω_q – швидкість витання часток того розміру, для якого знаходять парціальний коефіцієнт очищення.

При виконанні умови $\frac{\omega_q}{\omega_2} \leq \frac{L \cdot g}{\omega_2^2}$, що характерно для більшості випадків, коефіцієнт турбулентної дифузії часток збігається з коефіцієнтом турбулентної дифузії потоку й може визначатися за формулою

$$D_t = 0,02 \cdot \omega_2 \cdot H \cdot \sqrt{\lambda}, \quad (6.61)$$

де λ – коефіцієнт тертя потоку.

Вибір необхідних значень відношення $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ для підстановки у вираз для x_1 й x_2 полегшується, коли попередньо оцінити значення $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ для часток, які вловлюються, з ефективністю 50%,

$$\text{тобто } \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)_{50} \approx 1,5 \frac{H}{L}.$$

Незважаючи на невелику ефективність, простіші апарати – осаджувальні камери – використовують досить широко. У них осаджують великі фракції часток з високою густиною.

До переваг належать: низька вартість, простота конструкції, низькі втрати тиску по тракту. Основний недолік – великі розміри.

6.4.2. Очищення газів у мокрих пиловловлювачах

Визначною особливістю мокрих пиловловлювачів є захоплення часток, які вловлюються, рідиною, що уносить їх з апаратів у вигляді шламу.

Процесу вловлювання золи сприяє конденсаційний ефект, який проявляється у попередньому збільшенні часток за рахунок конденсації на них водяної пари. Конденсаційний ефект заснований на тому, що тверді частки звичайно мають нерівну пористу поверхню, внаслідок чого при тиску, нижчому за тиск насиченої пари, при даній температурі може відбуватися капілярна конденсація.

Ефект вловлювання золи при слабкому виявленому ефекті конденсаційного укрупнення майже повністю залежить від втрати напору й практично не залежить від розміру, типу або геометрії скрубера.

Найбільш ефективні газоочисні апарати, особливо апарати мокрого очищення, не можуть функціонувати, оскільки суттєво знижують ефективність при температурах вище 200-300 °С. Тому технологічні гази, які підлягають очищенню, доводиться попередньо охолоджувати. Крім того, вартість очищення визначається не кількістю пилу, від якого необхідно очистити, а

кількістю самого газу. Попереднє охолодження газів дозволяє також знизити й вартість очищення.

Існують декілька методів охолодження газів:

- за рахунок підсмоктування холодного атмосферного повітря;

- у поверхневих теплообмінниках;

- у порожнистих охолоджувальних скруберах.

За рахунок підсмоктування атмосферного повітря можна добитися значного зниження температури. Однак цей метод неекономічний, бо веде до збільшення об'єму газу, який необхідно очистити, й у ряді випадків до зменшення коефіцієнта очищення у таких апаратах, як швидкісні газопромивники.

Охолодження гарячих газів у поверхневих теплообмінниках частіше за все зводиться до віддачі теплоти крізь стінку в атмосферу. Вони виконуються у вигляді групи вертикально розташованих газоходів. Регулювання віддачі теплоти залежно від температури навколишнього повітря здійснюється за рахунок виключення частини витків газоходів.

Процес охолодження газів у порожністому скрубери заснований на випаровуванні дрібнодисперсної води, яку додають в апарат форсунками, розподіленими таким чином, щоб увесь поперечний переріз був перекритий факелом дисперсної води.

Основними типами мокрих зололовлювачів є:

- зололовлювачі зі змоченою поверхнею;

- пінні газоочисники;

- газопромивники ударно-інерційного типу;

- газопромивники відцентрової дії.

Вони мають ряд переваг: невелику вартість і високу ефективність; можливість очищення часток $d=0,1$ мкм; можливість очищення газу при підвищеній вологості, при небезпеці загоряння й вибухів очищених газів й уловленої пилу; можливість уловлювання пароподібних і газоподібних компонентів.

Серед недоліків необхідно визначити уловлювання пилу у вигляді шламу, яке пов'язане з очищенням стічних вод та їх утриманням; можливість віднесення краплин рідини й осадження їх з пилом у газоходах і димососах; при очищенні агресивних газів необхідність захисту апаратури й комунікацій від корозії.

Як зрошувальна рідина найчастіше використовується вода.

Золовловлювачі зі змоченою поверхнею

Найпростішим типом золовловлювача зі змоченою поверхнею є відцентровий скруббер. Відміна його роботи від сухого інерційного циклона полягає в тому, що за наявності на стінці плівки води, яка відсепарована, за рахунок відцентрових сил зола краще відводиться зі скруббера в бункер, при цьому зменшується вторинне захоплення зольних часток зі стінок газовим потоком [16, 23].

Скруббер ЦС-ВТІ (рис. 6.10,а) складається зі зварного вертикального циліндра з товщиною стінок 5-6 мм з конічним днищем, вхідного патрубку, зрошувальної системи і гідравлічного затвора для видалення уловленої золи. Вхідний патрубок приварюється тангенціально і має уклін до корпусу 10°. Внутрішні поверхні корпусу і конічного днища футеруються кислототривкою і зносостійкою плиткою з керамічного матеріалу. Внутрішня поверхня корпусу апарата неперервно зрошується з сопел, встановлених по колу на відстані 500 мм один від одного. Струмені води з сопел спрямовані у бік обертання газів до внутрішньої футерованої поверхні корпусу. Діаметр апарата визначають за швидкістю димових газів у вільному перетині скруббера (4-5 м/с). Висота зрошеної частини від сопел до осі вхідного патрубка повинна бути 3-4 діаметри скруббера.

Витрата води на зрошення знаходиться зі співвідношення, кг/с,

$$G_{жс} = 0,14 \cdot \pi \cdot D, \quad (6.62)$$

де D – внутрішній діаметр апарата, м.

При цьому забезпечується товщина плівки на стінках скруббера не менше 0,3 мкм.

Ступінь вловлювання у простіших скрубберах 0,82-0,9 при гідравлічному опорі 300-400 Па для діаметрів 0,6-1,7 м.

Максимальна швидкість газів не може перевищувати 6 м/с. Тиск води, яка подається для зрошування, – 0,2 МПа. Температура газів після очищення зменшується на 40-60 °С.

Основною конструктивною відмінною мокрих пруткових золовловлювачів від відцентрових скрубберів є наявність у вхідному патрубку пруткової решітки, яка зрошується водою, де й уловлюється основна частина золи.

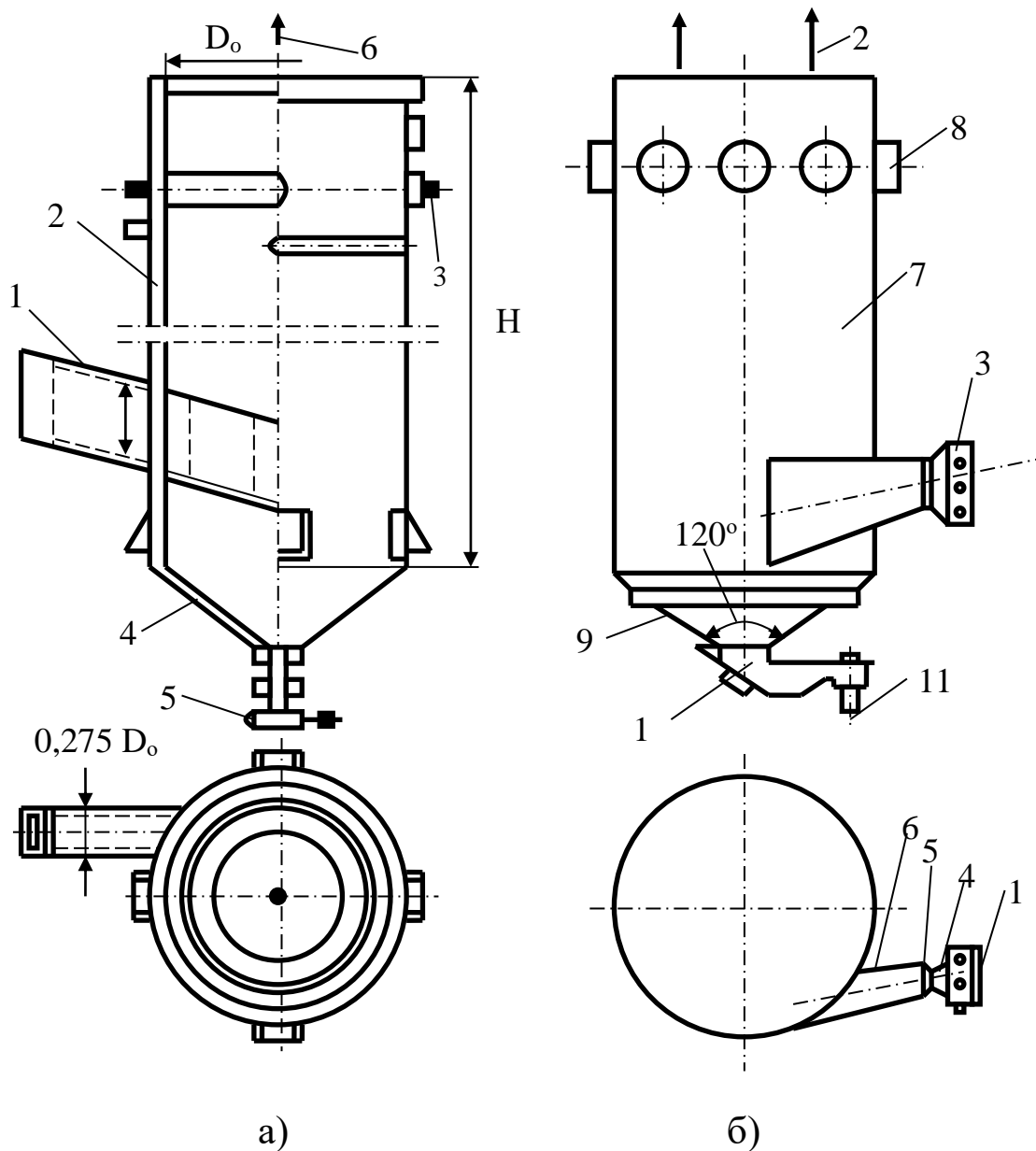


Рис. 6.10. Схеми мокрих золовловлювачів:

- а) відцентровий скруббер: 1 – вхідний патрубок; 2 – корпус скрубера; 3 – підведення зрошувальної води; 4 – бункер; 5 – гідрозатвор; 6 – вихід очищеного газу;
- б) швидкісний золовловлювач з трубою Вентурі: 1 – вхід запиленого газу; 2 – вихід очищеного газу; 3 – подача розпиленої води через форсунки; 4 – конфузор; 5 – горловина; 6 – дифузор; 7 – корпус краплевловлювача; 8 – сопла, які зрошують стінки скрубера; 9 – бункер для золи; 10 – гідрозатвор; 11 – видалення пульпи у канал золовловлювача

На частку скрубера припадає 20-30% усіх уловлених часток. Прутки виготовляються зі сталєних труб з дерев'яними глушниками. Типова пруткова решітка складається із трьох дворядних пучків, розташованих у шаховому порядку. Відстань між пучками по ходу газів становить 120 мм. Поперечний шаг прутків становить 31 мм.

Відстань по осях труб між рядами у дворядних пучках становить 18 мм. Прутки розташовані горизонтально (з ухилом 0,5% до зовнішньої стінки патрубку). Прутова решітка неперервно зрошується водою із форсунок. Відкладена зола у вхідному патрубку видаляється за допомогою змивних сопел періодичного промивання. Промивання проводять один раз за зміну протягом 5 хв.

Витрата води на зрошення решітки і стінок зололовлювача визначається за формулою, кг/с,

$$G = 0,5 \cdot F + 0,14 \cdot \pi \cdot D, \quad (6.63)$$

де F – площа поперечного перетину вхідного патрубку, м^2 .

Ступінь вловлювання золи становить 91-95%, гідравлічний опір – 650-800 Па.

Недоліком зололовлювачів МП-ВТІ є сильне забивання пруткових решіток. Жорсткість води, яка застосовується, не може перевищувати 15 мг-екв/кг.

Для котлоагрегатів продуктивністю 120-640 т/год основним типом мокрих зололовлювачів є швидкісні зололовлювачі з турбулентним коагулятором Вентурі і типу МС-ВТІ (рис. 6.10, б). Вони найбільш ефективні з апаратів мокрого очищення газів. Являють собою трубу-розпилювач, у якій забезпечується інтенсивне дроблення зрошуваної рідини газовим потоком, що рухається зі швидкістю 40-150 м/с.

Як розпилювач використовують трубу Вентурі. У якості крапельловлювача встановлюється циклон.

Труба Вентурі складається з короткого конфузора з кутом розкриття 60° , горловини і довгого дифузора з кутом розкриття 12° .

У конфузори відбувається фільтрування газу, що очищається, через об'ємний дрібнозернистий фільтр із крапельок води. Звідси високий ступінь очищення газу можна порівняти з

очищенням через волокнисті й зернисті фільтри. Відбувається зростання швидкості газів з 20 до 50-70 м/с. За рахунок великої різниці швидкостей газів і крапельок води досягається інтенсивне змочування часток виносу.

У *горловині* відбувається дроблення крапельок води при взаємодії з потоком, який швидко рухається, при цьому градієнт опору падає, виникають умови для вирівнювання швидкостей газу й крапельок води.

У *дифузорі* відбувається зіштовхування часток золи з краплями води і зниження швидкості пилогазового потоку. Більш крупні краплі води поглинають дрібні частки золи, що забезпечує їх найкраще вловлювання у скрубєрі, який виконує роль краплєвловлювача. Відбувається плавне тангенціальне виведення потоку в перетин, який відповідає вхідним швидкостям газу для скрубєра-краплєвловлювача. Стінки скрубєра зрошуються водою, і коагульовані частки легко видаляються в бункер шламу.

Гідравлічний опір золовловлювача становить 700-1150 Па, у тому числі труби Вентурі 350-550 Па. Ступінь вловлювання золи становить 92-98%. Витрата води, яка подається у горловину труби, приймається 0,15-0,2 кг/м³ газів. Золовловлювачі МС-ВТІ не забиваються золою, на відміну від МП-ВТІ.

Основним недоліком мокрих золовловлювачів усіх типів є їх негативний вплив на роботу димососа через відкладення мокрої золи на робочих лопатках. Значні відкладення золи виявляються у зовнішніх газоходах нижньої частини димової труби за рахунок бризковиносу.

Крім того, в мокрих золовловлювачів температура газів, які відходять, знижується і наближається до температури точки роси, що сприяє інтенсифікації корозії обладнання і зменшенню ефективної висоти димової труби. За нормами, які існують, мокрі золовловлювачі дозволяють застосовувати для очищення димових газів при вмісті сірки у спалюваному паливі не більше 1% на 4,2 МДж/кг теплоти згоряння й температурі відхідних газів не вище 200 °С.

Розрахунок і вибір типу золовловлювача з трубою Вентурі ведуть у такому порядку:

1. Необхідний перетин усіх краплєвловлювачів визначають з виразу, м²,

$$f = \frac{V_2}{U}, \quad (6.64)$$

де U – швидкість газів, яка віднесена до поперечного перетину краплевловлювача. Рекомендують прийняти 5 м/с;

V_2 – кількість газів, які очищуються, при номінальному навантаженні, м³/с.

2. За табл. 6.2 визначають типорозмір золовловлювача і їх кількість на котел.

$$z = \frac{f}{f_{\text{кран}}}, \quad (6.65)$$

де $f_{\text{кран}}$ – перетин краплевловлювача, м².

Таблиця 6.2

Типорозміри золовловлювачів МС-ВТІ

Краплевловлювач				Горловина труби Вентурі	
Діаметр, м	Висота, м	Активний перетин, м ²	Активний перетин вхідного патрубка, м ²	Розміри, м	Перетин, м ²
2,8	9,66	5,72	1,37	0,39x1,17	0,455
3,0	10,32	6,60	1,67	0,43x1,23	0,530
3,2	10,98	7,54	1,95	0,46x1,40	0,644
3,6	12,20	9,62	2,41	0,45x1,80	0,810
4,0	13,61	11,93	3,00	0,50x2,00	1,00
4,5	15,25	15,20	3,88	0,57x2,28	1,30

3. Залежно від прийнятого ступеня проскакування визначають параметр золовловлювання й вибирають питому витрату зрошувальної води Q_6 і швидкість води у горловині Вентурі u_2 таким чином, щоб дотримуватися рівняння

$$\Pi = \sqrt{Q_6 \cdot u_2}. \quad (6.66)$$

4. Визначають перетин горловини труби Вентурі за виразом

$$\omega_2 = \frac{V_2}{z \cdot u_2}. \quad (6.67)$$

За табл. 6.2 підбирають перетин горловини й коректують відповідно дійсну швидкість газів.

За виразом (6.66) коректують дійсні величини Π і ε .

5. Загальний гідравлічний опір коагулятора Вентурі й краплєвловлювача розраховують за формулою, Па,

$$\Delta p = (0,25 + 0,01 \cdot Q_{жс} \cdot u_2) \rho \frac{u_2^2}{2} + 2,7 \rho \frac{u_{ex}^2}{2}, \quad (6.68)$$

де ρ – густина газів перед золовловлювачем, кг/м³;

u_{ex} – швидкість газу при вході в краплєвловлювач, м/с,

$$u_{ex} = \frac{V_2}{z \cdot \omega_2}. \quad (6.69)$$

Не рекомендують застосовувати мокрі золовловлювачі для палив, які містять у складі більше 15-20% СаО. Приведена сірчаність палива повинна бути менше 0,3%/МДж. Жорсткість зрошуваної води не повинна перевищувати 15 мг-екв/дм³ [16].

Пінні пиловловлювачі (газопромивники)

Пінний засіб обробки газів знаходить широке застосування у зв'язку зі своєю простотою й ефективністю. Пінні апарати показали високу ефективність в установках промислової теплоенергетики, теплообміну, абсорбції, ректифікації та ін.

За принципом роботи пінний апарат нагадує звичайний барботер з решітками або дірчатими тарілками, але газ проходить через шар рідини на тарілці зі швидкістю, яка перевищує швидкість вільного спливу бульбашок, утворює при цьому стійкий шар рухомої високотурбулентної газорідкої піни.

Пінного режиму можна досягнути тільки за оптимальної кількості отворів у тарілці та швидкості газів у повному перетині апарата.

Пінні вловлювачі розроблені як з вільним зливом (провальні), так і з підпором піни за допомогою зливальної перегородки (тарілки).

Механізм піноутворення і висота пінного шару за однакової висоти вихідного шару води та інших рівних умов не залежить від способу відведення води з решіток. Але для створення однакового вихідного шару води апарати з переливним пристроєм потребують її у 3-4 рази менше порівняно з апаратами з повним провалюванням води через решітку.

Конструкція і режим роботи пінних апаратів повинні бути такими, щоб вода і газ максимально рівномірно розподілялися по усій площі решітки.

За конструкцією пінні апарати можуть бути прямокутними або круглими. Прямокутні забезпечують більш рівномірний розподіл рідини, а круглі – більш рівномірний газорозподіл і зменшену витрату металу.

Золовловлювачі з провальною тарілкою (рис. 6.11,а) мають такі основні конструктивні та режимні параметри: діаметр отвору решітки $d_{отв}=4-8$ мм, площа вільного перетину $F_{вил}=0,2-0,3$ м²/м², стійкий пінний режим – при швидкості газів – 1 м/с.

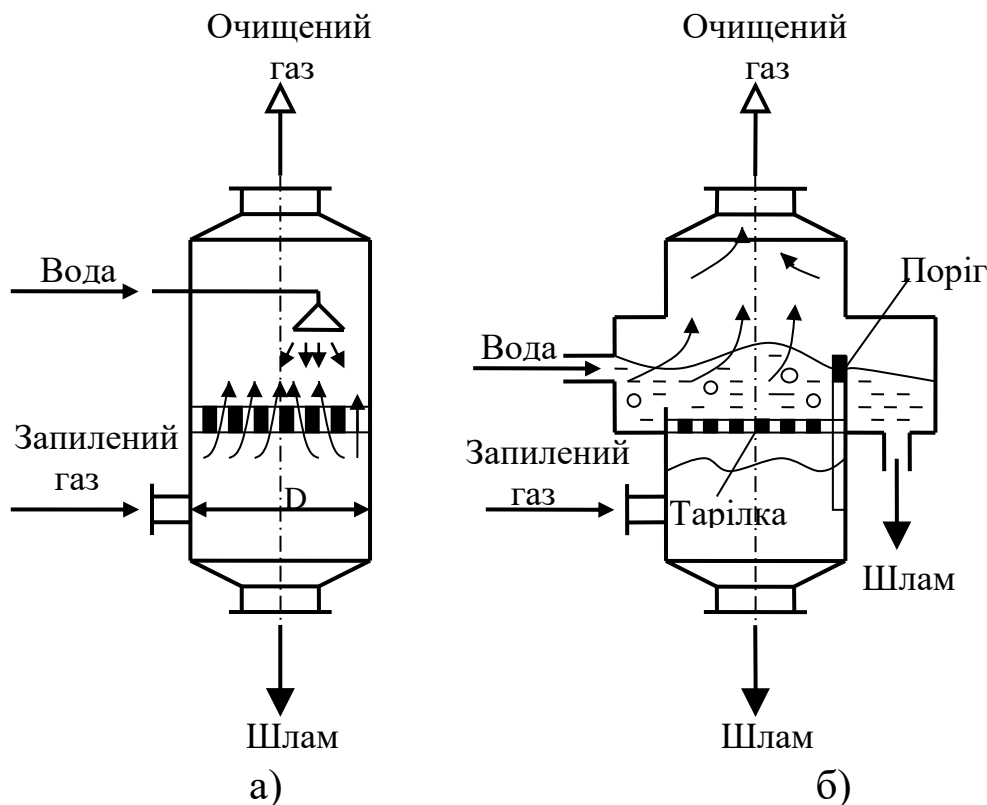


Рис. 6.11. Схеми пінних золовловлювачів:
 а) з провальною тарілкою; б) з переливною тарілкою

Золовловлювачі з переливною тарілкою (рис. 6.11,б) мають такі основні конструктивні параметри: $d_{отв}=3-8$ мм, $F_{вил}= 0,15-0,25$ м²/м², $D=0,15-2,5$ м.

Пінні апарати найбільш ефективно працюють при очищенні газів температурою не вище 100 °С і запиленості не вище 200-300 г/м³. При цьому питома витрата води в апаратах з переливними пристроями складає 0,2-0,3 дм³/м³, в апаратах з повним проваленням води через решітку – 0,8-0,9 дм³/м³.

Газопромивники ударно-інерційного типу і відцентрової дії

У газопромивників ударно-інерційного типу контакт газу з рідиною здійснюється за рахунок удару газового потоку об поверхню рідини (рис. 6.12,а). Краплі мають розміри 300-400 мкм.

У газопромивниках відцентрової дії з бічним тангенціальним або завитковим підведенням газу (рис. 6.12,б) тангенціальне підведення води створює на внутрішній поверхні стінки плівку води. Використовують для очищення будь-яких видів пилу, що не цементується. При вмісті пилу більше 2 г/м³ для очищення в циклоні з водяною плівкою рекомендується попереднє очищення газів в апаратах іншого типу.

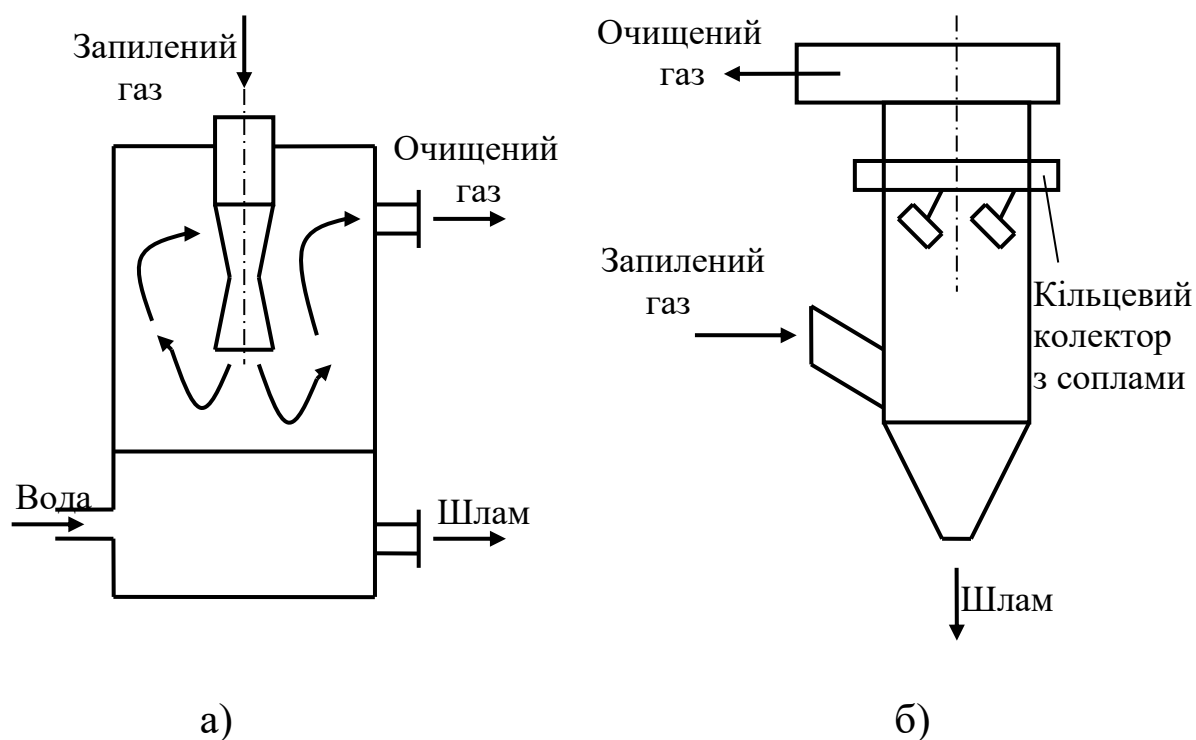


Рис. 6.12. Схеми газопромивників:
а) ударно-інерційного типу; б) відцентрової дії

6.4.3. Електричне очищення димових газів

Найбільш перспективними з золотловлювання для великих ТЕС є електрофільтри. Вони мають найбільший ступінь очищення – 0,99-0,995 при гідравлічному опорі 150 Па без зволоження димових газів. Установка складається з власного електрофільтра й агрегатів живлення. Специфічні особливості технологічних процесів у різних галузях промисловості призвели до створення електрофільтрів різноманітних конструкцій [16, 23].

Власне електрофільтр складається з металевого або залізобетонного корпусу з осаджувальними та коронуючими електродами, які розташовані усередині. На вході встановлюються газорозподільні пристрої, які забезпечують рівномірний розподіл газів у активній зоні апарата.

Процес електричного очищення газів проходить у такому порядку. Газ, який підлягає очищенню, надходить в електрофільтр, де рухається у каналах, які створені осаджувальними електродами, а між ними розташовані через визначену відстань коронуючі електроди. Осаджувальні електроди приєднані до позитивного полюса випрямляча і заземлюються, а коронуючі ізолюються від землі і приєднуються до негативного полюса випрямляча. При подачі на електроди струму високої напруги в просторі між електродами виникає електричне поле, напруженість якого можливо змінювати шляхом регулювання напруги. При підвищенні напруги до визначеної величини у просторі між електродами виникає коронний розряд. У зоні корони відбувається ударна іонізація газів з утворенням великої кількості іонів. Позитивні іони швидко досягають коронуючого електрода, а негативні іони та електрони, які рухаються під дією електричного поля, знаходяться у хаотичному тепловому русі газових молекул і зіштовхуються з частками золи, завислими у газі, адсорбуються ними, у результаті чого частки отримують електричний заряд. Заряджені частки під дією електричного поля рухаються до електродів і осаджуються на них, тобто виділяються, таким чином, з газового потоку (рис. 6.13).

Найбільша частина золи заряджається негативно, рухається до осаджувальних електродів і осаджується на них. Менша

частина осаджується на коронуючих електродах, тому що тільки невелика частина золи поблизу коронуючих електродів заряджається позитивно.

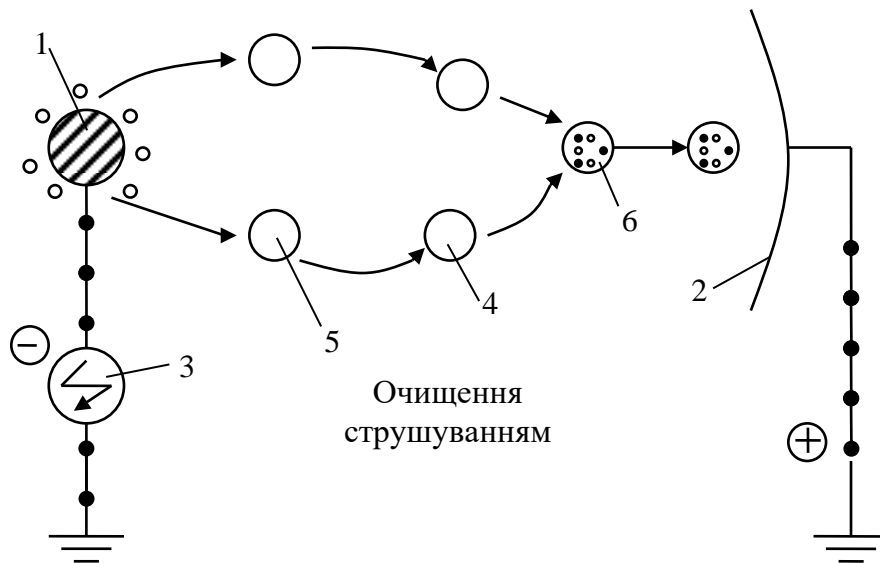


Рис. 6.13. Схема процесу електричного очищення:

1 – коронуючий електрод; 2 – осаджувальний електрод;
3 – агрегат електроживлення; 4 – електрон; 5 – молекула газу; 6 – частка, що осаджується

Електроди періодично струшують за допомогою ударного механізму для руйнування осадженої золи, і вона осипається у бункер, звідки її періодично або безперервно видаляють.

Таким чином, процес електрогазоочищення можна поділити на такі стадії:

- зарядження завислих часток;
- рух заряджених часток до електродів під дією сил електричного поля;
- осадження часток на електродах;
- видалення осаджених часток з електрофільтра.

Конструктивне оформлення електрофільтрів різноманітно. Залежно від напрямлення руху газів в активній зоні апарата відрізняють вертикальні і горизонтальні електрофільтри.

За конструкцією осаджувальних електродів можуть бути трубчастими або пластинчастими.

За способом видалення осаджених часток розрізняють сухі або мокрі електрофільтри. У сухих – осаджені частки

видаляються за допомогою механізмів струшування. У мокрих – осаджені частки змиваються плівкою води.

Залежно від кількості послідовно розташованих систем електродів (електричних полів) електрофільтри бувають однопільні, двопільні, трипільні і чотирипільні, а кількості паралельно розташованих електродів – одно-, дво- і трипільні.

Важливим фактором, який визначає ефективність роботи електрофільтра, є агрегати живлення. Кожний агрегат обслуговує одне поле (або половину поля) і складається з трьох вузлів:

- підвищувально-випрямного блока з високовольтним пристроєм;
- блока магнітних підсилювачів і дроселів;
- пульта управління.

Для підтримання напруги в будь-який момент роботи електрофільтра на грані пробивного, коли забезпечується найкраща іонізація газів, приймається автоматична схема регулювання.

У наш час найбільшого застосування знайшли електрофільтри типу УГ (універсальний горизонтальний) (рис. 6.14), з них найчастіше застосовують УГ2 і УГ3:

- УГ2 – з висотою електродів 7,5 м і активною довжиною кожного поля 2,5 м;
- УГ3 – з висотою електродів 12,2 м і активною довжиною поля 4 м. Кількість полів у кожному електрофільтрі може бути 3 або 4.

Поперечний перетин для проходження газів, м²:

- для УГ2 – 26, 37, 53, 74;
- для УГ3 – 88, 115, 177, 230, 265.

Розрахунок ефективності електрофільтра здійснюють за параметром золотловлювання Π , який визначають за формулою (6.27). Таким чином, ступінь золотловлювання визначають двома факторами – швидкістю дрейфу часток золи v й питомою поверхнею осадження f . Підвищивши f , можна одержати високий ступінь очищення, але це пов'язано з великими витратами металу й підвищенням габаритів електрофільтра.

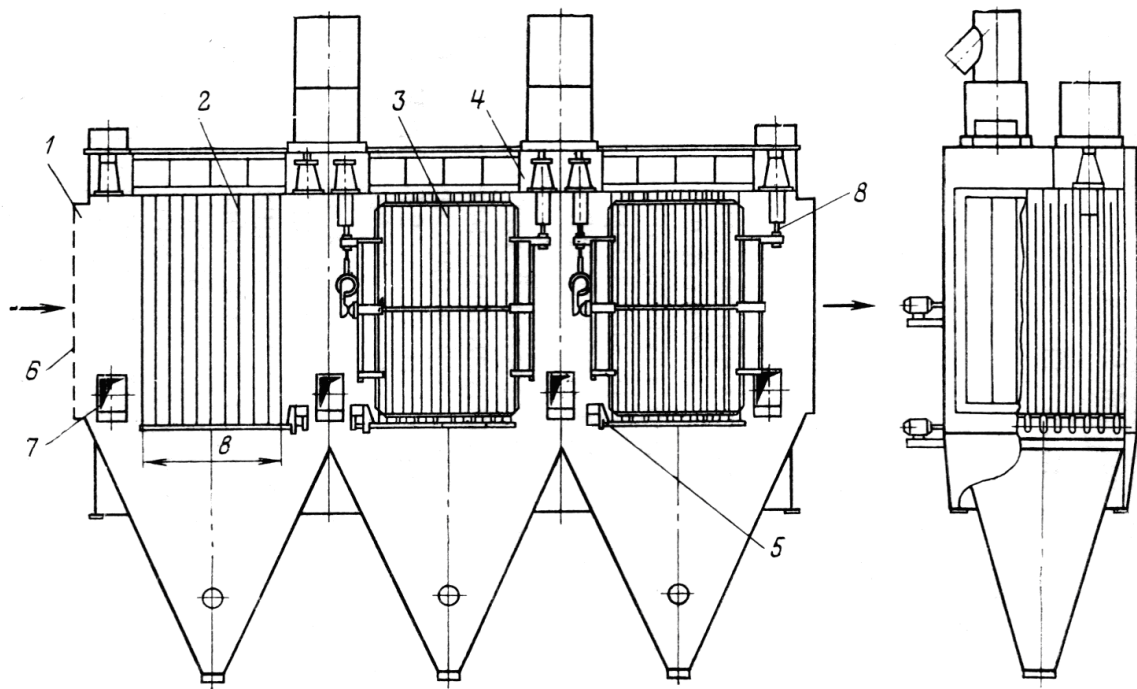


Рис. 6.14. Схема електрофільтра типу УГ:

1 – корпус; 2 – електрод осаджувальний; 3 – електрод коронуючий; 4, 5 – механізми струшування; 6 – газорозподільний пристрій; 7 – бункер для золи; 8 – ізолятор

Швидкість дрейфу визначається електричними характеристиками електрофільтра й пилогазового потоку. Теоретичний вираз для визначення швидкості дрейфу має такий вигляд, м/с:

$$v = \frac{\varepsilon_0 \cdot E_z \cdot E_{oc} \cdot d}{\mu} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon + 2}, \quad (6.70)$$

де ε_0 – діелектрична проникність вакууму, Ф/м;

ε – відносна діелектрична проникність речовини частки;

E_z – напруженість електричного поля зарядки, В/м;

E_{oc} – напруженість електричного поля осадження, В/м;

d – діаметр часток, м.

Із формули видно, що швидкість дрейфу пропорційна добутку напруженості полів зарядки осадження і діаметра часток (вплив інших факторів не суттєвий). Однак визначити теоретичним шляхом величини E_z і E_{oc} важко, тому розрахунок ведеться за наявності дослідних даних. Основним фактором, який

впливає на швидкість дрейфу, є електричні властивості пилогазового потоку, особливо питомий електричний опір ρ . Для підвищення ефективності вловлювання золи можна застосувати кондиціонуючі присадки, які поліпшують електричні властивості золи. Зниження електричного опору досягають зміненням температури газів й електрофільтра, оскільки найбільший опір має зола при температурі 100-200 °С. Зниження або підвищення цієї температури буде сприяти поліпшенню ступеня вловлювання золи.

Ступінь вловлювання золи залежить також від рівномірності розподілу поля швидкостей димових газів по перетину електрофільтра. Рівномірність потоку оцінюється ступенем заповнення об'єму електрофільтра m , який визначається випробуваннями на моделях електрофільтра з ділянкою тракту, яка примикає до нього. Ступінь заповнення об'єму визначають з виразу

$$m = \frac{\left(\sum_{i=1}^n U_i \right)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n U_i^2}, \quad (6.71)$$

де U_i – швидкість газу в елементарній площадці електрофільтра;
 n – кількість рівновеликих елементарних площадок у поперечному перетині електрофільтра.

Величина m безпосередньо пов'язана зі ступенем виносу золи за виразом

$$\varepsilon = \varepsilon_p^m, \quad (6.72)$$

де ε_p – ступінь виносу при рівномірному полі;

ε – ступінь виносу при полі швидкостей, що відповідає ступеню заповнення об'єму m .

Ступінь заповнення об'єму електрофільтра залежить від прийнятого компоновання газового тракту на ділянці повітря підігрівач-електрофільтр-димосос.

Розрахунок електрофільтра для орієнтованого визначення його розмірів ведеться у такому порядку:

1. Активний перетин для проходження газів, м²,

$$f = \frac{V_e}{z \cdot U}, \quad (6.73)$$

де z – число паралельно включених корпусів (рекомендується встановлювати 1-2 корпуси на котел, по числу димососів);

U – швидкість газів в активному перетині, приймається для золи вугілля з несприятливими характеристиками ($\rho > 5 \cdot 10^9$ Ом·м) у межах 1,3-1,5 м/с, для решти палив ($\rho < 5 \cdot 10^9$ Ом·м) – до 1,8 м/с.

Підбирається найближчий поперечний перетин електрофільтра f_∂ , вибирається висота електрода й уточнюється дійсна швидкість газів U_∂ при підбраному перетині.

2. Попередньо приймається схема газорозподілу електрофільтра й оцінюється ступінь заповнення об'єму m . За заданим ступенем виносу ε визначається ступінь виносу при рівномірному потоці ε_p за виразом (6.72).

3. За формулою (6.27) визначається параметр золовловлювання Π .

4. Завдавшись швидкістю дрейфу залежно від палива, яке застосовується, знаходять необхідну поверхню осадження:

$$f = \frac{\Pi}{v}. \quad (6.74)$$

5. Кількість полів електрофільтра при завданій довжині поля визначається з виразу

$$n = \frac{f \cdot U_\partial \cdot t}{2 \cdot l}, \quad (6.75)$$

де t – відстань між однойменними електродами (для електрофільтрів УГ $t=0,275$ м);

l – довжина поля.

6. Вибирається дійсна кількість полів електрофільтра n_∂ . Уточнюється дійсна величина параметра золовловлювання Π_∂ й відповідальні ступені виносу ε_p^∂ й ε^∂ .

Промислові електрофільтри можуть працювати при будь-яких частках золи, включаючи й субмікронні, при концентрації часток у газі 50 г/м^3 і вище; як при розрядженні, так і під тиском газів, які очищуються.

Витрата електроенергії на створення електричного поля становить $0,36\text{-}1,8 \text{ МДж}$ ($0,1\text{-}0,5 \text{ кВт}$) на 1000 м^3 газу.

Недоліками є великі капітальні витрати на спорудження металоемних установок, висока чутливість процесу електроочищення до відключень від заданого технологічного режиму. Електрофільтри не застосовують, коли газ вибухонебезпечний.

6.4.4. Очищення газів у фільтрах

Фільтрація – це процес очищення газів від твердих або рідких часток за допомогою пористих середовищ.

При фільтрації часток, зважених у газовому потоці, осаджуються на поверхні і в об'ємі пористих середовищ за рахунок броунівської дифузії, ефекту торкання, інерційних або інших сил.

В основі роботи пористих фільтрів всіх видів лежить ефект торкання (зачеплення), який проявляється кожний раз, коли траєкторія руху часток проходить над поверхнею волокон або інших елементів, які утворюють пористу перегородку, на відстані, що дорівнює або менше радіуса часток. Сітковий ефект є окремим випадком ефекту торкання. Визначний параметр процесу осадження за рахунок ефекту торкання – відношення розмірів часток й елементів, які утворюють пористу перегородку.

Частки, які уловлені, накопичуються в об'ємі фільтруючого матеріалу або утворюють пиловий шар на поверхні і є для часток, що поступають знову, елементом фільтруючого середовища, тим самим підвищуючи ефективність очищення газів.

Однак з накопленням часток, які вловлені, газопроникність зменшується й підвищується гідравлічний опір. Виникає необхідність порушення і видалення пилового осаду. Таким чином, процес фільтрації передбачає періодичну регенерацію фільтра.

Фільтри умовно поділяють на три класи:

1. Фільтри тонкого очищення, які призначені для вловлювання з високою ефективністю (вище 99%) субмікронних часток при їх низькій концентрації ($<1 \text{ мг/м}^3$) і малій швидкості фільтрації ($<10 \text{ см/с}$). Такі фільтри використовують для вловлювання токсичних часток, а також для ультратонкого очищення повітря. Такі фільтри звичайно не регенеруються.

2. Фільтри для очищення атмосферного повітря (повітряні фільтри) використовуються у системах припливної вентиляції і кондиціонування повітря. Вони розраховані на роботу при концентрації пилу менше 50 мг/м^3 , частіше при високій швидкості фільтрації (до $2,5\text{-}3 \text{ м/с}$).

3. Промислові тканинні, зернисті, волокнисті та ін. Вони використовуються для очищення промислових газів в основному з високою концентрацією дисперсної фази (60 г/м^3). Такі фільтри мають відповідні регенеруючі пристрої.

Найбільш поширені для вловлювання промислових пилу і золи виявляються тканинні фільтри.

Тканинні фільтри

Вловлюючі можливості тканинних фільтрів становлять більше 99 % і відносно мало залежать від дисперсності пилу, що вловлюється. Проскакування часток через чисту тканину, якою знаряджається фільтр, може досягати 20-30 %, однак у процесі роботи пори між волокнами тканин поступово заповнюються з боку входу запиленого газу частками, які вловлюються, при цьому утворюється вторинна перегородка, яка у свою чергу вловлює пил. Сформований на поверхні тканини шар часток, які вловлені, при достатній товщині повністю затримує частки, що поступають знову. Це явище називають автофільтрацією. Однак з підвищенням товщини шару, сформованого на тканині, гідравлічний опір суттєво підвищується і тканину необхідно регенерувати шляхом обтрушування або зворотною продувкою очищеним газом.

При регенерації слід порушувати й видаляти з тканини шар пилу тільки частково, щоб зменшити тиск пилового шару, який призначений для підвищення ефективності експлуатації фільтра. Ефективність експлуатації тканинних фільтрів залежить від

правильного підбору фільтруючої тканини у відповідності з конструкцією апарата, видом пилу і режимом експлуатації.

У тканинних фільтрах використовують фільтруючі матеріали двох типів:

- звичайні тканини, які виготовляються на ткацьких станках;
- волокни (фетр), які отримують шляхом механічного переплутування волокон.

Фільтрувальні тканини являють собою визначеного виду переплетення ниток, які скручені з коротких або неперервних волокон діаметром 6-40 мкм. Більш товсті тканини підлягають зачісуванню, а шерстяні – валянню. Розмір пор між нитками становить 100-200 мкм. У тканинних фільтрах доцільно використовувати невеликі навантаження по газу у межах 0,3-1,2 м³/(м²·хв). При великих швидкостях відбувається надмірна згущеність пилового шару, яка супроводжується підвищенням його гідравлічного опору.

До тканин, які використовуються у якості фільтрувальних матеріалів, висувають такі вимоги:

- висока пилоємність у процесі фільтрації і можливість утримувати після регенерації таку кількість пилу, якої достатньо для забезпечення високої ефективності очищення газів;
- збереження оптимально високої повітропроникності у рівноважно запиленому стані;
- висока механічна міцність й стійкість до стирання при багатократних згинах, стабільність розмірів і властивостей при підвищеній температурі й агресивній дії хімічних домішок, які знаходяться у газі;
- мінімальне вологопоглинання і спроможність до легкого видалення пилу, який накопичився;
- низка вартість.

Тканинні фільтри класифікуються за такими ознаками:

- форма тканинного фільтрувального елемента (рукавні, плоскі, клинові та ін.);
- наявність опорних пристроїв для тканини (каркасні і безкаркасні);
- місце розташування вентилятора відносно фільтра (всмоктувальні, які працюють при розрядженні, і нагнітальні, які працюють під тиском);

- спосіб регенерації (струшування, зі зворотною продувкою, з імпульсною продувкою);
- наявність і форма корпусу для розміщення тканини (прямокутні, циліндричні, відкриті);
- число секцій в апараті (однокамерні, багатосекційні);
- вид тканини, яка використовується (бавовняна, вовняна, нітронова, лавсанова, склотканина).

За формою найчастіше використовують рукавні фільтри (рис. 6.15).

Діаметр рукавів може бути різним, але на перевищує 600 мм, чим більше висота рукавів, тим більший діаметр. Розмір рукавів обумовлюється конструкціями й економічністю. Максимальне відношення довжини рукава до діаметра 30:1, частіше за все діаметр становить 127, 300 мм, а довжина – 2400-3500 мм. Гази можуть входити в рукави як знизу, так і зверху.

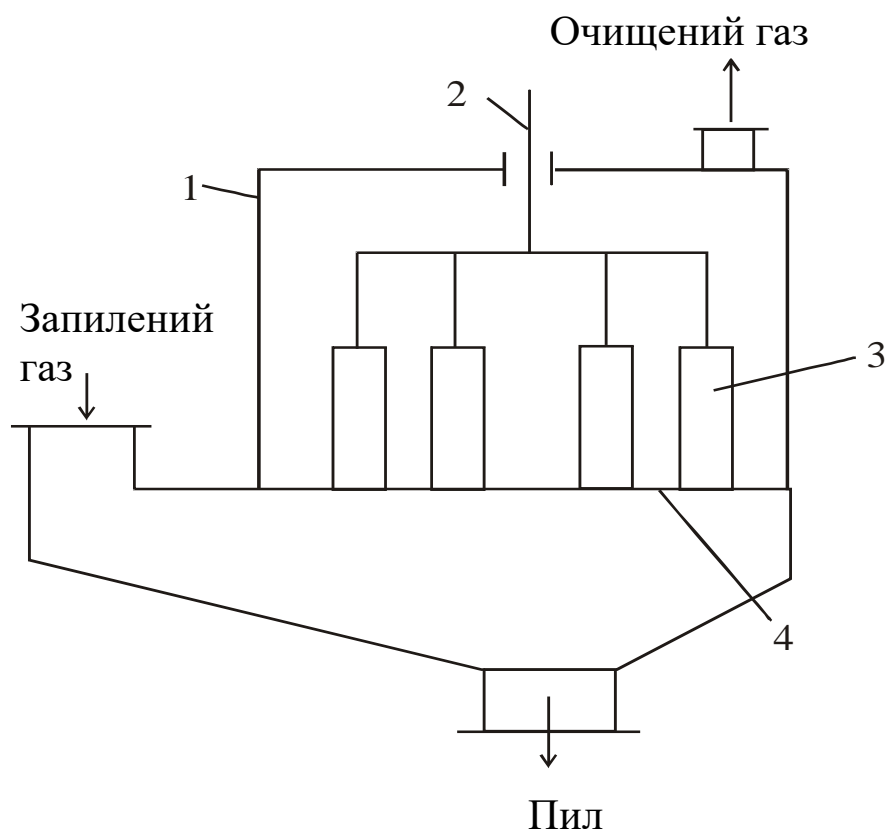


Рис. 6.15. Схема рукавного фільтра:
 1 – корпус; 2 – струшувальний пристрій; 3 – рукав;
 4 – розподільні ґрати

У рукавах на визначеній відстані встановлюють ребра жорсткості для запобігання стискання рукавів і забезпечення випадення пилу в бункер при регенерації.

Конструкція корпусу рукавного фільтра залежить від властивості газів, які очищуються, а також місця розміщення фільтра. Поширено два типи секцій у фільтрах: з невеликим числом рукавів (8-15) і укрупнені (більше 100). Збитковий тиск при подачі стиснутого повітря усередину кожного елемента 0,4-0,8 МПа. Витрата продувального повітря 0,1-0,2 % кількості газів, що очищуються.

За конструкцією промислові фільтри бувають такими:

- РФГ – рукавні фільтри, призначені для вловлювання пилу з теплотехнологічних установок, димових газів й вентиляції повітря. Вони однорядні або здвоєні залежно від потрібної площі фільтрувальної поверхні. Кожна секція фільтра складається з 14 рукавів з поверхнею фільтрації 28 м². Безшовні фільтрувальні рукави виконані з бавовняної тканини типу ЦМ діаметром 22 мм і довжиною 3100 мм. Регенерація проводиться шляхом продувки і механічним струшуванням;

- ФВ – всмоктувальні фільтри, які використовуються для очищення димових газів з температурою до 70 °С, а також для очищення повітря від сухого мінерального і злиплого пилу;

- ФВК – рукавні фільтри всмоктувальні, призначені для очищення нейтральних запилених газів або повітря від сухого пилу при температурі до 80 °С. Регенерація рукавів проводиться механізмом періодичного струшування й зворотною продувкою атмосферним повітрям;

- ФРМ – рукавні фільтри всмоктувальні, призначені для очищення повітря з великим вмістом пилу. Регенерація проводиться по секціях струшуванням й зворотною продувкою;

- ФВВ – рукавні високовакуумні фільтри, призначені для очищення повітря від пилу пневмотранспортних установок (розрядження до 20 кПа);

- УРФМ – укрупнені рукавні фільтри, які складаються з 20 секцій з загальною площею фільтрації 2300 м²; у кожній секції

знаходиться 42 рукави діаметром 200 мм і довжиною 4020 мм. Вони обладнані пристроями пневматичного струшування і пневматичним управлінням клапанами.

Розрахунок рукавних фільтрів обмежений оцінкою необхідної фільтруючої поверхні рукавів та гідравлічного опору.

Необхідна поверхня фільтрувальної тканини визначається як

$$F = \frac{V_2}{\omega} + f, \quad (6.76)$$

де f – поверхня фільтрувальної тканини однієї секції, м²;

V_2 – витрата газів, м³/хв;

ω – швидкість фільтрації газу, яку прийнято виражати в об'ємних або лінійних величинах (м³/(м²·хв) і м/хв).

Оптимальні швидкості фільтрації газів через тканину визначаються експериментально залежно від дисперсності вловлюваного пилу, кількісного вмісту і типу використаної тканини (0,35-1,5 м/хв).

Для очищення димових газів від золи питоме навантаження газу на тканину може бути прийнято 0,7-1,0 м³/(м²·хв).

Гідравлічний опір визначається як

$$\Delta p = \Delta p' + \Delta p'', \quad (6.77)$$

де $\Delta p'$ – опір тканини, яка містить у порах не струшений пил, Па;

$\Delta p''$ – опір шару пила, який знаходиться на поверхні тканини і видаляється при струшуванні, Па.

Волокнисті фільтри

Вони являють собою шари різної товщини, у яких більш або менш однорідно розташовані волокна відповідного матеріалу. Це фільтри об'ємної дії, тобто вони розраховані на вловлювання і накопичення часток по всій глибині.

Волокнисті фільтри використовуються при концентрації часток приблизно від 0,5 до 5 мг/м³ і умовно поділяються:

- на тонковолокнисті;
- глибокі;
- грубоволокнисті.

Тонковолокнисті – фільтри, які забезпечують тонке очищення великих об'ємів газів і повітря від твердих і рідких часток усіх розмірів. Фільтруючими матеріалами є матеріали типу ФП (фільтри Петрякова) з полімерних смол. Пилоємність матеріалу типу ФП 50-100 г/м³.

Глибокі – багатошарові глибокі фільтри, які складаються з глибокого лобового шару грубих волокон і більш тонкого замикаючого шару, причому густина волокон змінюється з глибиною. Наприклад, у якості першого шару застосовують скляне волокно з різною густиною набивки і висотою шару, другий шар – типу ФПП-15-Б. Швидкість фільтрації – 1,5 м/с.

Грубоволокнисті – фільтри грубого або попереднього очищення. Їх використовують для зниження початкової концентрації часток. Вони дешеві і їх можна регенерувати. Матеріал складається з суміші волокон діаметром від 1 до 20 мкм, причому 50% волокон повинні мати розміри <4 мкм. Швидкість фільтрації – 0,05-0,1 м/с.

Зернисті фільтри

Насадкові (насіпні) фільтри, які складаються з зерен сферичної або іншої форми, використовують при високих температурах і умовах агресивних середовищ.

Розрізняють такі типи зернистих фільтрів:

- зернисті насіпні фільтри, у яких вловлюючі елементи не зв'язані один з одним (пісок, галька, шлаки, деревинні обпилювання, графіт, кокс й ін.);
- жорсткі пористі фільтри, у яких зерна пов'язані одне з одним у результаті спікання або склеювання (пориста кераміка, пористі метали, пористі пластмаси).

Питання для самоперевірки

1. Основні фізико-хімічні властивості золи і пилу (перелічити).
2. Що таке густина золи або пилу і на які види вона поділяється?
3. Що таке дисперсний склад часток золи?
4. Які розрізняють адгезійні властивості часток золи?
5. Як впливає абразивність на надійність котельного устаткування?
6. Як розділяють золу відносно питомого електричного опору?
7. Як електрична зарядженість часток золи впливає на деякі властивості золи?
8. Які наслідки можуть відбуватися при здатності пилу до самозаймання?
9. Властивості очищувальних газів (перелічити).
10. Що таке вологовміст газів?
11. Для яких умов і як визначають точку роси газів?
12. Як визначають об'єм водяної пари на вході у вловлювач, який встановлений після котельного агрегату?
13. Для чого визначають густину димових газів?
14. Як визначають дійсну густину продуктів згоряння при нормальних умовах і при сильній вологості?
15. Як визначають запиленість газів?
16. Що є основним показником роботи установок золовловлювання?
17. Що характеризує фракційний коефіцієнт очищення?
18. Коли застосовують парціальний коефіцієнт очищення?
19. Як визначають коефіцієнт очищення при логарифмічно-нормальному розподілу часток золи?
20. Як визначають коефіцієнт очищення для комбінованих вловлювачів, які складають з декілька послідовно з'єднаних апаратів?
21. Коефіцієнт проскакування і як він визначається.
22. Параметр золовловлювання і як він визначається.
23. Як визначають коефіцієнт золовловлювання або проскакування через параметр золовловлювання?
24. Способи очищення димових газів від твердих часток.

25. Апарати сухого очищення газів (перелічити).
26. Принцип дії відцентрових апаратів.
27. Як розподіляють циклони за конструкцією і принципом дії?
28. Принцип дії прямотокового циклона.
29. Принцип дії і конструкція батарейного циклона.
30. Принцип дії жалюзійного золовловлювача.
31. Пилоосаджувальні камери: принцип дії і розрахунок основних параметрів.
32. Типи мокрих золовловлювачів (перелічити).
33. Принцип дії і конструкція золовловлювачів зі змоченою поверхнею?
34. Розрахунок і вибір типу мокрих золовловлювачів.
35. Принцип дії пінних пиловловлювачів.
36. Сутність електричного очищення газів.
37. З яких електродів складається електрофільтр?
38. Які основні пристрої має електрофільтр та їх призначення?
39. У якому порядку ведуть розрахунок електрофільтра і які параметри визначають?
40. Види фільтрів для очищення атмосферного повітря і димових газів.
41. Принцип дії і види тканинних фільтрів.
42. Принцип дії і види волокнистих фільтрів.

7. Розсіювання шкідливих речовин в атмосфері

7.1. Рівняння турбулентної дифузії домішок в атмосфері

При всіх методах очищення продуктів згоряння необхідно забезпечити їхнє розсіювання, навіть якщо вони не містять токсичних речовин, бо вони не містять досить кисню й не придатні для дихання.

Розглянемо просторову систему координат x, y, z (рис. 7.1). Вісь x збігається зі швидкістю вітру u , яку приймаємо горизонтальною. Вісь y перпендикулярна до напрямку вітру u в площині Землі, вісь z – перпендикулярна до поверхні Землі. Поряд зі швидкістю вітру u присутні турбулентні пульсації в напрямку осей x, y, z відповідно $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ [16]. Ці пульсації разом з молекулярною дифузією забезпечують перемішування шкідливих речовин у димових газах з атмосферним повітрям. Перемішування газів за рахунок турбулентних пульсацій називається **турбулентною дифузією**. Для виведення рівняння турбулентної дифузії розглянемо елементарний об'єм атмосфери dx, dy, dz . Складемо матеріальний баланс шкідливих речовин, що дифундують у цьому елементарному об'ємі.

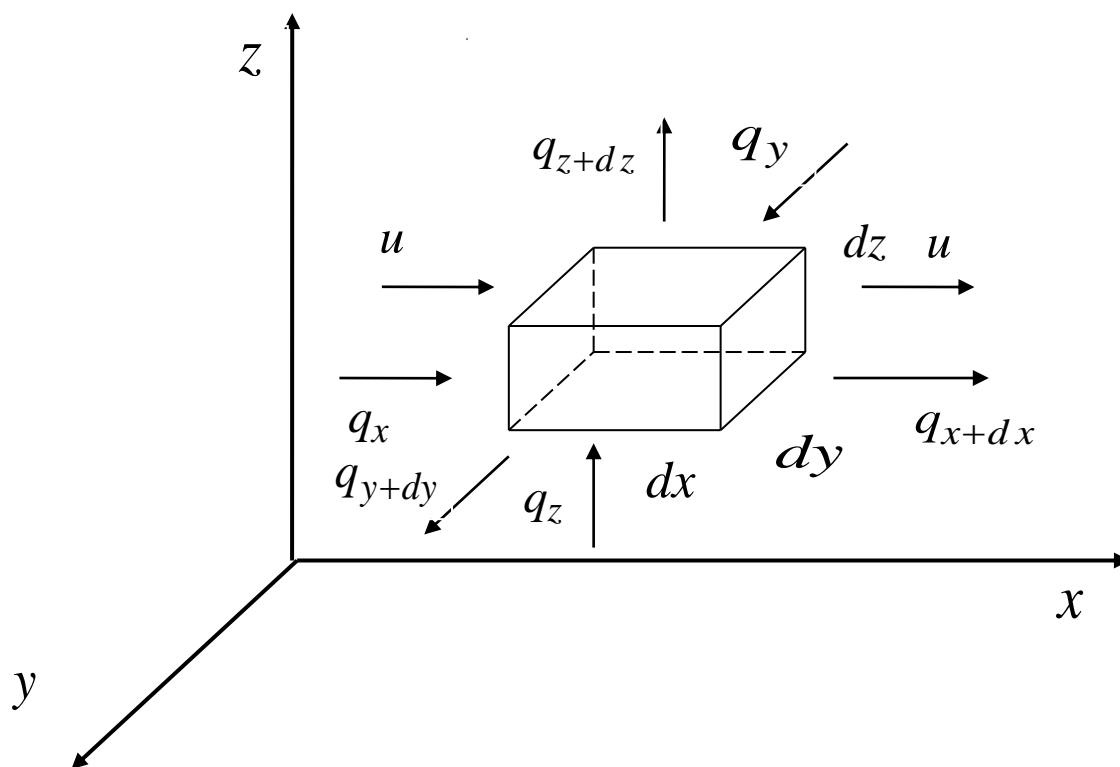


Рис. 7.1. Просторова система координат

За рахунок швидкості вітру в елементарний об'єм вноситься кількість шкідливої речовини

$$-u \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (7.1)$$

де c – концентрація речовини, мг/м³.

За рахунок дифузії в напрямку осі x вноситься кількість речовини

$$(q_x - q_{x+dx}) dy \cdot dz. \quad (7.2)$$

З точністю до нескінченно малих вищого порядку маємо

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx. \quad (7.3)$$

Тоді вираз (7.3) приводиться до вигляду

$$(q_x - q_{x+dx}) dy \cdot dz = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dx \cdot dy \cdot dz. \quad (7.4)$$

Оскільки кількість речовини, що дифундує, пропорційна градієнту концентрації, то

$$q_x = -k_x \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (7.5)$$

де k_x – коефіцієнт турбулентної дифузії в напрямку x .

Тоді кількість речовини, внесеної в елементарний об'єм dx , dy , dz за рахунок турбулентної дифузії в напрямку x , буде

$$(q_x - q_{x+dx}) dy \cdot dz = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) dx \cdot dy \cdot dz. \quad (7.6)$$

Прийнявши за коефіцієнти дифузії в напрямках x і y значення k_y й k_z , одержують аналогічні рівняння для кількості речовини, внесеної в напрямках осей x і y , за рахунок турбулентної дифузії.

Тоді зміна кількості шкідливої речовини в елементарному об'ємі атмосфери за одиницю часу як за рахунок кількості

речовини, внесеної вітром, так і за рахунок турбулентної дифузії в усіх напрямках x , y , z одержують підсумовуванням виразів (7.1), (7.6) і аналогічних рівнянь для напрямків y і z [16].

Аналітичне розв'язання одержуваного рівняння турбулентної дифузії проводиться при значних спрощеннях реальних умов в атмосфері.

1. Викиди в атмосферу здійснюються від об'ємних джерел (димових труб). Однак їхні розміри малі порівняно з відстанями, на яких досліджується розсіювання, тому їх вважають точковими.

2. Граничні умови на нескінченному віддаленні x від джерела приймаються у вигляді

$$\begin{aligned} c &\rightarrow 0 \text{ при } z \rightarrow \infty, \\ c &\rightarrow 0 \text{ при } |y| \rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (7.7)$$

3. Потрапивши на поверхню ґрунту, домішки не накопичуються в ній, а з турбулентними вихрами знову виносяться в атмосферу, тому приймається, що середній турбулентний потік домішок біля поверхні Землі малий, тобто

$$k_z \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \text{ при } z=0. \quad (7.8)$$

4. При розв'язанні рівняння приймається постійною швидкість вітру на висоті шару й турбулентність ізотропною, тобто $k_x = k_y = k_z = k$.

Тоді при прийнятих допущеннях розв'язання рівняння турбулентної дифузії, записаного у сферичних координатах, має вигляд

$$c = \frac{M}{4\pi k_r} \cdot \exp\left[-\frac{u}{2k}(r-x)\right], \quad (7.9)$$

де M – масовий викид забруднюючих речовин; u – швидкість вітру; r – відстань до точки простору, у якій визначається концентрація, від джерела; x – проекція відстані r на вісь x , спрямовану по вітру; k_r – коефіцієнт турбулентної дифузії за напрямком зміни концентрації r .

Отримане рівняння (7.9) можна використати для визначення концентрацій шкідливих домішок на поверхні Землі.

Якщо розташувати початок координат у точковому джерелі, то після перетворення рівняння (7.9) для випадку значного віддалення від джерела одержимо такий вираз для концентрації шкідливих речовин:

$$c = \frac{M}{4\pi k x} \cdot \exp\left[-\frac{u}{2k} \cdot \frac{y^2 + z^2}{x}\right]. \quad (7.10)$$

Якщо початок координат перенести в точку О, розташовану в основі димової труби ефективною висотою H , то значення концентрації визначається за формулою

$$c = \frac{M}{4\pi k x} \cdot \exp\left[-\frac{u}{2k} \cdot \frac{y^2 + (z-H)^2}{x}\right]. \quad (7.11)$$

Ефективна висота димової труби H складається з геометричної висоти труби h й підйому димової хмари над її устям Δh .

У свою чергу підйом димової хмари над устям труби складається з Δh_2 – підйом за рахунок кінетичної енергії струменя, що впливає нагору (гідродинамічний підйом) і Δh_m – підйом за рахунок різниці густин навколишнього середовища й димової хмари (тепловий підйом).

У роботі [16] наведено виведення формул для визначення Δh_2 й Δh_m і зроблено аналіз впливу на них різних факторів стану атмосфери, параметрів викидів.

Гідродинамічний підйом факела:

$$\Delta h_2 = k_2 \left[\frac{\sqrt{V_2 \cdot w_0}}{u} \right], \quad (7.12)$$

де V_2 – секундний викид димових газів, м³/с;

w_0 – швидкість газу при виході з труби, м/с;

u – швидкість вітру на рівні верху труби, м/с.

$$k_2 = \frac{mb}{a} \operatorname{tg} \beta, \quad (7.13)$$

де m , b , a – характеристики струменя, визначаються експериментально (звичайно $m=0,2$, $b=0,98$, $a=0,15$);

β – кут нахилу факела до обрію.

При $\beta=10^0$ вважають закінченим гідродинамічний підйом факела.

Тепловий підйом факела:

$$\Delta h_m = \frac{\pi}{4 \cdot 273} \cdot \xi \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{V_2^0 \cdot \Delta T}{\xi_y \cdot u^3}, \quad (7.14)$$

де V_2^0 – об'єм газів, що виходять із димової труби, при нормальних умовах, м³/с;

ΔT – різниця температури димових газів у трубі й навколишнього повітря, К;

u – швидкість вітру, м/с;

ξ – коефіцієнт лобового опору факела;

ξ_y – ступінь турбулентності атмосфери в горизонтальному напрямку.

Залежно від метеорологічних умов в атмосфері й параметрів димових газів факел може набувати різноманітних форм, які класифікують так [16]:

- 1) хвилеподібні;
- 2) конусоподібні;
- 3) віялоподібні;
- 4) піднесені;
- 5) які задимляють.

З рівняння турбулентної дифузії (7.11) шляхом перетворення одержують такий вираз для розрахунку розподілу концентрації домішок у факелі на рівні Землі з урахуванням віднесення частини домішок назад в атмосферу:

$$C = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot x} \exp\left(-\frac{u}{4k} \cdot \frac{y^2 + H^2}{x}\right). \quad (7.15)$$

За прийнятою на цей час методикою розрахунку розсіювання шкідливих речовин найбільшу вагу набуває визначення їх максимально разової концентрації на рівні Землі, що має місце при $y=0$.

З умови $\left. \frac{\partial c}{\partial x} \right|_{y=0} = 0$ одержуємо відстань точки розташування максимуму концентрації від джерела викиду

$$x_m = \frac{u H^2}{4k} \quad (7.16)$$

і вираз для визначення максимуму разової концентрації, $г/м^3$,

$$c_m = \frac{2M}{\pi e u H^2}. \quad (7.17)$$

При визначенні концентрації, $мг/м^3$,

$$c_m = \frac{2 \cdot 1000 \cdot M}{3,14 \cdot 2,71 \cdot u H^2} = \frac{235 \cdot M}{u H^2}, \quad (7.18)$$

де $e=2,71$ – основа натурального логарифма.

Для практичних розрахунків Головною геофізичною обсерваторією була розроблена методика розрахунку розсіювання шкідливих домішок СН 369-74 [24], але замінена надалі на ОНД-86 [25, 26].

7.2. Розрахунок розсіювання шкідливих домішок в атмосфері

Ступінь небезпеки забруднення атмосферного повітря викидами шкідливих речовин характеризується найбільшим (максимальним) розрахунковим значенням концентрації шкідливих речовин c_m , $мг/м^3$, у двометровому шарі над поверхнею Землі (рівень подиху людини $\sim 1,5$ м). Вона не повинна перевищувати величини максимально разової ГДК_{м.р.}.

Розрахунок ведеться за несприятливих метеорологічних умов, коли швидкість вітру досягає небезпечного значення й має місце інтенсивний вертикальний турбулентний обмін в

атмосфері. Тривалість несприятливих метеорологічних умов не перевищує 1-2 % (86-150 год) протягом року, тому фактично спостережувані концентрації будуть нижче розрахункових.

Небезпечна швидкість вітру u_m – це така швидкість, за якої для заданого стану атмосфери концентрації шкідливих домішок на рівні подиху людини досягають своєї максимальної величини.

$$\text{Дійсно, з виразу (7.18)} \quad c_m = \frac{235 \cdot M}{u H^2} .$$

Отже, з підвищенням швидкості вітру u максимальна приземна концентрація c_m від точкового джерела, розташованого на висоті H над Землею, падає. Але, з іншого боку, зі збільшенням швидкості вітру зменшується ефективна висота джерела H внаслідок зниження гідродинамічної Δh_2 й теплової Δh_m складової підйому факела, оскільки

$$H = h + \Delta h_2 + \Delta h_m . \quad (7.19)$$

Звідси небезпечну швидкість вітру u_m можна визначити з виразу

$$\frac{\partial c_m}{\partial u} = 0 . \quad (7.20)$$

При більших і менших швидкостях концентрації знижуються. Оскільки з висотою швидкість вітру збільшується, прийнято вимірювати її на позначці (рівні) флюгера 10 м.

Розрізняють **гарячі** (димові труби котлів) і **холодні** (вентиляційні труби різних виробництв і АЕС) джерела викидів залежно від ΔT – різниці температур газів, що викидають, і середньої температури T_g повітря, під якою розуміється середня температура найбільш жаркого місяця року (СНиП II-I-82 “Строительная климатология и геофизика”). Для котелень, що працюють за графіком, при розрахунках допускається приймати значення T_g такими, що дорівнюють середнім температурам зовнішнього повітря найбільш холодного місяця, для якого характерні найбільші викиди шкідливих речовин.

Залежно від висоти H устя джерела викиду шкідливої речовини над рівнем поверхні Землі поділяються на класи: високі джерела – $H \geq 50$ м; середньої висоти – $H = 10 \dots 50$ м; низькі джерела – $H = 2 \dots 10$ м; наземні джерела – $H \leq 2$ м.

Для одиночного джерела із круглим устям розрахунок забруднень атмосфери викидами ведеться таким чином [23, 25, 26, 27].

Під одиночним або точковим джерелом розуміється димова труба ТЕС, котельні. Опорним значенням нормативного методу розрахунку є максимальне значення, обумовлене ТЕС або котельні приземної концентрації, яке визначається за **генеральною** розрахунковою формулою.

Для гарячих джерел ($\Delta T \gg 0$)

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad (7.21)$$

Для холодних джерел ($\Delta T \approx 0$)

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta \cdot k}{H^{\frac{4}{3}}} \quad (7.22)$$

де H – висота джерела викиду над рівнем Землі (для наземних джерел приймається $H = 2$ м);

M – витрата речовин, що викидаються в атмосферу, г/с, визначається розрахунком у технологічній частині проекту котельні або за іншим джерелом.

У теплоенергетиці за M приймають сумарний викид забруднюючих речовин з урахуванням їхнього взаємного впливу відповідно до рекомендацій:

1) у випадку урахування викидів оксидів сірки й золи при спалюванні вугілля [22];

2) для оксидів сірки й азоту при спалюванні вугілля [28];

3) при спалюванні газу, як правило, ураховують тільки викиди оксидів азоту;

ΔT – різниця температур газів, що викидаються, і атмосферного повітря, °С(К), $\Delta T = T_z - T_g$;

V_1 – витрата газоповітряної суміші на зрізі труби, м³/с;

A, F, m, n, η – коефіцієнти, визначення яких дано нижче.

Кліматичний коефіцієнт A

Властивості атмосфери, що впливають на розсіювання, при несприятливих метеоумовах характеризуються коефіцієнтом температурної стратифікації атмосфери A , що залежить від району розташування джерела викидів з подібними умовами турбулентного обміну [16, 25, 27].

Для України: північніше 50° п.ш. $A=160$; для джерел у зоні від 50° до 52° п.ш. $A=180$; південніше 50° п.ш. $A=200$.

Коефіцієнт F , що враховує сепарацію часток золи

Інтенсивність сепарації часток визначається відношенням швидкості витання (осідання) частки v_g до турбулентності, що у свою чергу пропорційна швидкості вітру u . Чим більше відношення $\frac{v_g}{u}$, тим інтенсивніше відбувається сепарація й вище коефіцієнт F [25, 27].

З аналізу цієї залежності випливає, що для газоподібних речовин і дрібнодисперсних аерозолів при $\frac{v_g}{u} \leq 0,015$ $F=1$; при $0,015 < \frac{v_g}{u} < 0,3$ приймається $F=1,5$.

У випадку, коли $\frac{v_g}{u} \geq 0,3$ при ступені очищення димових газів η не менше 90 %, приймають $F=2$; при $\eta=75-90$ % – $F=2,5$; за відсутності очищення – $F=3$.

Поза залежністю від глибини очищення $F=3$ при розрахунках концентрації пилу в атмосферному повітрі для виробництв, у яких вміст водяної пари у викидах є достатнім для того, щоб протягом усього року спостерігалася його інтенсивна концентрація відразу ж після виходу в атмосферу, а так само коагуляція вологих пилових часток.

Ознакою інтенсивної конденсації служать спостережувані влітку клуби пари, що утворюються на відстані 1...3 м від зрізу труби (при виробництві глинозему мокрим способом, при спалюванні в котлах вологих висоководневих палив і мокрих способів очищення від золи або оксидів сірки).

Коефіцієнти m й n , що враховують підйом факела над трубою

Значення цих коефіцієнтів визначаються за допоміжними величинами, які обчислюються за конструктивними параметрами джерела викидів:

$$f = \frac{1000 \cdot w_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (7.23)$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (7.24)$$

$$v_m' = 1,3 \cdot w_0 \cdot \frac{D}{H}, \quad (7.25)$$

$$f_e = 800 \cdot (v_m')^3, \quad (7.26)$$

де w_0 – швидкість газу в усті труби, м/с;

D – діаметр устя труби, м;

H – висота димової труби, м;

$\Delta T = T_2 - T_6$, $^{\circ}\text{C}(\text{K})$;

V_1 – витрата повітряної суміші, м³/с.

Тоді коефіцієнт m визначається [25, 27, 29] за формулами:

$$\text{при } f < 100 \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}}; \quad (7.27)$$

$$\text{при } f > 100 \quad m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}; \quad (7.28)$$

$$\text{при } f_e < f < 100 \quad m \text{ обчислюється при } f = f_e. \quad (7.29)$$

Коефіцієнт n визначається залежно від v_m [25, 26, 27, 29] за такими формулами:

$$\text{- при } f < 100: \quad n = 1 \quad \text{при } v_m \geq 2.$$

Для ТЕС параметр v_m завжди більше 2, тому коефіцієнт n при розрахунку розсіювання викидів ТЕС приймається $n = 1$.

$$n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 \quad \text{при } 0,5 \leq v_m < 2; \quad (7.30)$$

$$n = 4,4 v_m \quad \text{при } v_m < 0,5; \quad (7.31)$$

- при $f \geq 100$ й $v_m \geq 0,5$ (для холодних викидів, $\Delta T \approx 0$) розрахунок приземних концентрацій ведуть за формулою (7.22), у якій

$$k = \frac{1}{7,1 \cdot \sqrt{w_0 \cdot V_1}}. \quad (7.32)$$

Коефіцієнт n визначається за тими самими формулами, що вище, але при $v_m = v_m'$;

- при гранично малих швидкостях вітру, коли $f < 100$, $v_m' < 0,5$ або $f \geq 100$, $v_m' > 0,5$, приземні концентрації розраховуються за формулою

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m' \cdot \eta}{H^{\frac{7}{3}}}, \quad (7.33)$$

де $m' = 2,86 m$ при $f < 100$, $v_m < 0,5$;

$m' = 0,9$ при $f \geq 100$, $v_m' < 0,5$.

Коефіцієнт урахування рельєфу місцевості η

Безрозмірний коефіцієнт η установлюється на основі аналізу картографічного матеріалу, що висвітлює рельєф місцевості в радіусі до 50 висот найбільш високого з розташовуваних на промисловій площадці джерела, але не менш ніж до 2 км [25].

У випадку рівної або слабкопересічної місцевості з перепадом висот не більше 50 м на 1 км приймають $\eta = 1$.

Відстань x_m від джерела до координати максимуму концентрацій

Для гарячих джерел ця відстань при несприятливих метеороумовах визначається за формулою

$$x_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (7.34)$$

де безрозмірний коефіцієнт d при $f < 100$ визначається за формулами

$$d = 2,48 \cdot \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}\right) \quad \text{при } v_m \leq 0,5; \quad (7.35)$$

$$d = 4,95 v_m \cdot \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}\right) \quad \text{при } 0,5 \leq v_m \leq 2; \quad (7.36)$$

$$d = 7,0 \sqrt{v_m} \cdot \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}\right) \quad \text{при } v_m > 2. \quad (7.37)$$

Для холодних джерел при $\Delta T \approx 0$ й $f > 100$ коефіцієнти d знаходять за формулами

$$d = 5,7 \quad \text{при } v_m < 0,5; \quad (7.38)$$

$$d = 11,4 v_m' \quad \text{при } 0,5 \leq v_m' \leq 2; \quad (7.39)$$

$$d = 16 \sqrt{v_m'} \quad \text{при } v_m' > 2. \quad (7.40)$$

Небезпечна швидкість вітру u_m

За інших рівних умов приземна концентрація шкідливих речовин досягає максимуму при швидкості вітру u_m , яка називається небезпечною.

Для гарячих джерел $f < 100$ небезпечна швидкість розраховується за формулами

$$u_m = 0,5 \quad \text{при } v_m \leq 0,5; \quad (7.41)$$

$$u_m = v_m \quad \text{при } 0,5 \leq v_m \leq 2; \quad (7.42)$$

$$u_m = v_m \cdot \left(1 + 0,12 \sqrt{f}\right) \quad \text{при } v_m > 2. \quad (7.43)$$

Для холодних джерел $\Delta T \approx 0$ і $f > 100$ небезпечна швидкість розраховується за формулами

$$u_m = 0,5 \text{ при } v_m' \leq 0,5; \quad (7.44)$$

$$u_m = v_m' \text{ при } 0,5 \leq v_m' \leq 2; \quad (7.45)$$

$$u_m = 2,2 v_m' \text{ при } v_m' > 2. \quad (7.46)$$

Поправки r й p на швидкість вітру

Рівень максимальних концентрацій c_m знижується, а координата його зміщається при швидкостях вітру, відмінних від небезпечної u_m .

Тоді нове максимальне значення приземної концентрації c_{mi} , що відповідає швидкості вітру $u \neq u_m$, визначається за формулою

$$c_{mi} = r \cdot c_m, \quad (7.47)$$

$$\text{де при } \bar{u} = \frac{u}{u_m} > 1 \quad r = \frac{3 \cdot \bar{u}}{3(\bar{u})^2 - \bar{u} + 2};$$

$$\text{при } \bar{u} \leq 1 \quad r = 0,67 \cdot \bar{u} + 1,67 \cdot (\bar{u})^2 - 1,34(\bar{u})^3.$$

Значення швидкостей вітру $u < 0,5$ м/с й $u > u^*$, де u^* – швидкість, що перевищує в середньому багаторічний режим у 5 % випадків, у розрахунку не використовуються.

Новому “безпечному” значенню швидкості вітру полярна координата нової точки максимуму відповідає значенню

$$x_{mi} = p \cdot x_m, \quad (7.48)$$

де p – безрозмірний коефіцієнт,

$$\text{при } \bar{u} \leq 0,25 \quad p = 3; \quad (7.49)$$

$$\text{при } 0,25 < \bar{u} < 1 \quad p = 8,43 \cdot (1 - \bar{u})^5 + 1; \quad (7.50)$$

$$\text{при } \bar{u} > 1 \quad p = 0,32 \cdot \bar{u} + 0,68. \quad (7.51)$$

Коефіцієнт s_1 , що враховує зміну концентрації c уздовж факела
 При небезпечній швидкості вітру u_m приземна концентрація

шкідливих речовин в атмосфері по осі факела викиду на різних відстанях x від джерела викиду визначається за формулою

$$C = S_1 \cdot C_m, \quad (7.52)$$

де s_1 – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від відношення $\bar{x} = \frac{x}{x_m}$ й коефіцієнта F ,

$$\text{при } \bar{x} < 1 \quad s_1 = 3 \cdot \bar{x}^4 - 8 \cdot \bar{x}^3 + 6 \cdot \bar{x}^2, \quad (7.53)$$

$$\text{при } 1 < \bar{x} \leq 8 \quad s_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot \bar{x}^2 + 1}, \quad (7.54)$$

$$\text{при } \bar{x} > 8 \text{ й } F = 1 \quad s_1 = \frac{1}{3,18 \cdot \bar{x}^2 + 3,52 \cdot \bar{x} + 12,0}, \quad (7.55)$$

$$\text{при } \bar{x} > 8 \text{ й } F \leq 1,5 \quad s_1 = \frac{\bar{x}}{3,58 \cdot \bar{x}^2 + 35,2 \cdot \bar{x} + 120}, \quad (7.56)$$

$$\text{при } \bar{x} > 8 \text{ й } F > 1,5 \quad s_1 = \frac{1}{0,1 \cdot \bar{x}^2 + 2,47 \cdot \bar{x} - 17,8}. \quad (7.57)$$

Поправка s_2 для визначення концентрацій у точках з координатами $x, y \neq 0$, що не лежать на осі факела

Значення приземної концентрації шкідливих речовин в атмосфері C_y на відстані y по перпендикуляру до осі факела викиду визначається за формулою, мг/м^3 ,

$$C_y = S_2 \cdot C, \quad (7.58)$$

де s_2 – безрозмірний коефіцієнт, обумовлений залежно від швидкості вітру u й відношення $\frac{y}{x}$ за значенням аргументу t_y :

$$\left. \begin{array}{l} t_y = \frac{u \cdot y^2}{x^2} \quad \text{при} \quad u \leq 5 \\ t_y = \frac{5y^2}{x^2} \quad \text{при} \quad u > 5 \end{array} \right\}, \quad (7.59)$$

далі за формулою

$$s_2 = \frac{1}{\left(1 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4\right)^2}. \quad (7.60)$$

На рис. 7.2 наведені основні символи й визначення в їхньому зв'язуванні з координатами місцевості у приземному шарі для кращої орієнтації в результатах розрахунків концентрацій, обумовлених одиничним точковим джерелом.

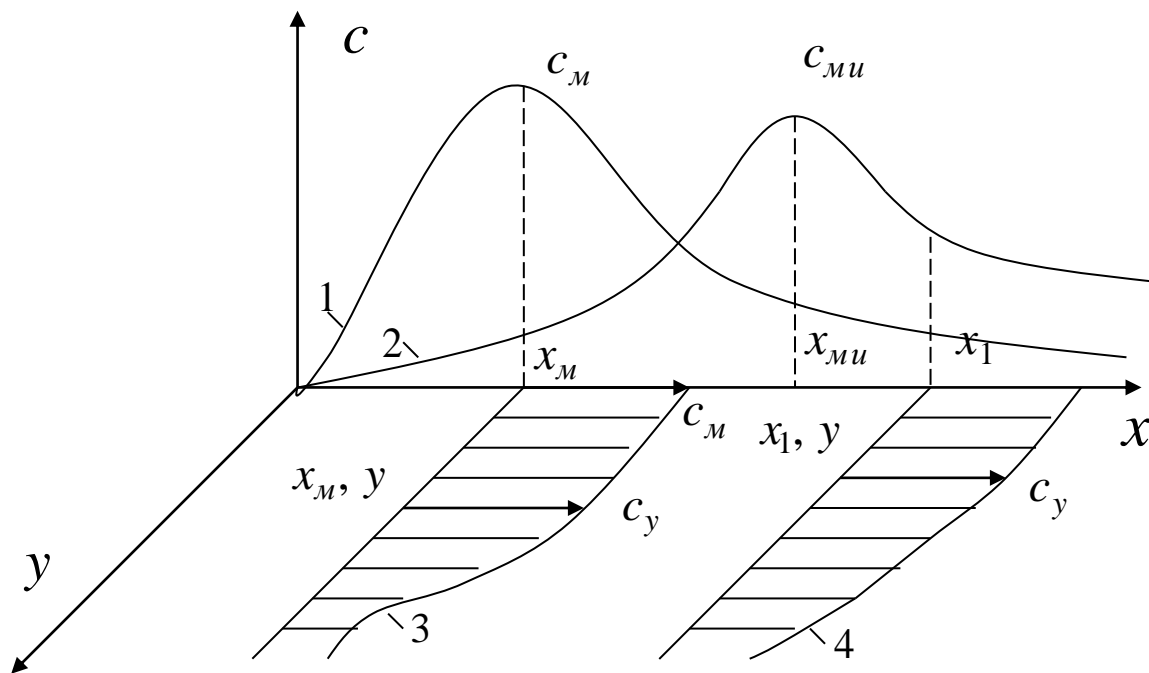


Рис. 7.2. Схема поля концентрацій

Криві над віссю x показують зміни приземної концентрації шкідливих речовин при небезпечній 1 та іншій 2 швидкостях вітру, u_M і u відповідно;

- c_M і c_{Mu} – максимуми кривих концентрацій при небезпечній u_M і такій u , що відрізняється від неї, швидкості вітру;

- x_M і x_{Mu} – координати максимумів концентрацій при небезпечній і такій, що відрізняється від неї швидкості вітру;

- зміна концентрацій у площині приземного шару в напрямку y від осі факела представлена кривими 3 і 4 для $x = x_M$, і $x = x_1$;

- c_y – концентрація на площині приземного шару з координатами x й y .

7.3. Розрахунок мінімальної висоти димової труби на ТЕЦ

Прикладом використання генеральної формули (7.21) для розв'язання зворотних задач є визначення мінімальної висоти димової труби.

Порядок її визначення нормується нормативним документом ОНД-86 [25].

Головна умова: висота труби H повинна забезпечити розсіювання шкідливих речовин до концентрації в приземному шарі атмосфери c до меншого значення або такого, що дорівнює ГДК.

Оскільки розрахунок ведеться при несприятливих метеорологічних умовах, коли швидкість вітру досягає небезпечного значення й має місце інтенсивний вертикальний турбулентний обмін в атмосфері, то висота димової труби, яка розраховується, дозволить здійснювати експлуатацію ТЕС при умовах, коли більшу частину року концентрація шкідливих домішок на рівні дихання людини буде нижче за гранично допустимі норми.

Висота димової труби повинна вибиратися тільки після того, як використані усі можливості, пов'язані зі зменшенням кількості шкідливих речовин, які утворюються при роботі ТЕС, в атмосфері.

Розрахунок мінімально припустимої висоти димової труби на основі генеральної формули для максимальної приземної концентрації

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}$$

за умови, що $c_m = \text{ГДК}$, ведеться за формулою [16]

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{\text{ГДК}} \sqrt[3]{\frac{z}{V_1 \cdot \Delta T}}}, \quad (7.61)$$

де z – число димових труб однакової висоти, які встановлені на ТЕС.

ГДК – гранично допустима концентрація речовини, яка лімітує чистоту повітряного басейну.

З 1966 р. введена вимога для шкідливих речовин односпрямованої дії, до котрих належать такі з них, які близькі за хімічним складом й характером біологічного впливу на організм людини, а з усіх сполучень найбільше значення для енергетики має сполучення сірчастого газу SO_2 й двоокису азоту NO_2 , практично завжди присутніх у продуктах згоряння мінеральних палив:

$$\frac{c_{SO_2}}{ГДК_{SO_2}} + \frac{c_{NO_2}}{ГДК_{NO_2}} \leq 1. \quad (7.62)$$

У випадку урахування сумачії шкідливого впливу SO_2 й NO_2 формула для визначення висоти димової труби набуває вигляду [16, 26], м,

$$H = \sqrt[3]{A \cdot F \cdot m \cdot n \left(\frac{M_{SO_2} + \frac{ГДК_{SO_2}}{ГДК_{NO_2}} \cdot M_{NO_2}}{ГДК_{SO_2}} \right) \cdot \frac{z}{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (7.63)$$

де M_{SO_2} і M_{NO_2} – сумарна кількість SO_2 і NO_2 , що викидаються в атмосферу, г/с.

Формули (7.61) і (7.63) використовуються у випадку, коли фонові концентрації навколо ТЕС відсутні. Коли ТЕС будується у місцях або поблизу промислових підприємств, то при розрахунку необхідно враховувати фонову загазованість, яка є в атмосфері. У цьому випадку формула для розрахунку висоти димової труби має такий вигляд:

$$H = \sqrt[3]{A \cdot F \cdot m \cdot n \left(\frac{M_{SO_2} + \frac{ГДК_{SO_2}}{ГДК_{NO_2}} \cdot M_{NO_2}}{ГДК_{SO_2} - C_{\phi SO_2} - \frac{ГДК_{SO_2}}{ГДК_{NO_2}} C_{\phi NO_2}} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{V_1 \cdot \Delta T}}}, \quad (7.64)$$

де C_{ϕ} – фонові концентрації шкідливих домішок в атмосфері.

Наявність однієї методики дозволяє упорядкувати розрахунки загазованості атмосфери викидами різних об'єктів промисловості і дати загальний підхід для порівняння різноманітних методів її зменшення.

7.4. Розрахунок гранично допустимих викидів (ГДВ) для ТЕС і котелень

ГДВ шкідливих речовин в атмосферу встановлюються для кожного джерела забруднення таким чином, щоб викиди шкідливих речовин від даного джерела й від сукупності джерел міста з урахуванням перспективи розвитку промислових підприємств і розсіювання шкідливих речовин в атмосфері не створювали приземну концентрацію, що перевищує їх ГДК.

ГДВ устанавлюються для умов повного навантаження технологічного й газоочисного устаткування та їхньої нормальної роботи.

ГДВ (г/с) устанавлюють із урахуванням фонових концентрацій для пори року й навантаження, сполучення яких дає максимальні приземні концентрації. Для ТЕЦ, КЕС і котелень це, як правило, найбільш холодний період року, коли теплові й електричні навантаження максимальні [5, 30].

Щодо ТЕС *ГДВ* устанавлюються на кожній димовій трубі й станції в цілому. *ГДВ* визначаються для кожної речовини окремо, у тому числі й у випадку урахування сумачії шкідливої дії декількох речовин. Для ТЕЦ і котелень, розташованих у містах, часто фонові концентрації вище за $ГДК_{м.р.}$. У цьому випадку пуск енергетичних об'єктів можливий тільки за умови зниження викидів іншими підприємствами [27].

Наряду з максимально разовими $ГДВ$ в оперативних цілях для виконання проектних оцінок темпів зниження викидів і можливостей утилізації шкідливих речовин, що містяться в них, установлюються річні значення $ГДВ$ (т/р.) для окремих димових труб і ТЕС у цілому.

Для діючих підприємств, якщо в місті $c_{\phi} < ГДК_{mr}$, а значення $ГДВ_{mr}$ не можуть у цей час бути досягнутими, за узгодженням з контролюючими органами передбачається поетапне зниження викидів до значень $ГДВ$, що забезпечують досягнення $ГДК$. На кожному етапі встановлюються тимчасово погоджені викиди ($ТПВ$).

Величину $ГДВ$ для одиночного джерела із круглим устям у випадках, коли $c_{\phi} < ГДК_{mr}$, визначають за формулою, г/с,

$$ГДВ = \frac{(ГДК - c_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}. \quad (7.65)$$

Всі позначення відомі з попередніх розробок. Порядок розроблення проекту нормативів $ГДВ$ наведений у роботі [31].

7.5. Визначення границь санітарно-захисної зони (СЗЗ) підприємств

Відповідно до вимог містобудівних і санітарних норм із метою охорони навколишнього середовища населених пунктів промислових підприємств, на яких виділяються шкідливі речовини в атмосферу, повинні відокремлюватися від житлової забудови санітарно-захисною зоною (СЗЗ).

Санітарно-захисна зона – зона (обмежений простір) між промисловими підприємствами та жилими і громадськими будинками, які розміщені поблизу, що створюється для захисту населення від впливу шкідливих промислових факторів (шум, пил, газоподібні та ін. шкідливі викиди).

Основними документами, регламентуючими розрахунок розсіювання викидів промислових підприємств в атмосфері і визначення концентрацій шкідливих речовин є посібник з проектування санітарно-захисних зон [29] і так само ОНД-86 [25],

які установлюють порядок їхнього розроблення. Ширина СЗЗ установлюється з розрахунку, щоб викиди пром підприємств, що досягають житлової забудови, не перевищували гранично допустимих концентрацій. Результати розрахунку розсіювання в атмосферному повітрі наносяться на схему генплану у вигляді ізоліній. На процес розсіювання суттєвий вплив мають стан атмосфери, характер місцевості, розміщення підприємства, фізичні властивості викидів, висота димової труби, діаметр її устя та ін.

Розміри СЗЗ установлюються залежно від класу небезпеки підприємств (СН 245-71) [32]. Класи встановлюються окремо по групах підприємств і виробництв [27]:

I клас – 1000 м;

II клас – 500 м;

III клас – 300 м;

IV клас – 100 м;

V клас – 50 м.

СЗЗ для ТЕС і котелень варто визначати за розрахунками розсіювання в атмосфері шкідливих речовин, що містяться у викидах, на підставі нормативних документів [25, 32, 33].

Вважається, що до ТЕС поняття СЗЗ поширюється не тільки на шкідливі речовини, які виносяться з паливного складу, загазованих цехів і золівдвалів, а і на шкідливі речовини, що йдуть із газами через димові труби. ТЕЦ і районні котельні тепловою потужністю 200 Гкал/год і вище, що працюють на газомазутному паливі, варто віддаляти від житлової забудови не менш ніж на 500 м (III клас) [31]. Мінімальна СЗЗ від золівдвалів ТЕС – не менше 500 м. Санітарно-захисні зони котелень диференційовані залежно від висоти димових труб: при $H < 15$ м $CЗЗ \geq 100$ м, при $H > 15$ м порядку 300 м.

7.6. Типи димових труб

Первісним призначенням димових труб є видалення димових газів теплоенергетичних установок за рахунок різниці густини холодного повітря й гарячих димових газів. З цією

метою використовуються невисокі димові труби, які виготовляються з металу або цегли.

З розвитком енергетики, коли укрупнюються одиничні потужності агрегатів й електростанцій при одночасному зниженні якості палива (підвищення зольності і вмісту сірки), виникла необхідність використання димових труб також для розсіювання шкідливих домішок, які містяться в димових газах, для зниження їх концентрації до необхідного рівня в атмосферному повітрі.

Для крупних електростанцій у наш час використовуються труби висотою 100, 200, 300 м й більше.

Високі труби витримують великі вітрові і вагові навантаження. Крім того, труба повинна мати високу надійність експлуатації, тобто труба протягом усього строку експлуатації (30-50 років) повинна забезпечувати її роботу без проведення ремонту. Сучасні труби виготовляються з міцних матеріалів різноманітних типів [16]:

- монолітні стволи з прилеглою футерівкою;
- труби з зазором, який вентилується, між газовідвідним і несучим стволами;
- одноствольні димові труби з роздільними потоками і значним зазором між газовідвідним й несучим стволами;
- багатоствольні димові труби.

Монолітні футеровані труби

Труби виготовляються з залізобетону (рис. 7.3), який витримує високі вітрові і вагові навантаження, але не можуть протистояти дії сіркових сполучень, вологи і підвищення температури димових газів.

Тому внутрішня поверхня стволу труби покривається ізоляцією – епоксидним лаком й склотканиною. Футерівка виконується з червоної і кислотостійкої цегли на діабазовій або андезитовій замазці й опирається на залізобетонні консолі несучого стволу, які виконуються через 30-50 м.

Для захисту на верхнім обрізі труби встановлюють чавунний ковпак, який збирають з секцій. Передбачається також система грозозахисту. Для установаження світлогороджувальних вогнів передбачаються світлофорні площадки, розташовані за висотою труби через кожні 15-30 м. Труби фарбують полосами

червоного кольору шириною 2-2,5 м й інтервалами за висотою 15 м. На деяких залізобетонних трубах можливе виникнення проникнення агресивних газів крізь щільність футерівки з одночасною конденсацією пари і проникнення рідини крізь бетонний ствол назовні, що призводить до порушення труби.

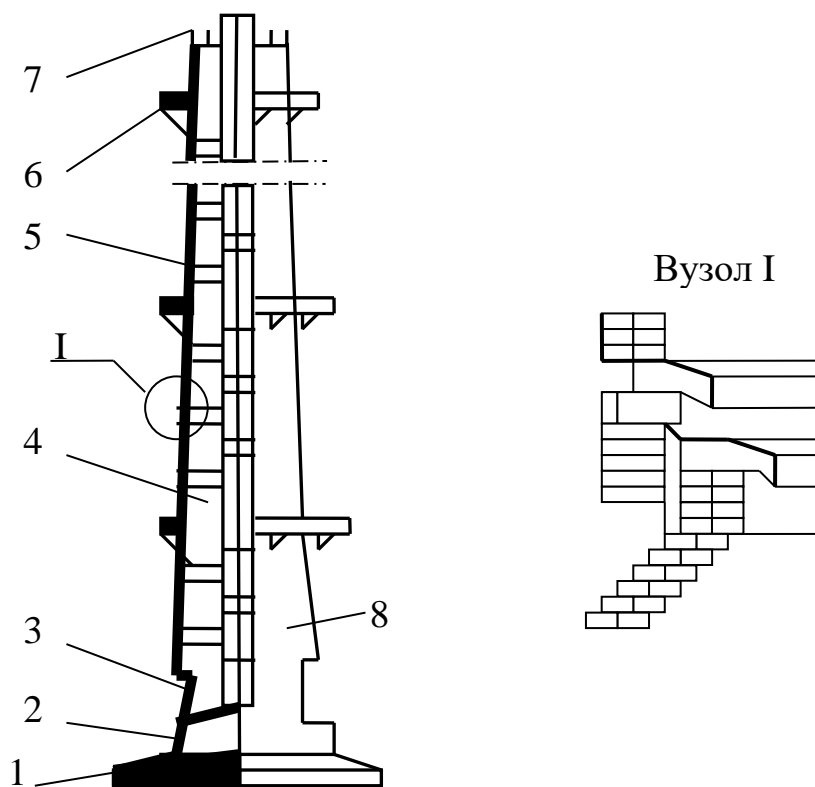


Рис. 7.3. Монолітна димова труба:

1 – фундамент; 2 – цоколь; 3 – пандус; 4 – ствол; 5 – ходова частина; 6 – світлофорна площадка; 7 – грозозахист

Як показують дослідження, основною причиною проникнення димових газів крізь ствол є збитковий статичний тиск димових газів у газовідвідному стволі по відношенню до навколишньої атмосфери.

$$\Delta P_{ст} = P_{ст.г} - P_{ст.а} , \quad (7.66)$$

де $P_{ст.г}$ – статичний тиск димових газів на деякому рівні труби;
 $P_{ст.а}$ – атмосферний тиск на тому самому рівні.

Для високої надійності роботи димової труби необхідно, щоб на будь-якій відмітці виконувалася умова

$$\Delta P_{ст} = P_{ст.г} - P_{ст.а} , \quad (7.67)$$

де $P_{ст.г} \leq 0$ – статичний тиск димових газів на деякому рівні труби;

$P_{ст.а}$ – атмосферний тиск на тому самому рівні.

Для високої надійності роботи труби необхідно, щоб на деякій відмітці виконувалася умова

$$P_{ст.г} \leq 0 . \quad (7.68)$$

У цьому випадку за явності деяких нещільностей у газовідвідному стволі і залізобетонній оболонці в димові газі з атмосфери буде поступати деяка кількість атмосферного повітря, що не являє небезпеки для роботи конструкції димової труби.

Труби з зазором між газовідвідним і несучим стволами

Одним з важливих принципів підвищення надійності димової труби є розподіл функцій газовідвідного ствола й несучої оболонки. Газовідвідний ствол повинен надійно огорожувати потік димових газів й протистояти дії підвищених температур і агресивних компонентів. Несуча конструкція сприймає вітрові і вагові навантаження, які досягають у високих димових трубах великих значень. Пристрій з прилеглою футерівкою до залізобетонного ствола не забезпечує необхідного захисту, особливо від агресивних середовищ.

Для більш чіткого розподілу функцій між огорожуючим і несучим стволами виконується повітряний зазор 150-200 мм. У цьому зазорі забезпечується циркуляція повітря для виведення крізь футерівку агресивних газів й рідини, які просочуються. Повітря подається в зазор вентилятором з атмосфери, але попередньо його підігрівають парою з відбору турбіни до температури 50-90 °С. У повітряному каналі утворюється більш високий тиск, ніж у газовідвідному стволі, що перешкоджає проникненню газів у повітряний канал і залізобетонну оболонку.

Одноствольні димові труби з роздільними потоками

Одноствольні димові труби високої надійності виконуються за типом «труба в трубі» з роздільними потоками й значним

зазором між димовідвідним і несучим стволами (рис. 7.4), які дозволяють вільно рухатися людям й проводити необхідні ремонтні роботи. Останнє є дуже важливою перевагою перед непрохідним зазором.

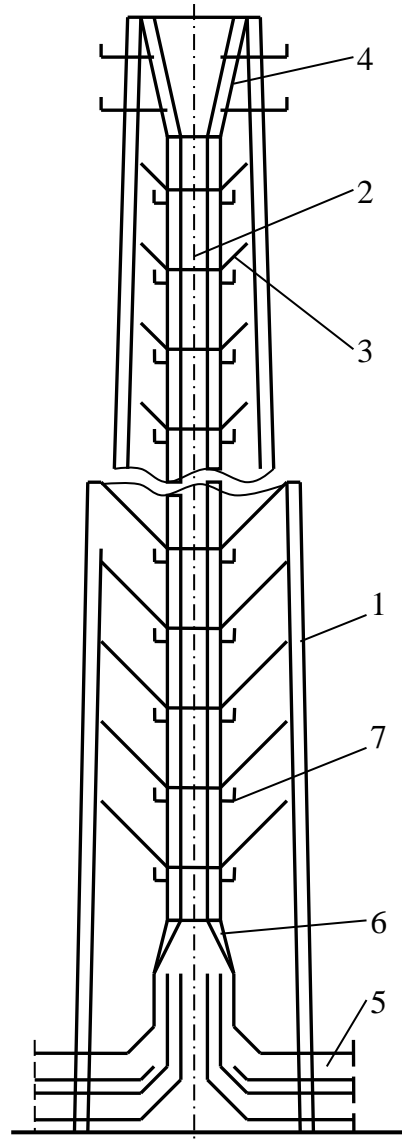


Рис. 7.4. Одноствольна димова труба з роздільними потоками (з зазорами між стволами по всій висоті):

1 – залізобетонний несучий ствол; 2 – кремнебетонна панель газовідвідного ствола; 3 – підвіски панелі; 4 – вихідний дифузор; 5 – підвідні газоходи; 6 – перехід; 7 – площадки обслуговування

Труба складається з циліндричного ствола постійного перетину і конічної зовнішньої оболонки, між якими є зазор по всій висоті, який дозволяє вільне обслуговування при експлуатації.

Газовідвідний ствол складається з 32 кільцевих елементів висотою 10 м кожний, що складаються з металевих підвісних каркасів, на яких кріпляться кремнебетонні панелі. Цей матеріал корозійностійкий і протистоїть температурній дії. Окремі панелі з'єднані між собою за допомогою температурного компенсатора, який виконаний з азбоцементної тканини. Обичайки на розтяжках підвішені до залізобетонного ствола.

Багатоствольні димові труби

Для ТЕС з великою кількістю різноманітних паро- і теплогенеруючого обладнання, особливо на теплоцентралях, одержали застосування багатоствольні труби (рис. 7.5).

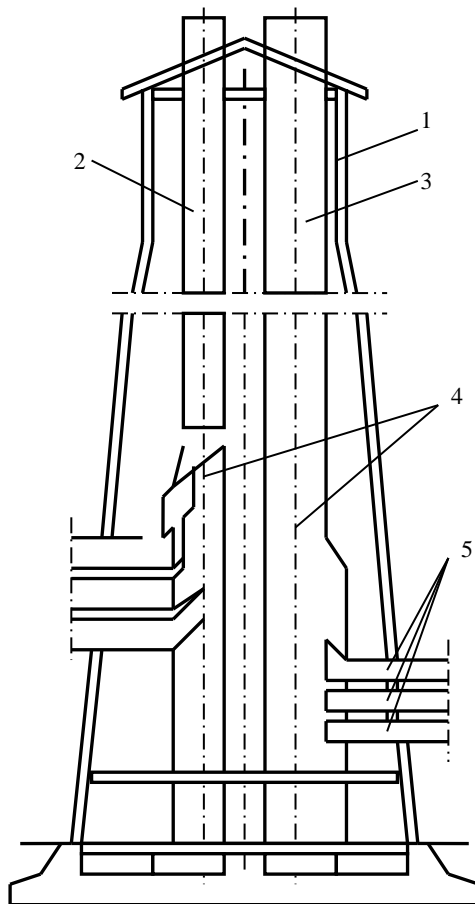


Рис. 7.5. Багатоствольна димова труба:

- 1 – залізобетонна оболонка; 2 – металевий ствол для пікових котлів; 3 – металевий ствол для парових котлів; 4 – цоколь;
- 5 – газоходи

Зсередини залізобетонної труби встановлюється декілька (3-4) металевих стволів циліндричної форми.

Перевага багатоствольної димової труби в тому, що кожний газовідвідний ствол є самостійною трубою, яку можна відключати, ремонтувати незалежно від інших. За потужністю димового факела, яка визначає висоту його підйому, і вартістю багатоствольні труби не сильно відрізняються від одноствольної труби.

7.7. Вибір основних параметрів димових труб

Висотні димові труби виявляються дорогим елементом електростанції, тому оптимальний вибір її основних характеристик дозволяє суттєво знизити затрати на спорудження труби.

Основною задачею оптимізації розрахунків димової труби є визначення швидкості газу у стволі і висоти димової труби [16].

Швидкість газу ω не тільки визначає поперечний перетин f і діаметр D_0 устя труби, а отже, і вартість труби, але і визначає гідравлічний опір Δp , пов'язаний з витратою енергії на переміщення газу. З підвищенням швидкості руху газів у стволі зменшується діаметр труби та її висота, тобто зменшується і вартість труби, але підвищується гідравлічний тиск на переміщення газу.

Тому основне рівняння, яке дозволяє з техніко-економічних позицій вибрати оптимальні характеристики димових труб, має вигляд

$$Z = I + E_H \cdot K, \quad (7.69)$$

де Z – приведені витрати;

I – витрати виробництва протягом року;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних витрат, який приймається 0,12;

K – одночасні капітальні витрати.

Мінімум приведених витрат відповідає оптимальному варіанту. Одночасні капітальні витрати відносно димових труб складаються з двох складових:

$$K = K_m + K_{де}, \quad (7.70)$$

де K_m – вартість труби;

$K_{\text{дв}}$ – вартість двигунів димососів, потужність яких витрачається на подолання опору газовідвідних труб.

Щорічні експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

$$I = I_e + P_a \cdot K_m + P'_a \cdot K_{\text{дв}}, \quad (7.71)$$

де P_a, P'_a – витрати на амортизацію і поточний ремонт відповідно для труб і електродвигунів димососів або повітродувок;

I_e – щорічні витрати, пов'язані з електроенергією.

Підставивши вирази (7.70) і (7.71) у вираз (7.69), отримуємо

$$Z = I_e + (E_n + P'_a) K_{\text{дв}} + (E_n + P_a) K_m. \quad (7.72)$$

Перші два члени виразу (7.72) пропорційні потужності N_n , яка витрачається димососами або повітродувками на подолання опору газовідвідними трубами при номінальній потужності. Визначивши ці члени рівняння (7.72) через N_n , отримуємо

$$I_e = \frac{\tau \cdot \mu^2 \cdot \varphi_e \cdot N_n}{\eta_{\text{дв}}}; \quad (7.73)$$

$$K_{\text{дв}} = \frac{\beta \cdot \kappa_{\text{дв}} \cdot N_n}{\eta_{\text{дв}}}, \quad (7.74)$$

де τ – число годин роботи котла за рік;

μ – коефіцієнт навантаження котла за робочий період;

φ_e – питомі витрати на електроенергію;

β – нормативний запас з витрати й тиску тягових машин і потужності приводного електродвигуна;

$\kappa_{\text{дв}}$ – питома вартість електродвигунів.

Підставивши формули (7.73) і (7.74) у формулу (7.72), отримуємо

$$Z = Z_{\text{мд}} \cdot N_n + (E_n + P'_a) K_m, \quad (7.75)$$

де $Z_{\text{мд}}$ – річні витрати на 1 кВт потужності, які витрачаються на переміщення газу і пов'язані з електроенергією,

$$Z_{m\partial} = \tau \cdot \mu^2 \cdot \varphi_e + (E_n + P'_a) K_{\partial\partial} \cdot \beta. \quad (7.66)$$

Значення $Z_{m\partial}$ у випадку роботи в базовому і піковому режимах визначаються залежно від коефіцієнта навантаження і витрат на замикаючу електроенергію.

Підставивши у формулу (7.75) вираз для електричної потужності, яка витрачається на подолання опору димової труби, отримуємо загальне рівняння для розрахункових витрат на труби усіх типів:

$$Z = 10^{-3} Z_{m\partial} \cdot \zeta \cdot \frac{V_z \cdot \Delta p}{\eta_{m\partial} \cdot \eta_{\partial\partial}} + (E_n + P'_a) K_m, \quad (7.77)$$

де V_z – об'єм газів, які транспортуються крізь трубу, м³/с;

ζ – коефіцієнт, який залежить від принципової схеми газоповітряного тракту:

$\zeta = 1$ при роботі котлів під розрядженням,

$$\zeta = \frac{T_{нов} \cdot \alpha_{нов}}{T \cdot \alpha}, \quad (7.78)$$

де $T_{нов}$, T – відповідно температури повітря у дуттьовому вентиляторі і газів у трубі;

$\alpha_{нов}$, α – надлишок повітря відповідно в дуттьовому вентиляторі і в газовідвідній трубі. Звичайно для котлів під наддуванням $\zeta = 0,6-0,7$;

Δp – гідравлічні втрати в трубі з урахуванням самотяги, Па,

$$\Delta p = \Delta p_{втр} - \Delta p_c, \quad (7.79)$$

де Δp_c – самотяга труби.

Гідравлічні втрати в трубі залежать від типу труби, матеріалу ствола і його конструкції. У загальному випадку вони складаються з втрат на тертя і місцеві опори у стволі $\Delta p_{тр}$ і втрати з вихідною швидкістю $\Delta p_{вих}$:

$$\Delta p_{втр} = \Delta p_{тр} + \Delta p_{вих}. \quad (6.80)$$

Втрати на тертя у конічному стволі з постійним уклоном рівня, Па,

$$\Delta p_{mp} = \frac{\lambda}{8 \cdot i} \left(1 - \frac{1}{D_n^4} \right) \cdot p_{\partial o}, \quad (7.81)$$

де λ – коефіцієнт втрат тиску (для залізобетонних димових труб з цегельною футерівкою приймається 0,05);

i – уклон по внутрішній твірній газовідвідного ствола;

$\overline{D_n}$ – відносний діаметр ствола на нижній відмітці вводу газоходу, $\overline{D_n} = \frac{D_n}{D_0}$;

$p_{\partial o}$ – динамічний тиск газів в усті ствола, Па,

$$p_{\partial o} = \rho_z \frac{\omega_0^2}{2} = \rho_z \frac{V_z^2}{2 \cdot F_0}, \quad (7.82)$$

де ω_0 – швидкість димових газів в усті труби, м/с;

F_0 – площа перетину устя стволу, м².

Втрати в стволі постійного перетину, Па,

$$\Delta p_{mp} = \left(\frac{\lambda_c \cdot h_{cm}}{D_0} \right) \cdot p_{\partial o}, \quad (7.83)$$

де h_{cm} – висота ствола від відмітки вводу газоходів;

λ_{cm} – коефіцієнт втрат на тертя у стволі.

Втрати з вихідною швидкістю

$$\Delta p_{вих} = p_{\partial o}. \quad (7.84)$$

Самотяга труби у всіх випадках визначається з рівняння

$$p_c = \Delta \rho \cdot h_{cm}, \quad (7.85)$$

де $\Delta \rho$ – різниця густини атмосферного повітря при середньорічній температурі й димових газів, кг/м³.

Вартість димової труби $K_{тр}$ залежить від типу конструктивної схеми. З цієї точки зору виділяють дві групи труб:

- труби з цегельною футерівкою без вентиляваного зазору й з непрохідним вентиляваним зазором;
- труби з газовідвідними стволами, які відділені від несучого ствола прохідним простором.

Вартість димових труб залежно від конструкції визначається як сума витрат на їх основні елементи. Для димових труб першої групи виділяються два основні елементи: фундамент і залізобетонна оболонка з футерівкою й теплоізоляцією, яка визначається як єдина конструкція. Вартість таких труб складається з витрат на фундамент і витрат на оболонку з футерівкою й теплоізоляцією:

$$K_{тр} = K_{ф} + K_{ст} . \quad (7.86)$$

Вартість фундаменту залежить від характеристики ґрунту, швидкісного напору вітру й вартості будівельних матеріалів, вартість же ствола залежить від температури відхідних газів й не залежить від якості ґрунту.

Труби другої групи можуть бути як одноствольні, так і багатоствольні. Для димових труб цієї групи визначають три основні елементи: фундамент, залізобетонна оболонка і газовідвідний ствол з теплоізоляцією. З витрат на ці три елементи і складається вартість труби.

Визначивши окремі складові рівняння, які входять до рівняння (7.75), й задавшись різними швидкостями, розрахуємо декілька варіантів і серед них виберемо варіант з найменшими розрахунковими витратами.

Залежно від висоти труби, яка визначається з санітарно-гігієнічних норм, інтервали швидкостей можна визначити з табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Залежність швидкості від висоти труби газу в димовій трубі

Висота труби, м	150-180	250	330	360	420
Оптимальна швидкість, м/с	20-25	25-30	30-37	35-40	40-45

Питання для самоперевірки

1. Що забезпечує перемішування шкідливих речовин у димових газах з атмосферним повітрям?
2. Що таке турбулентна дифузія?
3. Що називають ефективною висотою димової труби?
4. Як визначається ефективна висота димової труби?
5. З чого складається підйом димового факела над устям труби?
6. Що таке гідродинамічний підйом димового факела?
7. Чим обумовлюється тепловий підйом димового факела?
8. Які форми може мати димовий факел і з яких умов?
9. Що таке небезпечна швидкість вітру?
10. На які класи поділяють джерела викиду шкідливої речовини залежно від висоти димової труби?
11. Що розуміють під одиночним або точковим джерелом викиду?
12. Генеральна розрахункова формула, яка визначає максимальне значення концентрації викиду для гарячого джерела.
13. Генеральна розрахункова формула, яка визначає максимальне значення концентрації викиду для холодного джерела.
14. Що означає коефіцієнт A в генеральній формулі визначення максимальної концентрації викиду?
15. Що означає коефіцієнт F в генеральній формулі визначення максимальної концентрації викиду?
16. Що враховують коефіцієнти m і n в генеральній формулі визначення максимальної концентрації викиду?
17. Як визначають відстань від джерела викиду до координати максимуму концентрації?
18. Як визначається небезпечна швидкість вітру?
19. Як визначають зміну концентрації уздовж факела викиду?
20. Як визначають зміну концентрації в точках з координатами x , що не лежить на осі факела?
21. Як розраховують висоту димової труби?
22. Типи димових труб.
23. Що називають санітарно-захисними зонами (СЗЗ)?
24. Для чого визначають СЗЗ?
25. На основі чого визначають СЗЗ?

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Апостолюк С.О., Джигірей В.С., Апостолюк А.С. Промислова екологія: Навч. посібник. – К.: Знання, 2005. – 474 с.
2. Охрана окружающей среды: Учеб. для вузов/ Автор-сост. А.С. Степановских. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 559 с.
3. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения / В.Н. Плахотник и др. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 244 с.
4. Семиноженко В.П., Канило П.М., Остапчук В.М., Ровенський О.І. Енергія. Екологія. Майбутнє. – Х.: Прапор, 2003. – 464 с.
5. Экология города: Учебник / Под общ. ред. Ф.В. Стольберга. – К.: Либра, 2000. – 464 с.
6. Дейнека О.Г., Омельченко Т.М., Ніяковський В.В. Екологія: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 197 с.
7. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для хим.-технол. и биол. спец. вузов / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лазоновская. – М.: Высш. шк., 2002. – 334 с.
8. Білявський Г.О., Бутченко Л.І., Навроцький В.М. Основи екології: теорія та практика: Навч. посібник. – К.: Лібра, 2002. – 352 с.
9. Україна. Статистичний щорічник 2001 р. – К.: Держкомстат, 2002. – 687 с.
10. Корчовий Ю.П., Вольчин І.А., Горбанів В.С. та ін. Екологічні аспекти розвитку теплоенергетики України // Енергоінформ. – 2004. – №25(259). – С. 5-6.
11. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» №1264-ХІІ від 25.06.1991 р. // Відомості Верховної Ради. – 1991. – №41. – С. 546.
12. Закон України «Про зміни до Закону України «Про охорону атмосферного повітря» від 21.06.2001 р. №2556-ІІІ // Офіційний Вісник України. – 2001. – №31. – С. 26-39.
13. Вольчин І.А., Потапов А.А., Ращепкин В.А. К вопросу установления технологических нормативов допустимого выброса загрязняющих веществ в атмосферу // Энергетика та електрифікація. – 2006. – №5. – С. 43-50.

14. Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2001 р. №1780 «Про затвердження «Порядку розробки та затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючої речовини від стаціонарних джерел» //Офіційний Вісник України. – 2002. – №1. – С. 84-86.

15. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 р. // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – №50. – С. 1511-1525.

16. Рихтер А.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: Учеб. для вузов /Л.А. Рихтер, Э.П. Волков, В.Н. Покровский; Под ред. П.С. Непорожного. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.

17. Сигал И.Я., Славин В.И., Шило В.В. Очистка промышленных выбросов в атмосферу от оксидов серы и азота. (Обзор мирового опыта работ по очистке дымовых газов в 80-90-е годы) / Под ред. И.Я. Сигала. – Харьков: РИП «Оригинал», 1995. – 144 с.

18. Пинчук Г.А., Покалюк А.И., Тебенихин Е.Ф. Технология топлива, смазочных материалов и воды. – М.: ГТЖИ, 1954. – 351 с.

19. Энергетика и окружающая среда / Ф.В. Скалкин, А.А. Канаев, И.З. Копп. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1981. – 280 с.

20. Русанов А.А., Урбах И.И., Анассиади А.П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике / А.А. Русанов, И.И.Урбах, А.П. Анассиади. – М.: Энергия, 1969. – 456 с.

21. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 396 с.

22. Баженов М.И., Богородский А.С. Сборник задач по курсу «Промышленные электростанции»: Учеб. для вузов. – М.: Энергия, 1989. – 352с.

23. Жихар Г.И. Тепловые электрические станции: Укрупненный расчет котла, выбор тягодутьевых машин, охрана окружающей среды: Учеб. пособие / Г.И. Жихор, Н.Б. Карницкий, И.И. Стриха; Под ред. Н.Б. Карницкого. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 380 с.

24. Указания по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. СН 369-74. – М.: Стройиздат, 1975. – 40 с.

25. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Госкомгидромет, 1987. – 93 с.

26. Полтавський І.П. Розрахунок розсіювання шкідливих викидів і вибір димових труб при роботі ТЕС та котелень: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – 74 с.

27. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с.

28. Энергетика и охрана окружающей среды /Под ред. Н.Г. Залогина и др. – М.: Энергия, 1979. – 352 с.

29. Руководство по проектированию санитарно-защитных зон промышленных предприятий /ЦНИИП градостроительства. – М.: Стройиздат, 1984. – 33 с.

30. «Порядок розробки і затвердження ГДВ забруднюючих речовин у атмосферне повітря стаціонарними джерелами» // Наказ Мінекобезпеки України №75 від 18.07.96 р. – К., 1996. – 14 с.

31. Еремкин А.И., Квашнин И.М., Юнкеров Ю.Ш. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: Учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 176 с.

32. Охрана окружающей среды: Справочник /Сост. Л.П. Шариков. – Л.: Судостроение, 1978. – 588 с.

33. СН245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1972. – 96 с.

34. Ляшенко О.Л., Борщов В.А., Єгорова І.М. Основи екології: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – 146 с.

35. Водний кодекс України від 4 травня 1995 р. №213/95-ВР (В текст внесені зміни та доповнення Законами України від 21 вересня 2000 р. №1990-III, від 7 грудня 2000 р. № 2120-III, від 20 грудня 2001 р. №2905-III) //Відомості Верховної Ради. – 1995. – №24. – С. 189.

36. Покровский В.Н., Аркачев С.П. Очистка сточных вод тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.

37. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» від 25 березня 1999 р. № 465.

38. Сторожук В.М., Батлук В.А., Назарук М.М. Промислова екологія: Підручник. – Львів: Українська академія друкарства, 2006. – 547 с.

39. Постанова Кабінету Міністрів України «Про порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується» №1100 від 11 вересня 1996 р. //Зібрання постанов Уряду України. – 1996. – №17. – С. 91-88

40. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України. – Харків: Видавництво «ФОРТ», 2004. – 31 с.

41. Маляренко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження /Під заг. ред. В.А. Маляренка. – Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.

42. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. – Х.: Видавництво САГА, 2008. – 364 с.

43. Очистка производственных сточных вод: Учеб. пособие / С.В. Яковлев и др. – М.: Стройиздат, 1985. – 320 с.

44. Очистка сточных вод: примеры расчетов: Учеб. пособие / М.П. Лапицкая, Л.И. Зуева и др. – Минск: Выш. школа, 1983. – 255 с.

45. Охрана окружающей среды / С.В. Белов и др. – М.: Высшая школа, 1991. – 318 с.

46. Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Изд. группа «Вариант», 1999. – 440 с.

47. Барановський В.Д., Шищенко П.Г. Агроекологічна оцінка ґрунтів. – К., 2002. – 35 с.

48. Закон України «Про відходи» // Відомості Верховної Ради. – 1998. – № 36-37. – С. 242.

49. Утилизация и рекуперация отходов: Учеб. пособие /М.Е Краснянский. – 2-е изд., испр. и доп. – Харьков: Бурун и К; Киев: КНТ, 2007. – 288 с.

50. Класифікатор відходів ДК 005-96. – К.: Парламентське видавництво, 2005. – 36 с.

51. Зербіно Д.Д., Гжегоцький М.П. Екологічні катастрофи у світі та в Україні. – Львів: БаК, 2005. – 272 с.

52. Інженерна екологія: Підруч. з теорії і практики сталого розвитку / В.А. Баженов, В.М. Ісаєнко, Ю.М. Саталкін та ін.; За заг. ред. В.П. Бабака. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2006. – 492 с.

53. Земельний кодекс України від 25 жовтня 2001 р. №2768-III (в текст внесені зміни та доповнення Законом України від 20 грудня 2001 р. №2905-III) // Відомості Верховної Ради. – 2002. – №3. – С. 27.

54. Экологическое право Украины: Учеб. пособие /Отв. ред. А.П. Гетьман, М.В. Шульга. – Харьков: Одиссей, 2007. – 409 с.

55. Левин Б.И. Использование твердых бытовых отходов в системах энергоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.

56. Тлумачний російсько-українсько-англійський словник з екології. Основні терміни: близько 3500 термінів / Уклад.: М.Д. Гінсбург, Н.І. Азімова, І.О. Требульова та ін.; За заг. ред. А.А. Рудніка. – Харків, 2000. – 736 с.

ПРЕДМЕТНО-АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Адгезійні властивості 97
- Абсорбція 95
- Адсорбція 95
- Азот 48
- Атмосфера 13
- Бенз(а)пірен 50
- Біосфера 7
- Викиди забруднень
- двигунами 11, 31
 - залізничним транспортом 12, 32
 - енергетикою 11
 - металургією 10
 - тепловими електростанціями 11, 24
- Випромінювання
- сонячне 17
 - Землі 18
- Вітру швидкість небезпечна
- визначення 160
 - розрахунок 165
- Викиди
- газів 11
 - пилу 11
 - важких металів 11
- Властивості
- очищувальних газів 99
 - твердих часток 97
- Вуглекислий газ 16
- Газ
- парниковий 16
 - повітряний 62
 - водяний 62
 - міський 63
- Газифікація палива
- рідкого 60, 65
 - твердого 62, 63
 - процеси 64
- Газогенератор 60

Генеральна розрахункова формула 161
Глобальне потеплення 18
Гранично допустимі викиди (ГДВ) 41,171
Гранично допустимі концентрації (ГДК) 38, 41
Двостадійне спалювання палива 89
Джерела викидів
- гарячі 160
- холодні 160
- стаціонарні 24
- пересувні 31
Димові гази
- властивості 99
- очищення 97
- рециркуляції 87
Димові труби
- висота 157
- мінімальна висота 169
- ефективна висота 157
Діоксид
- азоту 25
- вуглецю 24
- сірки 25
Дифузія турбулентна 154
Екологічна безпека 8
Екологічна катастрофа 8
Екосистема 7
Електрофільтри 139
- конструкції 142
- принцип роботи 140
- розрахунок 144
Забруднення 9
- класифікація 34
Золовловлювання 103
- параметр золовловлювання 108
- ступінь золовловлювання 103
Зона
- робоча 39
- санітарно-захисна 172

Кислота

- азотна 14, 48
- сірчана 14

Кислотні дощі 14, 4

Київський протокол 18

Клас небезпеки 35

Кліматичний коефіцієнт 162

Класифікація забруднень 34

Коефіцієнт проскакування 106

Концентрація

- максимальна 159
- фонові 42

Нітрати 49

Нормування якості повітря 36

Озон 19

Оксиди

- азоту 48
- термічні 81
- паливні 83
- фронтальні 86
- ванадію 51
- вуглецю 52, 54
- сірки 46, 57

Очищення димових газів від:

- золи, пилу 112
- оксидів азоту 94
- сірководню 69

Пальникові пристрої 91

Парниковий ефект 16

Пилозловлювачі

- газопромивники 136
- жалюзійні 123
- пилоосаджувальні камери 123
- скрубери 131
- циклони 112
- фільтри 146

Радіоактивне забруднення 20,21

Релаксація 126

Ртуть 54
Седиментація 125
Сірководистання газів (методи)
- вапняний 71
- каталітичний 77
- лужний 73
- магнезитовий 74
- содово-циклічний 76
- сухий 78
Сумація впливу 39
Тверді частки 44, 97
- властивості 97
Циклони
- батарейні 119
- принцип дії 112
- прямотоків 118
- типи 117
Фільтрація 145
Фільтри 146
- волокнисті 151
- електричні 139
- зернисті 152
- класифікація 146, 148
- рукавні 148
- регенерація 146
- тканинні 147

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Водні об'єкти, водоспоживання та його регулювання	9
1.1. Водні об'єкти та їх класифікація.....	9
1.2. Процеси, що протікають у водних об'єктах.....	10
1.3. Водоспоживання та його регулювання в Україні.....	16
2. Показники якості води.....	19
2.1. Фізичні показники якості води.....	19
2.2. Бактеріологічні показники якості води.....	21
2.3. Гідробіологічні показники якості води.....	21
2.4. Загальні хімічні показники якості води.....	22
2.5. Специфічні хімічні показники якості води.....	26
2.6. Загальні вимоги до якості води у водних об'єктах.	31
3. Забруднення водних об'єктів енергетичними підприємствами і транспортом.....	35
3.1. Основні фактори забруднення водних об'єктів	35
3.1.1. Хімічне забруднення.....	35
3.1.2. Органічне забруднення.....	36
3.1.3. Бактеріологічне забруднення.....	36
3.1.4. Радіоактивне забруднення.....	36
3.1.5. Теплове забруднення.....	37
3.2. Джерела забруднення водних об'єктів	38
3.3. Взаємодія теплової енергетики і водних об'єктів.....	41
3.4. Вплив транспортних засобів на водні об'єкти.....	43
4. Нормативи використання, споживання і відведення води.....	47
4.1. Нормативи використання й охорони водних ресурсів... ..	47
4.1.1. Нормативи екологічної безпеки водокористування	47
4.1.2. Екологічні нормативи якості води.....	50
4.1.3. Нормативи гранично допустимого скидання забруднюючих речовин.....	52
4.1.4. Галузеві технологічні нормативи утворення забруднюючих речовин.....	52
4.1.5. Технологічні нормативи використання води.....	52
4.2. Нормування водоспоживання і водовідведення води... ..	52
4.2.1. Нормування водоспоживання на технологічні потреби.....	53

4.2.2. Нормування водоспоживання на господарчо- побутові потреби.....	54
4.2.3. Нормування водовідведення.....	54
4.2.4. Режим водоспоживання і водовідведення.....	55
5. Стічні води енергетичних підприємств і їх вплив на водойми	57
5.1. Класифікація промислових стічних вод.....	57
5.1.1. Склад і властивості промислових стічних вод.....	57
5.1.2. Принципи класифікації стічних вод.....	58
5.2. Умови скидання стічних вод у водні об'єкти.....	61
5.3. Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод.....	68
5.4. Стічні води теплових електростанцій.....	70
5.4.1. Теплове забруднення води.....	71
5.4.2. Стічні води водопідготовчих установок і конденсатоочищень.....	78
5.4.3. Стічні води, які забруднені нафтопродуктами.....	82
5.4.4. Води від обмивання зовнішніх поверхонь котлів, які працюють на сірчаному мазуті.....	84
5.4.5. Води від хімічних промивань і консервації устаткування.....	85
5.4.6. Стічні води систем гідрозоловидалення на ТЕС, працюючих на твердому паливі.....	88
6. Методи очищення стічних вод.....	91
6.1. Класифікація методів очищення стічних вод.....	91
6.1.1. Критерії визначення методів очищення стічних вод	91
6.1.2. Механічні методи очищення стічних вод.....	94
6.1.3. Хімічні методи очищення стічних вод.....	98
6.1.4. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод.....	100
6.1.5. Біологічні методи очищення промислових стічних вод.....	105
6.2. Очищення стічних вод теплових електростанцій.....	114
6.2.1. Обробка стічних вод водопідготовчих установок і конденсатоочищень.....	114
6.2.2. Очищення стічних вод від нафтопродуктів.....	123
6.2.3. Очищення стічних вод обмивання поверхонь нагріву котлів.....	139

6.2.4. Очищення стічних вод хімічних промивань і консервації устаткування.....	141
6.2.5. Знезараження стічних вод систем гідрозоловидалення.....	144
6.3. Методи очищення стічних вод підприємств залізничного транспорту.....	145
6.3.1. Методи очищення стічних вод залізничного транспорту від нафтопродуктів і мастил.....	146
7. Вплив на ґрунтовий покрив об'єктів теплоенергетики, залізничного транспорту та інших об'єктів	153
7.1. Характеристика ґрунтового покриву і земельних ресурсів України.....	153
7.1.1. Ґрунти та їх функції у біосферних процесах.....	153
7.1.2. Склад ґрунту і процеси, які відбуваються в ньому.....	154
7.1.3. Сучасний стан земельних ресурсів України.....	156
7.2. Антропогенне забруднення ґрунтового покриву.....	159
7.2.1. Оцінювання забруднення ґрунтів та показники його обмеження	159
7.2.2. Негативний вплив на забруднення ґрунтів техногенних факторів.....	165
8. Відходи, їх утворення, накопичення, розміщення і знешкодження.....	169
8.1. Класифікація відходів і підприємств.....	169
8.2. Промислові та побутові відходи та їх вплив на ґрунтовий покрив.....	172
8.2.1. Відходи паливно-енергетичного комплексу	174
8.2.2. Відходи підприємств залізничного транспорту.....	176
8.3. Технології поводження з відходами.....	176
8.3.1. Комплексне поводження з відходами.....	179
8.3.2. Напрями утилізації відходів паливно-енергетичного комплексу.....	185
8.3.3. Поводження з відходами підприємств залізничного транспорту.....	187
Бібліографічний список.....	194
Предметно-алфавітний покажчик.....	199

ВСТУП

Гідросфера – це сукупність усіх вод Землі: материкових (глибинних, ґрунтових, поверхневих), океанічних, атмосферних. Як, власне, водна оболонка Землі розглядаються лише води, які знаходяться на поверхні планети – материкові та океанічні. Внаслідок високої рухомості води проникають повсюди у різні природні утворення. Вони знаходяться у вигляді пари і хмар у земній атмосфері, формують океани і моря, існують у замороженому стані у високогірних регіонах континентів і у вигляді міцних крижаних панцирів покривають полярні ділянки суші [2].

Переважна частка маси природних вод (94,2%) – це вода Світового океану, який являє собою унікальну природну систему. Тут відбувається грандіозний процес обміну, трансформації енергії і речовини нашої планети.

Загальний об'єм води на Землі становить 1385 млн км³, прісна вода – 2,5%: у льодовиках – 0,8·10⁶ км³, підземна вода складає 20·10⁶ км³, поверхневі води – 0,2·10⁶ км³.

Кожний п'ятий житель планети не має доступу до чистої води. Щорічно більше 5 млн людей на Землі вмирає від захворювань, пов'язаних з забрудненням води.

За міжнародною класифікацією, Україна належить до найменш забезпечених власними водними ресурсами європейських держав. Україна має 95 км³ води, з них 22 км³ підземних, 57 км³ поверхневих вод, решта – сніг і крига.

За запасами місцевих ресурсів річкового стоку на душу населення Україна займає одне з останніх місць в Європі: на одного жителя припадає 1 тис. м³ місцевих ресурсів річкового стоку; у Європі в середньому – 4,6 тис. м³ (у Швеції – 21,6; Швейцарії – 5,8; Білорусії – 3,3; Франції – 2,9; Німеччині – 1,3).

В Україні налічується 63,1 тис. річок і струмків загальною довжиною 206 тис. км, з них 9 великих й 81 середніх, 1,2 тис. водосховищ, понад 28 тис. стоків, 7 великих каналів, 10 великих водоводів, якими вода подається у маловодні райони. 58% ресурсів зосереджено в річках басейну Дунаю у прикордонних районах України. Найменш забезпечені водними ресурсами

Донбас, Криворіжжя, Крим та південні області, де зосереджена найбільша кількість підприємств-водокористувачів. Водні ресурси Дніпра забезпечують водою понад 2/3 господарчого потенціалу України та понад 30 млн населення питною водою. Дніпро – третя за довжиною і площею басейну річка Європи (після Волги і Дунаю). Її басейн займає 65 % площі України, загальна довжина – 2201 км (в Україні – 1205) [8].

Звичайно забруднення води пов'язані з регулярним скиданням у вододжерела стічних вод, з поверхневим і дренажним стоком з сільськогосподарських угідь, з експлуатацією енергетичних, хімічних, машинобудівних та інших підприємств.

Літосфера – зовнішня тверда оболонка Землі, яка включає всю земну кору з частиною верхньої мантії Землі і складається з осадових, магматичних і метаморфічних порід.

Найбільше людина впливає на земну кору – тонку верхню оболонку Землі, яка має товщину на континентах 40-80 км, під океанами 5-10 км і становить всього близько 1% маси Землі. Вісім елементів – кисень, кремній, водень, алюміній, залізо, магній, кальцій, натрій – утворюють 99,5% земної кори [38].

Основна частина літосфери складається з вивержених магматичних порід (95 %), серед яких на континентах переважають граніти, а в океанах – базальти.

На континентах земна кора складається із трьох шарів:

- осадові породи;
- гранітогнейсові;
- базальтові.

Під океанами кора складається із двох шарів – осадові породи залягають прямо на базальтах.

Основна маса живої речовини зосереджена на глибині не більше декількох метрів. Літосфера є середовищем усіх мінеральних ресурсів, а також одним з основних об'єктів антропогенної діяльності.

Жива речовина розміщена на планеті дуже нерівномірно, що пов'язано з різними умовами існування. Океан бідніший на життя – біомаса Світового океану в 1000 разів менша від біомаси суші.

Вивчення літосфери з сучасних екологічних позицій має надзвичайно велике значення для України, де літосфера займає 70 % території країни і є одним із джерел економіки і добробуту нації.

Основним заходом охорони літосфери є не лише охоронні заходи, але раціональне використання земельних ресурсів за прямим призначенням. У зв'язку з цим велике значення має охорона від неправильного відведення під цивільне і промислове будівництво, від засмічення промисловим, будівельним, теплоенергетичним і транспортним сміттям, влаштування сміттєзвалищ населених пунктів.

Забруднення літосфери має антропогенне походження – використання людиною різних забруднювачів (накопичення пестицидів, незасвоєних добрив, відходів тваринництва, промисловості, енергетики та ін.). Як правило, рослини і тварини використовують ґрунтові забруднення для харчування. Таким шляхом забруднення потрапляють до людини.

Тому в біосфері досить помітні непередбачувані зміни, пов'язані із забрудненням морських акваторій і прісноводних водоймищ, з порушенням ґрунтового покриву і цінних ландшафтів, водних і лісових ресурсів, зі зменшенням чисельності корисних видів тварин і рослин.

Екологічні проблеми України, пов'язані з гідросферою і літосферою, – це:

- нестача води в певних місцевостях;
- незадовільна якість води для питних потреб;
- забруднення вод Чорного й Азовського морів та зменшення їх біоценозу;
- забруднення річок, водосховищ та ґрунтів пестицидами, важкими металами, радіонуклідами тощо;
- підтоплення земель поблизу водосховищ;
- зсуви і селі в гірських районах;
- ерозія, суфозія, дефляція, карст, засолення, просідання ґрунтів тощо.

1. Водні об'єкти, водоспоживання та його регулювання

1.1. Водні об'єкти та їх класифікація

Усі водні об'єкти на території України становлять її водний фонд.

Водний об'єкт – це сформований природою або створений штучно об'єкт ландшафту чи геологічна структура, де зосереджуються води – річки, озера, моря, водосховища, канали, водоносні горизонти [35].

До водного фонду України належать:

1) поверхневі води – води різних водних об'єктів, що знаходяться на земній поверхні:

- природні водойми (озера);
- водотоки (річки, струмки);
- штучні водойми (водосховища, ставки, канали);
- інші водні об'єкти;

2) підземні води та джерела – води, що знаходяться нижче земної поверхні в товщах гірських порід верхньої частини земної кори в усіх фізичних станах;

3) внутрішні морські води та територіальне море.

На сучасному рівні знань найбільш припустимою методологічною основою підходу до розглядання проблеми впливу теплоенергетичних установок на водні об'єкти є системно-структурний аналіз, що дозволяє виявляти усі різноманітні зв'язки й процеси, які їх визначають, у складних системах. Це насамперед вимагає об'єктивних усвідомлень про самі водні об'єкти, закономірності змін їх стану, властивостей, а також встановлення нових відношень з об'єктами енергетичного виробництва на основі нормативів якості води й водоспоживання.

Спостереження за станом водного об'єкта здійснюється відповідно до загального переліку параметрів, до якого входять показники, що характеризують кількість водних ресурсів та їх зміни, якості води і нормативів екологічної безпеки водокористування, екологічний норматив та категорія якості

водних об'єктів тощо, що розробляються і затверджуються в установленому порядку.

«Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» [37] дозволяють оцінити якість води, яка використовується для різних цілей.

Згідно з цими нормами водні об'єкти поділяються на 2 види:

1) водойми господарсько-питного й культурно-побутового призначення;

2) рибогосподарські водойми.

Водойми першого виду поділяються у свою чергу на дві категорії:

1) водойми, які використовують для централізованого або нецентралізованого господарсько-питного водопостачання й водопостачання харчових підприємств;

2) водойми, які використовують для купання, спорту й відпочинку населення, а також водойми в межах населених місць.

Рибогосподарські водойми теж поділяються на дві категорії:

1) водойми, які використовують для збереження й відтворення цінних видів риб, що мають високу чутливість до кисню; вміст кисню в них не повинен бути менш ніж 6 мг/кг;

2) водойми, які використовують для всіх інших рибогосподарських цілей; вміст кисню в них повинен бути не менше 4 мг/кг.

1.2. Процеси, що протікають у водних об'єктах

Водні об'єкти являють собою складні екологічні системи (екосистеми) існування біоценозу – співтовариства живих організмів (тварин і рослин). Ці системи створювалися протягом тривалого часу еволюції. Різні фізичні, хімічні і біологічні процеси об'єднуються та утворюють єдину природу океану – стародавню область біосфери Землі. Водойми є не тільки збірниками води, у яких вода усереднюється за якістю, але в них безупинно протікають процеси зміни складу домішок – наближення до рівноваги, що може бути порушене в результаті

багатьох причин, але особливо в результаті скидання стічних вод. Біологічні процеси були і залишаються в розвитку живих організмів, у засвоєнні сонячної енергії і накопленні вільної енергії у самих тілах організмів, у біологічній продуктивності й осадкоутворенні на всій площі дна водних об'єктів, у формуванні різного роду органогенних мулів.

Життя біоценозу пов'язане з особливостями водойми: рельєфом дна, складом домішок, температурою води й ін. У такий спосіб екологічні системи являють собою комплекс біоценозу й навколишньої неживої природи (біотопу).

Зовнішні зв'язки екосистеми здійснюються за рахунок засвоєння водоймами частини сонячної енергії (у вигляді теплоти й світла), надходження в них газів атмосфери, води, а також мінеральних й органічних речовин. З іншого боку, екосистеми виділяють теплоту, гази (в основному кисень), органічні й мінеральні речовини, які переносяться водою. У тій самій водоймі може існувати одночасно декілька екосистем, кожна з яких має свій біоценоз і біотоп.

У водоймах є два найбільш відмінних один від одного біотопи: пелагос (товща води) і бентос (дно). Відповідно до цього виділяються мешканці цих біотопів: пелагос – мешканці товщі води, й бентос – мешканці дна. У свою чергу пелагос поділяється на планктони (організми, не здатні протистояти течії води) і нектони (досить великі організми, здатні протистояти течії води).

Живі організми, що населяють водойми (гідробіонти), тісно зв'язані між собою умовами життя й у першу чергу ресурсами харчування, наявними у водоймах, перебувають між собою в антагоністичних (боротьба за їжу), симбіотичних (взаємна вигідність спільного існування) і метабіотичних (взаємозв'язок окремих організмів) відносинах.

Гідробіонти (особливо бентос і планктони) відіграють основну роль у процесі самоочищення водойм. Частина гідробіонтів (звичайно рослини) синтезує органічні речовини, використовуючи при цьому неорганічні сполуки з навколишнього середовища, такі як CO_2 , NH_3 та ін.

Інші гідробіонти (звичайно тварини) засвоюють готові органічні речовини. Водорості також мінералізують органічні речовини, причому в процесах фотосинтезу вони при цьому

виділяють кисень. Основна частина кисню надходить у водойму шляхом аерації при контактi поверхні води з повітрям.

Мікроорганізми (бактерії) інтенсифікують процес мінералізації органіки при окислюванні її киснем. Відхилення екосистеми від рівноважного стану, яка викликана зокрема скиданням стічних вод, може призвести до отруєння (а часто й загибелі) певного виду (популяції) гідробіонтів, що потім призводить до ланцюгової реакції гноблення всього біоценозу.

Відхилення від рівноваги інтенсифікує процеси, що приводять водойму в оптимальне для неї становище, які називаються процесами самоочищення водойми.

Самоочищення водойм – це сукупність фізичних, гідродинамічних (розбавлення, перемішування), фізико-хімічних, хімічних та біологічних процесів, які зумовлюють зниження концентрації забруднень у воді [8, 16].

Процеси самоочищення водойм залежать від гідробіологічної й гідрохімічної обстановки в них. Інтенсивність процесів самоочищення залежить:

- від типу та концентрації забруднень;
- умов водойми (зокрема рослинного й тваринного світу);
- зовнішніх умов (температури, освітленості).

Критерієм забруднення води є погіршення її якості внаслідок зміни органолептичних властивостей і появи речовин, які шкідливі для людини, тварин, птахів, риб, кормових і промислових організмів (залежно від типу водокористування), а також підвищення температури, що змінює умови для нормальної життєдіяльності живих істот.

Якість, стан і властивості води у водоймах регламентуються більш ніж 15 гігієнічними вимогами. Основними факторами, що істотно впливають на водойми, є:

- температура води;
- мінералогічний склад домішок;
- концентрація кисню;
- рН води;
- концентрації шкідливих домішок, що перешкоджають або ускладнюють протікання процесів самоочищення водойм.

Особливо велике значення в процесах самоочищення має кисневий режим водойм. Витрата кисню на мінералізацію

органічних речовин визначається через біохімічне його споживання (БСК), що виражається кількістю O_2 , використаного в біохімічних (за допомогою бактерій) процесах окислювання органічних речовин за певний час інкубації проби (мг O_2 /доб).

При великому скиданні органічних речовин у водоймі настає великий дефіцит кисню, при якому значно порушується біоценоз, відбуваються накопичування й загнивання органічних речовин (анаеробні процеси), що викликають серйозне погіршення якості води.

Дія отрутних (токсичних) з'єднань на живі організми проявляється залежно від їхньої концентрації. При більших концентраціях настає загибель живих організмів, при менших – змінюються обмін речовин, темп розвитку, спадкоємні ознаки, втрата здатності до розмноження й ін. Оскільки окремі популяції (наприклад, зоопланктон) дуже чутливі до токсичних речовин, вже невеликі концентрації останніх викликають їхню загибель, що впливає на біоценоз у цілому.

Показник рН води для гідробіонтів найбільш сприятливий при рН=6,5-8,5. Однак показник рН у водоймах не можна вважати постійною величиною, тому що рН коливається навіть протягом доби, уночі вода насичується CO_2 і рН знижується й, навпаки, удень CO_2 споживається при фотосинтезі й рН підвищується.

Температура також впливає на живі організми у водоймі. З одного боку, температура впливає на швидкість протікання хімічних реакцій, з іншого – на швидкість відновлення дефіциту кисню. При підвищенні температури прискорюються процеси розмноження гідробіонтів і змінюється темп їхнього розвитку.

Таким чином, скидання стічних вод впливає на біоценоз у водоймах. Вплив навіть однієї домішки на якість води й затримання процесів самоочищення водойм може проявлятися залежно від її концентрації, хімічного складу та типу в різних аспектах. Найважливішими з них є:

- осадження грубодисперсних і коагуляція колоїдних домішок;
- окислювання (мінералізація) органічних домішок;
- окислювання мінеральних домішок киснем;

- нейтралізація кислот і основ за рахунок буферної ємності води водойми (лужності), що призводить до зміни її рН;
- гідроліз іонів важких металів, що призводить до утворення їх малорозчинних гідроокисів і виділення їх з води;
- устанавлення вуглекислотної рівноваги (стабілізація) у воді, що супроводжується або виділенням твердої фази (CaCO_3), або переходом частини її у воду.

У цих процесах самоочищення беруть участь фізичні, хімічні і біохімічні фактори.

Фізичні процеси – це газообмін на межі розподілу «атмосфера – вода»: поглинання газів, що входять до складу атмосферного повітря, відбувається при зниженні температури води, причому якщо об'ємна частка азоту, кисню й оксиду карбону у повітрі становить 78, 21, 0,027 %, тобто співвідношення приблизно 4:1:0,0014, то у воді воно значно відрізняється – 2:1:0,0013 [8].

Ці гази надходять у водойми не лише з атмосфери, а й з'являються у воді в результаті хімічних та біологічних процесів: кисень продукують рослини і водорості; вуглекислий газ виділяють рослини і тварини під час дихання, він утворюється в процесі аеробного розкладу органічних решток. Кисень води витрачається на дихання, окислення органічних і неорганічних речовин; CO_2 поглинають рослини в процесі фотосинтезу, деякі водні організми зв'язують його у вигляді карбонату кальцію, який є будівельним матеріалом для черепашок коколітофоридів (фітопланктон) та радіолярій (зоопланктон), його накопичують і організми, що утворюють коралові рифи.

Водні об'єкти завжди містять деяку кількість завислих речовин неорганічного й органічного походження, які можуть осаджуватися або спучуватися. Осадження характеризується здатністю завислих часток випадати на дно під дією сил ваги. Перехід завислих часток з донних відкладень у завислий стан називають спучуванням. Воно відбувається під дією вертикальної складової швидкості турбулентного потоку. До фізичних процесів відносять і сорбцію домішок зависями, донним мулом, поверхнею тіл гідробіонтів.

Хімічні процеси – це механізми, в основі яких лежать хімічні реакції різних типів, що супроводжуються утворенням

малорозчинних, малодисоційованих сполук. При цьому зменшується концентрація і доступність речовин, що становлять значну небезпеку для життєдіяльності гідробіонтів і здоров'я людей. До них відносять осадження, окислення, комплексоутворення, гідроліз, фотоліз.

Біохімічні процеси відбуваються за участю живих організмів: фото- і хемосинтез, біоаккумуляція окремих хімічних елементів, процеси метаболізму та взаємодія їх продуктів між собою чи з компонентами води. Таким чином, біохімічне самоочищення є в основному наслідком трансформації речовин, яка здійснюється гідробіонтами (особливо бентосом і планктоном). Частина гідробіонтів (рослини) синтезує органічні речовини, які використовують при цьому неорганічні сполуки з навколишнього середовища (CO_2 , NH_3 та ін.). Інші гідробіонти (тварини) засвоюють готові органічні речовини. При великих концентраціях токсичних речовин настає загибель гідробіонтів, при менших – змінюється обмін речовин, темпи розвитку, спадкові ознаки, втрата здібності до розмноження та ін. А зоопланктон занадто чутливий до токсичних речовин і вже при невеликих кількостях він гине, що впливає на біоценоз у цілому.

У більшості морських рослинних і тваринних організмів відношення числа атомів P:N:C дорівнює 1:15:80, тому нітроген і фосфор лімітують процеси життєзабезпечувальної системи в океані. Поблизу поверхні ці хімічні елементи поглинаються фітопланктоном, передаються ланцюгами живлення і звільняються в глибинних шарах внаслідок деструкції та розкладення амінокислот до нітратів.

Важко переоцінити значення водоростей у процесі самоочищення водойм: вони видаляють кисень, забезпечуючи ним гідробіонти та процеси окислення. Водорості мають і бактерицидні властивості: знешкоджують фекальні води, деякі знищують віруси грипу, поліомієліту; утворюють з катіонами ртуті і свинцю комплекси, зменшуючи тим самим їх токсичність; руйнують пестициди. Але масове розкладення окремих видів водоростей є причиною евтрофікації (підвищеної біологічної активності) водоймищ, біологічного забруднення морів і океанів, травлення токсинами, які виділяються водоростями.

Евтрофування є однією з важливих екологічних проблем для усіх країн. У результаті антропогенного надходження біогенних речовин у водні басейни відбулося різке прискорення евтрофування, зменшення його часового масштабу від тисячі років до десятиріччя. Найбільший вплив на процеси евтрофування має азот і фосфор. Захисні технології, які направлені на протидію цьому процесу, називають технологіями деєвтрофування. До них відносять видалення донних відкладень, екранування донних відкладень, хімічне осадження біогенних елементів або перетворення їх на менш доступну для мікроорганізмів форму та ін.

1.3. Водоспоживання та його регулювання в Україні

Вода – найголовніша мінеральна сировина, яку людство витрачає в 1000 разів більше, ніж вугілля чи нафту. Крім того, використовуючи чисту воду для власних потреб, людина повертає в навколишнє середовище меншу її кількість і значно гіршої якості. Проблема недостачі прісної води виникла з таких основних причин:

- інтенсивне підвищення потреби у воді у зв'язку зі швидким зростанням народонаселення планети і розвитком галузей промислової діяльності, які потребують великих витрат водних ресурсів;
- втрата прісної води внаслідок скорочення водоносності річок та інші причини;
- забруднення водойм промисловими, енергетичними і побутовими стоками.

Оскільки вода здійснює взаємозв'язки в екосистемах, то порушення будь-якого ланцюга впливає на кількість та якість води.

Регулювання водоспоживання й водовідведення нормується Водним кодексом України [35], Правилами і Постановами [37, 39].

В Україні висока питома вага водоемних, екологічно небезпечних виробництв: чорна металургія, енергетика, важке машинобудування, зрошувальне виробництво. Питома вага

найбільш водоемних галузей – чорна металургія та енергетика – зросла з 79,5 у 1990 р. до 86 % у 2000 р. Витрата води на одиницю продукції в Україні в 4,6 разу вище, ніж в Європі. В усіх регіонах України спостерігають погіршення якості води, погіршується епідеміологічна ситуація у зв'язку з бактеріальним і вірусним забрудненням питної води, більшість захворювань пов'язують з мінеральним станом води.

З аналізу загальних схем взаємодії енергетичних установок з водними об'єктами зрозуміло, що основним фактором взаємодії ТЕС і водних об'єктів є споживання води системами технічного водопостачання у великих кількостях, у тому числі безповоротне споживання води. Основна частина витрат води в цих системах іде на охолодження конденсаторів парових турбін. Решта споживачів технічної води – системи гідрозоловидалення, хімічного водоочищення, охолодження і промивання обладнання та ін. – споживають близько 7 % загальної витрати води об'єктами енергетики. Однак саме ці споживчі води є основними джерелами забруднення різноманітними домішками.

Водоспоживання залізничним транспортом України становить з забору води 72,31 млн м³/р., з використання на промислові потреби – 15,38 млн м³/р., з використання на питні потреби – 23,92 млн м³/р. Розроблено нормативи водоспоживання як на залізничному транспорті, так і в інших галузях промисловості та енергетики. Якість питної води регламентується Законом України «Про питну воду і питне водопостачання», Державними стандартами і Правилами.

В Україні сформовано державну політику в галузі використання й охорони вод та відтворення водних ресурсів, створено законодавчу та нормативно-методичну базу, прийнято ряд державних програм з впровадження економічного механізму водокористування, утворено систему спеціально уповноважених органів виконавчої влади.

Державний комітет України з водного господарства має визначити та забезпечити потреби населення і галузей економіки у водних ресурсах, здійснювати заходи, пов'язані з запобіганням шкідливої дії вод і ліквідацією її наслідків, розробляти схеми комплексного використання та охорони водних ресурсів.

Державний комітет житлово-комунального господарства України має забезпечувати регулювання водопостачання та водовідведення, здійснення управління у сфері житлово-комунального господарства, підготовки питної води та питного водопостачання.

Питання для самоперевірки

1. Що таке гідросфера?
2. Яку частку природних вод має Світовий океан?
3. Скільки є прісної води у природному запасі?
4. Скільки становить поверхнева вода від усього запасу?
5. Яке місце має Україна за запасами води?
6. Скільки в Україні річок і водосховищ?
7. Скільки в Україні великих каналів і водоводів?
8. Які регіони найменш забезпечені водними ресурсами?
9. Що таке водний об'єкт?
10. Які функції виконують водойми?
11. Які біотопи є у водоймах?
12. Що таке гидробіоти?
13. Що називають самоочищенням водойм?
14. Від чого залежить інтенсивність самоочищення?
15. Які основні фактори впливають на водойми?
16. Що таке евтрофікація?
17. Які води належать до водного фонду України?
18. Які фактори беруть участь у процесі самоочищення водних об'єктів?
19. Фізичні процеси самоочищення.
20. Хімічні процеси самоочищення.
21. Біохімічні процеси самоочищення.
22. Які причини недостачі прісної води є основними?
23. На які види і категорії класифікуються водні об'єкти?

2. Показники якості води

Згідно з Водним кодексом України [35] якість води – це характеристика складу і властивостей води, яка визначає її придатність для конкретного виду водокористування. Якість води є функцією як джерел води, так і питань її використання. Оцінка якості води ведеться на основі системи показників. Згідно зі стандартом на питну воду в Україні передбачений контроль 28 показників якості, тоді як в Євросоюзі – 65, за вимогами Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) – 94, а в США – 100 показників якості. Основні вимоги до показників якості питної води наведені у ГОСТ 2874-82. Показники якості поділяють на загальні – фізичні, бактеріологічні, гідробіологічні, і хімічні, які можуть бути як загальними, так і специфічними (ГОСТ 17.1.1.01.-77).

2.1. Фізичні показники якості води

Температура води

Температура впливає на усі процеси, від яких залежать склад і властивості води. Її значення може змінюватися в результаті теплового забруднення водоймищ.

Запах

Запахи води можуть бути природного і штучного походження. Природні запахи є результатом діяльності гідробіонтів, розкладення органічних речовин. Основними запахами природних вод є болотний, землянистий, деревинний, травнистий, рибний, сірководневий. Запахи штучного походження є результатом хімічної взаємодії компонентів, які містяться у воді. Серед них: нафтовий, фенольний, хлорфенольний та ін. Запахи вимірюють у балах за п'ятибальною системою:

- 0 – немає запаху;
- 1 – дуже слабкий;
- 2 – слабкий;
- 3 – помітний;
- 4 – виражений;
- 5 – дуже сильний.

Присмак

Частіше за все природні води можуть мати гіркий і солоний присмак і практично ніколи кислий або солодкий. Надлишок магнієвих солей додає воді гіркою присмаку, а натрієвих (поварена сіль) – солонуватого. Солі інших металів (заліза, марганцю) додають воді залізного присмаку. Характер присмаку визначається видом і концентрацією солей. Інтенсивність присмаку оцінюється у балах (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Гранична концентрація солей, які визначають смакові якості води

Сіль	Концентрація солі, мг/дм ³	
	Присмак ледве помітний	Присмак, що сприймається як несприятливий
NaCl	150	500 (солоний)
MgCl ₂	100	400 (гіркий)
MgSO ₄	200	500 (гіркий)
CaSO ₄	70	150 (в'язкий)
KCl	350	700 (гіркий)
FeSO ₄	1,5	5,0 (залізистий)
MnCl ₂	2,0	4,0 (болотний)
FeCl ₂	0,3	0,5 (болотний)

Прозорість

Важливим екологічним показником є прозорість води, від якої залежить інтенсивність фотосинтезу, глибина проникнення світла в товщу води, протікання біохімічних процесів, які потребують освітлення. Прозорість води визначають розсіюванням сонячного світла у воді речовинами органічного і мінерального походження, які знаходяться у воді в завислому і колоїдному стані. Вона оцінюється в сантиметрах.

Кольоровість

Чиста вода при малому шарі води не кольорова, при великому шарі має голубий відтінок. Інші відтінки вказують на вміст домішок. Солі заліза фарбують воду у ржавий колір, дрібні

частки піску і глини – у жовтий. Гумусні речовини додають воді колір від жовтого до коричневого. При розкладенні синьо-зелених водоростей вода має зеленуватий колір. Кольоровість характерна для вод поверхневих джерел і практично відсутня в підземних водах. Кольоровість природних вод визначають у градусах.

За рівнем кольоровості води поверхневі водні джерела можуть бути малої кольоровості (до 30-35°), середньої (до 80°) і високої кольоровості (вище 80°). Водопровідна вода має кольоровість 15-20°.

Вміст завислих речовин

Джерелами завислих речовин є процеси ерозії ґрунтів і гірських порід, замулення донних відкладень, продукти метаболізму і розкладення гідробіонтів, продукти хімічних реакцій і антропогенні джерела. Вони впливають на глибину проникнення сонячного світла, погіршують життєдіяльність гідробіонтів, призводять до замулювання водних об'єктів. Вміст завислих речовин вимірюють у грамах на метр кубічний (г/м³) або в міліграмах на дециметр кубічний (мг/дм³).

2.2. Бактеріологічні показники якості води

Бактеріологічні показники визначаються через індекси ЛКП – через бактерії групи кишкової палички, які поділяються на дві великі групи: сапрофітні (безпечні для людини) і патогенні (хвороботворні). Сапрофіти – організми, які живляться залишками рослин і тварин та перетворюють органічні речовини також на органічні. Забрудненість води характеризують патогенними мікроорганізмами. Оцінку якості обмежують мікробним числом (загальна кількість бактерій в 1 см³ води) і колі-індексом або колі-титром. Колі-індекс визначають за кількістю кишкових паличок в 1 дм³ води, колі-титр – кількістю води в мілідециметрах кубічних, яка може бути обмежена однією кишковою паличкою.

2.3. Гідробіологічні показники якості води

Змінення видового складу водних екосистем може відбуватися при такому слабкому забрудненні водних об'єктів,

які не виявляються ніякими методами. Тому є можливість оцінити якість води за тваринним населенням і рослинністю водоймищ як найбільш чутливими показниками. Оцінюють за такими показниками якості:

- за рівнем сапробності, тобто фізіолого-біологічними властивостями організмів, які обумовлюють їх здібності мешкати у воді з тим або іншим вмістом органічних речовин, що надходять у водойми. За ступенем забруднення вод органічними речовинами їх поділяють на полісапробні, α -мезасапробні, β -мезасапробні і омегосапробні. Склад і кількість полісапробіонтів, структура їх співтовариства служать критеріями для оцінки ступеня забруднення водоймищ. Найбільш забрудненими є полісапробні водні об'єкти. Кожному рівню сапробності відповідає свій набір індикаторних організмів – сапробіонтів. На основі індикаторної значущості розраховують індекс сапробності. Підвищення сапробності сприяє підвищенню рівня первинної продукції вод завдяки збільшенню в них концентрації біогенних елементів, головним образом фосфору й азоту;

- за видовою різноманітністю організмів на основі індексів різноманітності;

- за функціональними характеристиками водного об'єкта: підвищення первинної продукції, інтенсивності деструкції.

2.4. Загальні хімічні показники якості води

Розчинний кисень

Основним джерелом надходження кисню у водні об'єкти є газообмін з атмосферою (атмосферна реаерація), фотосинтез, дощові і талі води, перенасичені киснем. Окислювальні реакції – основне джерело енергії гідробіонтів. Основними споживачами розчинного кисню є процеси дихання гідробіонтів і окислювання органічних речовин. Низький вміст кисню позначається на усьому комплексі біохімічних і екологічних процесів у водному об'єкті. Концентрація розчинного кисню визначається від 0 до 14 мг/дм³ і залежить від температури води, парціального тиску, ступеня забрудненості води органічними речовинами.

Біохімічне споживання кисню (БСК)

Використовується для характеристики ступеня забруднення стічних вод органічними речовинами, які можуть розкладатися мікроорганізмами зі споживанням кисню. БСК показує, яка кількість кисню (мг/дм^3) витрачається мікроорганізмами для біохімічного окислювання забруднювальних речовин, що знаходяться в стічних водах за визначний проміжок часу. Повне біохімічне окислення органічних речовин у воді потребує тривалого часу. В Україні в лабораторних умовах оцінюють БСК за п'ять діб (БСК_5) і двадцять діб (БСК_{20}). БСК_{20} трактують як повне БСК, ознакою якого є початок процесу нітрифікації в пробі води. БСК дає уявлення про вміст у воді органічних речовин тваринного походження, тому широко використовується при оцінці господарчо-побутових стічних вод [37].

Хімічне споживання кисню (ХСК)

Хімічне споживання кисню (ХСК) визначають як кількість кисню, необхідного для хімічного окислювання органічних і мінеральних речовин, що містяться в одиниці об'єму води. ХСК характеризує загальний вміст у воді відновників (неорганічних і органічних), які реагують із дихроматом калію в сульфатній кислоті (1:1) в перерахунку на кисень ($\text{мг O}_2/\text{дм}^3$).

За визначений ХСК як окислювач переважно приймають гарячий кислий розчин біхромату калію. Величина ХСК є найважливішою характеристикою промислових стічних вод. Очевидно, що величина ХСК завжди буде більшою від величини $\text{БСК}_{\text{повн}}$ унаслідок більш глибокого окислювання хімічним шляхом порівняно з біохімічним. Порядок величини БСК змінюється від $10\text{-}20 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ для порівняно чистої води до $1000 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ і більше для значно забруднених стічних вод.

Відношення величин $\text{БСК}_{\text{повн}}/\text{ХСК}$ називають *біохімічним показником води*. Оскільки величина $\text{БСК}_{\text{повн}}$ завжди менша за величину ХСК, то величина біохімічного показника ніколи не перевищує одиницю. За величиною біохімічного показника оцінюють можливість і ступінь очищення стічної води біохімічним шляхом. Так, побутові води, що найбільш повно очищені біологічним шляхом, мають біохімічний показник

порядку 0,5. Величина його для промислових стічних вод коливається від 0,05 до 0,3.

Водневий показник (рН)

Активна реакція води визначається концентрацією водневих іонів, яку виражають водневим показником рН, що являє собою негативний десятинний логарифм концентрації водневих іонів: $-рН = -\lg[H^+]$.

Для дистильованої води рН=7 (нейтральне середовище). У природних водах концентрація іонів водню залежить від співвідношення концентрацій вугільної кислоти і її іонів. Джерелом іонів водню у воді є також гумінові кислоти, присутні в кислих ґрунтах, особливо в болотних, гідроліз солей важких металів. Більшість поверхневих вод мають нейтральну або слаболужну реакцію рН від 6,0 до 8,0.

Азот

Азот знаходиться в природних водах у вигляді вільних молекул і різноманітних сполук у розчинному, колоїдному стані. Основним джерелом надходження азоту є внутрішні водоемні процеси, газообмін з атмосферою і антропогенні джерела. Про значне забруднення сполуками азоту свідчить підвищення рівня концентрації нітратів у природних водах у 2-4 рази і більше. Наявність цих або інших сполук дає можливість визначити час надходження забруднених аміачними сполуками стічних вод:

- наявність аміаку і відсутність нітратів і нітритів – забруднення відбулося недавно;
- одночасна наявність усіх видів аміачних сполук – після скидання стічних вод пройшов певний час;
- високий вміст сполук азоту і особливо нітратів за відсутності сполук амонію – забруднення давнє і аміак вже окислився.

Азот та його сполуки належать до числа важливих лімітуючих біогенних елементів у воді. Високий вміст азоту прискорює процеси евтрофікації водних об'єктів. Вміст нітратів у питній воді не повинен перевищувати 43 мг/дм³, нітритів – 3,3 мг/дм³.

Фосфор

Фосфор є одним з важливих біогенних елементів і належить до ключових елементів біосфери, тому що його

електронні структури забезпечують швидке утворення і порушення хімічних зв'язків з біологічними молекулами. Наряду з киснем, вуглецем, азотом і кальцієм він утворює основну масу живої істоти. Фосфор міститься у важливих біоорганічних сполуках, які беруть участь у різних метаболічних процесах і відіграють одну з основних ролей у життєдіяльності усіх організмів як переносник енергії і наслідкової інформації. Вміст фосфору в земній корі становить $9,3 \cdot 10^{-2}$ % за масою. У воді фосфору міститься лише $7 \cdot 10^{-6}$ % за масою, тому що він легко осаджується у вигляді нерозчинних мінералів і захоплюється живими організмами. Він надходить у воду в результаті процесів, які відбуваються в середині водойми, розчинення гірських порід, обміну з донними відкладеннями й антропогенними джерелами. На відміну від азоту, кругообіг фосфору незбалансований, що і визначає його більш низький вміст у воді. Тому фосфор є лімітуючим біогенним елементом, який визначає характер продуктивних процесів у водних об'єктах.

Мінеральний склад

Мінеральний склад води визначається за сумарним вмістом семи головних іонів: K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . За іонами, які переважають, природна вода поділяється на три класи: гідрокарбонатна, сульфатна, хлоридна. Кожний клас за переважаючим катіоном поділяються на три групи: кальцієвий, магнієвий і натрієвий. Сумарну концентрацію мінеральних речовин називають мінералізацією води. За ступенем мінералізації питна вода поділяється на три категорії (ДСТУ 878-93):

- природно-столова з мінералізацією менше 1 г/дм^3 ;
- лікувально-столова з мінералізацією від $1,0$ до 8 г/дм^3 усіх хімічних груп і від $1,0$ до 15 г/дм^3 груп, наприклад, гідрокарбонатно-натрієвих;
- лікувально-столова змішаного типу з мінералізацією вище $10-15 \text{ г/дм}^3$.

За масовим вмістом розчинних мінеральних сполук (г/дм^3) води поділяються на такі типи: прісні – <1 ; солонуваті – від 1 до 5 ; солоні – від 25 до 50 ; розсоли – більше 50 г/дм^3 .

Прісна вода у свою чергу поділяється на слабкомінералізовану – <200 мг/дм³; середньомінералізовану – $200-500$ мг/дм³; сильномінералізовану – $500-1000$ мг/дм³.

З водою людина отримує $1-20$ % мінеральних речовин і тільки фторидів – $70-80$ %. Важливе значення має жорсткість водопровідної води. Верхня межа жорсткості води, визначена Мінздравом, становить 7 ммоль/дм³. В окремих районах України медики дозволяють пити воду з жорсткістю 10 ммоль/дм³. Нижня межа жорсткості в ГОСТ 2874-82 не встановлена, а рекомендована державними Санітарними Правилами і Нормами № 136/1940 на рівні $1,5$ ммоль/дм³. За даними деяких досліджень, зменшення мінералізації води зменшує частоту онкологічних захворювань, а при мінералізації вище 2 г/дм³ прискорюються процеси старіння. Концентрація солей у воді впливає на вміст кисню, тобто чим вона більше, тим менше кисню у воді.

Хлор

Хлор використовується для бактеріальної обробки води. Він є сильним окислювачем. Крім того, він надзвичайно токсичний, тому обов'язково слід контролювати надлишковий хлор в очищеній воді, він не повинен перевищувати в питній воді $0,3-0,5$ мг/дм³.

Двооксид вуглецю

Це вуглекислий газ, основним джерелом якого в природних водах є атмосферне повітря, дихання рослин і тварин, розкладення органічних залишків та ін. При підвищенні температури води вуглекислий газ виділяється в атмосферу, при зниженні – поглинається і зв'язується водою, катіонами кальцію в малодисоційовану карбонатну кислоту H_2CO_3 і малорозчинний карбонат кальцію $CaCO_3$, що пояснює зміну кислотності води протягом доби.

2.5. Специфічні хімічні показники якості води

Феноли

Органічні з'єднання ароматичного ряду (C_6H_5OH), які у природі зустрічаються у вільному вигляді, використовуються в медицині як дезінфікуючий і лікарський засіб. Деякі з них токсичні, роздратовують слизисті оболонки дихальних шляхів і

очей, шкіру. Феноли надходять зі стічними водами у кількості 0,46 млн т/р. ГДК фенолу в повітрі становить 5 мг/дм³, а у водоймах – 0,001 мг/дм³.

Пестициди

Це збірна назва засобів для боротьби з бур'янами, комахами і гризунами, грибковими захворюваннями сільськогосподарських культур тощо. Пестициди, які використовують в Україні, поділяють на три групи:

- препарати рослинного, грибного та бактеріального походження;
- неорганічні препарати, до складу яких входять мідь, ртуть, залізо та ін.;
- синтетичні органічні препарати, що містять хлор, фосфор тощо.

Пестициди, коли попадають у ґрунтові води у малих кількостях, погіршують органолептичні властивості води.

Вміст стійких пестицидів у природних водах поки невеликий і становить 10⁻⁷ % у прісній воді і 10⁻⁹ % – в океанічній. Однак вони мають токсичну, мутагенну і кумулятивну дію і розпадаються занадто повільно. У результаті акумуляції пестицидів зменшується численність популяцій деяких видів риб, порушується теплова рівновага зі середовищем і погіршується здатність до відтворення потомства. Токсичність оцінюють у балах. Так, оцінка в балах за максимально допустимими концентраціями у воді становить, мг/дм³:

- більше 1 – 0 балів;
- від 1 до 0,1 – 1 бал;
- від 0,1 до 0,01 – 2 бали;
- менше 0,01 – 3 бали;
- 0 – 4 бали.

Дія на органолептичні властивості питної води становить (мг/дм³):

- більше 0,1 – 0 балів;
- від 0,1 до 0,01 – 1 бал;
- від 0,01 до 0,001 – 2 бали;
- менше 0,001 – 3 бали.

Сумарна кількість балів з усіма показниками у воді може бути:

- 21 бал і вище, це дуже токсична;
- 21-14 балів – середньотоксична;
- ≤ 13 балів – слабботоксична.

Поверхнево-активні речовини (ПАР)

До ПАР відносять органічні речовини, які мають різко виражену здатність до адсорбції на поверхні розподілу «повітря-рідина». ПАР, які надходять у воду, є синтетичними (СПАР). Вони мають токсичну дію на гідробіоти і людину, погіршують газообмін водного об'єкта з атмосферою, знижують інтенсивність внутрішніх процесів та погіршують органолептичні властивості води. Їх відносять до повільно розкладених речовин.

Важкі метали

Важкі метали мають мутагенну і токсичну дію, різко знижують інтенсивність біохімічних процесів у водоймах. Важкі метали потрапляють у водний басейн зі стоками, вимиваються з поверхні ґрунтів і випадають з атмосфери. Найбільшим джерелом важких металів є стічні води підприємств металургії та металообробки. Вплив важких металів на гідробіоти залежить від їх токсичності, концентрації, доступності, стійкості у водному середовищі тощо.

До числа найбільш розповсюджених важких металів відносять свинець, мідь, цинк.

Високу токсичність мають сполуки свинцю. Свинець стримує ферментні реакції, він вступає в хімічну взаємодію з білками й осаджує їх.

Мідь необхідна не тільки як метал, вона є також незамінним мікроелементом, який необхідний для нормальної життєдіяльності людини, усіх тварин і рослин. Вона міститься у складі «живих каталізаторів» – ферментів, які беруть участь у багатьох фізіологічних процесах, що регулюють окислювально-відновлювальні реакції процесів кліткового дихання, фотосинтезу, засвоєння молекулярного азоту. Мідь сприяє росту і розвитку рослин, але через недостачу її в організмі людини порушується обмін речовин і розвивається анемія. Надлишок же

міді в організмі призводить до порушення його життєво важливих функцій, має токсичну дію, пригнічує ферменти.

Цинк входить до складу багатьох медичних препаратів. Недостача або надлишок його в організмі викликає порушення синтезу і властивостей металопротеїдів, він також шкідливий для рослин. Багато сполук цинку, насамперед сульфати і хлориди, токсичні.

Для характеристики дози металу, надходження якої істотно не порушує характеру функціонування всієї екосистеми, прийнятий показник – буферна ємність. На неї впливають:

- гідробіонти, здатні акумулювати важкі метали; особливо це стосується організмів-фільтратів, які сорбують і концентрують у своєму організмі метали; швидкість фільтрації збільшується за температури 20-30 °С, при зменшенні концентрації зависі у воді, при збільшенні маси тіла моллюсків-фільтратів;

- сорбція органічними речовинами (найбільш важкі метали сорбуються частинками розміром 0,5-0,05 мм);

- здатність утворювати комплексні сполуки з розчиненими у воді органічними речовинами, зокрема гульміновими та фульвіновими кислотами;

- поглинання важких металів донними мулами (високу сорбційну здатність мають оксиди та гідроксиди заліза, алюмінію, манганату, титану, силіцієва кислота тощо);

- температура: при підвищенні температури посилюється гідроліз катіонів важких металів;

- рН води: зі зниженням рН токсичність багатьох металів виявляється при нижчих концентраціях, зростає їх доступність для водяних організмів;

- жорсткість води: при вмісті кальцію і магнію спостерігається конкуренція між ними і важкими металами за надходження в організм гідробіонтів, що зменшує токсичність останніх; це впливає і на їх ГДК;

- здатність вступати в реакцію алкілування; меркурій у вигляді органічних сполук більш токсичний.

Нафтопродукти

Для оцінки нафти як забруднюючої воду речовини використовують такі ознаки:

- вміст легких фракцій ($t_{\text{кип}} < 200 \text{ } ^\circ\text{C}$);
- вміст парафіну;
- вміст сірки.

Легкі фракції більш токсичні для живих організмів, але їх висока випаровуваність сприяє швидкому самоочищенню природного середовища.

Парафін не має сильної токсичної дії на біотоп або планктон і бентос морів і океанів. Вміст сірки небезпечний сірководневим забрудненням.

Ароматичні вуглеводні, розчинні у воді, являють велику небезпеку. Коли мешканці водойм знаходяться відносно довго у воді, яка забруднена поліциклічними хроматичними вуглеводнями, то вони навіть при дуже низькому вмісті вуглеводнів накопичують їх у тканинах і становляться канцерогенними.

У результаті фізичних, хімічних і біологічних процесів під дією сонячних випромінювань нафтові вуглеводні поступово втрачають свої першопочаткові властивості, вони розчиняються, осаджуються і зазнають фотолізу і біологічного розкладення протягом декількох днів. Ультрафіолетова складова сонячної радіації суттєво прискорює порушення компонентів нафти, але при цьому утворюються продукти розпаду, які дуже токсичні для гідробіонтів.

Однак у природі існує більше 100 видів бактерій, грибів, водоростей, які споживають вуглеводні нафти і нафтопродуктів як джерело карбону для утворення біомаси. Це сприяє природному очищенню води і ґрунтів.

Але в природі не існує певного мікроорганізму, здатного порушити усі компоненти нафти. Корисне розкладення нафти потребує дії багаточисленних бактерій різних видів. Швидкість процесів хімічного окислювання нафти у водному середовищі становить 10-15 % швидкості біохімічного окислювання. При низьких температурах розкладення нафти іде повільно і нафта може зберігатися до 50 років, порушуючи нормальне життя біоценозів.

2.6. Загальні вимоги до якості води у водних об'єктах

Встановлено загальні вимоги до складу і властивостей води за видами та категоріями водних об'єктів (табл. 3.1 і 3.2) [39, 40].

Таблиця 3.1

Загальні вимоги до якості води першого виду водних об'єктів

Показники складу і властивостей води	Категорії водоспоживання	
	1	2
1	2	3
Завислі речовини	Вміст завислих речовин не повинен підвищуватися більш ніж на:	
	0,25 мг/дм ³	0,75 мг/дм ³
	Для водойм, які містять природні мінеральні речовини в межах більше 30 мг/л, допускається підвищення завислих речовин у воді в межах 5 %. Зависі зі швидкістю випадіння більше 0,4 мг/с для проточних водойм і більше 0,2 мг/с для водосховищ до спуску заборонені	
Плаваючі домішки	На поверхні водойм не повинно виявлятися плаваючої плівки, плями мінеральних мастил та інших домішок	
Запахи, присмаки	Вода не повинна мати запахи і присмаки інтенсивністю більше 2 балів, які знаходять :	
	безпосередньо або при наступному хлоруванні	безпосередньо
	Вода не повинна мати сторонніх запахів і присмаків м'яса риб	

Продовження табл. 3.1

1	2	3
Фарбування	Не повинна виявлятися в стовпчику:	
	20 см	10 см
Температура	Літня температура води в результаті скидання стічних вод не повинна підвищуватися більш ніж на 3 °С порівняно з середньою місячною температурою води найтеплішого місяця за рік за останні 10 років	
Реакція рН	Не повинна відходити за межу 6,5-8,5 рН	
Мінеральний склад	Не повинен перевищувати сірчаного осаду 1000 мг/дм ³ , у тому числі хлоридів – 350 мг/дм ³ і сульфатів – 500 мг/дм ³	Нормалізується за наведеним вище показником «Присмаки»
Розчинний кисень	Не повинен бути менше 4 мг/дм ³ в будь-який період в пробі, яка відібрана до 12 год щоденно	
Хімічне споживання кисню	Повна споживча потреба води в кисні при 20 °С не повинна перевищувати:	
	3,0 мг/дм ³	6,0 мг/дм ³
Збудники захворювань	Вода не повинна містити збудників захворювань. Стічні води, які містять збудників захворювань, повинні піддаватися знезараженню після відповідного очищення. Відсутність у воді збудників захворювань досягається шляхом знезараження біологічно очищених вод до колі-індексу не більше 1000 в 1 дм ³ при залишковому хлорі не менше 1,5 мг/дм ³	
Токсичні речовини	Не повинні міститися в концентраціях, які можуть мати прямий або непрямий шкідливий вплив на організм і здоров'я людини	

Таблиця 3.2

Загальні вимоги до якості води другого виду водних об'єктів

Показники складу і властивостей води	Категорії водоспоживання	
	1	2
1	2	3
Завислі речовини	Вміст завислих речовин не повинен підвищуватися більш ніж на:	
	0,25 мг/дм ³	0,75 мг/дм ³
	Для водойм, які містять природні мінеральні речовини в межах більше 30 мг/л, допускається підвищення завислих речовин у воді в межах 5 %. Зависі зі швидкістю випадіння більше 0,4 мг/с для проточних водойм і більше 0,2 мг/дм ³ для водосховищ до спуску заборонені	
Плаваючі домішки	На поверхні водойм не повинно виявлятися плаваючої плівки нафтопродуктів, мастил та інших домішок	
Запахи, присмаки	Вода не повинна мати сторонні запахи і присмаки м'яса риб	
Температура	Літня температура води на повинна підвищуватися порівняно з власною температурою водойми більш ніж на 5 °С з загальним підвищенням температури не більш ніж до 20 °С літом і 5 °С узимку для водойм, у яких живуть холодноводні риби (лососеві і сигові) і більш ніж на 28 °С влітку і 8 °С узимку для решти водойм	
Реакція рН	Не повинна відходити за межу 6,5-8,5 рН	

Продовження табл. 3.2

1	2	3
Розчинний кисень	У зимовий період (підльодний) не повинен бути нижче:	
	6,0 мг/дм ³	4,0 мг/дм ³
	Улітку (відкритий) період в усіх водоймах повинен бути не нижче 6 мг/л в пробі, яка відібрана до 12 год щоденно	
Хімічне споживання кисню	Повна споживча потреба води у кисні при 20°C не повинна перевищувати:	
	3,0 мг/дм	3,0 мг/дм ³
Токсичні речовини	Не повинні міститися в концентраціях, які мають прямий або непрямий шкідливий вплив на рибу і водні організми, які служать кормом для риби	

Питання для самоперевірки

1. Скільки показників якості має Україна?
2. Фізичні показники якості.
3. Які бали може мати запах?
4. Які присмаки води відомі?
5. На що впливає прозорість води?
6. Яку кольоровість має вода і чим вона вимірюється?
7. На що впливає вміст завислих речовин у воді?
8. Як визначають бактеріологічні показники якості води?
9. Як визначають гідробіологічні показники?
10. Скільки відомо хімічних показників якості води?
11. Що є джерелом надходження кисню у водні об'єкти?
12. Що таке БСК і як його визначають?
13. Що таке хімічне споживання кисню?
14. Який рН має дистильована вода?
15. Як впливає азот на якість води?
16. Як фосфор впливає на процеси у водоймах?
17. Як впливає мінеральний склад на процеси у водоймах?
18. Для чого використовують активний хлор?
19. Які специфічні показники якості мають водні об'єкти?

3. Забруднення водних об'єктів енергетичними підприємствами і транспортом

3.1. Основні фактори забруднення водних об'єктів

Під забрудненням водних об'єктів розуміють будь-які зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей води за рахунок природних і антропогенних факторів, у результаті яких вода становиться небезпечною для людей, тварин, птахів, риб і усіх видів організмів, які знаходяться у воді.

Забруднення буває:

- *механічне* – підвищується вміст механічних домішок;
- *хімічне* – наявність у воді органічних і неорганічних речовин токсичної і нетоксичної дії;
- *бактеріологічне* або *біологічне* – наявність у воді різноманітних патогенних мікроорганізмів, грибів і дрібних водоростей;
- *радіоактивне* – наявність радіоактивних речовин;
- *теплове* – скидання у водойми підігрітих вод різних підприємств і, особливо, теплових об'єктів.

3.1.1. Хімічне забруднення

Хімічне забруднення – це зміна природних хімічних властивостей води за рахунок підвищення вмісту в ній шкідливих домішок як неорганічної (мінеральні солі, кислоти, луги та ін.), так і органічної природи (нафта і нафтопродукти, органічні залишки, поверхнево-активні речовини, пестициди).

Основними мінеральними забруднювачами вод є різноманітні хімічні сполуки, токсичні для мешканців водного середовища, серед яких сполуки миш'яку, свинцю, кадмію, ртуті, хрому, міді, фтору та ін. Масштаби забруднення поверхневих вод деякими металами такі: Mn – 262, Zn – 226, Cr – 142, Pb – 138, Ni – 113, Cu – 112, As, Se – 41, Sb – 18, V – 12, Mo – 11, Cd – 9,4, Hg – 4,6 тис. т/р.

Для України має суттєве значення небезпека комбінованого впливу токсичних речовин і низьких рівнів радіації як наслідок Чорнобильської аварії.

3.1.2. Органічне забруднення

Винесення в океан органічних речовин оцінюється в 300-380 млн т/р. Вони пагубно впливають на стан водоймищ, погіршують їх самоочищення. При гноїнні органічних осадів можуть утворюватися шкідливі сполуки і токсичні речовини, такі як сірководень. Наявність суспензій ускладнює проникнення сонячного випромінювання у глибину водойм і сповільнює процеси фотосинтезу, знижує ступінь насиченості води киснем, який іде на окислювання органічних відходів.

3.1.3. Бактеріологічне забруднення

Бактеріологічне забруднення – це підвищення вмісту у воді санітарно-показних патогенних і непатогенних мікроорганізмів порівняно з природним фоном. Цей показник називають колі-індексом. Кількість кишкових паличок в 1 дм³ води визначає добру якість питної води, за нормами в питній воді не повинно бути більше 3 бактерій групи кишкових паличок. Зворотну колі-індексу характеристику називають колі-титр – це кількість води, у якій міститься 1 кишкова паличка. Для питної води колі-титр – 333 мдм³. Особливістю бактеріального забруднення є обмеження його розповсюдження в межах водоносного горизонту, що зумовлено незначним часом виживання бактерій у воді. Залежно від кількості бактерій у воді, швидкості фільтрації, геохімічних умов, наявності інших забруднень, температури та інших факторів тривалість їх життя може складати від 30 до 400 діб.

3.1.4. Радіоактивне забруднення

Це забруднення є наслідком ядерних випробувань, роботи АЕС і ТЕС, аварій на підприємствах атомної промисловості, накоплення радіоактивних відходів. Крім антропогенного забруднення, має місце природна активність поверхневих вод, яка обумовлена наявністю радіонуклідів уранового і торієвого

рядів, калієм-40. У водних об'єктах радіоактивні речовини підкорюються фізико-хімічним перетворенням: адсорбція на зважених частинках, осадження, перенесення течією, поглинання живими організмами. Гідробіонти здатні при цьому накопичувати радіонукліди і мати концентрацію у тканинах більшу на декілька порядків відносно води. У першу чергу накопичуються радіоактивні ртуть, фосфор, кадмій. Радіоактивні речовини попадають з водою і їжею в організм людини. Добре розчинні нукліди переходять у кров людини і накопичуються в печінці, щитовидній залозі та ін.

Водний кодекс (ст. 84) встановлює, що використання радіоактивно забруднених вод повинно здійснюватися у відповідності з Законом України «Про правовий режим території, забрудненої радіоактивністю внаслідок Чорнобильської катастрофи».

3.1.5. Теплове забруднення

Підвищення температури води є результатом одночасної дії сонячної радіації, теплообміну з атмосферою, перенесення теплоти течіями, перемішування водних мас і надходження підігрітих вод з зовнішніх джерел.

Температура води – це могутній фактор як позитивного, так і негативного впливу на життєдіяльність водойм. Зміна температури води впливає на розчинність газів, яка зменшується при нагріванні води, що означає зменшення вмісту кисню у воді. Більшість речовин краще розчиняються у воді при нагріванні, воно також сприяє прискоренню гідролізу, хімічних і біохімічних процесів, але може викликати тепловий стрес у гідробіонтів.

Підвищення температури води до визначеної межі стимулює життєдіяльність флори і фауни водойм, призводить до підвищення тривалості вегетаційного періоду і до більш швидкого інтенсивного зростання організмів. Підігрів води прискорює розвиток гетерогенних бактерій, які живляться органічними речовинами, прискорює процеси самоочищення водойм і процеси мінералізації органічних речовин, а вода збагачується карбонатами кальцію.

До негативних наслідків теплового забруднення можна віднести такі:

- підвищення температури води підсилює сприйнятливність організмів до токсичних речовин, які присутні в забрудненій воді;

- при підігріві води спостерігають більш раннє ікрометання, коли ще нерестові ділянки не залиті водою, що призводить до загибелі ікри;

- підвищення температури призводить до пригнічення фауни і загибелі холодолюбних риб;

- прискорений розвиток бактерій, які викликають захворювання риб;

- температура може перевищувати критичні значення для життєдіяльних циклів організмів;

- при підвищенні температури водойми до +30 °C скорочується приріст водоростей, риби становляться малорухомими і не харчуються, живі організми страждають від недостатчі кисню, погіршується фауна, вона змінюється синьо-зеленими водоростями.

Існуючі законодавчі положення і норми не містять чіткого визначення зони змішання теплої та холодної води і вказівок про допустимі її розміри.

3.2. Джерела забруднення водних об'єктів

Забруднення природних водойм і підземних вод поділяють за джерелом походження на природне та антропогенне (стічні води, звалища відходів, випадання різних речовин з атмосфери). Одночасно із забрудненням відбувається і самоочищення вод, у якому беруть участь фізичні, хімічні та біологічні фактори. Це сукупність фізичних, хімічних, фізико-хімічних, гідродинамічних (розбавлення, перемішування) та біохімічних процесів, які зумовлюють зниження концентрації забруднювальних речовин у воді.

Джерелами забруднення є стоки підприємств, стоки з відпрацьованими хімікатами полів і лісів, втрати нафтопродуктів

при транспортуванні, потрапляння токсичних речовин із атмосфери з дощем. Найбільш небезпечні забруднювачі води: вуглеводні, пестициди, токсичні метали, радіоактивні речовини та ін.

Основними джерелами хімічного забруднення є доменні і сталеливарні виробництва, підприємства кольорової металургії, гірничодобувна, хімічна, нафтопереробна промисловість, енергетика, а також сільськогосподарське виробництво. Крім прямих скидів стічних вод цих підприємств та інших, поверхневі води забруднюються при взаємодії з іншими природними середовищами. З точки зору біологічної активності і токсичних властивостей, глобальною небезпекою для біоценозу є важкі метали, серед яких найбільшу небезпеку в Україні становлять ртуть і свинець, велика кількість яких попадають у воду з атмосфери. 1 т Донецького вугілля містить у середньому: ртуті – 0,07 г, свинцю – 12,4 г, кадмію і кобальту – 50,6 г, миш'яку – 167,9 г. Тому в планетарному масштабі від спалювання палива в атмосферу викидається в 3-8 разів більше викидів, ніж щорічно добувається, основна частка їх попадає у водойми.

Близько половини щорічного виробництва ртуті (більше 910 тис. т/р.) різними шляхами попадає зі стоками у водойми і в районах скидання їх концентрація цього металу сильно підвищена.

У процесі господарчої діяльності свинець попадає у водойми з промисловими і побутовими стоками, димом і пилом промислових підприємств, з вихлопними газами двигунів внутрішнього згорання.

У Постанові Верховної Ради України «Про основні напрямки державної політики у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» (1998 р.) визначені найбільш актуальні екологічні проблеми природних вод України:

1) надмірне антропогенне навантаження на водні об'єкти внаслідок інтенсивного способу ведення водного господарства призвело до кризового зменшення самовідтворюючих можливостей річок та виснаження водоресурсного потенціалу;

2) значне забруднення водних об'єктів внаслідок

невпорядкованого відведення стічних вод від населених пунктів, господарських об'єктів й сільськогосподарських угідь;

3) широкомасштабне радіаційне забруднення басейнів багатьох річок внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС;

4) погіршення якості питної води внаслідок незадовільного екологічного стану джерел питного водопостачання;

5) недосконалість економічного механізму фінансування і реалізації водоохоронних заходів;

6) відсутність автоматизованої постійно діючої мережі в системі водокористування.

Названі екологічні проблеми є актуальними для всіх водних басейнів України.

До основних причин, що зумовлюють такий екологічний стан природних вод України, належить скидання неочищених та недостатньо очищених стічних вод безпосередньо у водні об'єкти та через систему міської каналізації, а також надходження до водних об'єктів забруднювальних речовин у процесі поверхневого стоку з забруднювальних територій, ерозії ґрунтів та водозабірної площі.

Джерелами забруднення стічними водами водоймищ України є (млн м³ (%)): промисловість – 12408 (63,4); сільське господарство – 3245 (16,6); комунальне господарство – 3816 (19,5), інші галузі – 95 (0,6) [8].

Додаткове техногенне навантаження на стан й якість водних ресурсів зумовлюється скиданням шахтних вод, фільтрацією зі ставків-накопичувачів, шламовідстійників, породних відвалів.

Щорічно із шахт України відкачується близько 700 млн м³ шахтних вод, 600 млн м³ з них містять понад 13-14 тис. т завислих речовин та понад 1,2 млн т сольового компонента, що відводиться в гідрографічну мережу без достатнього очищення. Це суттєво впливає на якість води у водозаборах підземних та поверхневих вод, які розташовані у басейнах річок Сіверський Донець та ін. Скинуті забруднювальні речовини у 1998 р. складають: Сіверський Донець – 588 тис. т (18 % загальної маси); Дністер – 2,4 %; Чорне море – 1,9 %; Азовське море – 4,6 %.

Викликає непокоєння екологічний стан водного басейну Дніпра, до якого в 1998 р. було скинуто 757 тис. т забруднювальних речовин. Чорнобильська катастрофа призвела до того, що сьогодні в Київському водосховищі накопичилося 90 млн м³ радіоактивного мулу. Значна частина малих річок басейну втратила природну здатність до самоочищення. У катастрофічному стані знаходяться притоки нижнього Дніпра. Сьогодні якість води у Дніпрі відповідає 3-4 класу (брудна та дуже брудна). У Дніпрі є місце, де якість води вже понизилася до 5 класу (усього 5 класів якості) [8]. Система водопідготовки питного постачання розрахована на 1-2 класи.

Затверджено Національну програму оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води. Вода, що потрапляє на поля південної території для зрошення, значно забруднена важкими металами, радіонуклідами, нітратами, фосфатами та ін., що призвело до забруднення земель Криму та південних областей й накопичення шкідливих речовин у сільськогосподарській продукції.

У підземні води шкідливі речовини потрапляють зі звалищ побутових й промислових відходів. Через бактеріальне і хімічне забруднення ґрунтових вод відходами вода 50 % колодязів у сільській місцевості не відповідає санітарним нормам.

Спостерігаються випадки погіршення епідеміологічної ситуації, постачання населенню питної води, яка забруднена бактеріально і вірусно. Неякісна вода є однією з причин розповсюдження таких захворювань, як виразкова хвороба шлунка, жовчнокам'яна хвороба, хвороби органів дихання, стенокардія, інфаркт міокарда, холецистит. Зареєстровані випадки захворювання черевним тифом, вірусним гепатитом А, дизентерією, сальмонельозом, пов'язаних з водним фактором, зокрема з питною водою.

3.3. Взаємодія теплової енергетики і водних об'єктів

Необхідно особливо зупинитися на проблемі забруднення водою, яка пов'язана з енергогенеруючими установками, опалювальними та опалювально-виробничими котельними –

головними постачальниками як електричної, так і теплової енергії.

Узагальнюючи усі можливі впливи енергетичних підприємств на водні об'єкти, виділяють декілька груп найважливіших взаємодій, серед яких [41, 42]:

- водоспоживання і водокористування, що зумовлює зміни в природному матеріальному балансі водного середовища;

- осідання на поверхні води твердих викидів з атмосфери, викликаних продуктами згоряння органічного палива, що змінює властивості води, її забарвлення та ін.;

- випадання на поверхню води продуктів викидів в атмосферу, зокрема кислих і кислотних залишків, металів і їх сполук, канцерогенних речовин у вигляді твердих частинок і рідких розчинів;

- викидання безпосередньо на поверхню води продуктів спалювання твердого палива, а також продуктів продування, очищення поверхонь нагрівання;

- викидання на поверхню води рідкого і твердого палива при його транспортуванні, переробці, перевантаженні;

- викидання твердих і рідких радіоактивних відходів, що характеризуються умовами їх розповсюдження у водних об'єктах;

- викидання теплоти, наслідком чого можуть бути постійне локальне підвищення температури у водоймищі, тимчасове підвищення температури, зміни умов льодоставу, зимового гідрологічного режиму, паводків, розподілу опадів, випаровувань, туманів;

- створення сховищ у долинах річок або з використанням природного рельєфу, а також створення штучних ставків-охолоджувачів, що спричиняє зміну якісного і кількісного складу річкових стоків, зміни гідрології водного басейну, збільшення тиску на дно, проникнення вологи в розломи кори та зміну сейсмічності, змінення умов мікроклімату, відпочинку, та інших факторів водного середовища;

- зміна ландшафту внаслідок спорудження різномірних енергетичних об'єктів, взаємодія берегів з водосховищами;

- вплив викидів, виносів і зміненого характеру водних басейнів на структуру і властивості континентальних шельфів.

Усі названі взаємодії пов'язані між собою, і кожна з них не може розглядатися ізольовано. Крім того, механізм взаємодії в будь-якій з груп заснований на різнорідних фізичних і фізико-хімічних процесах і явищах.

Різноманітність таких факторів, їхній взаємозв'язок як з повітряним середовищем, так і з поверхнею планети зумовлює потребу в багатобічному аналізі впливу енергетики на гідросферу, заснованого на узагальненому системному підході до усіх складових цього процесу.

3.4. Вплив транспортних засобів на водні об'єкти

Залізничний транспорт використовує щорічно більше 65 млн т води, з яких понад 40 % скидаються в поверхневі водойми у вигляді стоків, забруднених нафтопродуктами, завислими речовинами, солями важких металів, синтетичними поверхнево-активними речовинами (СПАР) та ін. Основними технологічними користувачами є вагонні та локомотивні депо, промивально-пропарювальні станції (ППС), заводи з ремонту рухомого складу [3].

Якість стічних вод залізничних підприємств змінюється у широких межах від умовно чистих до забруднених нафтопродуктами, фенолами та іншими хімічними речовинами.

Більшість води, яка використовується, скидається у вигляді стічних вод у водойми або вузлові і місцеві каналізаційні очисні споруди. Забруднення водоймищ створює потенційну небезпеку для здоров'я населення, обмежує користування водоймами для господарчо-питних та культурно-побутових цілей, наносить велику шкоду рибному і сільському господарству.

Основними технологічними процесами з використанням води на залізничному транспорті є охолодження обладнання і миття рухомого складу та його вузлів у процесі експлуатації і ремонту. Їх цілком задовольняє вода з більш високим вмістом забруднювачів, ніж питна водопровідна вода.

Якість води, яка скидається залізничними підприємствами, залежить від технології виробництва.

У локомотивних депо вода використовується на наповнення і поповнення систем оборотного водопостачання у водних технологічних процесах, на пункті обмивання локомотивів, у ремонтних і механічних цехах при обмиванні ходових частин і деталей локомотивів, у компресорній, котельній і гаражі.

У вагонних депо технологічні процеси включають зовнішнє обмивання вагонів, миття ходових частин і деталей. Вода витрачається також у системах оборотного водопостачання, в акумуляторній, компресорній, котельній.

У колійне господарство включені щебеневі заводи, шляхові машинні станції. Вода тут використовується для промивання щебеню, при обслуговуванні машин й механізмів.

Ремонтні і механічні заводи виконують підготовку рухомого складу і шляхових машин до ремонту (очищення від бруду, старої фарби, обмивання і просушування), проводять обмивання ходових частин і деталей у мийних машинах, ремонт і заправлення батарей акумуляторів, гальванічних деталей. Залежно від засобів обмивання локомотивів, вагонів, ходових частин і деталей одержують ті або інші забруднення в стічних водах.

Хімічні засоби очищення передбачають застосування емульсій, рідини для змивання, розчинів і паст, які разом з відмитими забруднюючими речовинами потрапляють у стічні води.

У мийних машинах застосовують лужні розчини, які залежно від кількості промивних поверхонь застосовуються в обороті протягом 1-2 місяців. Загальна лужність розчинів після користування становить 100-2500 мг-екв/дм³. Нафтопродукти знаходяться у вигляді мастил, концентрація яких становить 1000-30000 мг/дм³ і в процесі застосування розчину підвищується.

Завислі речовини являють собою пісок, глину, продукти корозії і зносу промивних деталей. Концентрація їх зростає пропорційно тривалості користування розчином і становить 200-5000 мг/дм³. Сухий залишок деяких відпрацьованих розчинів досягає 50000-130000 мг/дм³, рН до 14.

Вимоги, які встановлені до лужних розчинів мийних машин, становлять:

- завислі речовини – не більше 1500 мг/дм³;
- ефіророзчинні речовини – не більше 10000 мг/дм³;
- лужність до 1250 мг-екв/дм³;
- рН до 14;
- сухий залишок – не більше 70000 мг/дм³.

Основні нормативи якості води для експлуатаційного обмивання вагонів такі:

- завислі речовини – не більше 75 мг/дм³;
- ефіророзчинні речовини – не більше 20 мг/дм³;
- рН - 6,5-8,5;
- сухий залишок – не більше 1500 мг/дм³.

Стічні води промивально-пропарювальних станцій забруднені в основному нафтопродуктами і мінеральними завислими речовинами та можуть містити також феноли, суміш хімічних речовин та ін. У стічній воді міститься завислих речовин – 100-20000 мг/дм³; нафтопродуктів – 100-600 мг/дм³; рН – 7-9; лужність – 3-12 мг-екв/дм³; фенолів – 5-20 мг/дм³.

Так, наприклад, річне скидання забруднюючих речовин зі стічними водами залізничного транспорту в природні водойми в 1999 р. склав більше 450 т [3].

За декілька останніх десятиріч підприємствами, які забезпечують водопостачання залізничних об'єктів, напрацьований значний досвід в організації очищення природної води, налагодження водопровідних очисних споруд, їх експлуатації, а також забезпечення надійного знезараження води.

Питання для самоперевірки

1. Загальні вимоги для усіх категорій водних об'єктів.
2. Які існують види забруднення водоймищ?
3. Що є джерелами забруднення водного басейну?
4. Що обумовлює хімічне забруднення?
5. У чому полягає органічне забруднення?
6. Що обумовлює бактеріальне забруднення?

7. Що обумовлює радіоактивне забруднення водойм?
8. Що є джерелом теплового забруднення?
9. Як температура впливає на гідробіонти у водоймах?
10. Які негативні наслідки має теплове забруднення на водойми?
11. Які екологічні проблеми природних вод є актуальними?
12. Як впливають шахтні розробки на якість водних ресурсів?
13. У якому стані знаходиться водний басейн Дніпра?
14. Які наслідки має постачання неякісної питної води для населення?
15. Як впливає енергетика на водні об'єкти?
16. Які підприємства залізничного транспорту скидають стічну воду у водойми?
17. Які технологічні процеси підприємств залізничного транспорту застосовують воду для своїх цілей?
18. Які нормативи якості води застосовують на залізничному транспорті?
19. Вимоги, які встановлені до лужних розчинів мийних машин.
20. Які речовини мають стічні води промивально-пропарювальних станцій?

4. Нормативи використання, споживання і відведення води

4.1. Нормативи використання й охорони водних ресурсів

В Україні сформовано державну політику в галузі використання й охорони вод та відтворення водних ресурсів, створено законодавчу та нормативно-методологічну базу, розроблено і впроваджено економічний механізм водокористування, прийнято ряд держаних програм, утворено систему спеціально уповноважених органів виконавчої влади.

Відповідно до Водного кодексу України при користуванні та охороні вод треба дотримуватися таких нормативів:

- 1) екологічної безпеки водокористування;
- 2) екологічного нормативу якості води водних об'єктів;
- 3) гранично допустимого скидання забруднених речовин;
- 4) галузевих технологічних утворень речовин, які скидаються у водні об'єкти;
- 5) технологічних нормативів використання води.

4.1.1. Нормативи екологічної безпеки водокористування

Вимоги до якості, складу й властивостей води у водоймах встановлюються нормативними правилами з екологічної безпеки відповідно до кожної категорії й приводяться гранично допустимі концентрації речовин.

Загальні вимоги визначають допустимий склад і властивості води, які оцінюються фізичними, бактеріологічними й хімічними показниками.

Одна і та сама речовина при різних концентраціях виявляє різні ознаки шкідливості. Ознаку шкідливості, яка виявляється при мінімальній концентрації речовини, називають лімітуючою ознакою шкідливості (ЛОШ).

У зв'язку з цим у водоймах комунально-побутового й господарчо-питного водокористування орієнтуються на три ЛОШ – на мінімальну (підпорогову, *ППК*) концентрацію речовини за одним з таких показників:

- *ППКор.л*, яка визначається за зміною органолептичних характеристик (колір, присмак, запах);
- *ПППс.р.в*, яка визначається за впливом на санітарний режим водойми (БСК, розчинений O₂, рН води);
- *ППКт*, яка визначається за санітарно-токсикологічним впливом цієї речовини.

У водоймах рибогосподарчого призначення виділяють ще дві ЛОШ – токсикологічну й рибогосподарчу.

Значення нормативного *ГДК* кожної речовини у водоймі встановлюється за найменшим значенням однієї з мінімальних концентрацій.

Гранично допустимою концентрацією (*ГДК*) шкідливої речовини у воді водойми називається його концентрація, що при щоденному впливі протягом тривалого часу на організм людини не викликає яких-небудь патологічних змін і захворювань, що виявляють сучасними методами досліджень, а також не порушує біологічного оптимуму водойми.

У наш час визначені *ГДК* далеко не всіх шкідливих речовин, що скидають у водойми. Пов'язано це насамперед з більшими труднощами й тривалістю визначення *ГДК*. У цей час заборонений спуск у водойми нових речовин, *ГДК* яких ще не визначені.

Труднощі визначення *ГДК* пов'язані з тим, що, крім санітарного, її величини мають і велике економічне значення, оскільки невинуватене заниження *ГДК* призведе до більших витрат на додаткове очищення води.

Нормативи екологічної безпеки водокористування розробляються і затверджуються Міністерством охорони здоров'я, Національною комісією радіаційного захисту населення і Міністерством рибного господарства України для відповідних категорій водоймищ.

При оцінці якості води у водоймах комунально-побутового і господарчо-питного призначення враховують чотири класи небезпеки: надзвичайно небезпечні, високонебезпечні, небезпечні і помірно небезпечні.

У табл. 4.1 наведено деякі значення *ГДК* за лімітуючою ознакою шкідливості залежно від виду водних об'єктів [16].

Таблиця 4.1

Гранично допустима концентрація деяких шкідливих речовин у
водоймах, мг/кг

Речовина	Для 1 виду	Для 2 виду
За санітарно-токсикологічним показником шкідливості, $ППК_m$		
Аміак	-	0,05
Свинець	0,1	0,1
Ванадій	0,1	-
Залізо	0,5	-
Мідь	0,1	0,01
Миш'як	0,05	0,05
Нікель	1,0	0,01
Поліакриламід	2,0	-
Ртуть	0,5	-
Формальдегід	0,5	-
Фтор	1,5	-
За загально-санітарним показником шкідливості, $ППК_{с.р.в}$		
Аміак (за азотом)	2,0	-
Хлор активний	-	-
Цинк	1,0	-
Солі сірчаної кислоти	500	-
За органолептичним показником шкідливості, $ППК_{ор.л}$		
Нафта високосірчана	0,1	-
Нафта у розчинному стані	0,5	0,05
Феноли	0,001	0,001

Якщо у водойму скидається кілька токсичних речовин односпрямованої дії, то сума їхніх концентрацій, виражених у частках, відповідних для кожної речовини $ГДК$, не повинна перевищувати одиниці (принцип адитивності) з урахуванням фонових концентрацій шкідливих речовин, що є присутніми у водоймі до скидання стічних вод:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \leq 1, \quad (4.1)$$

де C_i й $ГДК_i$ — відповідно концентрація i -ї речовини та її гранично допустима концентрація у водоймі;

n — число шкідливих речовин, що скидаються зі стічною водою.

Принцип адитивності сприяє захисту водокористування санітарно-гігієнічними нормативами, однак при цьому не враховується можливе посилення токсичної дії деяких речовин при їхній спільній присутності.

Для стічних вод величини $ГДК$ не нормуються, тому необхідний ступінь їхнього очищення визначається цілком і повністю станом водойми після скидання стічних вод у неї. При цьому вміст шкідливих речовин повинен відповідати санітарним нормам у водоймах для питного й культурно-побутового водокористування в створі, розташованому вище 1 км від прилеглого за течією пункту водокористування. На непроточні — на відстані 1 км з обох боків пункту водокористування.

Для рибогосподарських водойм санітарні норми визначають для ділянок у створі або нижче спуску стічних вод з урахуванням можливого ступеня їхнього змішання й розведення у водоймі від місця випускання стічних вод до границі рибогосподарської ділянки водойми.

4.1.2. Екологічні нормативи якості води

Для оцінки екологічного благополуччя водних об'єктів та визначення комплексу водозахисних заходів встановлюється екологічний норматив якості води, який містить науково обґрунтовані значення концентрацій забруднюючих речовин та

показники якості води (загальнофізичні, біологічні, хімічні, радіаційні). При цьому ступінь забруднення водних об'єктів визначається відповідними категоріями якості води. Класи й категорії якості поверхневих вод наведені в табл. 4.2 [5].

Таблиця 4.2

Класи і категорії якості поверхневих вод

Клас якості води	Категорія якості води	Назва класів і категорій води за ступенем забруднення	
I	1	Дуже чисті	Дуже чисті
II	2	Чисті	Чисті
	3		Достатньо чисті
III	4	Забруднені	Слабко забруднені
	5		Помірно забруднені
IV	6	Брудні	Брудні
V	7	Дуже брудні	Дуже брудні

Норми якості води повинні виконуватися:

- для водотоків комунально-побутового і господарчо-питного водокористування – на ділянках від пункту водокористування до контрольного створу, який розташований на відстані не менше 1 км вище за течією від цього пункту водокористування;

- водойм комунально-побутового і господарчо-питного водокористування – на акваторії в радіусі не менше 1 км від пункту водокористування;

- водотоків рибогосподарчого водокористування – у межах усієї рибогосподарчої ділянки водотоку, починаючи з контрольного створу, який розташований не більше 500 м нижче за течією від джерела скидання домішок;

- водойм рибогосподарчого призначення – на усій рибогосподарчій ділянці, починаючи з контрольного пункту, розташованого у радіусі не більше 500 м від місця скидання домішок.

4.1.3. Нормативи гранично допустимого скидання забруднюючих речовин

Ці нормативи встановлюються з метою поетапного досягнення екологічного нормативу якості водних об'єктів. Скидання у водні об'єкти речовин, для яких не встановлені нормативи екологічної безпеки водокористування та нормативи гранично допустимого скидання, заборонено.

4.1.4. Галузеві технологічні нормативи утворення забруднюючих речовин

Для оцінки екологічної безпеки виробництва встановлюються галузеві технологічні нормативи утворення забруднюючих речовин, які скидаються у водойми. Це нормативи гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах, які створюються в процесі виробництва одного виду продукції при використанні однієї сировини.

4.1.5. Технологічні нормативи використання води

З метою забезпечення раціонального використання води в галузях економіки встановлюються поточні й перспективні технологічні нормативи користування водою, а саме:

- поточні технологічні нормативи використання води для існуючого рівня технологій;
- перспективні технологічні нормативи використання води з урахуванням досягнень на рівні передових світових технологій.

4.2. Нормування водоспоживання і водовідведення води

Для проектування систем водопостачання і розроблення заходів з економної витрати води передбачено нормування водоспоживання. Нормами промислового водоспоживання називають кількість води, необхідної для виробничого процесу за відповідний проміжок часу або для виробництва одиниці продукції, встановленої на основі передового досвіду або науково обґрунтованого розрахунку. В укрупнену норму водоспоживання входять усі витрати води на підприємстві: як виробничі, так і господарчо-побутові.

4.2.1. Нормування водоспоживання на технологічні потреби

Споживання свіжої води в Україні з 1990 р. скоротилося за 15 років на 20 % і у 2005 р. становило 872 млн м³, у тому числі для промисловості – 526 млн м³, а для господарчих потреб – 346 млн т. Об'єм повторного використання води склав 501 млн т.

Нормативи водоспоживання для технологічних процесів на підприємствах залізничного транспорту наведені в роботах [3, 39]. Наприклад, реостатні випробування тепловозів на рідинних навантажених реостатах при потужності 1000-4000 к.с. потребують від 3 до 15 м³ води на 1 секцію тепловоза.

Велику кількість води в енергетиці потребують ТЕС і АЕС. Система водопостачання ТЕС складається з технічного, господарчо-питного і протипожежного водопостачання. Основними споживачами води на ТЕС і АЕС є конденсатори турбін (85-95%), решта використовується на охолодження мастила і повітря (3-8%), видалення золи і шлаку (2-5%), поповнення втрат (4-6%), чищення котлів (0,2-0,8%).

Витрата води на конденсатори паротурбінних установок залежить від потужності турбін, але в загальному випадку вона становить від 90 до 140 кг/(кВт·год) на ТЕС і 220 кг/(кВт·год) на АЕС. Відношення витрати води, яка охолоджує конденсатори турбін, до витрати сконденсованої пари називають кратністю охолодження конденсатора. Для сучасних багатоходових конденсаторів вона становить 40-60. Приблизна характеристика водопостачання ТЕЦ у складі двох енергоблоків Т-110/120-130, одного енергоблока Т-250/300-240 і шести водогрійних котлів по 180 Гкал/год з оборотним водопостачанням складається з таких витрат води:

- середній забір води для підживлення системи технічного водопостачання – 1300 м³/год;
- подача води на питні і господарчі потреби – 1700·10³ м³/р.;
- протипожежне водопостачання об'єднано з технічним і їх витрати в сумарне добове водопостачання не включають як епізодичне.

4.2.2. Нормування водоспоживання на господарчо-побутові потреби

Норми ДБН 360-92 встановлюють середньодобову сумарну витрату води для найбільших міст України, яка у середньому становить 348 дм³/доб на 1 мешканця (10,58 м³/міс.). У той же час добова норма у Європі – 140-200 дм³/доб на 1 людину.

4.2.3. Нормування водовідведення

Норма водовідведення – це об'єм води (м³), яка надходить у мережі водовідведення за добу і припадає на одиницю продукції або на одного мешканця. Норма відведення включає кількість стічних вод, які випускаються у водойми і не потребують очищення. До них відносять очищені промислові і побутові, фільтраційні зі ставків – освітлювачів, хвостосховищ і шламонакопичувачів.

У різних галузях промисловості норми водовідведення коливаються у широких межах. Наприклад, при збагаченні 1 т вугілля утворюється 0,08 м³ стічних вод; при виплавці 1 т сталі – 4 м³; при виробництві 1 т хліба – 4 м³, 1 т цементу – 0,12 м³ та ін. На залізничному транспорті при реостатних випробуваннях водовідведення становить 0,4 м³ на 1 секцію тепловоза, на промивання водних систем 5-ти вагонної секції рефрижераторного состава – 1,4 м³.

В енергетиці на потужних ТЕС кількість стічних вод від різноманітного обладнання досягає 800 м³ на одне обмивання регенеративних водопідігрівачів (РВП) і 300 м³ – на обмивання котла. Кількість стоків досягає: на барабанних котлах – 8000 м³, прямотокових від 8000 до 20000 м³ залежно від паропроодуктивності.

За відсутності норм водовідведення кількість стічних вод від великих промислових підприємств досягає 200-400 тис. м³/доб, що відповідає кількості стічних вод від міст з населенням 1-2 млн мешканців.

Норми водовідведення побутових стічних вод на одну людину в жилих районах розраховують однаково з нормою водоспоживання. Середньодобові норми водовідведення на одного мешканця приймають за СНиП 2.04.03-85 залежно від

ступеня благоустрою жилих районів. Коли будинок обладнаний водопроводом, каналізацією і системою централізованого гарячого водопостачання, то норма становить 230-350 дм³/доб. На промислових підприємствах визначають витрати стічних вод від їдалень, пральних, санітарних душів та ін. Витрати стічних вод від суспільно-побутових будинків входять у норму на одного мешканця.

4.2.4. Режим водоспоживання і водовідведення

Режим водоспоживання змінюється за часом. Для визначення витрати води у населеному пункті в різну пору року за даними середньодобової за рік витрати води вводять коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання, який враховує уклад життя людей, режим роботи підприємств, ступінь благоустрою будинків, зміну водоспоживання за сезонами року і днями тижня. Значення цих коефіцієнтів приймають для максимальних значень від 1,1 до 1,3 і для мінімальних – від 0,7 до 0,9 [39].

Режим витрати води промислових підприємств залежить від технології виробництва. Коефіцієнт годинної нерівномірності промислового водоспоживання також встановлюють видом технологічного процесу. Коефіцієнт годинної нерівномірності для населених пунктів визначають за формулами [39]

$$K_{ч.маx} = \alpha_{маx} \cdot \beta_{маx} \text{ і } K_{ч.миn} = \alpha_{миn} \cdot \beta_{миn}, \quad (4.2)$$

де α – коефіцієнт, який враховує ступінь благоустрою будинків, режим роботи підприємств та інші місцеві умови: $\alpha_{маx}= 1,2\dots1,4$; $\alpha_{миn}=0,4\dots0,6$;

β – коефіцієнт, який враховує вплив чисельності населення:

при 1000 мешканців – $\beta_{маx}=2$; $\beta_{миn}=0,1$;

при 100 тис. мешканців – $\beta_{маx}=1,1$; $\beta_{миn}=0,7$.

Питання для самоперевірки

1. Які нормативи встановлює Водний кодекс?
2. Що таке *ППКор.л*?
3. Що таке *ППКс.р.в*?
4. Що таке *ППКт*?
5. Що таке *ГДК* і для яких вод визначається?
6. Як визначають граничну концентрацію у водоймах при скиданні кількох токсичних речовин?
7. Назвіть класи і категорії якості поверхневих вод.
8. Які встановлено норми водоспоживання на технологічні потреби?
9. Нормування водоспоживання на побутово-господарчі потреби.
10. Від чого залежить норма водовідведення?
11. Як визначають норми водовідведення для населення?
12. На основі чого визначають норми водовідведення на підприємствах?
13. Від чого залежить режим водоспоживання?
14. Який коефіцієнт враховує нерівномірність водоспоживання населенням?
15. Що враховує коефіцієнт добової нерівномірності?
16. Які значення має коефіцієнт добової нерівномірності?
17. Від чого залежить режим водоспоживання промисловими підприємствами?
18. Який коефіцієнт враховує нерівномірність режиму водоспоживання промисловістю?
19. Як визначити коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання?
20. Що таке α при розрахунку коефіцієнта годинної нерівномірності?
21. Що таке β при розрахунку коефіцієнта годинної нерівномірності?

5. Стічні води енергетичних підприємств і їх вплив на водойми

5.1. Класифікація промислових стічних вод

5.1.1. Склад і властивості промислових стічних вод

Раніше випускання стічних вод промислових підприємств було головною причиною забруднення водних об'єктів. Обмеження скидання стічних вод підприємств, оборотне водопостачання, заборона скидання неочищених стічних вод зменшили роль цього забруднення. Підвищується роль забруднення поверхневими стоками з територій міст і полів. Найбільшим споживачем води є сільське господарство (близько 70 %), і найбільш небезпечними й розповсюдженими забруднювачами природних вод є сполуки азоту, фосфору та пестициди, які змиваються з полів і попадають у воду. Разом з тим вплив промислових стічних вод на якість природної води водних об'єктів залишається значним.

До 20 % водних ресурсів витрачається в промисловості. Найбільш водоємкими галузями є чорна металургія – 24%, паливна і нафтохімічна промисловість – 13%, хімічна промисловість – 13%.

Кількість, склад і вміст забруднюючих речовин у промислових стічних водах визначаються характером технологічних процесів, складом локальних очисних споруд та ін. Забруднені стічні води поділяються на три групи:

1) забруднені переважно мінеральними домішками (підприємства металургійної, машинобудівельної, добувної промисловості; енергетика; заводи з виробництва добрив, кислот, будівельних матеріалів та ін.);

2) забруднені переважно органічними домішками (підприємства м'ясної, рибної, молочної, харчової, мікробіологічної промисловості та ін.);

3) забруднені мінеральними й органічними домішками (підприємства нафтодобувної, нафтопереробної, нафтохімічної,

фармацевтичної промисловості, заводи з виробництва цукру, вітамінів, консервів та ін.).

Незабруднені домішками виробничі стічні води надходять від систем циркуляційного охолодження конденсаторів турбін ТЕС, холодильних і компресорних агрегатів, систем охолодження обладнання та ін. Однак ці води є джерелами теплового забруднення водойм.

Склад виробничих стічних вод визначається видом сировини, яка переробляється, технологічними процесами та іншими факторами. Аналіз фізико-хімічних показників якості стічних вод і режимів надходження необхідний для розроблення раціональних схем очищення і водовідведення. Інформація про кількість і склад стічних вод подається кожним підприємством у формі державного статистичного звіту.

Наприклад, вміст нафтопродуктів у стічних водах локомотивного депо становить 240 мг/дм^3 , вагонного депо – 50 мг/дм^3 , промивально-пропарювальних станцій (ППС) – $100\text{-}600 \text{ мг/дм}^3$.

5.1.2. Принципи класифікації стічних вод

На сьогодні немає чіткої класифікації стічних вод, узаконеної правилами або нормами. Однак у роботах з очищення стічних вод наводяться деякі класифікації як самих стічних вод, так і домішок у них, у тому числі й за дією останніх на водойми [16].

Усередині підприємства стічні води звичайно поділяють:

- на сильнозабруднені стоки;
- слабозабруднені води;
- умовно чисті води, які практично не забруднюються в технологічних процесах (охолодні води);
- кубові залишки й маточні розчини, що являють собою надзвичайно концентровані стоки;
- побутові й господарсько-фекальні стоки, що направляють на біохімічне очищення.

За вмістом забруднюючих речовин стічні води поділяють на 4 групи:

- 1 – 500 мг/дм³;
- 2 – 500 – 5000 мг/дм³;
- 3 – 5000 – 30000 мг/дм³;
- 4 – більше 30000 мг/дм³.

За ступенем агресивності стічні води поділяють:

- на слабокислі (рН=6-6,5) ;
- слаболужні (рН=8-9);
- сильноагресивні (рН <6 й рН>9);
- неагресивні (рН=6,5-8).

Більш повно принципи класифікації стічних вод розроблені залежно від характеру забруднюючих їхніх домішок. Л.А. Кульским запропонована класифікація, в основі якої лежить розходження характеру домішок, що містяться в стічних водах, з погляду їхнього фізико-хімічного складу.

За цією класифікацією стічні води поділяються на дві великі групи: *гомогенні й гетерогенні системи*.

Гомогенні, тобто однорідні, – термодинамічні системи, усередині яких немає поверхонь розподілу, що торкаються частини системи, які відрізняються один від одного за станом й властивостями. До цих стічних вод відносять:

- стічні води, що містять розчинені гази й молекулярно-розчинні органічні речовини;
- стічні води, що містять істинно-розчинні речовини.

Гетерогенні – фізико-хімічні системи, що мають поверхні розподілу, з якими торкаються однофазові частини системи, які відрізняються один від одного за станом й властивостями. До цих вод відносять:

- стічні води, що містять нерозчинні у воді домішки;
- стічні води, що являють собою колоїдні системи.

У табл. 5.1 наведено класифікацію стічних вод за їхньою дією на водойми. Як ця, так й інша класифікації досить докладно описують все різноманіття домішок, що скидають зі стічними водами ТЕС.

Таблиця 5.1

Класифікація стічних вод за їхньою дією на водойми

Характер домішок	Характер дії домішок на водойми	Джерело стічних вод
1. Неорганічні зі специфічними токсичними властивостями	Зміна органолептичних і фізико-хімічних властивостей води; отруєння водних організмів, зяброві захворювання риб та ін.	Виробництва хімічної й азотної промисловості, електрохімічні виробництва, теплові електричні станції тощо
2. Неорганічні без специфічних токсичних властивостей	Містять завислі речовини	Виробництво керамічної, силікатної промисловості, вуглезбагачувальні фабрики, теплові електричні станції тощо
3. Органічні зі специфічними властивостями	Отруюють водні організми, погіршують якість води, створюють дефіцит кисню	Хімічні й нафтохімічні виробництва, теплові електричні станції тощо
4. Органічні без специфічних токсичних властивостей	Створюють дефіцит кисню	Харчова промисловість, теплові електричні станції тощо

Визначення стічної води має двоякий сенс. З одного боку, це вода, що не має в більшості випадків цінності для промислового підприємства, з іншого – це вода, що вносить шкідливі речовини у водойму при її скиданні. З погляду будь-

якого промислового підприємства (у тому числі й ТЕС) стічною водою може бути вода, що використана в технологічних процесах і не відповідає більше вимогам, пропонованим цими процесами до її якості. Така вода повинна піддаватися очищенню з виділенням з неї шкідливих домішок і використовуватися на підприємстві (в інших технологічних процесах) або скидатися у водойму.

Речовини, виділені з води при очищенні, залежно від їхньої народно-господарської цінності поділяються:

- на відходи – речовини, що мають певну цінність (наприклад, ванадій, нікель й ін.);
- викиди – малоцінні для народного господарства речовини (наприклад, пісок й ін.).

Границя між відходами й викидами досить умовна в тому розумінні, що частка речовин, які в цей час можна віднести до викидів, буде зменшуватися за рахунок вишукування способів більш раціонального використання їх у народному господарстві.

5.2. Умови скидання стічних вод у водні об'єкти

При скиданні стічних вод у межах будь-якого населеного пункту вимоги, установлені до складу й властивостей води водойми, повинні ставитися до самих стічних вод. За наявності ж випускань, що розсіюють стічні води і гарантують необхідне змішання й розведення їх у водоймі, вимоги до складу й властивостей води ставляться до води водного об'єкта.

Режим скидання стічних вод у водойми може бути:

- одноразовим;
- періодичним;
- безперервним з постійною витратою;
- безперервним зі змінною витратою;
- випадковим.

Природно, що найбільш сприятливим режимом скидання буде той, при якому (за наявності гарного змішання стічних вод з водами водойми) буде дотримано *ГДК* домішок у водоймі.

Варто враховувати при цьому, що й дебіт річки у даному створі змінюється як за сезонами, так і за роками (посушливий

або дощовий рік). Співвідношення кількості домішок, що скидають, і розташовуваної кількості води може сильно змінюватися, причому дебіт водойми може виявитися недостатнім (особливо за наявності мула) для розведення домішок до *ГДК* у водоймі.

При скиданні стічних вод повинна існувати гранична кількість домішок, що скидають (гранично допустимий викид – *ГДВ*), в одиницю часу, що визначається конкретними умовами скидання, з урахуванням характеру домішок, їхньої кількості, режиму скидання, дебіту водойми та ін.

Гранично допустимі скиди можуть бути розраховані для конкретних умов і багато в чому визначають необхідний ступінь очищення стічних вод.

Розведення стічних вод у водоймі являє собою складний процес, недостатньо розроблений. Розведення залежить від безлічі факторів:

- властивості і кількість забруднюючої речовини;
- витрати води у водоймі;
- особливості русла й течії;
- температурний й вітровий режим водойми та ін.

Питання змішання й розведення стічних вод розробляються за допомогою математичних моделей на основі балансових і гідродинамічних подань.

Велике значення має метод скидання стічних вод у водойми. При зосереджених випусках інтенсивність змішання мінімальна, і на практиці спостерігаються явища, коли забруднений струмінь має велику протяжність у водоймі. Найкращі результати приносить застосування випускань, що розсіюють у глибині водойми. Ці випускання звичайно організуються у вигляді перфорованих труб.

У загальному вигляді рівняння балансу домішки при скиданні її у водойму з урахуванням початкового розведення в створі випуску можна подати як [16]

$$C_{ct} = n \left[n_{p.c.} (C_{p.c.} - C_{\phi}) + C_{\phi} \right], \quad (5.1)$$

де $C_{ст}$, $C_{р.с.}$, $C_{ф}$ – відповідно концентрації домішки в стічних водах до випускання у водойму, у розрахунковому створі й фоновій концентрації домішки у водоймі, мг/кг;

$n_{ст}$ й $n_{р.с.}$ – кратність розведення стічних вод у створі випускання (початкове розведення) і розрахунковому створі відповідно.

Можна розкрити початкове розведення стічних вод у створі їхнього випускання:

$$C_{ст} = \frac{L \cdot H \cdot v}{q} \left[n_{р.с.} (C_{р.с.} - C_{ф}) + C_{ф} \right], \quad (5.2)$$

де $L \cdot H \cdot v$ – витрати водотоку, що протікає з випусканням і розсіюється, м³/с;

q – витрата стічних вод, м³/с;

L – довжина випускання, що розсіює (наприклад, перфорованої труби), м;

H – середня глибина потоку над випусканням, м;

v – середня швидкість потоку над випусканням, м/с.

Значення кратності розсіювання стічних вод у розрахунковому створі $n_{р.с.}$

$$n_{р.с.} = 10^{\frac{S \cdot \varphi \cdot H}{A \cdot \chi (B-L) \lg Re_{\delta}}}, \quad (5.3)$$

де A – коефіцієнт пропорційності, що залежить від категорії русла й середньорічної витрати води у водотоці, $A = 0,9-2,0$;

B – ширина водотоку, м;

χ – ширина частини русла, у якій не проводиться випускання (труба не перекриває всю ширину русла), м;

φ – коефіцієнт звивистості річки, тобто відношення відстані від місця випускання стічних вод до розрахункового створу по фарватеру L до відстані по прямій $L_{пр}$,

$$\varphi = \frac{L}{L_{пр}}, \quad (5.4)$$

S – відстань від створу випускання до розрахункового створу;

Re_δ – дифузійний критерій Рейнольда, $Re_\delta = \frac{v \cdot H}{D}$,

де D – коефіцієнт турбулентної дифузії домішок у водотоці.

Підставляючи вираз для $n_{p.c}$ у рівняння (5.2) і приймаючи $C_{p.c.} = ГДК$, одержуємо вираження для концентрації домішок у стічних водах до випускання у водойми, щоб концентрація у розрахунковому створі не перевищувала ГДК:

$$C_{cm} = \frac{L \cdot H \cdot v}{q} \left[10^{\frac{S \cdot \varphi \cdot H}{A \cdot \chi^{(B-L) \lg Re_\delta}} (ГДК - C_\phi) + C_\phi \right]. \quad (5.5)$$

Гранично допустиму величину скидання січних вод у даних умовах можна визначити, прийнявши $C_{p.c.} = ГДК$:

$$G_{cm} = L \cdot H \cdot v \left[10^{\frac{S \cdot \varphi \cdot H}{A \cdot \chi^{(B-L) \lg Re_\delta}} (ГДК - C_\phi) + C_\phi \right]. \quad (5.6)$$

При скиданні стічних вод у населених пунктах нормативне розведення до $ГДК$ повинне бути забезпечено в створі випускання ($S=0$; $n_{p.c} = 1$),

$$G_{cm} = L \cdot H \cdot v \cdot C_{p.c.}, \quad (5.7)$$

причому значення $C_{p.c.} = ГДК$ стосується безпосередньо створу випускання стічних вод, тобто початкове розведення стічних вод повинно забезпечувати необхідну якість води у водостоку.

При випусканні органічних домішок у водойми їхню припустиму концентрацію в стічних водах можна визначити з рівняння балансу:

$$C_{cm}^{БСК} = \frac{a \cdot Q}{0,4 \cdot q} (C_{O_2e} - 0,4 C_e^{БСК} - C_{O_2min}) - \frac{C_{O_2min}}{0,4}, \quad (5.8)$$

де $C_{ст}^{БСК}$, $C_{\epsilon}^{БСК}$ – повне біохімічне споживання (БСК_{повн}) кисню стічної води й води водойми відповідно;

$C_{O_2\epsilon}$, $C_{O_2\min}$ – концентрація розчиненого кисню до місця скидання стічної води і його мінімально припустима концентрація у водоймі в районі нижче скидання;

a – коефіцієнт змішання,

$$a = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q}{q} \beta}, \quad (5.9)$$

де β – величина, що враховує відстань від місця випускання до розглянутого створу, а також гідравлічні й гідрологічні фактори, що впливають на процес змішання.

Гранично припустима концентрація грубодисперсних домішок (*ГДД*) у водоймах визначається за формулою

$$C_{ст} = ГДК \left(\frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + C_{\epsilon}, \quad (5.10)$$

де $C_{ст}$ і C_{ϵ} — концентрації завислих речовин у стічній воді й у водоймі до її скидання відповідно.

Під *ГДК* у цьому випадку розуміється допустиме за нормативами збільшення вмісту грубодисперсних речовин у воді водойми після скидання в нього стічних вод залежно від виду водойми (0,25 або 0,75 мг/кг). Однак визначення концентрації грубодисперсних речовин за цією формулою недостатньо. Необхідна також характеристика *ГДД* за швидкістю осідання. Так, не допускаються до скидань стічні води, що містять *ГДД* зі швидкістю осідання більш, ніж 0,2 мм/с для непроточних й 0,4 мм/с для проточних водойм. Ці води повинні піддаватися попередньому очищенню до концентрацій, установлених нормами.

За санітарними правилами у порядку попереджувального нагляду максимальна температура теплих вод $t_{т.в}$ при їхньому скиданні у водойму може бути визначена за формулою

$$t_{m.в.} = \left(\frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) \cdot \Delta t_{доп} + t_{макс}, \quad (5.11)$$

де $t_{макс}$, $\Delta t_{доп}$ – відповідно максимальна температура водойми для літнього часу й допустиме за санітарними нормами підвищення температури води на 3 °С.

Для водоймищ господарчо-питного й культурно-побутового призначень допустимо перевищення температури на 3 °С щодо середньомісячної температури найтеплішого місяця. Для рибогосподарчих водоймищ допускається перевищення температури на 5 °С щодо природної температури водойми.

Водний кодекс України (ст. 70) [35] визначає умови скидання стічних вод у водні об'єкти. Скидання стічних вод допускається лише за наявності нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) та встановлених нормативів гранично допустимого скидання (ГДС) забруднюючих речовин.

Гранично допустиме скидання (ГДС) речовини – маса речовини в оборотній воді, що є максимально допустимою для відведення за встановленим режимом даного пункту водного об'єкта за одиницю часу.

Водокористувачі зобов'язані запобігати скиданню стічних вод, якщо останні:

- можуть бути використані у системах оборотного, повторного і послідовного водопостачання;
- містять цінні відходи, що можуть бути вилучені;
- містять промислову сировину, реагенти, напівпродукти та кінцеві продукти підприємств у кількості, що перевищує встановлені нормативи технологічних відходів;
- містять речовини, щодо яких не встановлено ГДК;
- містять токсичні речовини та забруднювачі інфекційних захворювань;
- за обсягом скидання забруднюючих речовин перевищують гранично допустимі нормативи;
- призводять до підвищення температури водного об'єкта більш ніж на 3 °С порівняно з її природною температурою в літній період.

Прийнято порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин із зворотними водами і перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується [34,39]. Такий перелік наводиться окремими списками по групах *A, B, B, Г*:

A – забруднюючі речовини, що нормуються у всіх випадках скидання оборотних вод:

- розчинний кисень;
- завислі речовини;
- мінералізація води;
- сульфати;
- хлориди;
- азот амонійний;
- нафтопродукти;
- нітрати;
- нітрити;
- фосфати.

Крім того, обов'язково нормуються такі фізико-хімічні показники, як біохімічне споживання кисню *БСК₅*, хімічне споживання кисню, та враховується водневий показник рН, температура, радіоактивність, бактеріологічне забруднення;

B – забруднюючі речовини, скидання яких має бути припинено найближчим часом та нормується у разі їх наявності у складі оборотних вод (бензол, ртуть та їх сполуки, ДДТ та ін., усього у списку 132 речовини);

B – забруднюючі речовини, скидання яких має зменшуватися і які нормуються у разі наявності у складі оборотних вод (азбест, ванадій, гліцерин, діоксани, залізо та ін., усього у списку 155 речовин);

Г – забруднюючі речовини, що наведені в табл. 1 «Санитарных правил и норм охраны поверхностных вод от загрязнения» (СанПиН №4630-88), але не входять до списків *B* і *B* переліку [39].

5.3. Визначення необхідного ступеня очищення стічних вод

Необхідний ступінь очищення стічних вод визначається санітарними вимогами за умов спускання їх у водойми. Цей ступінь очищення має забезпечити таке розбавлення стічних вод шляхом їх перемішування з водним середовищем, при якому концентрація забруднюючих речовин не буде перевищувати гранично допустимі значення. Величина концентрації забруднюючої речовини в стічних водах, яка повинна бути досягнута у результаті їх очищення й знезараження перед спусканням їх у водойму визначається за формулою [43], г/м³,

$$C_{cm} \leq \frac{a \cdot Q}{q} (C_{гр.доп.} - C_p) + C_{гр.доп.}, \quad (5.12)$$

де C_{cm} – концентрація забруднюючої речовини в стічних водах, при якій вони можуть бути спущені у водойму без порушення санітарних вимог, г/м³;

C_p – концентрація того самого забруднювача у воді водойми вище місця випускання стічних вод у річку, г/м³;

$C_{гр.доп.}$ – гранично допустима концентрація того самого забруднювача у воді водойми, г/м³;

Q – найменша середньомісячна витрата води у водоймі за рік, м³/с;

q – витрата стічних вод, які надходять у водойму, м³/с;

a – коефіцієнт змішування.

Величина Q визначається за даними гідрометеорологічної служби, q – технологічними розрахунками на підприємстві, яке скидає стічні води, C_p – за літературними даними або на основі фактичних вимірювань.

Коефіцієнт змішування a показує, яка частина витрати води у водоймі змішується зі стічними водами в розрахунковому створі річки. Він залежить від багатьох факторів: конструкції випускання, відстані до розрахункового створу L , гідравлічних й

гідрологічних параметрів водойми. Для умов скидання стічних вод у річку коефіцієнт змішування визначається за формулою [44]

$$a = 1 - e^{-\frac{\alpha \sqrt[3]{L}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}}, \quad (5.13)$$

де α – коефіцієнт, який враховує гідравлічні фактори змішування,

$$\alpha = \varphi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}}, \quad (5.14)$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує умови випускання: $\xi=1$ – для берегового випуску; $\xi = 1,5$ – для випускання у фарватер;

E – коефіцієнт турбулентної дифузії для рівнинних річок,

$$E = \frac{v_{сер} \cdot H_{сер}}{200}, \quad (5.15)$$

де $v_{сер}$ – середня швидкість течії на розрахунковій ділянці річки, м/с;

$H_{сер}$ – середня глибина річки на цій ділянці, м.

Кратність розбавлення перед розрахунковим пунктом водокористування визначається за формулою

$$n = \frac{a \cdot Q + q}{q}. \quad (5.16)$$

З метою підвищення коефіцієнта змішування a можна застосувати розсіююче фільтруюче струминне випускання, яке дозволяє наблизити створ змішування очищеної води до створу самого випускання. Коефіцієнт змішування при цьому буде дорівнювати 0,8-0,95. Тоді для подальшого розрахунку визначають кратність розбавлення при прийнятих значеннях a за формулою (5.13). Умови змішування стічних вод з водами озер й водосховищ значно відрізняються від умов змішування в річках [45].

Отримавши значення коефіцієнта змішування й кратності розбавлення, розраховують необхідний ступінь очищення стічних вод, які спускаються у водойму, за кожним з нормативних показників забруднення:

- кількість зважених речовин;
- допустима величина *БСК* у суміші річної і стічної води;
- розчинений кисень, спожитий стічними водами;
- температура води;
- колір, запах, присмак;
- соляний стан;
- гранично допустима концентрація токсичних домішок;
- зміна величини активної реакції води водойми.

Методика розрахунків наведена у посібнику [43], приклади розрахунків – у посібнику [44]. Наприклад, гранично допустимий вміст зважених речовин у стічних водах, які спускають у водойму, визначають за формулою, г/м³,

$$m = p \left(\frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + b_p, \quad (5.17)$$

де b_p – концентрація зважених частинок у воді водойми до спускання стічних вод;

p – величина перевищення гранично допустимої концентрації у воді водойми вище місця випускання стічних вод у річку,
 $p = C_{гр.дон.} - C_p \leq 0,25$ мг/дм³ для водойм першої категорії.

Необхідний ступінь очищення стічних вод від зважених речовин

$$\epsilon = \frac{(b_{36} - m)}{b_{36}}, \quad (5.18)$$

де b_{36} – концентрація зважених частинок у стічних водах до спускання, г/м³.

5.4. Стічні води теплових електростанцій

Сучасні ТЕС є найбільшими промисловими водоспоживачами. Кількість і ступінь забруднення стічних вод електростанцій залежать від потужності, виду палива, технічного рівня обладнання очисних споруд.

Теплові електростанції є джерелами таких видів стічних вод [16]:

- 1) охолодні води, що викликають в основному теплове забруднення водойм;
- 2) стічні води водопідготовчих установок і конденсатоочищень;
- 3) води, які забруднені нафтопродуктами;
- 4) води від обмивань зовнішніх поверхонь парових і пікових водогрійних котлів, що працюють на мазуті;
- 5) відпрацьовані розчини після хімічного очищення теплосилового устаткування і його консервації;
- 6) води систем гідрозоловидалення на ТЕС, що працює на твердому паливі;
- 7) комунально-побутові й господарські води;
- 8) води від гідравлічного вбирання приміщень тракту паливоподачі;
- 9) дощові (зливові) води з території ТЕС.

Найбільшого збитку водоймам завдають скидання стічних вод перших шести видів.

5.4.1. Теплове забруднення води

На теплових й атомних електростанціях з охолоджувальною водою скидається величезна кількість теплоти у водойми. Так, питома кількість теплоти, що відводиться із охолоджувальною водою при нагріванні її в конденсаторах турбін на 8-10 °С, становить на ТЕС близько 4,3 кДж/(кВт·год) при витраті води 100-130 кг/(кВт·год) [16].

Для того щоб вплив скидної теплоти не порушував екосистеми водойми, теплові скидання за санітарними нормами не повинні викликати підвищення власної температури водойми більш ніж на 5 °С у зимовий час й 3 °С у літній. Ці норми можуть

бути витримані лише в тому випадку, якщо питоме теплове навантаження на водойму не перевищує 12-17 кДж/м³.

З іншого боку, охолоджувальна система повинна бути досить економічною. Основним параметром охолоджувальної системи, що визначає її економічність, є температура води на вході в конденсатор. Із цього погляду, а також через малі питомі капітальні вкладення найбільш економічними є прямотоківі системи охолодження (табл. 5.2).

Однак установлені потужності сучасних ТЕС й обмежений дебіт води в більшості водойм не дозволяють виконувати санітарні вимоги до такого скидання теплових охолоджувальних вод.

Таблиця 5.2

Показники різних схем охолодження на ТЕС

Схема охолодження	Середньорічна температура охолоджувальної води, °С	Температура конденсації пари, °С	Коефіцієнт корисної дії ТЕС, %	Питомі капітальні вкладення (відносні)
Прямотоківна	11	24	38	1,0
Оборотна з водоймищем	16	30	37	1,6
Оборотна з градирнями	22	40	34	2,3

Припустима встановлена потужність ТЕС із прямотоківною системою охолодження у випадку розташування пунктів водокористування або риборозведення в безпосередній близькості від випускання нагрітої охолоджувальної води визначається за формулою

$$N_o = \frac{3,6 \cdot 10^5 \cdot \Delta t \cdot Q \cdot k}{a \cdot b \cdot (0,965T_m - 860) \cdot n_y}, \quad (5.19)$$

де Δt – допустиме підвищення температури води у водотоці, °С;

Q – витрата водотоку в створі ТЕС, м³/с;

k – коефіцієнт змішання, $k = \frac{Q_{зм}}{Q}$;

$Q_{см}$ – витрата змішаної води, м³/с;

a – коефіцієнт, що враховує відведення теплоти від газо-, мастило-, повітроохолоджувачів, $a = 1,01$;

b – поправковий коефіцієнт, що враховує збільшення питомої витрати теплоти на турбіну при тиску в конденсаторі вище номінального;

T_m – питома витрата теплоти на турбіну, ккал/(кВт·год);

860 – тепловий еквівалент, ккал/(кВт·год);

0,965 – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти випромінюванням з поверхонь паропроводів і турбіни;

n_y – коефіцієнт використання встановленої граничної потужності (у зимовий час $n_y = 1$).

Наприклад, для АЕС потужністю 4 млн кВт витрата охолоджувальної води становить близько 240 м³/с, що дорівнює приблизно половині дебіту річки Москви. Тому основна частина ТЕС й АЕС має оборотні системи охолодження. Використання водоймищ у системах охолодження вигідно з погляду витрат, але в них так само, як і при використанні прямотокових систем, не завжди вдається створити нормальний тепловий режим. Системи із градирнями вимагають більших витрат, ніж з водоймищами, але їхнє застосування дозволяє різко скоротити скидання підігрітої води у водойми.

При будь-якій системі охолодження конденсаторів охолодження води досягається за рахунок випарювання підігрітої води. Причому теплота, що надходить в атмосферу, призводить до підвищення як температури, так і відносної вологості повітря.

У випадку використання водоймищ втрати води на випаровування зростають на 20-25% порівняно з прямотокових системами, а в системах із градирнями в 40-50 разів. Однак в останньому випадку різко зменшується кількість використовуваної свіжої води з водойм, що при малих теплових скиданнях виправдовує додаткові капітальні витрати на систему

охолодження й деяке зниження економічності електростанцій (табл. 5.2).

Однією з переваг градирень є відносно невелика площа, необхідна для них, порівняно з водоймищами. Так, для створення водосховища, достатнього для забезпечення потреб АЕС потужністю 2 млн кВт, необхідно вилучити з обігу 18-20 км² найчастіше цінних заплавлених земель. У цей час оборотні системи із градирнями використовуються не тільки для ТЕЦ, які розташовуються звичайно в межах міст, але також для ТЕС й АЕС. Цьому сприяє створення потужних сучасних градирень продуктивністю до 52 тис. м³/год охолоджувальної води. Проектуються надпотужні градирні продуктивністю до 100 тис. м³/год.

У наш час розроблені схеми з повітряно-конденсаційними установками системи Геллера, які зовсім не мають скидань теплої води. Однак ці системи дорогі. Питомі капітальні витрати на їхнє створення в 2,6-2,8 рази вище, ніж на прямотоківі, і в 1,8-2,0 рази вище витрат на оборотні системи з водоймищами. Крім того, економічність таких систем значною мірою залежить від температури навколишнього повітря.

Одним з найбільш важливих питань при скиданні теплих вод у водойми є організація процесу перемішування цих вод з водами водойми. При неправильно організованому випусканні теплих вод зона з підвищеною температурою може мати значну протяжність. Температуру води по довжині водойми при скиданні визначають за емпіричними формулами, одна з яких

$$t = t_{\text{скид}} \cdot e^{\frac{B \cdot L}{Q \cdot D}}, \quad (5.20)$$

де t – підвищення температури в розглянутому перетині водотоку щодо природної його температури;

$t_{\text{скид}}$ – те саме у місці скидання нагрітої води;

B – ширина водотоку, м;

L – відстань між розглянутими створами, км;

Q – витрата (дебіт) водотоку, м³/с;

D – постійний коефіцієнт, що залежить від місцевих умов.

Основні труднощі являє визначення D , часто на практиці користуються визначенням спаду температури нагрітої води за кінцевими різницями її температури на окремих ділянках водотоку. Зменшення розмірів зони підвищених температур води можна домогтися, застосовуючи різні пристрої для організованого введення теплої води у водойми: водоскиди з поперечними й бічними переливними порогами (рис. 5.1,а); водоскиди з розподільними ґратами (рис. 5.2); заглиблені водовипуски струминного (рис. 5.1,б) та ежекторного типів. При використанні водоскидів відкритого типу вода добре перемішується й насичується киснем (аерується). При струминному водоскиді води випускання організується через патрубки вихідного колектора, розташованого на дні водойми, що інтенсифікує процес перемішування теплої й холодної води (рис. 5.1,б). При заглиблених водовипусканнях вода практично на всьому тракті системи водопостачання не втрачає кисень, і тому спеціальної аерації в цьому випадку не треба.

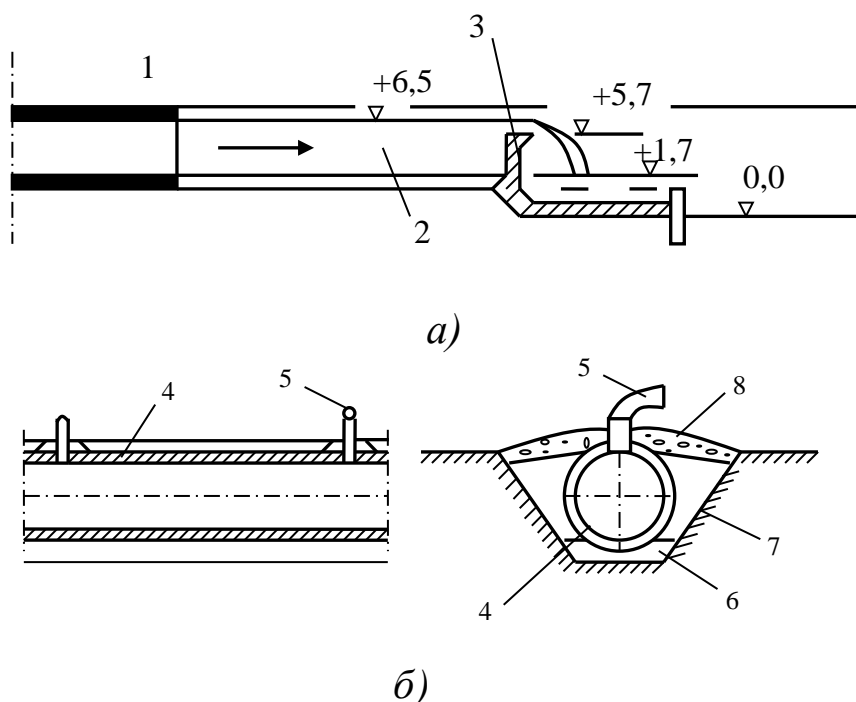


Рис. 5.1. Водоскиди з переливним порогом (а) і струминний (б):
 1 – скидний канал; 2 – частина, що розширюється, водоскидного пристрою; 3 – переливний поріг; 4 – залізобетонний колектор; 5 – водовипускний патрубок; 6 – підстилка із гравію; 7 – заповнення піском; 8 – бетон

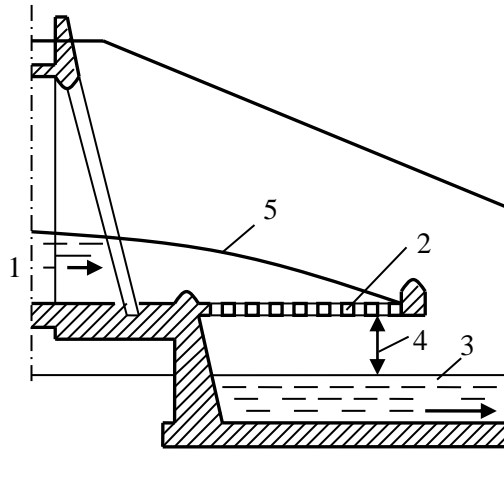


Рис. 5.2. Водоскид з водорозподільними ґратами:
 1 – підведення води; 2 – водорозподільні ґрати;
 3 – приймач; 4 – висота падіння струменів води;
 5 – рівень скидання води

У жарку пору року охолодження теплої води може виконуватися шляхом підмішування в неї холодної води перед скиданням у спеціальних охолоджувачах-градирнях (рис. 5.3) і бризкальних пристроях, установлюваних перед скиданням.

Теплоелектроцентралі скидають істотно меншу кількість теплоти з охолоджувальною водою, ніж конденсаційні електростанції. Однак навіть при широкому розвитку теплофікації в країні виробіток електроенергії на них становить лише близько 20% загального виробітку електроенергії конденсаційними електростанціями, і надалі ця частка не буде сильно збільшена. Температура води після конденсаторів навіть в оборотних системах охолодження із градирнями не перевищує 20-26 °С узимку й 35-42 °С улітку. Принципово таку воду можна використати (і частково використовують) для обігріву теплиць, оранжерей, рибних кошів і т.п. Однак таке використання повинне носити сезонний характер, і, крім того, у зимовий час, наприклад, теплиці повинні додатково обігріватися.

Загальне погіршення якості води у водоймах, викликане зокрема і тепловими скиданнями, безпосередньо впливає на економічність роботи ТЕС. Особливо великими є витрати на підтримку заданого вакууму в конденсаторах турбін, які в цілому

призводять до перевитрати мільйонів тонн палива. Перевитрати палива пов'язані з мінеральними й біологічними відкладеннями в трубках конденсаторів.

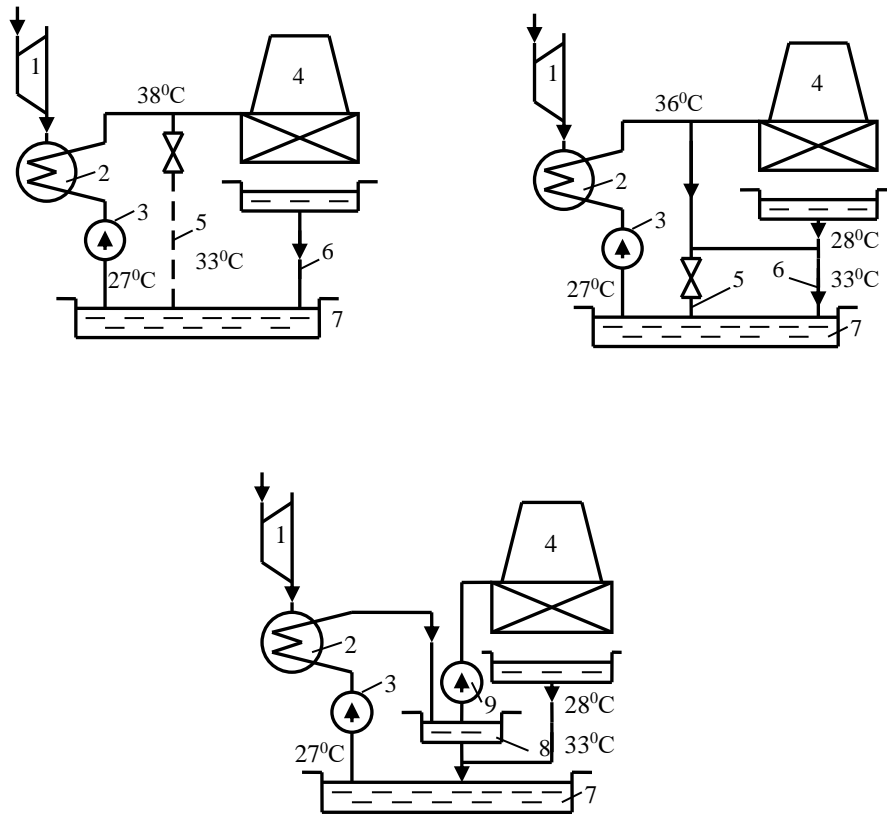


Рис. 5.3. Схеми охолодження води, що скидається:
 1 – турбіна; 2 – конденсатор; 3 – циркуляційний насос;
 4 – водоохолоджувач (градирня або бризкальний пристрій);
 5 – зимове скидання; 6 – літнє скидання; 7 – джерело водо-
 постачання; 8 – сифонний колодязь; 9 – піднімальний насос

Для боротьби з мінеральними відкладеннями й біологічними обростаннями трубок конденсаторів застосовуються різні методи, у тому числі очищення трубок гумовими кульками, термошок, магнітна обробка води, продувка систем охолодження, підкислення, рекарбонізація, обробка сильними окислювачами.

Частина цих методів більшою або меншою мірою сприяє деякому погіршенню якості води у водоймах. Але в основному забруднення води у водоймах при скиданні охолоджувальної води відбувається за рахунок мастил, тому що в системи

охолодження ТЕС звичайно включаються мастилоохолоджувачі турбін, що служать джерелом надходження мастила у воду.

5.4.2. Стічні води водопідготовчих установок і конденсатоочищень

Зараз на ТЕС залежно від якості вихідної й вимог до якості додаткової води застосовуються різні варіанти схем водопідготовчих установок, але в загальному вигляді вони повинні містити в собі передочищення води й іонний обмін. Причому при підготовці додаткової води для барабанних котлів частіше використовуються два ступені Н-ОН-іонування, а для прямотокових котлів наприкінці схеми встановлюються фільтри змішаної дії. Підживлювальна вода звичайно готується за варіантами, що включають Na-катіонування.

Передочищення води в повному обсязі містить у собі коагуляцію, вапнування, магнезіальне знекремнення й фільтрування, причому коагуляція й фільтрування застосовуються у всіх схемах водопідготовчих установок, крім тих випадків, коли використовується водопровідна вода. Вапнування застосовується значно рідше, і лише близько 25% установок мають вапнування у своїй схемі. І зовсім рідко застосовується магнезіальне знекремнення.

При всіх безсумнівних перевагах методів, застосовуваних для підготовки додаткової й підживлювальної води, всі методи (крім фільтрування) мають головний недолік: вони вимагають застосування реагентів. Якщо для іонообмінних методів це якоюсь мірою окупається високою ефективністю очищення, то це не можна віднести до передочищення води. Крім того, стоки з іонообмінних фільтрів носять циклічний характер, що істотно ускладнює процес їхнього скидання. Варто мати на увазі, що споживання реагентів на водопідготовчих установках значно перевищує стехіометричну кількість стосовно домішок, що вилучаються. Так, при Na-катіонуванні питомі витрати NaCl на регенерацію становлять до 3-6 г-екв/г-екв, при Н-катіонуванні витрата H_2SO_4 досягає 2-3 г-екв/г-екв і при регенерації високоосновних аніонітів витрачається NaOH до 5 г-екв/г-екв.

Всі використані на водопідготовчих установках реагенти й солі, що вилучені з води, повинні видалятися. Кількість солей, що скидають, при цьому може бути значна. Так, на установках продуктивністю 2000 м³/год зі стоками скидається 1,5-2,0 т/год різних солей.

Сольові скидання водопідготовчих установок містять нейтральні солі, кислоти й луги, що не мають специфічних токсичних властивостей. Однак ці скидання призводять до істотного підвищення солевмісту водойм і зміни показника рН. Зі стічними водами передочищення скидаються також всі вловлені органічні речовини, що підвищують БСК водойми, і зважені речовини, тому безпосереднє скидання цих вод у водойми неприпустимо [16].

Стічні води передочищень води в загальному випадку можуть містити недопал, шлам, грубодисперсні речовини, органічні речовини, сполуки заліза й алюмінію, Mg(OH)₂ й CaCO₃. Якісний і кількісний склад домішок таких вод залежить від якості води й прийнятих методів її обробки при передочищенні. При вапнуванні скидається вода, що, крім того, має підвищене значення рН (10-10,2).

Кількість шламу $K_{\text{шл}}$, одержуваного із продувкою освітлювачів, можна визначити з виразу

$$K_{\text{шл}} = \frac{2,5}{100} \left(C_{\text{Ca}^{2+}} + C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{ван}} + C_{\text{Mg}^{2+}} - 17,36 J_o^{\text{рост}} \right) + B + M + K(K_1 + K_2), \quad (5.21)$$

де $C_{\text{Ca}^{2+}}$ й $C_{\text{Ca}^{2+}}^{\text{ван}}$ – концентрація кальцію у вихідній воді й введеного з вапняним молоком відповідно, г/м³;

$C_{\text{Mg}^{2+}}$ – концентрація магнію у вихідній воді, г/м³;

B і M – відповідно кількість грубодисперсних домішок у вихідній воді й введених з вапняним молоком, г/м³;

K – доза безводного коагулянту, г/м³;

K_1 – коефіцієнт, що враховує вміст нерозчинних домішок у коагулянті (0,08 для очищеного й 0,69 для неочищеного Al₂(SO₄)₃, 0,1 для FeSO₄);

K_2 – коефіцієнт, що враховує утворення гідроокисів, дорівнює 0,46 для Al₂(SO₄)₃ й 0,7 для FeSO₄.

До цього шламу варто приєднати шлам, уловлений на механічних фільтрах, кількість якого при промиванні фільтрів становить 2-3 кг/м³ фільтруючого шару. За достовірними даними, при промиванні промислового фільтра діаметром 3 м скидається 8-20 кг шламу.

При регенерації Н- і ОН-іонітних фільтрів витрачаються розчини Н₂SO₄ й NaOH, тому й скидані води мають відповідно кислоту й лужну реакції. Н-катіонітні фільтри I ступеня скидають до 75 % всіх кислих вод, а іншу кількість скидають Н-катіонітні фільтри II ступеня.

Експериментально встановлено, що при регенерації Н-катіонітних фільтрів максимальний солевміст у воді, що скидається, досягає при пропусканні регенераційного розчину 50 г/кг. Середній солевміст відмивних вод становить 2,0-8,0 г/кг усїєї кількості використаної на регенерацію води, а при середній кислотності 0,3-0,4 % – 0,5-5,5 г/кг.

При регенерації аніонітних фільтрів I ступеня максимальний солевміст досягає 20-60 г/кг, середній солевміст – 1,4-1,6 г/кг, середня лужність – 0,5-0,7 %; для аніонітних фільтрів наступних ступенів ці величини відповідно становлять 15-30 г/кг, 1,2-1,4 г/кг й 0,8-1,0 %.

Загальна кількість стоків Q_0 при регенерації двоступінчастої Н-ОН-іонітної установки можна оцінити за формулою

$$Q_0 = D_0 \cdot \sum_{i=1}^n K_i \cdot Q_i \cdot \frac{C_i}{E_i}, \quad (5.22)$$

де D_0 – продуктивність установки, м³/год;

Q_i – кількість стоків, одержувана з кожного ступеня іонування (Q_{K1} , Q_{A1} , Q_{K2} , Q_{A2}) відповідно, м³/год;

C_i – концентрації відповідних іонів у воді, що видаляють на кожному ступені (C_{K1} , C_{A1} , C_{K2} , C_{A2}), мг-екв/кг;

E_i – обмінні робочі ємності іонітів у відповідних ступенях (E_{K1} , E_{A1} , E_{K2} , E_{A2}), г-екв/м³;

K_i – розрахункові коефіцієнти, що враховують витрати води на власні потреби іонітних фільтрів на кожному ступені (k_{K1} , k_{A1} , k_{K2} , k_{A2}) відповідно.

Коефіцієнт k_i , для кожного ступеня визначають за формулою

$$K_i = \sum_{i=1}^n \left(1 + Q_i \frac{C_i}{E_i} \right). \quad (5.23)$$

Регенераційні води Na-катіонітних фільтрів мають максимальний солевміст 50-70 г/кг, загальну жорсткість до 100 мг-екв/кг і значення рН~7. Ці води містять в основному іони Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} і Cl^- . Загальна кількість солей, що скидають із усієї схеми ВПУ, може бути оцінено виразом

$$\begin{aligned} G = & \frac{Q_{H_2SO_4}}{q_{H_2SO_4}} \left(\Delta \cdot SO_4^{2-} + q_{H_2SO_4} + \frac{C_k}{K} \right) + \\ & + \frac{Q_{NaOH}}{q_{NaOH}} \left(\Delta \cdot Na^+ + q_{NaOH} + \frac{C_A}{A} \right) + \frac{Q_{NaCl}}{q_{NaCl}} \left(\Delta \cdot Cl^- + \frac{C_{ж}}{Ж_o} \right) + \\ & + 1,8Q_{CaO} + (1 + 1/15)Q_{MgO} + Q_{Al_2(SO_4)_2}, \end{aligned} \quad (5.24)$$

де $Q_{H_2SO_4}, Q_{NaOH}, Q_{NaCl}, Q_{MgO}, Q_{CaO}, Q_{Al_2(SO_4)_2}$ – витрати реагентів, кг;

$q_{H_2SO_4}, q_{NaCl}, q_{NaCl}$ – питомі витрати реагентів, кг/кг-екв;

$C_k, C_A, C_{ж}$ – концентрації катіонів, аніонів і катіонів жорсткості, кг/м³;

K й A – сумарні концентрації катіонів й аніонів, кг-екв/м³;

Δ – відношення відповідної іонної маси до молекулярної.

Розрахунки, проведені за цією формулою, показали, що в середньому при виробітку 1 МВт·год енергії зі стоками ТЕС скидається 0,7 кг солей.

Стічні води конденсатоочищень становлять невелику частину загального сольового стоку водопідготовчих установок і складаються з вод розпушення сульфовугільних фільтрів, регенераційних скидань іонообмінних фільтрів й ін.

Основний вплив стічних вод водопідготовчих установок на водойми полягає в засоленні останніх, зміні рН, збільшенні БСК,

зміні сольового складу води водойм. Зокрема, за санітарними нормами у водоймах обмежений вміст іонів Cl^- до 350 мг/кг, а іонів SO_4^{2-} до 500 мг/кг, у той час як вони в більших кількостях перебувають у скиданих водах водопідготовчих установок.

5.4.3. Стічні води, які забруднені нафтопродуктами

Нафтопродукти (різні мастила, сірчисті мазути, гас і т. п.) становлять особливу небезпеку для водойм у зв'язку з малими значеннями їх *ГДК* (див. таблицю 1.1), а також через те, що вони присутні в стоках практично будь-якого промислового підприємства. Нафтопродукти попадають у водойми в емульсованому, колоїдному й розчиненому станах.

Розчинність нафтопродуктів у воді залежить від температури їхнього кипіння й для висококиплячих нафтопродуктів (мазутів) практично може не братися до уваги. Нафтопродукти завдають серйозної шкоди водоймам, утворюють плівки на поверхні води й зменшують аерацію.

З іншого боку, важкі нафтопродукти утворюють донні відкладення, відтинаючи флору й фауну дна від іншої частини водойми. Крім того, нафтопродукти (особливо сірчисті мазути) навіть у невеликих концентраціях (понад 0,05-0,1 мг/кг) згубно впливають на ікру цінних порід риб. Вплив скинутих нафтопродуктів на водойми має тривалий характер, тому що вони належать до числа слабоокислюючих речовин. Кінцевими продуктами їхнього окислювання є CO_2 й оксиди сірки.

Джерелами появи нафтопродуктів у стічних водах ТЕС є мазутогосподарства, головний корпус, електротехнічне устаткування (в основному трансформатори), допоміжні служби (депо, гараж, компресорна).

Стічні води мазутогосподарств складаються з ряду складових:

- охолоджувальна вода насосів;
- конденсат з теплообмінників;
- ґрунтові води, які забруднені мазутом;
- стоки при ремонтних роботах;
- аварійні упушення мазуту.

Джерелом появи мазуту в охолоджувальній воді насосів, як показали дослідження, є в основному сальники (до 2-5 г/кг). Конденсат мазутних господарств забруднюється мазутом у приймальних ємностях при відключеннях пари в приймальних реєстрах, у пароспутниках і лотках, при прийманні мазуту. Грунтові води забруднюються мазутом лише при неякісному монтажі приймальних і видаткових ємностей, а також за відсутності спеціальних заходів для запобігання протікання мазуту при його прийманні.

Стічні води головного корпусу забруднюються мастилами з мастилосистем турбін і підшипників обертових механізмів. Витрата стічних вод головного корпусу залежить від потужності й типу встановленого устаткування й може досягати декількох десятків тонн за годину при змінній концентрації мастила у воді (від міліграмів до десятків міліграмів у кілограмі).

У ряді систем охолодження мастилоохолодників турбін і підшипників допоміжного устаткування включається в контур потоку циркуляційної охолоджувальної води конденсаторів турбін. У результаті недостатньої герметизації охолодників мастила перетікають в охолоджувальну воду, причому концентрація мастила у воді може становити, за експлуатаційними спостереженнями, до 25-30 мг/кг. Велика кількість мастила може попадати у воду також при скиданнях замасленої води з баків турбін й установок для регенерації мастила.

Ізоляційне мастило попадає у воду в основному за рахунок протікання у фланцевих з'єднаннях електроапаратів. Витоки мастила легко можуть бути визначені на ТЕС за відхиленням фактичного доливання мастила в електроапараті від нормованих величин.

Дослідження показали, що загальна витрата стічних вод, забруднених нафтопродуктами, досить важко співвідноситься з такими параметрами ТЕС, як встановлена потужність і тип устаткування, однак на газомазутних ТЕС скидання нафтопродуктів природно вище, ніж на ТЕС, що використовують тверде паливо.

В основному втрати нафтопродуктів на ТЕС пов'язані з неякісним монтажем устаткування, а також і з аварійними ситуаціями. У цей час загальна витрата таких вод навіть на

великих ТЕС не перевищує 100 м³/год при концентрації в них нафтопродуктів не більше 50 мг/кг.

5.4.4. Води від обмивань зовнішніх поверхонь котлів, які працюють на сірчаному мазуті

Зола мазуту має здатність утворювати відкладення на поверхнях нагрівання котлів й особливо в регенеративному повітропідігрівнику (РВП), на якому може осаджуватися до 10% всієї золи, що виділилася при спалюванні мазуту. Для очищення РВП від відкладень запропоновано багато методів і серед них:

- обмивання технічною водою й лужними розчинами;
- обдування гострою й перегрітою парою;
- «прожарювання» димовим газом при відключенні подачі повітря на РВП;
- використання імпульсних методів.

Гарні результати при очищенні набивання РВП одержують при обмиванні технічною або підлуженою водою. Однак у цьому випадку різко зростає швидкість корозії набивання. При застосуванні 3%-го розчину NaOH швидкість корозії набивання зменшується в 2-3 рази порівняно зі швидкістю корозії при обмиванні технічною водою.

При обмиванні водою руйнуються конструкційні елементи ротора й газоходів, тому в цей час її рекомендується робити лише при зупинках котлів на капітальні й поточні ремонти. При обмиванні РВП продукти корозії, сажисті частинки й зольні відкладення вимиваються водою, причому більша частина відкладень розчиняється у воді. Середній склад домішок в обмивальній воді наведено нижче [16]:

Показник	Концентрація, г/кг
Грубодисперсні речовини	0,5
Вільна H ₂ SO ₄	4-5
Залізо	7-8
Ванадій	0,3-0,8
Нікель	0,1-0,15
Мідь	0,02-0,05
Сухий залишок	32-45

Обмивання проводиться струменями води при тиску до 180-200 кгс/см², причому струмені води при обмиванні можуть подаватися на набивання РВП як зверху, так і знизу. Витрата води на обмивання становить близько 5 м³ на 1 м² перетину ротора РВП. Конвекційні поверхні котлів рекомендується відмивати 1 раз на рік перед ремонтом при витраті води 300 т/год на котел продуктивністю 320 т/год і більше і тривалості, що дорівнює 2 год. Пікові котли обмивають 1 раз на 15 діб при тривалості обмивання 0,5 год.

На практиці частіше користуються іншими способами очищення: продувкою паром, «прожарюванням», а останнім часом імпульсними методами. Золіві відкладення й продукти корозії віддаляються із РВП в «сухому» вигляді й, оскільки в цей час на газомазутних котлах практично відсутнє очищення димових газів від золи, разом з димовими газами викидаються з димової труби в атмосферу. Тому в короткий проміжок часу (~0,5 год) вміст золи в атмосфері різко зростає. Зростає при цьому й концентрація ванадію й нікелю, що не враховується при виборі висоти труби на ТЕС.

Таким чином, при користуванні «сухими» методами на ТЕС необхідно встановлювати газоочисні пристрої, які необхідні в цьому випадку й з погляду утилізації цінних компонентів золи.

5.4.5. Води від хімічних промивань консервації устаткування

Для очищення основного устаткування ТЕС (в основному котлів) від накипів і відкладень застосовуються хімічні промивання. На котлах, що вводять уперше в експлуатацію, проводяться передпускові промивання, а в період експлуатації – експлуатаційні промивання.

Періодичність експлуатаційних промивань залежить від стану устаткування й звичайно становить не більше одного промивання на рік.

Експлуатаційні промивання проводять у декілька стадій, які передбачають водні промивання і обробку поверхні нагріву хімічними реагентами.

Загальна кількість скидних вод при хімічних промиваннях залежить від типу котлів і прийнятої технології промивання й може бути орієнтовно визначена для передпускових промивань із даних табл. 5.3 [16]. Кількість домішок у стічних водах після хімічних промивань устаткування залежить від технологічної схеми промивання, кількості речовин, що видаляють, і типу котла.

Таблиця 5.3

Орієнтовна кількість стоків при передпускових промиваннях котлів

Продуктивність котла, т/год	Тип котла	Схема промивання	Об'єм контуру, що промивається, м ³	Кількість стоків, що скидають, м ³	
				у бак-нейтралізатор	у емність-усереднювач
420 640	Барабанний	Одноконтурна	400	2800	6400
		Двоконтурна:			
		1-й контур	350	2450	
		2-й контур	150	1050	8000
950 950	Прямотоковий	Одноконтурна	550	3750	8800
		у два етапи			
		Двоконтурна:			
		1-й контур	500	5000	
		2-й контур	550	5500	16800
1600 2650	Прямотоковий	Двоконтурна:			
		1-й контур	680	6800	21800
		2-й контур	680	6800	
		Двоконтурна:			
	Прямотоковий	1-й контур	550	5500	20000
		2-й контур	700	7000	

У відпрацьованих розчинах після хімічних промивань устаткування застосовувані для промивання реагенти становлять 70-90 % загальної кількості домішок, що скидають. Основним

недоліком цих скидань є їх різко змінна «залпова» витрата, а також зміна концентрацій і складу домішок під час скидання. Тому для їхнього приймання передбачаються ємності (басейни-відстійники), які повинні бути розраховані як мінімум на весь обсяг води, що скидається при промиванні, з урахуванням її трикратного розведення.

У табл. 5.4 наведено приблизний склад домішок стічних вод, що скидають після хімічних промивань у басейни-відстійники [16].

Як видно з табл. 5.4, поряд з реагентами, використаними при промиваннях, стічні води містять у великих кількостях шкідливі речовини – мідь, цинк, фтор, гідразин й ін.

Таблиця 5.4

Приблизний склад домішок у стічних водах хімічних промивань устаткування на ТЕС, мг/кг

Речовина	Метод промивання			
	Соляно-кислотний	Адипиново-кислотний	Гідразино-кислотний	Композиційний
Хлориди (Cl^-)	2000	-	-	-
Сульфати (SO_4^{2-})	-	300	800	300
Залізо ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$)	300	230	300	250
Мідь	50	-	-	50
Цинк	50	-	-	30
Фтор	250	-	-	200
ОП-7, ОП-10	4	40	40	40
Формальдегід	200	-	-	-
$NH_4^+ + NO_2^-$	570	-	-	570
Гідразин	-	25	25	-
Солевміст	2500	1800	2000	1500
БСК, мг O_2 /кг	200	1200	-	200

Крім того, стічні води такого типу мають високі показники БСК, тобто при їхньому скиданні у водоймі буде інтенсивно витрачатися кисень на окислювання домішок.

У зв'язку із цим домішки стічних вод після хімічних промивань устаткування за ознакою впливу їх на санітарний режим водойм поділяються на три групи:

- неорганічні речовини, концентрація яких не перевищує значення їх *ГДК* у водоймах (сульфати й хлориди кальцію, магнію й натрію);
- токсичні речовини, вміст яких значно перевищує їх *ГДК* у водоймах (солі заліза, міді, цинку, фторовмісні сполуки, гідразин);
- органічні речовини, нітрити, сульфідиди, амонійні солі, які піддаються окислюванню у водоймах.

У зв'язку із цією класифікацією при знезараженні промивних вод з них повинні виділятися речовини другої групи й піддаватися окислюванню до припустимих *БСК* речовини третьої групи.

5.4.6. Стічні води систем гідрозоловидалення на ТЕС, працюючих на твердому паливі

На великих ТЕС, що спалюють тверде паливо, золу доводиться транспортувати на золовідвали, що перебувають іноді на значній відстані (до 20 км) від електростанції. Загальна площа, що зайнята золовідвалами, протягом 7-12 років вважається непридатною для сільського господарства.

Існують два види систем видалення золи з території ТЕС: сухі й мокрі.

Головною перевагою сухих систем (пневмотранспорт) є відсутність споживання води, але вони поки дорогі.

Мокрі системи засновані на гідротранспорті золи, що є найбільш економічним способом її видалення. Зола разом з водою (у вигляді пульпи) подається на золовідвали, де відбувається відстоювання грубодисперсних домішок, а прояснена вода може або скидатися у водойму (прямотокова система), або повертатися назад на ТЕС для повторного використання (оборотна система).

Витрата води при гідрозоловидаленні становить 20-40 м³/т золи.

При оборотній системі гідрозоловидалення (ГЗВ) частина оборотної води скидається у водойми, частина губиться за рахунок випару й фільтрації на золовідвалах, і тому потрібна додаткова кількість води для покриття цих втрат.

Взаємодія золи з водою призводить до того, що певна частина золи розчиняється у воді, а інша утворює із водою суспензію (пульпу). Склад домішок у воді і їхня кількість визначаються хімічним складом золи, системою ГЗВ й технологією очищення димового газу від золи.

Хімічний склад золи при спалюванні різних марок твердих палив змінюється в широких межах.

Крім того, зола містить у невеликих кількостях цінні для господарства, але токсичні сполуки германію, ванадію, миш'яку, ртуті, берилу, фтору. У невеликих концентраціях у воду можуть переходити й канцерогенні речовини, що утворюються при спалюванні палива.

За основною речовиною, що насичує, розрізняють такі типи вод ГЗВ:

- насичені $\text{Ca}(\text{OH})_2$, вапняні;
- насичені CaSO_4 ;
- ті, що одночасно містять $\text{Ca}(\text{OH})$ і CaSO_4 ;
- відносно маломінералізовані.

При прямотоковій системі ГЗВ у водойму скидаються всі домішки в істинно-розчиненому стані й частина грубодисперсних домішок, що не встигли осісти в золовідвали. На ТЕС потужністю 1,2 МВт при розімкнутій системі ГЗВ річне скидання солей може досягати 10-15 тис. т. Такі потужні скидання солей у водойми неприпустимі, і тому в наш час знову споруджувані ТЕС обладнуються замкнутими системами ГЗВ.

Основні труднощі при експлуатації оборотних систем виникають при переході у воду сполук кальцію, які утворюють перенасичені розчини з наступним випаданням $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 і CaSO_4 в осад з утворенням відкладень в апаратах, насосах і трубопроводах. Щоб не допустити цього, оборотні системи продувають із заміною свіжою водою.

Продувка визначається ступенем насичення оборотної води солями, схильними до утворення відкладень, і звичайно не перевищує 1-3 % витрати проясненої води.

Через різноманіття процесів потрапляння домішок у воду ГЗВ важко точно оцінити хімічний склад цієї води. Поряд з розчиненням деяких речовин, що містяться в золі, у воді при контакті її з димовими газами (при зрошенні мокрих

золотловлювачів) й атмосферою розчиняються оксиди сірки, азоту й вуглекислий газ. Речовини, що потрапили у воду, взаємодіють одна з одною, утворюють нові сполуки, деякі з них при перевищенні добутку розчинності можуть випадати в осад.

До найбільш важливих показників проясненої води ГЗВ відносять лужність, концентрацію сульфатів, загальний солевміст і концентрації токсичних домішок. Перші два показники визначають можливість появи відкладень в оборотних системах, а інші вказують на можливі наслідки при попаданні такої води у водойми.

Показник рН проясненої води в оборотних системах ГЗВ може мати широкий інтервал значень від сильноокислих до сильнолужних.

При скиданні вод ГЗВ у водойми в них повинні бути відсутні грубодисперсні речовини зі швидкістю осідання більше 0,25-0,75 мм/с. Крім того, у результаті скидання вод ГЗВ у водоймах не повинно змінюватися значення рН=6,5-8,5, а концентрація токсичних речовин не повинна перевершувати ГДК.

Питання для самоперевірки

1. Принципи визначення класифікації стічних вод підприємств.
2. Як визначають необхідний ступінь очищення стічних вод ТЕС?
3. Джерела забруднення водойм тепловими електростанціями.
4. Яких санітарних норм за температурою водойм дотримуються при тепловому забрудненні?
5. Джерела теплового забруднення ТЕС.
6. Що таке оборотна система водопостачання?
7. Як класифікуються стічні води після водопідготовки?
8. Які стічні води отримують після передочищень?
9. Які домішки мають стічні води після іонного обміну при водопідготовці?
10. Як визначають кількість шламу після продувки освітлювачів?
11. Як визначають загальну кількість солей, що скидають із усієї схеми ВПУ?

6. Методи очищення стічних вод

6.1. Класифікація методів очищення стічних вод

6.1.1. Критерії визначення методів очищення стічних вод

У наш час для очищення виробничих стічних вод застосовуються найрізноманітніші технологічні методи, які суттєво розрізняються як за характером використовуваних у них фізико-хімічних процесів, так і за технологічним оформленням [16].

Звичайно методи очищення стічних вод поділяються на *механічні (фізичні), хімічні, фізико-хімічні, біохімічні*. Однак дотепер немає чітких критеріїв для визначення методів очищення по зазначених групах.

Одним із основних видів забруднення стічних вод виробництв є нерозчинні мінеральні й органічні домішки, концентрація яких коливається у широких межах. Виділення таких домішок в очисних спорудах і є задачею механічних методів очищення. Для механічного очищення використовують проціджування, відстоювання й фільтрування. Для проціджування застосовують ґрати і сітки, які призначені для затримування крупних частинок домішок; для затримування більш дрібних домішок – відстійники, фільтри з зернистою загрузкою або сітчасті фільтри і мікрофільтри, а також гідроциклони, сепаратори й осаджувальні камери. Механічне очищення, як правило, виявляється попереднім способом очищення стічних вод.

Основними методами хімічного очищення стічних вод є нейтралізація й окислювання. До окислювальних методів очищення відносять також електрохімічну обробку стічних вод. Хімічне очищення застосовується як самостійний метод перед подачею стічних вод виробництв у систему оборотного водопостачання, а також перед спуском їх у водойму або в міську каналізаційну мережу.

Найбільш розгорнутою є класифікація усередині групи фізико-хімічних методів.

У число останніх включено 34 методи, для подальшої класифікації яких сформульовані чотири ознаки:

- 1) тип силового поля, що діє на воду, яка очищується:
 - електромагнітне;
 - гравітаційне;
 - сил тиску;
 - молекулярних сил;
 - іонізуючі потоки частинок;
- 2) частота використовуваного випромінювання;
- 3) ефективність;
- 4) характер процесів, що відбуваються у воді.

До фізико-хімічних методів очищення належать коагуляція, флокуляція, сорбція, флотація, екстракція, іонний обмін, діаліз, евапорація, випарювання, кристалізація та ін.

При виборі методу для добування з води тієї або іншої домішки надзвичайно важливо знати, у якому вигляді ця домішка буде виділена з води, причому найбільш раціональним, мабуть, є таке рішення, при якому домішки, що видаляються, будуть отримані у формі, зручній для подальшої утилізації або знешкодження.

За М. І. Лапшиним, всі методи очищення стічних вод можна поділити на чотири групи, що включають:

- 1) методи безпосереднього виділення домішок;
- 2) методи виділення домішок зі зміною фазового складу води або домішки;
- 3) методи перетворення домішок;
- 4) біохімічні методи.

Застосування методів першої й другої груп призводить до виділення домішок з води без зміни їхнього хімічного характеру. Це можливо як у випадку, якщо вода й домішка перебувають у різних фазових станах (застосовуються методи першої групи), так й у випадку, коли при цьому перебувають в одній фазі (наприклад, утворюють істинний розчин). Якщо неможливо застосувати методи першої групи, то для видалення домішки необхідно попередньо піддати воду, що очищується, такій обробці, при якій домішка перетвориться на самостійну фазу, і потім зробити розподіл води й домішки.

До методів безпосереднього виділення домішок належать:

- механічне видалення великих домішок (на ґратах, сітках);
- мікропроціджування (через дрібні сітки);
- відстоювання й освітлення;
- застосування гідроциклонів;
- центрифугування;
- фільтрування;
- флотація;
- електрофорез;
- мембранні методи (зворотний осмос, електродіаліз).

До другої групи, виходячи з характеру фаз, які утворюють вода й домішка, можна віднести такі методи:

- домішка – газова фаза; вода – рідка фаза (дегазація й відгін з парою);
- домішка – рідка або тверда фаза; вода – рідка фаза (випарювання);
- домішка й вода – дві рідкі фази, що не змішуються (екстракція й коалесценція);
- домішка – тверда фаза; вода – тверда фаза (виморожування);
- домішка – тверда фаза; вода – рідка фаза (кристалізація, сорбція, коагуляція).

Методи очищення стічних вод шляхом перетворення домішок зі зміною їхнього хімічного складу поділяються за характером процесів, що відбуваються, на такі підгрупи:

- утворення важкорозчинних сполук (вапнування й ін.);
- утворення малодисоційованих і комплексних сполук (фосфатування й ін.);
- процеси синтезу й розкладання (розкладання комплексів важких металів при введенні лугів й ін.);
- окислювально-відновні процеси (окислювання органічних і неорганічних сполук сильними окислювачами й ін.);
- термічна обробка води (апарати із зануреними пальниками, спалювання кубових залишків й ін.).

Найбільше практичне значення при очищенні промислових стічних вод, у тому числі й на ТЕС, мають методи першої групи, зокрема відстоювання, флотація й фільтрування.

З методів другої групи найчастіше застосовуються коагуляція й сорбція (у тому числі іонний обмін).

У третій групі найбільш застосовані методи осадження, зокрема вапнування, процеси розкладання й окислювання речовин.

Біологічне очищення – метод очищення стічних вод, який широко застосовується на виробництвах. Біологічне окислювання утворюється різноманітними мікроорганізмами. Головна роль у цьому належить бактеріям, число видів яких може досягати десятків або сотень.

6.1.2. Механічні методи очищення стічних вод

Механічне очищення використовують для видалення нерозчинних домішок із води в усіх очисних спорудах. Для механічного очищення застосовують проціджування, відстоювання і фільтрування. При застосовуванні цих методів немає необхідності у додаванні деяких реагентів, які можуть застосуватися лише в особливих випадках для підвищення ефекту відстоювання і швидкісного фільтрування. На рис. 6.1 наведена типова схема очищення стічної води [43].

Залежно від вимог до якості очищеної стічної води застосовують різні очисні споруди:

- для проціджування використовують ґрати і сітки, які призначені для затримки великих часток домішок, що рухаються по каналу;

- для затримки більш дрібних домішок, які завислі у воді, використовують відстійники і фільтри з зернистим завантаженням, з плаваючим завантаженням або сітчасті фільтри і мікрофільтри.

Механічне очищення насамперед використовують як попереднє очищення і рідко як кінцеве.

ґрати

Першим елементом усіх технологічних схем очищення є ґрати, які видаляють крупнорозмірні забруднення зі стічних вод. Крупнорозмірні (більше 1 см) відходи – це пакувальні матеріали, частки тканин, полімерні і волокнисті матеріали, залишки їжі та ін. У процесі їх транспортування по водовідвідних мережах органічні сполуки і жири, які знаходяться в забрудненій воді, адсорбуються на поверхні відходів. Цей адгезійний шар сприяє

налипанню на них значної кількості піску, шлаків та інших мінеральних частинок. Густина утворень близька до густини води, що облегшує перенесення піску у первинні відстійники, де вони випадають в осад, що ускладнює вивантаження осілого піску.

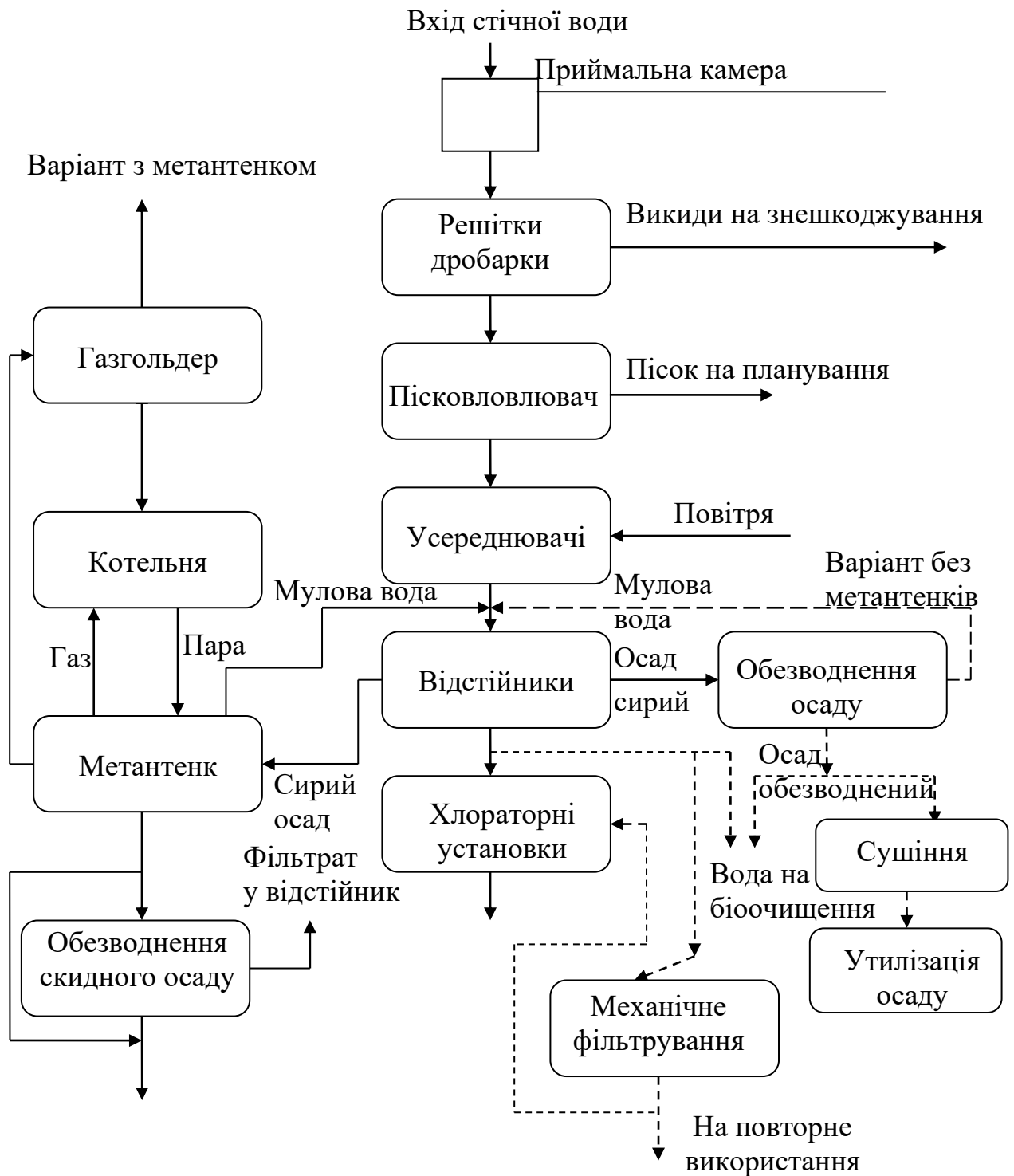


Рис. 6.1. Типова схема очищення стічних вод

Ґрати складаються з окремих прутків (стержнів) семи типів профілів товщиною 8-10 мм. Частіше за все застосовують прямокутні, закруглені з боку входу. Стержні закріплюють у рамі для забезпечення їх жорсткості найчастіше під кутом 45-90° до горизонту або вертикально.

За конструкцією ґрати можуть бути як нерухомі зі зняттям відходів з них уручну граблями при об'ємах їх до 0,1 м³/доб і механізованими граблями, що закріплюються на ланцюзі з електроприводом [43].

Для дрібнення відходів передбачають окремо встановлені дробарки. Комбіновані ґрати-дробарки являють собою єдиний механізм, основним елементом якого є барабан зі прорізами (16 мм), що обертається. Дрібні фракції відходів разом з потоком стічної води проходять через щілинні отвори усередину барабана і далі на вихід з ґрати-дробарки.

Крупні фракції затримуються на барабані і при його обертанні здрібнюються різцями, які закріплені на решітці. Подрібнені відходи разом з водою проходять через щілинні отвори усередину барабана. Швидкість руху стічних вод через ґрати при максимальному припливі приймають 0,8-1 м/с для механізованих ґрат і 1,2 м/с в проміжках ґрат-дробарок. При великих швидкостях вловлені частинки провалюються через ґрати, а при швидкості менше 0,8 м/с в каналі перед ґратами відходи і крупні фракції піску випадають в осад і виникає необхідність їх видалення. Кількість відходів, що знімають з ґрат, залежить від ширини проміжків і можуть досягати до 750 кг/м³.

Пісковловлювачі

У складі очисних споруд за ґратами проектується спеціальні споруди, які називають пісковловлювачами. Вони призначені для видалення зі стічних вод важких мінеральних домішок розміром більше 0,2-0,25 мм. Наявність піску в стічній воді погіршує її транспортування трубопроводами, особливо самопливом, призводить до накоплення його у відстійниках і метантенках, ускладнює їх роботу. Принцип роботи пісковловлювачів заснований на відстоюванні рідини при повільній швидкості її течії. За напрямком руху води вони поділяються на горизонтальні, вертикальні і з обертальним рухом рідини, аеровані.

Усереднювачі

Усереднювачі призначені для регулювання кількості стічної води, яка поступає на очисні споруди. Надходження на очисні споруди забруднень з усередненою концентрацією підвищує ефект як механічного, так і послідовного біологічного і хімічного очищення стічних вод. У результаті виключення пікових витрат стічних вод, які поступають на очищення, отримують значну економію електроенергії при експлуатації споруд і підвищення надійності їх роботи, а також подовжується строк служби споруд.

Регулювання витрати і концентрації забруднень можна забезпечити декількома шляхами. За одним з варіантів резервуари розташовані на основному каналі перед відстійниками, і всі стічні води проходять через усереднювач. За другим варіантом усереднювачі розташовані на бокових лініях паралельно основному технологічному каналу, і в них відводять лише надлишкову витрату стічних вод. В обох випадках досягається зниження розрахункових витрат стічних вод до середньодобового рівня. Використання усереднювачів, які вирівнюють пікові витрати і концентрації стічних вод, дозволяє розробляти більш економічні проекти очисних споруд, приймати для розрахунку усереднені дані.

Відстійники

Для видалення з промислових стічних вод грубодисперсних завислих речовин і нерозчинних органічних домішок застосовують відстійники різних типів. Відстоюванням можливо виділяти з води завислі частинки з густиною, яка більше або менше густини води визначеного розміру. Домішки малого розміру видалити не можливо, тому що доводиться підвищувати тривалість відстоювання стічних вод до декількох діб, що економічно не вигідно. Тривалість відстоювання визначається за швидкістю осадження завислих часток, яка знаходиться у залежності від радіуса, густини і ступеня шорсткості.

Для інтенсифікації процесу осадження високодисперсних завислих і колоїдних часток використовують різні коагулянти і флокулянти (сульфат алюмінію і двовалентного заліза, сульфат або хлорид тривалентного заліза, а також флокулянти ВА-2, поліакриламід та ін.).

При використанні коагулянтів і флокулянтів швидкість осадження високодисперсних завислих часток підвищується в 1,4-1,6 разу.

Залежно від вимог до якості освітленої стічної води застосовують горизонтальні і радіальні відстійники різноманітної конструкції, які можуть бути обладнані камерами флокуляції.

Фільтри

Сітчасті барабанні фільтри призначені для механічного очищення стічних вод. Залежно від потрібного ступеня очищення і умов призначення їх можна оснащати сітчастим полотном з різною величиною вічок. У зв'язку з цим сітчасті барабанні фільтри поділяють на мікрофільтри і барабанні сітки.

Одним зі шляхів інтенсифікації фільтрування стічних вод є використання таких фільтруючих матеріалів, як використання плаваючих завантажень фільтрів з різними полімерними матеріалами, що мають достатню механічну міцність, хімічну стійкість, високу активну вільну поверхню і пористість.

Залежно від складу і характеру завислих частинок у воді, яка подається на очисні споруди, а також від пропускної спроможності станції приймаються такі основні схеми фільтрування:

- через багатоярусні або багатошарові фільтри зі зменшеною більшістю гранул по ходу освітленої води знизу вгору;
- через фільтри великої ємності по бруду при фільтруванні води згори вниз;
- з горизонтальним напрямом фільтрування;
- з неперервною регенерацією завантаження.

6.1.3. Хімічні методи очищення стічних вод

Хімічне очищення застосовується як самостійний метод перед подачею стічних вод у систему оборотного водопостачання, а також перед спусканням їх у водойму або в міську каналізаційну мережу. Використання хімічного очищення у ряді випадків доцільно (у якості попереднього) перед біологічним або перед фізико-хімічним очищенням. Хімічне очищення знаходить застосування також і як метод доочищення стічних вод з метою їх дезінфікування, безкольорування або

вилучення з них різних компонентів. При локальному очищенні стоків у більшості випадків перевага надається хімічним методам.

Нейтралізація

З метою попередження корозії матеріалів каналізаційних очисних споруд, порушення біохімічних процесів у біологічних окислювачах і водоймах, а також осадження зі стічних вод солей важких металів кислі і лужні стоки піддають нейтралізації.

Реакція нейтралізації – це хімічна реакція між речовинами, які мають властивості кислоти, і речовинами, які мають властивості основи, що призводить до втрати характерних властивостей обох сполук. Найбільш типова реакція нейтралізації у водних розчинах відбувається між гідратованими іонами водню та іонами гідроксилу, які містяться відповідно в сильних кислотах і основах: $H^+ + OH^- = H_2O$. У результаті концентрація кожного з цих іонів дорівнює тій, що властива самій воді (близько 10^{-7}), тобто активна реакція водного середовища наближується до $pH=7$. Піддають нейтралізації стічні води з pH менше 6,5 і більше 8,5, при цьому необхідно враховувати нейтралізуючу спроможність водойми, а також лужний резерв міських стічних вод. Більшу небезпеку являють кислі стоки, які зустрічаються значно частіше, ніж лужні.

При хімічному очищенні використовують такі методи нейтралізації:

- взаємна нейтралізація кислих і лужних стічних вод;
- нейтралізація реагентами (розчини кислот, негашене вапно CaO , гашене вапно $Ca(OH)_2$, кальцинована сода Na_2CO_3 , каустична сода $NaOH$, аміак NH_4OH);
- фільтрування через нейтралізуючі матеріали (вапно, вапняк $CaCO_3$, доломіт $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, магнезит $MgCO_3$, випалений магнезит MgO).

Вибір засобу нейтралізації залежить від багатьох факторів:

- вид і концентрація кислот, забруднюючих стічні води;
- витрати і режим надходження відпрацьованих вод на нейтралізацію;
- наявність реагентів;
- місцеві умови та ін.

Окислення

Окислювальний метод очищення використовують для знезараження стічних вод, які містять токсичні домішки (ціаніди, комплексні ціаніди міді і цинку) або сполуки, що недоцільно вилучати зі стічних вод, а також очищати іншими методами. Окислення – це реакція з'єднання будь-якої речовини з киснем, або будь-яка хімічна реакція, у якій відбувається відняття електронів від атомів або іонів. У практиці знезараження стічних вод у якості окислювачів застосовують хлор, хлорне вапно, діоксид хлору, озон, технічний кисень і кисень повітря.

6.1.4. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод

Фізико-хімічні методи відіграють значну роль при очищенні промислових стічних вод і використовуються як самостійно, так і в поєднанні з механічними, хімічними і біологічними методами і частка їх серед інших методів підвищується. Найбільш поширені такі фізико-хімічні методи: коагуляція, флотація, сорбція, флокуляція, екстракція, іонний обмін, гіперфільтрація, діаліз, евапорація, випаровування, кристалізація, магнітна обробка, а також методи, пов'язані з накладенням електричного поля: електрофлотація, електрокоагуляція.

Коагуляція

Коагуляція – це злипання часток колоїдної системи при їх зіштовхуванні в процесі теплового руху, перемішування, внаслідок нейтралізації поверхневого заряду колоїдних часток завдяки дії іону-коагулянту. У результаті коагуляції утворюються агрегати – більш крупні (вторинні) частинки, які складаються зі скупчення мілких (первинних). Коагуляція веде до розшарування колоїдного розчину і випадіння пластівцеподібного осаду. Первинні частинки у таких агрегатах з'єднані силами молекулярної взаємодії безпосередньо або через прошарок навколишнього (дисперсійного) середовища. Коагуляція супроводжується прогресуючим укрупненням частинок і зменшенням їх загальної кількості в об'ємі дисперсійного середовища (наприклад рідини). Скупчення однорідних частинок називають гомокоагуляцією, а різнорідних – гетерокоагуляцією.

Промислові стічні води у більшості випадків являють собою слабоконцентровані емульсії або суспензії, які містять колоїдні частинки розміром 0,001-0,1 мкм, дисперсні частинки розміром 0,1-10 мкм, а також частинки розміром 10 мкм і більше.

У процесі механічного очищення зі стічних вод досить легко виділяються частинки розміром 10 мкм і більше. Дисперсні і колоїдні частинки при механічному очищенні не виділяються. Тобто стічні води багатьох виробництв після механічного очищення являють собою агрегатну стійку систему. При коагуляції агрегатна стійкість порушується й утворюються більш крупні частинки, які далі видаляються зі стічних вод механічними методами. Має місце також флокуляція, тобто укрупнення частинок в дисперсних системах з рідкою або газоподібною дисперсною системою під впливом молекулярних сил між поверхнями частинок. Частинки, що знаходяться в завислому стані, під впливом спеціально доданих речовин (флокулянтів) утворюють інтенсивно осаджувальні рихлі пластівчасті частинки.

Ефективність коагуляційного очищення залежить від багатьох факторів: вид колоїдних частинок, їх концентрація і ступінь дисперсності, наявність у стічних водах електролітів та інших домішок, величина електрокінетичного потенціалу.

Для очищення промислових стічних вод застосовують різноманітні мінеральні коагулянти:

1. Солі алюмінію ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$). Процес коагуляції рекомендується проводити при значеннях $\text{pH}=4,5-8$, при цьому ступінь мінералізації води підвищується.
2. Солі заліза ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Процес оптимальний при $\text{pH}>9$.
3. Соли магнію ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ і $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).
4. Вапно.
5. Шламові відходи і відпрацьовані розчини окремих виробництв.

Кількість коагулянту, яка необхідна для процесу коагуляції, залежить від виду коагулянту, витрати, складу і потрібного ступеня очищення стічних вод.

Осад, який утворюється у результаті коагуляції, являє собою пластівці розміром від кількох мікрон до кількох міліметрів.

Процес очищення стічних вод методами коагуляції і флокуляції включає приготування водних розчинів коагулянтів і флокулянтів, їх дозування в стічну воду, яку обробляють, змішання з усім об'ємом води, утворення пластівців і їх видалення.

Сорбція

Сорбція – це процес поглинання речовин з навколишнього середовища твердим тілом або рідиною. Тіло, що поглинає, називають сорбентом, а тіло, що поглинається – сорбатом. Розрізняють поглинання усією масою рідкого сорбенту (абсорбція) і поверхневим шаром твердого або рідкого сорбенту (адсорбція). Сорбцію, яка супроводжується хімічною взаємодією сорбенту з речовиною, що поглинається, називають хемосорбцією.

Сорбція являє собою один з найбільш ефективних методів очищення від розчинних органічних речовин у стічних водах багатьох підприємств. Сорбційне очищення може використовуватися самостійно і сумісно з методом біологічного очищення як попереднє, так і доочищення. Методи є ефективними для вилучення зі стічних вод цінних розчинних речовин з наступною утилізацією і використання очищених стоків у системі оборотного водопостачання промислових підприємств.

У якості сорбентів застосовують різні штучні і природні пористі матеріали: активоване вугілля, золу, коксові частинки, торф, силікагелі, алюмогелі, активні глини та ін.

Активність сорбенту характеризується кількістю речовини, яка поглинається, на одиницю об'єму або маси сорбенту ($\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{кг}/\text{кг}$).

Процес сорбції може виконуватися в статичних умовах, при яких частинка рідини не переміщається відносно частинок сорбенту, тобто рухається разом з останнім (апарати з перемішувальними пристроями), а також у динамічних умовах, при яких частинка рідини переміщається відносно сорбенту (фільтри, апарати з псевдозрідженим шаром). Тому розрізняють статичну і динамічну активність сорбенту.

Звичайно сорбційна установка являє собою декілька паралельно працюючих секцій з трьох-п'яти послідовно розташованих фільтрів.

Флотація

Флотаційне очищення води полягає в утворенні комплексів «частинка мастила – бульбашка води» з виділенням цих комплексів з води. Прилипання частинок, які знаходяться в рідині, до поверхні газового пузиря можливе тільки тоді, коли спостерігається незмочування або погане змочування частинок рідиною. Змочувана спроможність рідини залежить від її полярності, з підвищенням якої спроможність рідини змочувати тверді тіла зменшується. Зовнішнім проявом спроможності рідини до змочування є величина поверхневого натягання її на межі з газовою фазою, а також різниця полярності на межі рідкої і твердої фази.

У практиці очищення стічних вод відпрацьовані різні конструктивні схеми, прийоми і методи флотації. Метод пінної флотації застосовують для витягання нерозчинних речовин і частково для зниження концентрації деяких розчинних речовин, метод пінної сепарації – для видалення розчинних речовин.

Найбільш суттєві принципові відміни засобів флотації пов'язані з насиченням рідини пузирями повітря відповідної крупності. За цим принципом можна виділити такі засоби флотаційної обробки стічних вод:

- флотація з видаленням повітря з розчину (вакуумні, напірні, ерліфтні флотаційні установки);
- флотація з механічним диспергуванням повітря (імпелерні, безнапірні і пневматичні флотаційні установки);
- флотація з подачею повітря через пористі матеріали;
- електрофлотація;
- біологічна і хімічна флотації.

Екстракція

При відносно високому вмісті в стічних водах розчинних органічних речовин, які мають цінність (наприклад, феноли, жирні кислоти), ефективним методом очищення є екстракція органічними розчинами-екстрагентами. Цей метод заснований на розподілі забруднюючої речовини в суміші двох взаємнорозчинних рідин відповідно до її розчинності в них. Після досягнення рівноваги концентрація екстрагованої речовини в екстрагенті значно вище, ніж в оброблюваній воді. Сконцентровану в екстрагенті речовину відділяють від розчину й

утилізують. Екстрагент після відділення можна повторно використовувати в технологічному процесі.

Для успішного протікання процесів екстракції екстрагент повинен мати такі властивості:

- добру екстрагуючу спроможність відносно екстрагованої речовини, тобто мати високий коефіцієнт розподілу;
- селективність, тобто спроможність екстрагувати з води одну речовину або визначну її групу;
- малу розчинність у воді;
- густину, яка відрізняється від густини води;
- температуру кипіння, яка повинна значно відрізнятися від температури кипіння екстрагованої речовини;
- невелику питому теплоту випарювання і малу теплоємність, що дозволяє знизити витрати пари і охолоджувальної води;
- якомога меншу вогнебезпеку, вибухонебезпеку і токсичність;
- низьку вартість.

Іонний обмін

Гетерогенний іонний обмін або іонообмінна сорбція – це процес обміну між іонами, які існують у розчині, та іонами, які присутні на поверхні твердої фази, – іоніти.

Очищення стічних вод методом іонного обміну дозволяє витягати й утилізувати цінні домішки (сполуки миш'яку, фосфору, а також хром, цинк, мідь, свинець, ртуть та ін.), поверхнево-активні і радіоактивні речовини, очищати воду до гранично допустимих концентрацій з наступним її використанням у технологічних процесах або в системах оборотного водопостачання.

За знаком заряду іонів, які обмінюються, іоніти поділяють на катіоніти і аніоніти, які проявляють кислотні і лужні властивості. Іоніти поділяють на природні, штучні і синтетичні. Практичне значення мають неорганічні природні і штучні алюмосилікати, гідроокиси і солі багатовалентних металів, а також іоніти, отримані хімічною обробкою вугілля, целюлози.

Важливою властивістю іонітів є їх поглинаюча спроможність, так звана об'ємна ємність. Повна ємність іоніту – це кількість іонів, що знаходяться у воді в грам-еквіваленті іонів,

яку може поглинути 1 м³ іоніту до повного насичення. Робоча ємність іоніту – це кількість іонітів, що знаходяться у воді в грам-еквівалент іонів, яку може поглинути 1 м³ іоніту до початку проскакування в фільтрат іонів, що поглинаються.

Процеси іонообмінного очищення стічних вод здійснюються в апаратах періодичної (фільтрах) і неперервної дії.

Електродіаліз

Електродіаліз – це процес сепарації іонів солей, що здійснюється в мембранному апараті під дією постійного електричного струму. Цей метод використовується для опріснювання високомінералізованих стічних вод.

Наряду з описаними методами знаходять використання і інші методи фізико-хімічного очищення стічних вод, але вони використовуються рідше. Усі методи описані в посібнику [43].

6.1.5. Біологічні методи очищення промислових стічних вод

Процес біологічного очищення за своєю сутністю є природним і його характер однаковий для процесів, які протікають у водоймі й очисній споруді. Біологічне очищення виконується мікроорганізмами, які включають у себе безліч різних бактерій, простіших і ряд більш високоорганізованих організмів – водоростей, грибів та ін., пов'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаємовідношеннями. Головна роль належить бактеріям, кількість яких коливається від 10⁶ до 10¹⁴ клітин на 1 г сухої біомаси. Число родів бактерій може досягати 5-10, число видів – декілька десятків. Ефективність процесів біологічного очищення залежить від ряду факторів: температури, реакції середовища, концентрації біогенних елементів, рівня живлення, кисневого режиму і токсичної дії.

Біохімічне очищення засноване на здібності мікроорганізмів використовувати органічні і деякі мінеральні речовини, розчинні в воді, для живлення. Біохімічне очищення може протікати в аеробних (біохімічне окислювання) і анаеробних (біохімічне розкладення) умовах.

Співка мікроорганізмів представлена одними бактеріями у випадку, коли очищення проводять в анаеробних умовах (за

відсутності розчинного у воді кисню) або при надто несприятливому рівні живлення, що являє собою відношення кількості органічних речовин до числа мікроорганізмів. Несприятливим рівнем живлення може виявитися, наприклад, занадто високе відношення кількості забруднень, що подаються на очищення, до кількості біомаси мікроорганізмів.

Очищення в анаеробних умовах відбувається під дією анаеробних мікроорганізмів, у результаті органічні забруднення перетворюються в гази (метан, CO_2) і розчинні солі, при цьому зростає біомаса анаеробних мікроорганізмів.

Розпад здійснюється в дві фази:

- органічні речовини перетворюються на органічні кислоти і спирти (перша група мікроорганізмів);
- кислоти і спирти, що утворилися, перетворюються на метан і CO_2 (друга група мікроорганізмів).

Анаеробний метод використовують в основному для зброджування надлишкового мулу, який утворюється при аеробному очищенні. Процес зброджування відбувається без доступу кисню.

Очищення в аеробних умовах відбувається в присутності розчинного у воді кисню і являє собою модифікацію процесу, що протікає в природі процесу самоочищення.

Біохімічне очищення може відбуватися в природних і штучних умовах. Штучні споруди для біологічного очищення поділяють на три групи:

1. Активна біомаса закріплена на нерухомому матеріалі, а стічна вода обтікає його тонкої плівкою.
2. Активна біомаса знаходиться в стічній воді, що обробляється, у звисломому стані.
3. Поєднання обох варіантів розташування біомаси.

Першу групу споруд складають біофільтри; другу – аеротенки, циркуляційні окислювальні канали, окситенки; третю – занурювані біофільтри, біотенки, аеротенки з заповнювачами.

Біофільтри

Біофільтри знаходять широке застосування при добових витратах стічних вод до 20-30 тис. $\text{м}^3/\text{доб}$. Важливою складовою частиною біофільтра є завантажений матеріал. За типом завантаженого матеріалу біофільтри можуть бути з об'ємним і плоским завантаженням. Біофільтри з об'ємним завантаженням

поділяють на крапельні, високовантажні і баштові. Біофільтри з плоским завантаженням – на біофільтри з жорсткою засипкою і з м'якою засипкою.

У біологічних фільтрах стічна вода фільтрується через шар крупнозернистого матеріалу. На поверхні зерен створюється біологічна плівка, яка являє собою колонії аеробних мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності, що аналогічно мулу в аеротенках. Колоїдні і розчинні органічні забруднення адсорбуються біоплівкою, а бактерії, які містяться в ній, мінералізують їх. Для життєдіяльності бактерій у завантаження подається повітря природною (через вікна) і штучною (компресором) вентиляцією.

Біофільтри – це резервуари круглої або прямокутної форми в плані, які заповнюються завантаженим матеріалом. У якості завантаження застосовують щебінь твердих порід, гальку, керамзит, пластмаси розміром 15-18 мм, які засипають шаром 2-4 м. Плоскінний матеріал виконується у вигляді жорстких (кільцевих, трубчастих елементів з пластмаси, кераміки, металу) і м'яких (рулончаста тканина) блоків.

Розглянемо принцип роботи біофільтрів на прикладі крапельного біофільтра (рис. 6.2). Стічна вода подається вище поверхні завантаженого матеріалу і рівномірно розподіляється на ньому.

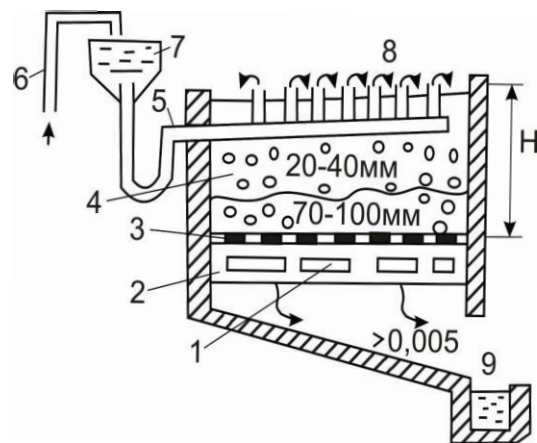


Рис. 6.2. Схема крапельного біофільтра:

- 1 – вентиляційні вікна; 2 – піддренажний простір; 3 – дренаж;
- 4 – завантаження; 5 – розподільний трубопровід; 6 – подача стічної води на очищення; 7 – дозуючий бак; 8 – розбризкувачі;
- 9 – відвідний канал

Завантажений матеріал піддержується решітчастим днищем, крізь отвори якого оброблені стічні води поступають на суцільне дно біофільтрів і за допомогою лотків відводяться з біофільтра у вторинний відстійник. На залізничному транспорті частіше за все використовуються крапельні біофільтри з продуктивністю 1000 м³/доб.

При великих витратах стічних вод використовують високонавантажені біофільтри, які мають гідравлічне навантаження більш ніж у 10 разів. Це досягається підвищенням крупності зерен до 40-70 мм. Висота завантаження до 2-4 м і при висоті більше 2 м застосовують штучну вентиляцію від повітродувки. Такі біофільтри називають аерофільтрами.

Аеротенки

Друга група споруд біологічного очищення представлена аеротенками – це залізобетонні резервуари прямокутні у плані і розподілені перегородками на окремі коридори. Важливим елементом будь-якого аеротенка є система аерації. Ця система складається з комплексу споруд і спеціального обладнання, що забезпечує постачання рідини киснем, підтримання мулу в завислому стані і постійне перемішування води з мулом. Використовують дві системи аерації: пневматичну і механічну.

За структурою потоків води вони поділяються на аеротенки-витисники, аеротенки-змішувачі і проміжні (рис. 6.3).

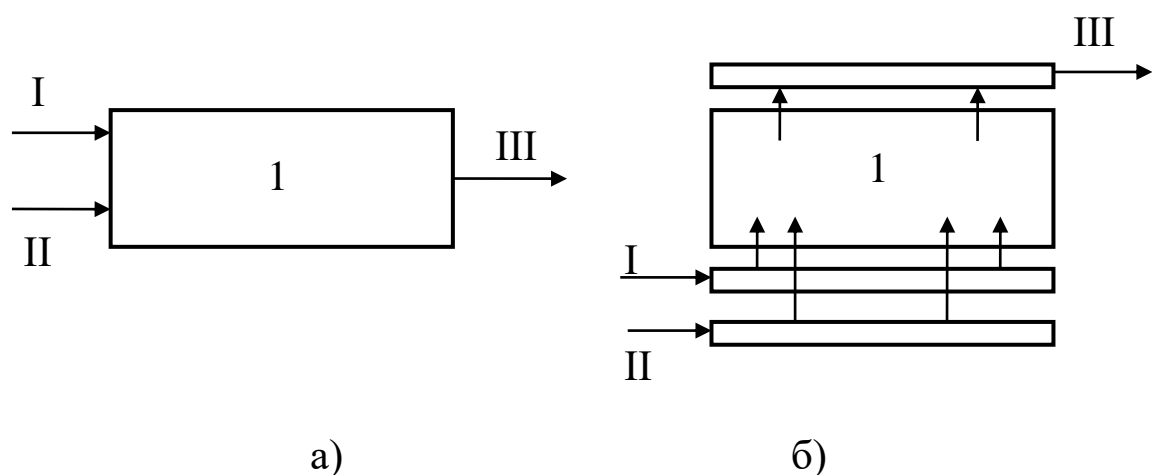


Рис. 6.3. Схеми аеротенків:

- а) аеротенки-витисники; б) аеротенки-змішувачі;
 1 – аеротенк; I – стічна вода; II – активний мул;
 III – мулова суміш

В аеротенках-витисниках вода й активний мул подаються в початок споруди і суміш відводиться у кінці її. Їх застосовують при початковому БСК_{повн.} не більше 500 мг/дм³.

В аеротенках-змішувачах стічна вода і мул підводяться і відводяться рівномірно уздовж споруди (розосереджена подача). Їх застосовують за наявності БСК_{повн.} більше 500 мг/ дм³.

Біохімічні процеси в аеротенках проходять 3 етапи:

1. Адсорбція поверхнею активного мулу органічних речовин і мінералізація легкоокисних речовин при інтенсивному споживанні кисню. За 1-2 год БСК знижується на 50-80 %, і кисень майже повністю витрачається. Простіші організми поглинають велику кількість бактерій, підтримують їх оптимальний вміст в активному мулі і сприяють осадженню й освітленню стічних вод.

2. Доокислювання повільноокисних органічних речовин, регенерація активного мулу, тобто відновлення його сорбційних властивостей.

3. Інтрифікація амонійних солей, підвищення витрати кисню.

Загальна тривалість очищення становить 6-8 год побутових вод і 10-20 год суміші побутових і промислових.

На рис. 6.4 наведена схема роботи аеротенків. Стічна вода після механічного очищення змішується зі зворотним активним мулом, послідовно переходить коридорами аеротенка і поступає у вторинний відстійник. Час знаходження в аеротенку стічної води залежно від її складу коливається від 6 до 12 год. За цей час основна маса органічних забруднень переробляється біоценозом активного мулу. Для підтримки активного мулу в завислому стані, інтенсивного його перемішування і насичення суміші, яка обробляється киснем повітря, організують механічну або пневматичну її аерацію. З аеротенків суміш води й активного мулу поступає у вторинний відстійник, звідки активний мул, що осів на дно, відводиться в резервуар насосної станції, і очищена вода поступає на доочищення або дезінфекцію. У процесі біологічного окислювання відбувається приріст біологічної маси активного мулу. Надлишок його виводиться з системи і прямує в споруди з обробки осаду, і основна частина у вигляді зворотного активного мулу знову повертається в аеротенк.

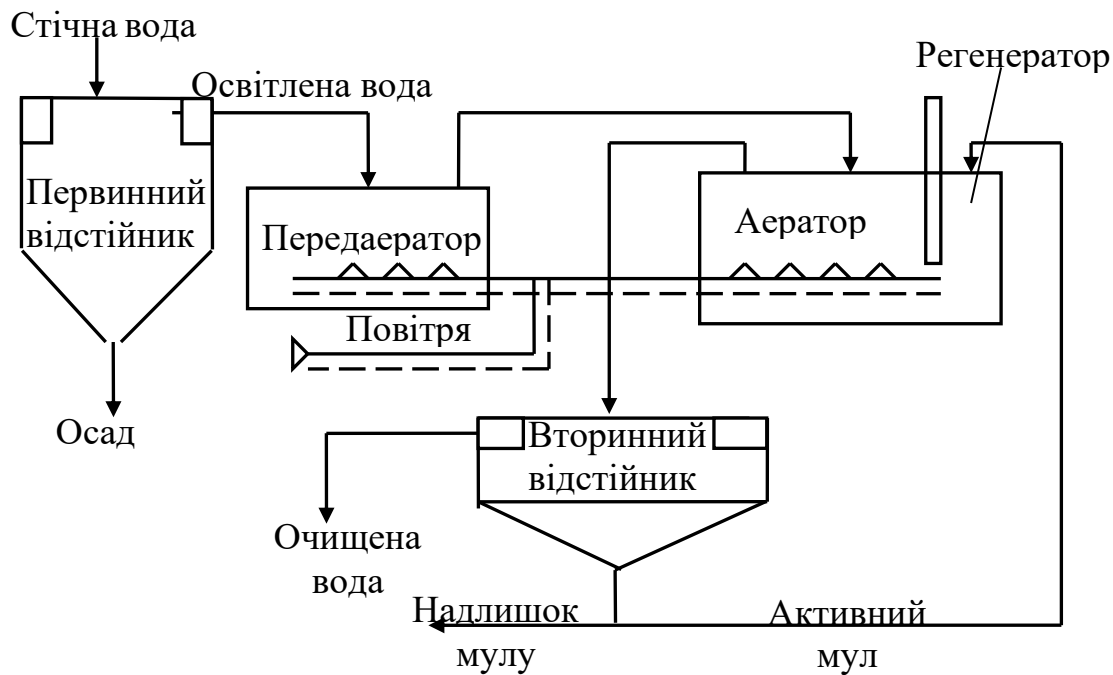


Рис. 6.4. Схема включення аеротенка в систему очищення стічної води

Повне біологічне очищення стічної води забезпечується за таких умов: концентрація мулу повинна бути 2-5 г/дм³, витрата повітря – 5-15 м³ на 1 м³ стічної води, навантаження по органічних забрудненнях 400-800 мг БСК на 1 г беззольного активного мулу за добу.

Окситенки

Це споруди біологічного очищення стічних вод, у яких замість повітря використовують технічний кисень або повітря, що збагачене киснем. Тому вони використовуються на об'єктах, де мають виробництво власного кисню.

Концентрація активного мулу, яка рекомендується, для окситенків складає 6-8 г/дм³. При інших рівних умовах окислювальна потужність окситенків у 5-10 разів вище, ніж в аеротенків, і ефективність використання кисню становить 90-95%.

Конструктивно окситенк виконаний у вигляді резервуара, круглого у плані з циліндричною перегородкою, яка відділяє зону аерації від зони видалення мулу. У середній частині циліндричної перегородки обладнані вікна для перепускання мулової суміші з зони аерації в муловідділювач; у нижній частині – для надходження зворотного мулу в зону аерації. Зона аерації

обладнана герметичним перекриттям, на якому встановлений електродвигун турбоаератора і вмонтовано трубопровід подання кисню і продувний трубопровід.

Інші споруди біологічного очищення

До числа інших, тобто третьої групи, споруд біологічного очищення, відносять *занурювані біофільтри*, які називають інакше біодисками. Вони складаються з обертового вала з насадженими на ньому дисками і резервуара зі стічної водою, куди диски занурюються на 1/3-1/2 свого діаметра (рис. 6.5).

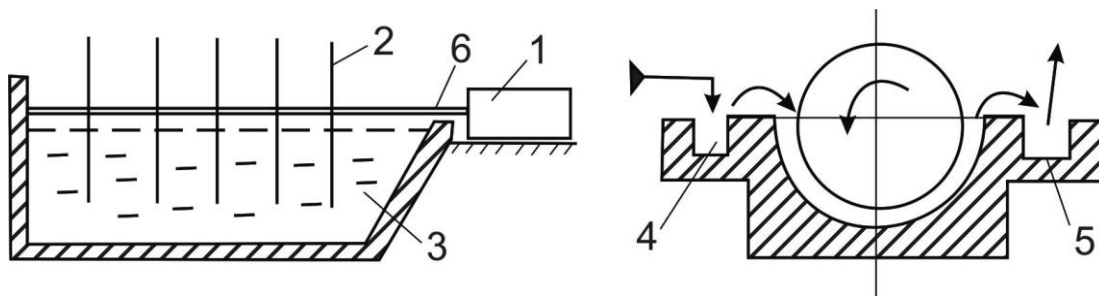


Рис. 6.5. Схема занурюваного біофільтра:

- 1 – електродвигун; 2 – диски; 3 – резервуар для стічної води;
- 4 – приймальний лоток; 5 – лоток, що відводить воду; 6 – вал

Диски виготовляються з різного матеріалу і розташовуються на відстані 10-20 мм один від одного. Кількість пластин на валу може бути різною – від 20 до 200. Діаметр дисків від 0,5 до 3 м.

Стічна вода протікає по резервуару з різною швидкістю залежно від необхідного ступеня очищення. Звичайно найменша тривалість перебування води в резервуарі 70 хв, а за необхідності може досягати 3 год. Поперемінно занурюючись у воду і виходячи з неї, біоплівка витягує забруднення і окислює їх за допомогою кисню, який вона отримує безпосередньо з атмосфери. Відпрацьована частина біоплівки переходить у воду і виноситься потім з очищеною водою в вторинний відстійник. Вода в резервуарі знаходиться тривалий час, тому в ній розвивається активний мул, частку участі якого у загальному ефекті очищення також необхідно брати до уваги.

Биотенки-біофільтри складаються з корпусу і гофрованих елементів, які розташовані усередині нього один над одним у

шаховому порядку і мають отвори у верхній частині. Стічна вода, що обробляється, прямує у верхню частину біотенка і, заповнивши ємності, що розташовані вище ємності, стікає униз. При цьому вода омиває зовнішні частини елементів, на яких утворюється плівка. Біомаса активного мулу, яка утворюється в самих елементах, перемішується і насичується киснем унаслідок руху стічної води, що обробляється. Біотенк у сукупності з біофільтром забезпечує високий ступінь очищення.

Анаеробні методи очищення

Для збродження осаду, який утворюється при біологічному очищенні, використовують анаеробні методи біохімічного очищення. Крім того, їх застосовують у якості першого ступеня очищення дуже концентрованих промислових стічних вод ($BCK_{\text{повн.}} = 4-5 \text{ г/дм}^3$), які містять органічні речовини, що порушуються анаеробними бактеріями. Для очищення стічних вод використовують метанове збродження. Процес збродження проводять у метантенках – герметично закритих резервуарах (рис. 6.6).

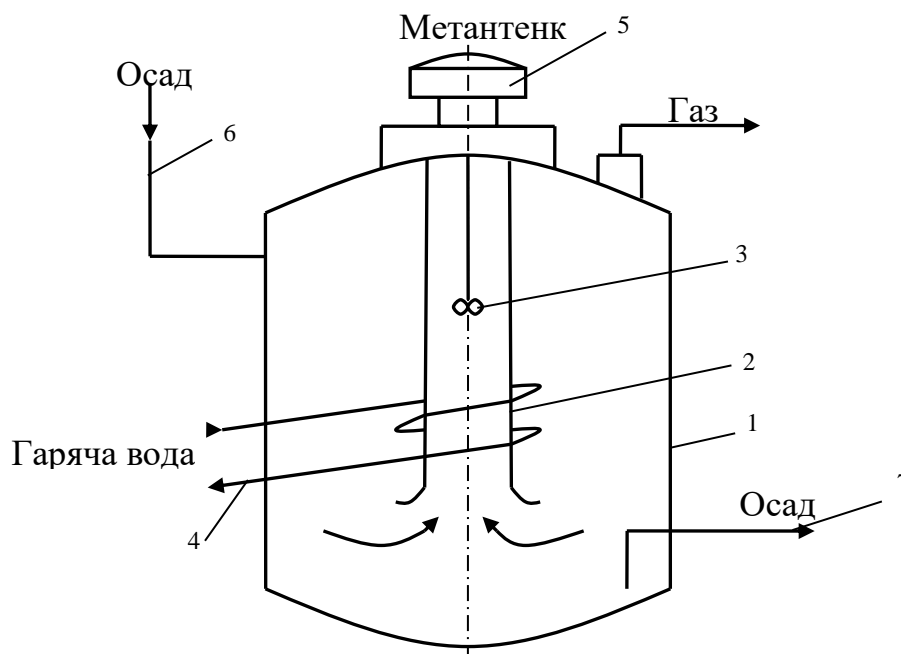


Рис. 6.6. Схема метантенка:

- 1 – корпус; 2 – труба; 3 – мішалка; 4 – змійовик;
- 5 – електродвигун; 6 – вхід незбродженого осаду;
- 7 – вихід збродженого осаду

Основні параметри аеробного збродження: температура, яка регулює інтенсивність процесу; доза завантаження осаду і ступінь його перемішування. У середньому розпад органічних речовин складає 40 %. Необхідно підтримувати високу температуру процесу, рН=6,8-7,2 і концентрацію беззольної речовини більше 15 г/дм³. Існують гранично допустимі концентрації токсичних речовин, при яких можливе метанове збродження: мідь – 25 мг/дм³, ацетон – 200 мг/дм³. У результаті процесу виділяються гази, які містять 63-65 % метану, 32-34 % СО₂. Теплота згоряння газу – 23 МДж/кг.

Методи обробки осаду

При біологічному очищенні в первинних і вторинних відстійниках утворюється велика маса осаду, яку необхідно утилізувати або обробити, щоб зменшити забруднення біосфери. Для цього застосовують такі технологічні процеси: згущення активного мулу, стабілізацію осаду, кондиціонування осаду, теплову обробку, рідкофазне окислення обезводненого осаду.

Згущення осаду пов'язане з видаленням вільної вологи і є необхідною стадією усіх варіантів технологічних схем обробки осаду. При згущенні у середньому видаляється 60 % вологи і маса осаду скорочується в 2,5 рази. Для згущення використовують гравітаційний, флотаційний, відцентровий і вібраційний методи. Подальше згущення активного мулу проводять у гідроциклонах, сепараторах.

Стабілізація осаду проводиться для розподілу біологічної частини органічної речовини на діоксид вуглецю і метану. Процес ведуть за допомогою мікроорганізмів в анаеробних і аеробних умовах.

Кондиціонування осаду – це процес підготовки осаду перед обезводненням з метою поліпшення водовідштовхуючих властивостей осаду, зміни його структури і форм зв'язку. При цьому застосовують реагентні і безреагентні методи. При реагентних методах коагулянтами або флокулянтами змінюють структуру осаду і форму зв'язку води у ньому і тим самим поліпшують його водовідштовхуючі властивості. У другому випадку застосовують теплову обробку, заморожування з наступним відтаюванням.

Біологічне очищення у природних умовах

Для природного очищення стічних вод використовують ґрунтове очищення і біологічні пруди.

Ґрунти – це складний комплекс органічних і неорганічних речовин, які заселені великою кількістю мікроорганізмів. У ґрунтах немає сприятливих умов для розвитку патогенних мікроорганізмів, які паразитують в організмі людини, унаслідок чого ґрунти є надійним і потужним фактором знезараження стоків. У результаті отримується мінералізація органічних речовин і знезараження стічної води. У зв'язку з цим утворюються поля зрошення і фільтрації, останні тільки для очищення стічних вод.

Біологічні пруди – водойми, створені штучно, в яких для очищення стічних вод використовують природні процеси. Їх виконують у вигляді каскаду прудів, які складаються з 3-5 ступенів, і де виконуються такі процеси: бактерії використовують для окислення забруднень кисень, що виділяється водоростями у процесі фотосинтезу, і також кисень з повітря. Водорості у свою чергу потребують діоксиду вуглецю, фосфатів і амонійного азоту, що виділяється при біохімічному розкладанні органічних речовин. Для нормальної роботи прудів необхідно додержуватися оптимального значення рН і температури стічної води, яка не повинна бути менше +6 °С, у зв'язку з чим у зимовий час пруди не використовуються.

6.2. Очищення стічних вод теплових електростанцій

6.2.1. Обробка стічних вод водопідготовчих установок і конденсатоочищень

Безпосереднє скидання стічних вод водопідготовчих установок у водойми неможливе через різко змінні значення рН, що виходять за межі 6,5-8,5, оптимальних для води у водоймах, а також високий вміст у них грубодисперсних домішок і солей. Очищення таких вод повинно зводитися до видалення основної частини солей, грубодисперсних домішок і корекції рН відповідно до умов, які пропоновані санітарними нормами, що регулюють скидання стічних вод у водойми [16].

Якщо видалення грубодисперсних домішок і регулювання рН не складає труднощів, то зниження концентрації істинно-розчинених домішок має зводитися до повторного проведення тих самих процесів, які використовувалися на водопідготовчих установках. Це в остаточному підсумку призведе до різкого зростання кількості солей, що скидають, зі значним збільшенням сумарних витрат на очищення води. Тимчасовим виходом із цього положення (для існуючих установок) може бути застосування для очищення стічних вод інших методів, що виключають або обмежують застосування реагентів (наприклад, дистиляція або електродіаліз). У цьому випадку обробка води на водопідготовчих установках також проводиться двічі. Тому одним з основних завдань при підготовці води на водопідготовчих установках варто вважати зменшення скидання стічних вод.

Основними напрямками розв'язання цього завдання є:

- розроблення нових прогресивних методів і схем підготовки води на ТЕС, впровадження яких дозволить значно зменшити кількість споживаних реагентів;
- розроблення заходів, що дозволяють скоротити скидання стічних вод з існуючих установок;
- розроблення ефективних методів і схем регенерації реагентів зі стічних вод водопідготовчих установок.

У наш час стічні води водопідготовчих установок в основному коректуються за величиною рН, і в деяких випадках з них безпосередньо виділяються грубодисперсні домішки. Як зазначалося раніше, стічні води водопідготовчих установок складаються зі стічних вод передочищень води й стічних вод іонообмінних установок.

Стічну воду передочищень (продувка освітлювачів) рекомендується:

- відводити в систему гідрозоловидалення;
- направляти (при $\text{pH} > 9$) на нейтралізацію кислих стоків водопідготовчих установок (ВПУ);
- направляти для відстоювання на шламівідвал при близькому розташуванні його від ТЕС із поверненням проясненої води для повторного використання як промивної води механічних фільтрів;

- направляти у відстійники періодичної дії з поверненням проясненої води для повторного використання як промивної води механічних фільтрів;

- направляти в спеціальні пристрої для зневоднювання шламу (наприклад, барабанно-вакуумні фільтри) з поверненням проясненої води для повторного використання як промивної води для механічних фільтрів.

Повернення проясненої води після відділення домішок на шламовідвалі дозволяє використати до 75 % продувної води освітлювачів у схемі водопідготовчих установок, однак вологість шламу при цьому становить 80-90 %, що істотно збільшує потрібну площу шламовідвалу, що приймається з розрахунком десятирічного заповнення для даної ТЕС.

Більш раціональні схеми зі зневоднюванням шламу застосовуються на прес-фільтрах або барабанно-вакуумних фільтрах. При цьому на водопідготовчі установки повертається максимально можлива кількість проясненої води, яка може бути спрямована безпосередньо в іонообмінні фільтри або використана на передочищення.

Одночасно істотно скорочується потрібна площа для шламовідвалу за рахунок більш низького (30-40 %) вмісту води в шламi.

Схема установки для зневоднювання шламу передочищення на ТЕС наведена на рис. 6.7.

Продувна вода з освітлювача направляється в збірну ємність. Для попередження осадження шламу в цій ємності через продувну воду барботується повітря. Потім вода перекачується в бак постійного рівня й надходить у вакуум-фільтр, у якому відбувається відділення шламу.

Зневоднений шлам скидається в бункер і потім направляється на шламовідвал. Вода після відділення шламу повертається на водопідготовчу установку. При використанні вакуум-фільтра ВУ-10-2,6 з поверхнею фільтрування 10 м² на установці обробляється близько 170 м³/доб продувної води, що відповідає продуктивності передочищення 500-600 м³/год. При цьому практично вся продувна прояснена вода вдруге використовується в схемі водопідготовчої установки.

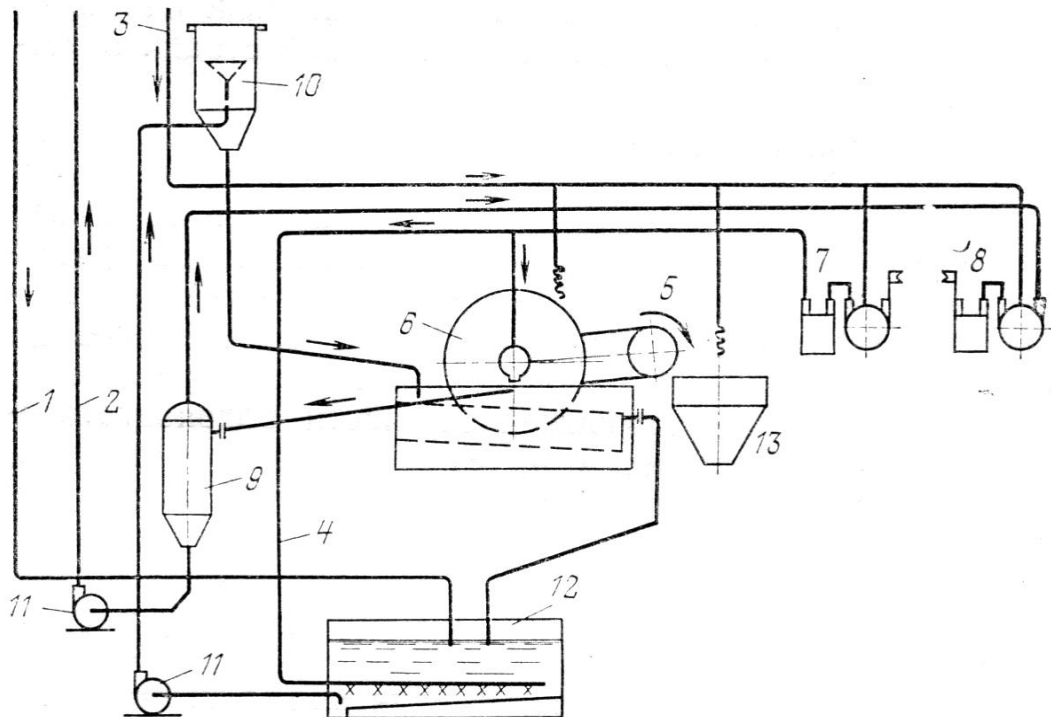


Рис. 6.7. Принципова схема установки для зневоднювання шламу й продувки освітлювачів:

- 1 – підведення шламу; 2 – прояснена вода на ВПУ;
- 3 – технічна вода; 4 – повітря; 5 – зневоднений шлам;
- 6 – барабанно-вакуумний фільтр; 7 – повітродувка;
- 8 – вакуум-насос; 9 – ресивер; 10 – бак постійного рівня;
- 11 – насос; 12 – ємність; 13 – бункер для збезводненого шламу

Скидання стічних вод передочищення в системи гідрозоловидалення можливе лише на ТЕС, які використовують тверде паливо, за умови, що в результаті скидання в системі гідрозоловидалення не буде спостерігатися утворення відкладень

Недоліком скидання стічних вод з водопідготовчих установок у систему гідрозоловидалення є неможливість їхнього використання після відділення домішок на подальшій стадії очищення води.

Більш раціональним є використання всієї або частини продувної води для нейтралізації кислих стоків іонообмінної частини. Однак такий варіант можливий лише при використанні на передочищенні методу вапнування води, коли продувна вода має показник $pH \sim 10$, а також при надлишку кислих стоків на іонообмінній частині водопідготовчої установки.

Стічні води іонообмінної частини водопідготовчої установки являють собою істинні розчини солей, якщо не вважати деякої кількості грубодисперсних домішок, що надходять у ці води при розпушенні іонообмінних фільтрів. Ці води рекомендується залежно від місцевих умов направляти:

- у водойми з дотриманням санітарно-гігієнічних і рибогосподарських вимог до якості води водойми в розрахунковому створі;

- у системи гідрозоловидалення;

- у ставки-випарники при сприятливих кліматичних умовах;

- на випарні установки;

- у підземні водоносні горизонти, які не придатні для господарських цілей і надійно ізольовані від підземних вод, використовуваних для водопостачання. У ці горизонти можна скидати також і продувні води випарників, електромагнітних фільтрів і т. д. Перед скиданням стічні води направляються в спеціальні баки-усереднювачі, об'єм яких вибирається з розрахунку приймання стічних вод від добової регенерації катіонітних й аніонітних фільтрів, а також продувної води освітлювачів і розчинів необхідних реагентів.

Безпосереднє скидання стічних вод у водойму можливе при дотриманні певних умов. Так, при кислих стічних водах необхідне виконання такої нерівності:

$$aЩQ \geq 1/20(Q_{C.K} - Q_{C.Щ}), \quad (6.1)$$

а при лужних

$$aЩQ \geq 1/20(Q_{C.Щ} - Q_{C.K}), \quad (6.2)$$

де a – коефіцієнт змішання на ділянці між випусканням стічних вод і розрахунковим створом найближчого пункту водокористування;

Q – розрахункова витрата водойми, що дорівнює для незарегульованих рік найбільшій середньомісячній витраті води 95 % забезпеченості;

$Щ$ – зміна лужності води, що викличе зміну рН вихідної води до гранично допустимої величини, мг-екв/кг;

$Q_{c.ш}$ і $Q_{c.к}$ – добові скидання луку й кислоти в стічних водах відповідно, г-екв,

$$Q_{c.ш} = \frac{G_{ш}}{40} \frac{q_{ш} - 1}{q_{ш}} \cdot 10^3; \quad (6.3)$$

$$Q_{c.к} = \frac{G_{к}}{40} \frac{q_{к} - 1}{q_{к}} \cdot 10^3, \quad (6.4)$$

де $G_{ш}$ і $G_{к}$ – добові витрати луку і кислоти відповідно, кг;

$q_{ш}$ і $q_{к}$ – питомі витрати луку й кислоти при регенерації, г-екв/г-екв.

Величина $Щ$ визначається як

$$Щ = \frac{(10 \pm \Delta pH - 1) Щ_0}{1 + K_1^{pH_d} + \sqrt{\mu}}, \quad (6.5)$$

де $Щ_0$ – лужність вихідної води водойми, мг-екв/кг;

pH_d – допустимий показник рН води після змішання стічної води з водою водойми (6,5 - 8,5);

ΔpH – величина, на яку допустимо змінювати показник рН води водойми, $pH_d - pH_0$;

pH_0 – показник рН води при температурі водойми;

μ – іонна маса води у водоймі;

K_1 – константа першого ступеня дисоціації H_2CO_3 при температурі води у водоймі.

Якщо скидання стічних вод у водойму порушує ці умови, то необхідно застосовувати попередню нейтралізацію. Для визначення умов нейтралізації стічних вод водопідготовчих установок треба мати відомості про те, яку реакцію ΔpH (кислу або лужну) води будуть мати після змішання добового скидання в баках-усереднювачах. Це можна визначити зі співвідношення

$$\Delta = u(q_k - 1) \sum K - (q_{ш} - 1) \sum A, \quad (6.6)$$

де $\sum K$ й $\sum A$ – суми катіонів, що видаляються, і аніонів відповідно, г-екв/м³;

U – коефіцієнт, що показує, у скільки разів кількість води, оброблена на Н-катіонітних фільтрах, перевищує кількість води, обробленої на аніонітних фільтрах (за рахунок витрати води на власні потреби).

При $\Delta > 0$ стічна вода кисла, при $\Delta < 0$ – лужна.

Розрахунки й дослідні дані показують, що в переважній більшості випадків стічні води іонообмінної частини водопідготовчих установок після змішання скидань регенеративних вод від катіонітних й аніонітних фільтрів мають кислу реакцію. Тому для їхньої нейтралізації застосовують лужні реагенти: доломіт, мармурову крихту, луѓи, але найчастіше для цього вживають вапно.

Нейтралізація вапном зручна тим, що при цьому не спостерігається настільки різкого підвищення солемісту води, як при застосуванні інших реагентів. Це пояснюється тим, що нейтралізація стічних вод вапном супроводжується утворенням осаду, який потім виводиться з води.

Гарні результати отримані також при нейтралізації стічних вод аміачною водою. При цьому потрібні невеликі дози аміаку, невеликий солеміст нейтралізованої води не перевищує її солемісту після обробки вапном, однак без утворення домішок, що значно зручніше в експлуатації.

Добова витрата реагентів, необхідних для нейтралізації кислих вод,

$$Q_{C.P} = Q_{C.K} - Q_{C.Щ}, \quad (6.7)$$

а лужних

$$Q_{C.P} = Q_{C.Щ} - Q_{C.K}. \quad (6.8)$$

При нейтралізації вапном або еквівалентною кількістю шламу із передоочищення добова витрата 100 %-го СаО становить, кг,

$$Q_{CaO} = 28Q_{C.P} \cdot 10^{-3}. \quad (6.9)$$

Технологічно процес нейтралізації організується в баках-нейтралізаторах, полягає в заповненні баків кислими й лужними водами, подачі певної кількості нейтралізуючого розчину й перемішуванні рідини в баках до встановлення сталості рН нейтралізованої води.

Перемішування проводиться стисненим повітрям при його витраті 0,4-0,8 м³ на 1 м² поперечного перерізу бака-нейтралізатора. На рис. 6.8 наведені схеми нейтралізації стічної води у випадках, коли $\Delta > 0$.

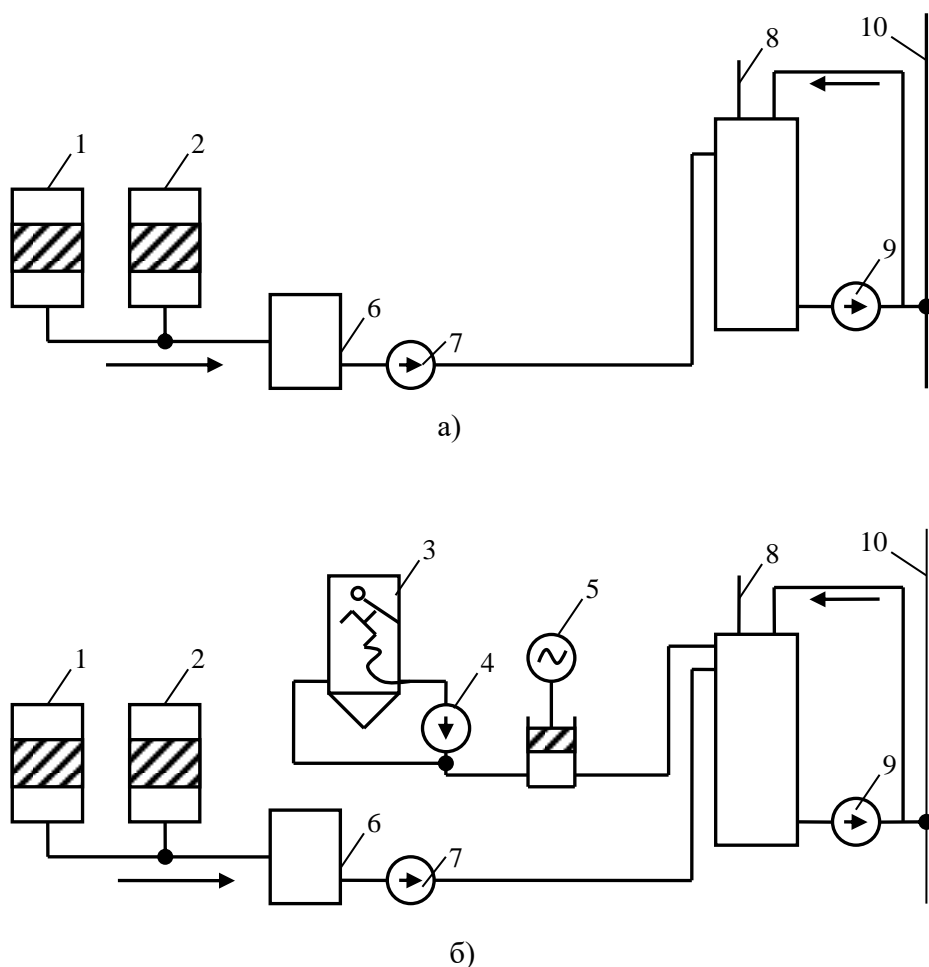


Рис. 6.8. Схеми самонейтралізації (а) і нейтралізації (б) вапном стічних вод водопідготовчих установок:
 1 – Н-катіонітний фільтр; 2 – аніонітний фільтр; 3 – вапняна мішалка; 4 – насос вапняної мішалки; 5 – насос-дозатор вапняного молока; 6 – приямок збору регенераційних вод; 7 – перекачувальний насос; 8 – бак нейтралізації; 9 – насос перекачування й скидання; 10 – охолоджувальна вода після конденсаторів турбін або водойми

Якщо після змішання регенераційних скидань вода має лужний характер, то її нейтралізацію краще проводити димовими газами (за рахунок розчинення CO_2 , SO_2 й NO_2). Споживаний об'єм димових газів V , необхідний для нейтралізації добового об'єму лужних стічних вод, визначається таким співвідношенням:

$$V = \frac{Q_{c.p} V_G}{10^3 \left(\frac{2,926 V_{\text{SO}_2}}{32} + \frac{1,965 V_{\text{CO}_2}}{22} + \frac{2,05 V_{\text{NO}_2}}{46} \right)}, \quad (6.10)$$

де V_G – повний об'єм димових газів, що утворюється при спалюванні палива, узятий при надлишку повітря після золовловлювача, $\text{м}^3/\text{кг}$ або $\text{м}^3/\text{м}^3$;

V_{SO_2} , V_{CO_2} , – обсяги відповідних газів, що утворюються при спалюванні палива, $\text{м}^3/\text{кг}$ або $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Цей процес ідентичний процесу рекарбонізації охолоджувальної води, і тому для його здійснення можна застосовувати розроблені схеми й апарати для рекарбонізації охолоджувальної води.

На рис. 6.9 наведена одна з можливих схем нейтралізації стічних вод водопідготовчих установок димовими газами з використанням барботажного способу розчинення газу у воді.

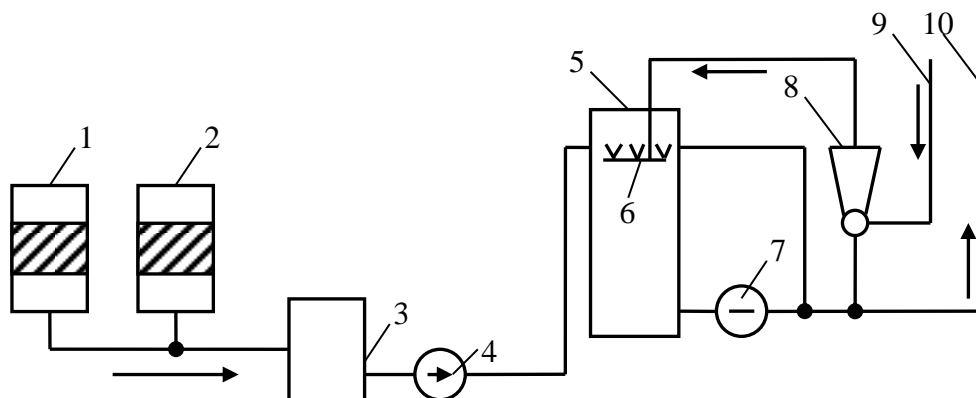


Рис. 6.9. Схема нейтралізації лужних регенераційних вод димовими газами:

1 – Н-катіонітний фільтр; 2 – аніонітний фільтр; 3 – приямок збору регенераційних вод; 4 – перекачувальний насос; 5 – бак нейтралізації; 6 – розподільна труба; 7 – насос перемішування й скидання; 8 – ежектор; 9 – димові гази, які очищені від золи; 10 – охолоджувальна вода після конденсаторів турбін або водойми

Зараз проробляється питання про застосування випарників для концентрування й глибокого упарювання стічних вод. З цією метою можуть бути застосовані випарники миттєвого скипання, що концентрують стічну воду до 200 г/кг солей.

Концентрат потім подається на установки переробки концентрованих стоків, де в апараті із заглибними пальниками (рис. 6.10) впарюються до одержання солі майже в сухому вигляді, яка може служити сировиною для виробництва або складуватися.

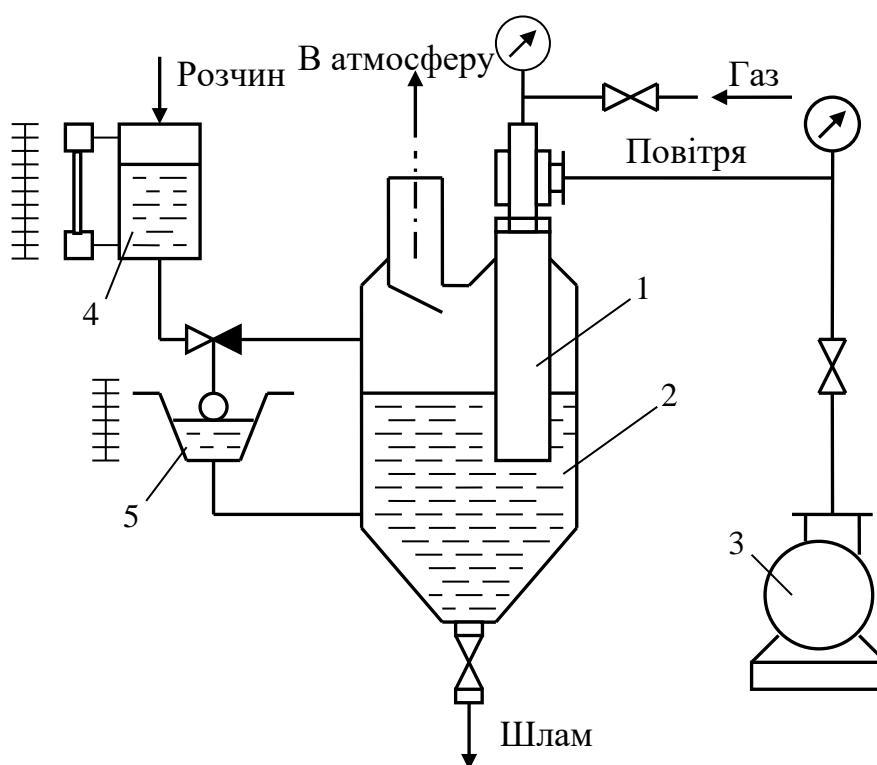


Рис. 6.10. Апарат заглибного горіння для випарювання стічних вод:

- 1 – заглибний пальник; 2 – апарат; 3 – вентилятор; 4 – бак;
- 5 – регулятор рівня

6.2.2. Очищення стічних вод від нафтопродуктів

У наш час для очищення стічних вод від нафтопродуктів застосовуються методи відстоювання, флотації й фільтрування.

Відстоювання

Широкому впровадженню методу відстоювання сприяють самодовільність розподілу води й нафтопродуктів і висока

ефективність розподілу. Раніше було зазначено, що основна частина нафтопродуктів перебуває в стічній воді в емульсованому стані, тобто у вигляді окремих дрібних частинок, нафтопродуктів у воді. Частинки у воді під дією сил поверхневого натягу набувають сферичної форми, і їхні розміри лежать в інтервалі $3-2 \cdot 10^2$ мкм. Величина, зворотна розміру частинки, називається ступенем дисперсності.

Таким чином, чим вище ступінь дисперсності системи «нафтопродукти-вода», тим більш малі частинки нафтопродуктів входять у неї. Концентрація нафтопродуктів у стічній воді ТЕС, що надходить на очищення, дуже мала. Висока дисперсність частинок і мала величина їхньої концентрації у воді призводять до досить високої агрегативної стійкості таких систем або малої змінюваності ступеня дисперсності в часі.

В основі процесу відстоювання лежить принцип виділення нафтопродуктів під дією різниці густини води й частинок мастила. Відстоювання мастила відбувається в спеціальних нафтовловлювачах, типова схема одного з яких показана на рис. 6.11.

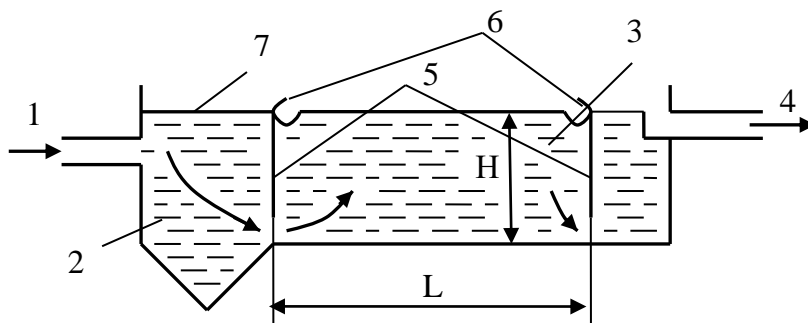


Рис. 6.11. Схема типового нафтовловлювача:

- 1 – стічна вода; 2 – приймальна камера; 3 – відстійна зона;
- 4 – очищена вода; 5 – вертикальні напівзанурені перегородки;
- 6 – нафтозбірні труби; 7 – плівка нафтопродуктів, що спливли

У нафтовловлювачі стічна вода подається в приймальну камеру й, пройшовши під напівзануреною перегородкою, потрапляє у відстійну камеру, де й відбувається процес розподілу

води й мастила. Очищена вода, пройшовши під другою напівзануреною перегородкою, виводиться з нафтовловлювача, а частки мастила, що спливли на поверхню води, утворюють плівку, яка видаляється спеціальним пристроєм.

Розрахунок нафтовловлювачів заснований на таких допущеннях [16]:

- швидкість руху води у всіх точках поперечного перетину однакова;
- потік води має ламінарний характер;
- швидкість спливання частинок мастила постійна протягом усього часу проходження потоку через відстійну частину нафтовловлювача.

Для спливаючої частинки мастила рушійною силою є сила Архімеда:

$$F_A = \frac{4}{3} \pi \cdot r_q^3 (\rho_v - \rho_q) \cdot g, \quad (6.11)$$

де ρ_v і ρ_q – густина води й частинки мастила відповідно, кг/м³;

r_q – радіус частинки мастила, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Опір руху частинки у воді при ламінарному режимі визначається формулою Стокса

$$F_c = 6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r \cdot v_q, \quad (6.12)$$

де μ_v – динамічна в'язкість води, Па·с;

v_q – швидкість спливання частинки, м/с.

При сталому русі частинки $F_A = F_c$, і тоді швидкість її спливання

$$v_q = \frac{2}{9} \cdot \frac{g \cdot r_q^2}{\nu_v} \left(1 - \frac{\rho_q}{\rho_v} \right), \quad (6.13)$$

де ν_v – кінематична в'язкість води, м²/с.

У звичайних умовах роботи нафтовловлювачів максимальний розмір частинки, що підкоряється при русі закону Стокса, не перевищує 250-300 мкм, тобто швидкості всіх частинок, що перебувають у стічній воді, яка направляєється на очищення, можна визначити за формулою (6.13).

У відстійній частині нафтовловлювача частинки мастила рухаються разом з потоком води, швидкість якого приймається звичайно 0,005-0,01 м/с.

Таким чином, частинки мастила, що спливають, рухаються по траєкторії, яка є рівнодіючою цих двох швидкостей (рис. 6.12).

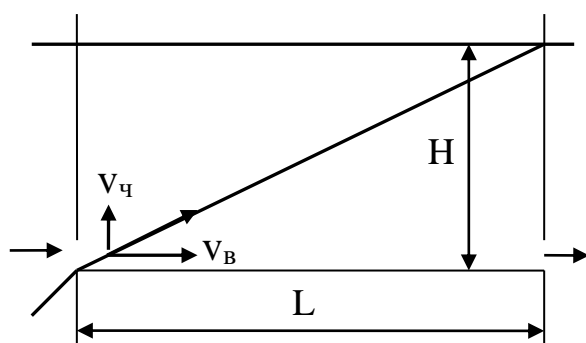


Рис. 6.12. Рух частинок нафтопродукту у відстійній камері

При розрахунку нафтовловлювача необхідно вибрати таку довжину відстійної зони, щоб всі частинки вище заданого розміру встигли потрапити на поверхню за час проходження потоку води в цій зоні.

З рис. 6.12 видно, що така умова досяжна при співвідношенні

$$\tau = \frac{H}{v_{\text{ч}}} = \frac{L}{v_{\text{м}}}, \quad (6.14)$$

де H – глибина нафтовловлювача, м;

L – довжина відстійної зони, м.

Ширина нафтовловлювача B визначається з виразу

$$B = \frac{Q_{\text{в}}}{v_{\text{в}} \cdot H}, \quad (6.15)$$

де $Q_{\text{в}}$ – витрата води через відстійну зону, м³/с.

Зі схеми роботи нафтовловлювача (рис. 6.11) видно, що потік води на вході в нафтовловлювач й виході з неї значною мірою відрізняється від горизонтального. Більш того, експериментальні дослідження показали, що потік води у відстійній зоні при прийнятих умовах роботи нафтовловлювача не є ламінарним. Причинами виникнення турбулентного режиму течії води у відстійній зоні можуть бути нерівномірності підведення води й розподілу її по перетину, зміна температури води й концентрації домішок і т. д. Всі ці фактори сприяють перемішуванню води у відстійній зоні й вирівнюванню концентрації мастила за об'ємом.

Турбулентний режим характеризується наявністю пульсаційних швидкостей, вертикальні складові яких значно ускладнюють виділення частинок мастила з потоку води.

Тому дійсна швидкість виділення частинок у відстійній зоні нафтовловлювача буде дорівнювати $v_q - w_z$.

З урахуванням цього довжина відстійної зони повинна бути збільшена проти її величини, визначеної з рівняння (6.14):

$$L = \frac{v_g}{v_q - w_z} \cdot H. \quad (6.16)$$

При цьому збільшиться й час проходження потоку води через відстійну зону:

$$\tau' = \frac{H}{v_q - w_z}. \quad (6.17)$$

Експериментальні дослідження роботи нафтовловлювачів показали, що з достатньою для практики точністю значення w_z може бути прийнято $0,04 \cdot v_q$.

Ефективність роботи нафтовловлювача може бути визначена за формулою

$$\eta = \frac{1}{\kappa} \left(1 - e^{-\kappa \frac{v_q \cdot L}{v_g \cdot H}} \right), \quad (6.18)$$

де κ – експериментальний коефіцієнт, що враховує турбулентність потоку води на практиці (при ламінарному режимі $\kappa=1$).

Як наслідок із цієї формули, ефективність роботи нафтовловлювача залежить від його геометричних розмірів і від швидкості спливання частинок.

Значний вплив на ефективність роботи нафтовловлювача має температура води. Збільшення температури води призводить до зниження її в'язкості, що сприяє, як видно з формули (6.13), поліпшенню умов виділення частинок, але зміна температури впливає також на величину сили Архімеда через зміну густини води й мастила. Причому для деяких марок мазуту зміна температури може призвести до втрати плавучості ($\Delta\rho=0$) і навіть до осідання частинок ($\Delta\rho>0$).

Практика показує, що при температурі води нижче 30 °С мазут осідає в нафтовловлювачі, в інтервалі 30-40 °С частинки мазуту перебувають у зваженому стані й лише при температурі понад 40 °С проявляється ефект спливання частинок. Високов'язкі крекінг-залишки мають густину вище за густину води у всьому інтервалі температур очищеної води, і тому частинки таких нафтопродуктів не можуть бути виділені на поверхню води.

Для відділення частинок мастила підвищення температури води є сприятливим, оскільки в цьому випадку основний вплив на процес виділень має зниження в'язкості води.

На практиці користуються значенням приведенного до одиниці поверхні виділення F витрати води, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$,

$$q_g = \frac{Q_g}{F}. \quad (6.19)$$

З урахуванням формул (6.13), (6.15), (6.19), а також співвідношення $F=BL$ вираз (6.19) буде мати такий вигляд:

$$q_e = \frac{2}{9} \cdot \frac{g \cdot r_q^3}{v_e} \left(1 - \frac{\rho_q}{\rho_e} \right) \frac{k}{\ln \left(\frac{1}{1 - k \cdot \eta} \right)}. \quad (6.20)$$

З формули (6.20) видно, що q_e залежить від дисперсності й густини виділюваного нафтопродукту, характеру потоку, ефективності очищення й не залежить від конструктивних розмірів нафтовловлювача. Ця величина є основою для проектування нафтовловлювачів, оскільки вона однозначно визначає поверхню виділення $F = BL$, необхідну для ефективного очищення води від частинок мастила наперед заданого діаметра.

У наш час для очищення води від нафтопродуктів застосовуються різні модифікації нафтовловлювачів.

На рис. 6.13 зображено нафтовловлювач, який являє собою горизонтальний відстійник, розділений поздовжніми стінками на дві або більше паралельно працюючі секції. Стічна вода надходить у розподільну камеру, звідки розподіляється через щілинні перегородки по секціях. Нафтопродукти, що спливають на поверхню у відстійних камерах, зганяють скребковим пристроєм до щілинних поворотних труб, розташованих на початку й кінці відстійних зон кожної секції, через які вони виводяться з нафтовловлювача. Очищена вода проходить під напівзатопленими перегородками в кожній секції, переливається в збірний колектор і залишає нафтовловлювач. За наявності потопаючих домішок у стічній воді домішки випадають на дно нафтовловлювача, згрібаються тим самим скребковим транспортером у приямок і за допомогою донного клапана (або гідроелеватора) виводяться з нафтовловлювача.

Нафтовловлювачі такого типу розраховують на продуктивність 15-220 кг/с за стічною водою. Число секцій у нафтовловлювачі 2-4. Ширина кожної секції 3-6 м, глибина 2,2-3 м і довжина 18-36 м залежно від продуктивності нафтовловлювача. Наведена витрата води приймається 0,278-0,764 кг/(м²с) (при роботі однієї секції).

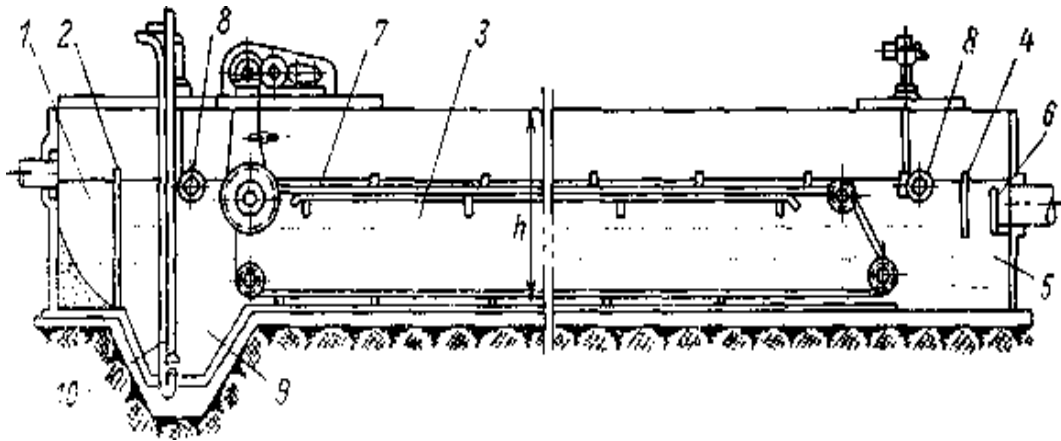


Рис. 6.13. Нафтовловлювач зі скребковим механізмом:
 1 – приймальна камера; 2 – перегородка; 3 – відстійна зона;
 4 – перегородка; 5 – випускна камера; 6 – переливний лоток;
 7 – скребок; 8 – поворотні щілинні труби; 9 – прямок;
 10 – гідроелеватор

Ефективність роботи таких нафтовловлювачів в основному визначається величинами густини й дисперсності нафтопродуктів у стічній воді. При високій дисперсності частинок мастила в стічній воді ефективність їхньої роботи невисока. Для підвищення ефективності їхньої роботи застосовують розосереджене відведення частини води із зони зі зниженою концентрацією домішок або обладнують нафтовловлювачі елементами тонкошарового відстоювання у вигляді пакетів похилих пластин.

На рис. 6.14 показана схема виділення мастила з води у такому пристрої.

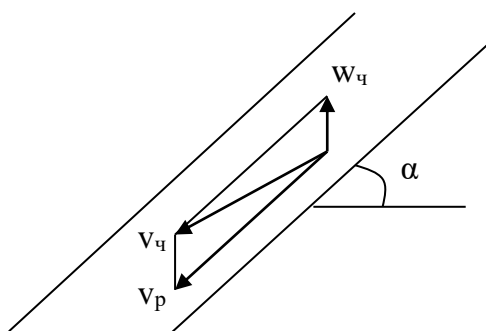


Рис. 6.14. Схема руху частинки мастила в каналі тонкошарового пакета

Звичайно вода подається між пластинами в напрямку зверху вниз. Частинки мастила виділяються з води й попадають на поверхню верхньої пластини. Відстань між двома сусідніми пластинами h (зазор) невелика (порядку 50-100 мм), тому з достатньою для практики точністю потік води, що протікає в цьому зазорі, можна вважати ламінарним (при $Re < 600$). При невеликому зазорі частинка мастила набагато швидше досягає поверхні виділення. Час руху частинки

$$\tau = \frac{h}{v_g \cdot \cos \alpha}, \quad (6.21)$$

де α — кут нахилу пластин до горизонту, який обирається звичайно 45° .

Тоді довжина каналу l , необхідна для виділення частинки з даною швидкістю руху, складатиме

$$l = v_{g,sp} \cdot \tau, \quad (6.22)$$

а кількість таких каналів

$$n = \frac{Q_g \cdot \tau}{B \cdot L \cdot h}, \quad (6.23)$$

де B — ширина каналу, м;

$v_{g,sp}$ — осереднена швидкість руху води через канал, м/с.

Наведена до поверхні виділення витрата води в каналах запишеться так:

$$q_g = \frac{Q_g}{n \cdot B \cdot l} = v_g \cdot \cos \alpha. \quad (6.24)$$

Як видно з формули (6.24), максимальне значення q_g буде при $\alpha=0$, тобто при горизонтальному установленні каналів. Однак у цьому випадку виникає проблема відведення виділеного на поверхнях пластин мастила. При $\alpha > 0$ плівка мастила, що осіла на пластини, мимовільно рухається уздовж них (униз при $\rho_{ч} - \rho_{в} > 0$

і нагору при $\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}} < 0$). Найменша довжина каналу при виділенні домішки з $\rho_{\text{ч}} < \rho_{\text{в}}$ забезпечується при спадному потоці води, $\rho_{\text{ч}} > \rho_{\text{в}}$ – при висхідному. Пакет похилих пластин занурений під дзеркало води в нафтовловлювачі, в якому накопичуване біля верхніх країв пластин мастило відривається у вигляді великих крапель; мастило спливає на поверхню води й видаляється звичайними способами (рис. 6.15).

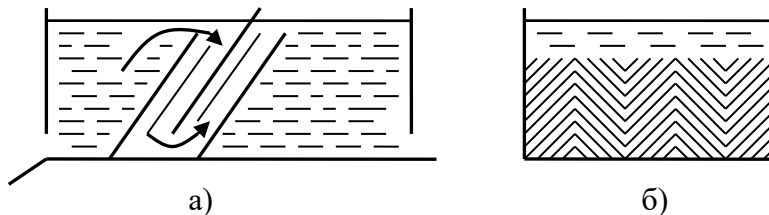


Рис. 6.15. Варіанти установлення пакетів пластин у відстійній зоні:
а) з поперечним установленням пластин; б) з поздовжнім установленням пластин (поперечний розріз)

Пакети похилих пластин можуть застосовуватися для підвищення ефективності роботи типових нафтовловлювачів; їх установлюють як поперек, так й уздовж потоку води. При такій модернізації обсяг типового нафтовловлювача скорочується в 6 разів, а час обробки води в 8 разів.

Флотація

Флотація крапель мастила й стічної води заснована на їхній здатності утворювати комплекси із частинками, що мають гідрофобну поверхню, у якості яких і використовуються бульбашки повітря, якими спеціально насичують для цього стічну воду. При цьому швидкість спливання таких комплексів приблизно в 10^2 - 10^3 разів перевищує швидкість спливання частинок мастила. При відстоюванні спливання крапель мастила відбувається з дуже малими швидкостями (порядку 1 мм/с). Набагато більш інтенсивно відбувається процес поділу крапель мастила й води при флотації стічної води.

Механізм утворення комплексу «частинка-бульбашка» може бути різним. Відповідно до цього розрізняють напірну флотацію, при якій бульбашки повітря виділяються з пересиченого розчину

його у воді, і безнапірну, котра здійснюється за допомогою бульбашок повітря, що вводять у воду спеціальними пристроями.

Одним з важливих завдань у процесі флотації є створення великої поверхні розділу вода-повітря. Це може бути досягнуте як збільшенням кількості бульбашок повітря у воді, так і підвищенням їхньої дисперсності. Високу концентрацію дрібних бульбашок можна одержати, використовуючи механічні методи, електроліз, виділення їх з пересиченого повітрям розчину при зменшенні тиску.

При миттєвому зниженні тиску розмір бульбашки повітря може бути визначений за формулою Лапласа

$$r_n = \frac{2 \cdot \sigma_{z/p}}{p_1 - p_2}, \quad (6.25)$$

де $\sigma_{z/p}$ – поверхневий натяг на межі газ (повітря)-рідина (вода).

При напірній флотації (рис. 6.16) повітря розчиняється у воді під надлишковим тиском до 0,5 МПа, для чого звичайно в трубопроводі перед насосом подається повітря, а потім водоповітряна суміш протягом 8-10 хв перебуває в спеціальній напірній ємності. Звідки й подається у флотатор, де відбуваються скидання тиску, утворення бульбашок повітря й власне флотаційний процес поділу води й домішки. При скиданні тиску на вході води у флотатор повітря, розчинене у воді, утворює пересичений розчин, і при його виділенні з розчину практично миттєво ($\sim 10^{-12}$ с) утворюються зародкові бульбашки.

Інтенсивне утворення бульбашок починається при перепаді тиску $\Delta p = 0,002 - 0,004$ МПа. На практиці цей перепад має значно більшу величину, і при цьому ймовірність утворення бульбашок як в обсязі води, так і на частинках практично дорівнює одиниці.

При безнапірній флотації (рис. 6.17) утворення бульбашок відбувається за рахунок механічних (насосом, ежектором, турбіною й ін.) або електричних сил і, власне кажучи, у флотатор вводиться вже готова дисперсна система бульбашки-вода. Утворення комплексів бульбашка-частинка при безнапірній флотації відбувається в результаті прискореного спливання

бульбашок у воді (порівняно із частинками) і зіткнення цих бульбашок із частинками.

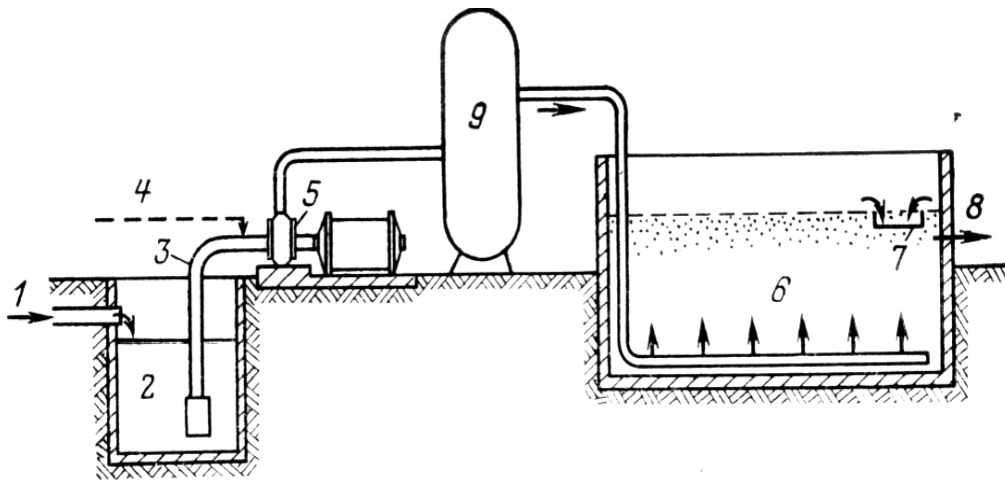


Рис. 6.16. Схема установки напірної флотації:

1 – вхід води; 2 – приймальний резервуар; 3 – усмоктувальна труба; 4 – повітропровід; 5 – насос; 6 – флотаційна камера; 7 – пінозбірник; 8 – відведення очищеної води; 9 – напірна ємність

Швидкість спливання бульбашок і частинок істотно залежить від густини й в'язкості середовища, у якій вони рухаються.

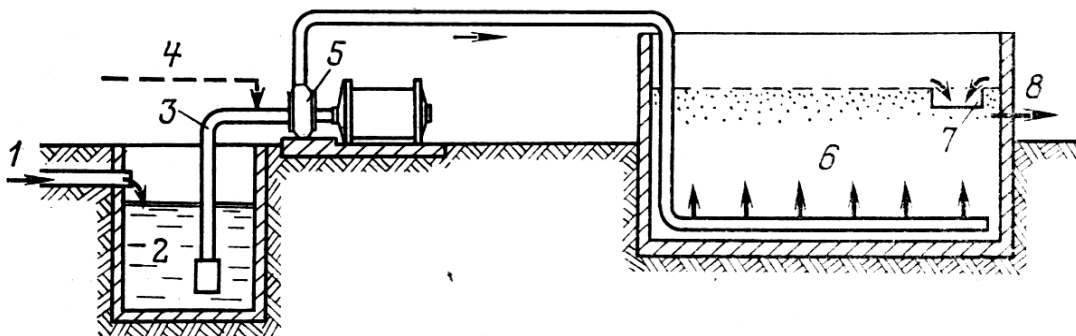


Рис. 6.17. Схема установки для безнапірної флотації:

1 – вхід води; 2 – приймальний резервуар; 3 – труба, що всмоктує; 4 – повітропровід; 5 – насос; 6 – флотаційна камера; 7 – пінозбірник; 8 – вихід очищеної води

Для встановлення міцного контакту між бульбашкою і частинкою, що зіштовхуються, потрібен певний час, що не

повинний бути менше тривалості їхнього зіткнення під час зустрічі, оцінюваної в межах $4 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-3}$ с.

Бульбашки великих розмірів піднімаються у воді з великою швидкістю й при зіткненні із частинками відштовхують їх, і часу зіткнення бульбашки й частинки не вистачає для встановлення міцного контакту між ними. З іншого боку, занадто дрібні пухирці мають малу швидкість підйому і замість зіткнення між такими бульбашками й частинками відбувається їхнє повільне зближення, що у більшості випадків не призводить до утворення комплексів. Оптимальні розміри бульбашок 15-30 мкм. Швидкість спливання бульбашок такого розміру із захопленими частинками нафти становить у середньому $0,9 \cdot 10^{-3}$ м/с, що в 900 разів перевищує швидкість спливання частинки нафти розміром 1,5 мкм.

Основною частиною флотаційних установок є апарати, де власне й здійснюється процес очищення, – флотовідстійники або, як їх частіше називають, флотатори. Для очищення стічних вод на ТЕС застосовуються горизонтальні багатокамерні флотатори типу ЦНИИ-5 (див. рисунок у п. 6.3) і радіальні флотатори.

Флотатор ЦНИИ-5 виготовляються продуктивністю за стічною водою до 50-60 м³/год, що працює за принципом напірної флотації. Стічні води, що направляють для очищення, скидаються в усереднювач-відстійник, де відбувається не тільки усереднення складу стічної води, але й попереднє виділення з неї грубодисперсних речовин. Потім за допомогою насоса або ежектора стічні води подаються у вихровий змішувач, що являє собою відкритий гідроциклон, де відбувається перемішування з коагулянтном, що подається в стічні води для підвищення ефективності процесу.

В установках такого типу насичується повітрям частина очищеної води, причому насичення проходить за допомогою ежектора.

Водоповітряна суміш втримується в напірному баці для розчинення повітря й потім підмішується до вихідної води. Це підмішування відбувається в гідроелеваторі, вихровому змішувачі й камерах флотатора. З першої камери флотації вода, що

очищується, надходить послідовно в другу й третю камери, які розділені напівзаглибними перегородками. Впуск водоповітряної суміші здійснюється через перфоровані труби у виділений напівзаглибними перегородками простір перед першою й другою камерами. Остання по ходу води камера є відстійною.

Очищена вода направляєється із флотатора, а виділені нафтопродукти скребковим транспортером видаляються з поверхні у відсік біля передньої стінки, куди підведена пара для їхнього нагрівання для зменшення в'язкості при перекачуванні. Експериментальні дослідження такого флотатора показали, що в безреагентному режимі роботи ефективність видалення нафтопродуктів у ньому склала 60 %.

У радіальному флотаторі вода з розчиненим у ній повітрям подається в обертовий водорозподільник (що діє на зразок сегнерова колеса) і за його допомогою рівномірно розподіляється по перетину зони флотації (внутрішнє кільце).

При скиданні тиску на виході води з водорозподільника виділяються повітряні бульбашки, які й флотують частинки нафтопродуктів. Потім вода надходить у зону відстоювання (зовнішнє кільце), де з неї виділяються комплекси бульбашок і частинок, потім проходить під перегородкою й зливається в кільцевий лоток на зовнішній стінці флотатора, звідки направляєється на подальше очищення. Нафтопродукти, що виділилися у відстійній зоні, видаляються скребками з поверхні води в діаметрально розташований лоток і направляються в бак (рис. 6.18).

Осад із дна апарата видаляється через трубу для спорожнювання камери.

Такі флотатори виконуються з бетону й при будівництві заглиблюються в землю. При продуктивності 200 м³/год діаметр радіального флотатора дорівнює 4,5 м. Основні недоліки таких флотаторів: мала ефективність процесу, необхідність проведення земляних і залізобетонних робіт при їхньому установленні, розташування під відкритим небом й ін.

Фільтрування

Фільтрування стічних вод, забруднених нафтопродуктами, звичайно використовується на заключних стадіях їхнього очищення, і на цій підставі його часто відносять до методів доочищення. Процес фільтрування стічних вод заснований на

адгезії (прилипанні) частинок нафтопродуктів до поверхні зерен фільтруючого матеріалу.

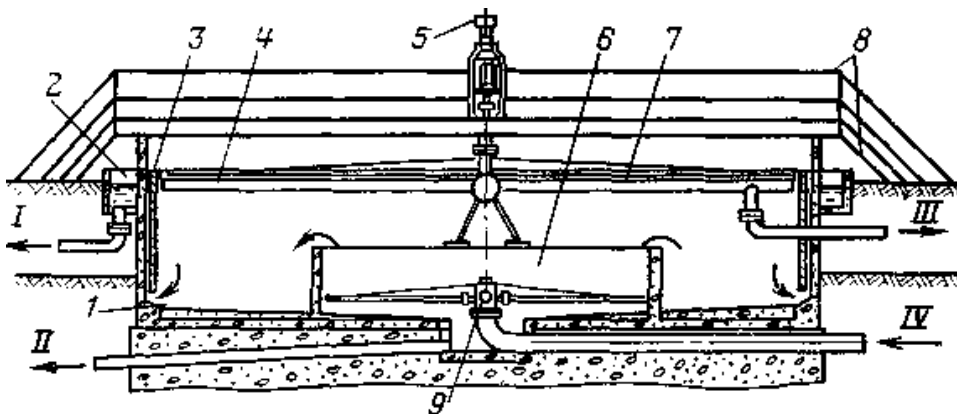


Рис. 6.18. Схема радіального флотатора:

1 – відстійна камера; 2 – збірний лоток для води; 3 – піноутримувальна перегородка; 4 – пінозбірна ринва; 5 – електропривод; 6 – флотаційна камера; 7 – скребок; 8 – місток для обслуговування; 9 – обертовий водорозподільник; I – очищена вода; II – труба для спорожнювання камери; III – піна; IV – вода, що очищується

Одним з основних факторів, що визначають процес фільтрування емульсій мастил, є дисперсний склад частинок мастила, що складають дисперсну фазу. Оскільки фільтруванню звичайно передують попередні стадії очищення (відстоювання, флотація), перед фільтрами вода являє собою дуже розведену емульсію типу «мастило-вода» з концентрацією нафтопродуктів 10^{-4} - 10^{-6} в об'ємних частках.

Більш того, на попередніх стадіях очищення зі стічної води переважно видалялися найбільш великі частинки, тому вода, що надходить на фільтрування, містить переважно дрібні частинки. Така система відрізняється високим ступенем агрегативної стійкості, тобто може недовгий час зберігати сталість дисперсного складу, а з іншого боку, достатньою седиментаційною стійкістю – нездатністю практично до самовільного поділу.

Механізм затримки частинок нафтопродуктів при фільтруванні емульсії полягає в тому, що частинки нафтопродуктів виділяються з потоку води на поверхню зерен фільтруючого матеріалу й заповнюють найбільш вузькі пори

каналів. У цьому випадку важливе значення має характер поверхні фільтруючого матеріалу в початковий період фільтрування. При гідрофобній поверхні частинки добре прилипають до зерен. При гідрофільній – прилипання ускладнено через наявність гідратної оболонки на поверхні зерен. Однак обмежено прилипання спостерігається й у цьому випадку за рахунок ділянок поверхні зерен, на яких гідратна оболонка порушена з тих або інших причин (мікротріщини, дефекти поверхні, наявність ребер й ін.). Тому на гідрофільних матеріалах початковий період фільтрування, коли частинки слабо затримуються фільтруючим шаром, виражений сильно. Однак частинки, що прилипають, витісняють гідратну оболонку, і починаючи з якогось моменту часу поверхня виявляється повністю покритою виділеними з води нафтопродуктами. Із цього моменту фільтруючий матеріал працює як гідрофобний, поверхня якого практично відразу може втримувати частинки, через що початкова ділянка фільтрування в такого матеріалу виражена слабо.

При фільтруванні частинки мастила вловлюються шаром, заповнюючи частину обсягу пор і насичуючи цей обсяг. Збільшення насичення призводить до того, що даний обсяг шару не в змозі втримувати захоплене мастило, і воно у вигляді плівки стікає по стінках каналів уздовж руху потоку води. У підсумку після закінчення деякого часу встановлюється рівновага між кількістю мастила, що виділяється з потоку на стінки, і кількістю мастила, що стікає у вигляді плівки в наступні по ходу потоку шари фільтруючого матеріалу. Насиченість даної ділянки шару при цьому досягає максимально можливого за даних умов (критичного) значення.

Із часом фронт максимальної насиченості зрушується до нижньої границі фільтруючого шару й концентрація мастила у фільтраті збільшується. Це служить сигналом для відключення фільтра на регенерацію, якщо він не відключається по перепаду тиску води. При фільтруванні для продовження циклу дуже важливо максимально використати весь обсяг фільтруючого шару. Тим часом основне зниження концентрації мастила у воді відбувається на верхній ділянці шару висотою близько 0,2 м. Інша частина шару (близько 0,8 м) значно менше задіяна у процесі вловлювання частинок. Таке явище відбувається за

рахунок того, що при низьких температурах води (15°C) в'язкість частинок мастила велика, і вони швидко заповнюють початкову ділянку шару, практично не стікаючи вниз.

Підвищення температури води сприяє зменшенню в'язкості мастила й, отже, більш рівномірному його розподілу по висоті шару.

Ємність шару при цьому збільшується, однак ефективність процесу трохи знижується. Так, наприклад, при швидкості фільтрування 5 м/год і температурі води 60 °С ефективність фільтрування на сульфовугіллі фракції 0,5-0,8 мм становить у середньому 80 %, у той час як при температурі води 15 °С вона становить 90 %. Ємність фільтруючого шару при 60 °С становить 3,9 кг/м³ проти 3,2 кг/м³ при температурі 20 °С.

Традиційними матеріалами для завантаження фільтрів є кварцовий пісок й антрацит. Іноді застосовують сульфовугілля, відпрацьоване в Na-катіонітних фільтрах.

Останнім часом запропоновані й інші матеріали, придатні для процесів фільтрування. Значення ємностей (кг/кг) поглинання мастила для різних фільтруючих матеріалів (при умовах дослідження: швидкість фільтрування – 5 м/год, температура води – 20-25 °С, висота шару – 0,4 м, фракція – 0,5-2,0 мм) – становлять для кварцового піску – 0,11, антрациту – 0,2, сульфовугілля – 0,22, нафтового коксу – 0,23, ливарного коксу – 0,25, горілої породи – 0,26, котельних шлаків – 0,24-0,33, керамзиту – 0,33, активованого вугілля марки БАУ – 0,89.

Регенерацію насипних фільтрів варто робити не відмиванням водою, як це робилося колись, а подачею водяної пари тиском 0,03-0,04 МПа через верхній розподільний пристрій. Пара розігріває вловлені нафтопродукти, і вони під тиском витісняються із шару. Пара при цьому конденсується. Витрата пари на регенерацію становить (у перерахуванні на конденсат) не більше 1-2 обсягів фільтруючого шару. Тривалість регенерації залежить від виду нафтопродукту й ступеня забруднення фільтра й не перевищує 3 год.

6.2.3. Очищення стічних вод обмивання поверхонь нагріву котлів

При очищенні вод обмивання виникає проблема не тільки їх знезараження, але і одночасного виділення цінних продуктів:

ванадію, нікелю з розчинів вод обмивання. Води обмивання РВП виявляються кислими розчинами ($\text{pH}=1,3-3,0$), які містять як грубодисперсні домішки: окиси заліза, кремене кислоти, продукти недопалу, нерозчинну золу, які легко виділяються при відстоюванні; так і домішки в істинно-розчинному стані: вільну сірчану кислоту, сульфати важких металів, сполуки ванадію, нікелю, міді та ін.

Простішим рішенням при очищенні обмивальних вод є їх нейтралізація лужними розчинами: гідроксидом натрію, содою, вапном – з метою виділення шкідливих речовин в осад з послідовним його відділенням від води. Така одноступінчаста схема зображена на рис. 6.19.

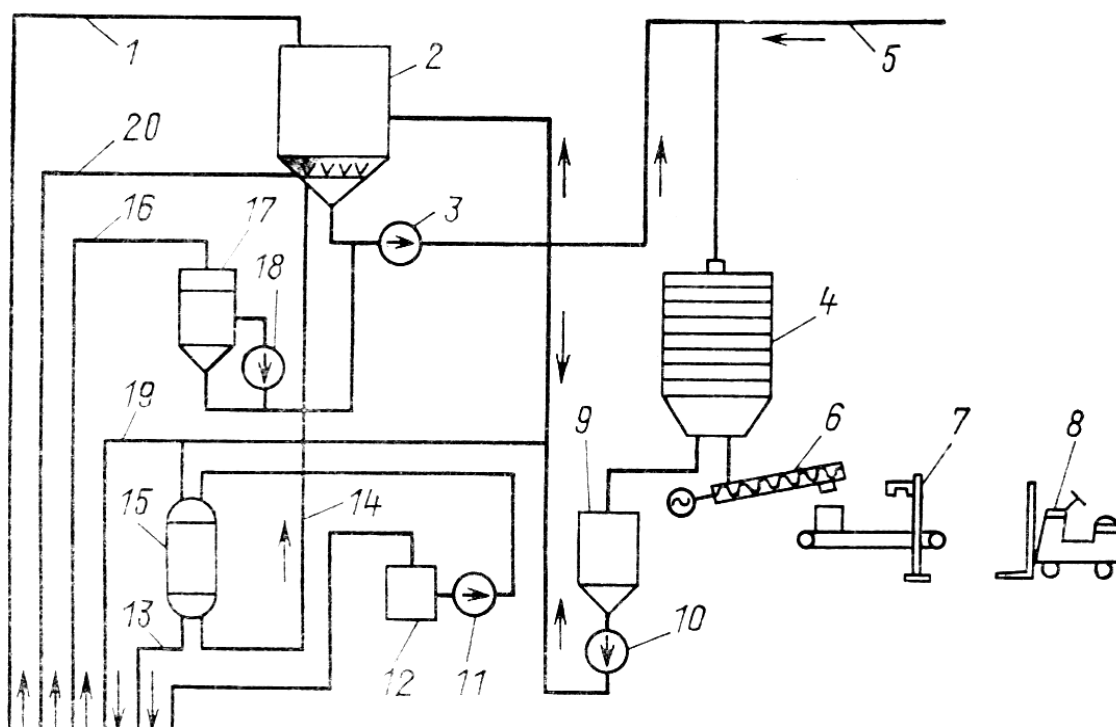


Рис. 6.19. Схема установки для нейтралізації обмивальних вод котлів й РВП:

1 – обмивальна вода; 2 – бак-нейтралізатор; 3 – насос; 4 – прес-фільтр; 5 – технічна вода; 6 – шнековий транспортер; 7 – машина для зашивання мішків; 8 – завантажник; 9 – бак-збірник; 10 – насос фільтрата; 11 – насос розчину солі; 12 – мірний бак; 13 – фільтрат; 14 – регенераційний розчин; 15 – катіонітний фільтр; 16 – вапняне молоко; 17 – мішалка; 18 – насос; 19 – освітлювальна вода; 20 – стиснуте повітря

Нейтралізація проводиться вапном або гідроксидом натрію. У результаті додавання вапна отримують слаболужний розчин, який насичений CaSO_4 і містить осад такого складу: CaSO_4 – 24,6 %; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ – 67,2 %; $\text{NiO} + \text{CuO}$ – 1,1 %; V_2O_5 – 5,1 %; інші речовини – 2 %.

При осадженні гідроксидом натрію склад шламу буде таким: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ – 89 %; $\text{NiO} + \text{CuO}$ – 1,5 %; V_2O_5 – 6,7 %; інші речовини – 2,8 %.

Води обмивання додаються у бак-нейтралізатор, у якому також дозується і розчин вапна. Перемішування виконується насосами рециркуляції й стиснутим повітрям. Відстоювання проводиться протягом 7-8 год, після чого частина освітленої води (50-60 %) використовується повторно на обмивання котлів, а шлам подається на зневоднення на прес-фільтри.

Потім шлам, який має 37-40 % води, подається шнековим транспортером на розфасовку і на склад. Фільтрат з прес-фільтра через бак-збірник поступає на катіонітний фільтр, де вловлюється остаток катіонітів важких металів. Фільтрат катіонітного фільтра скидається у водойму. Однак шлам, який отримується, збагачений окисами заліза й алюмінію, сірчистим кальцієм. Хоча концентрація ванадію невелика, але його можна осаджувати з залізом у дві стадії.

Регенерація фільтра проводиться розчином NaCl , а регенераційні води скидають у бак-нейтралізатор.

6.2.4. Очищення стічних вод хімічних промивань і консервації устаткування

Очищення залежить від стану домішок у воді, який визначається прийнятими методами хімічного очищення обладнання. При знешкоджуванні стічних вод промивань основним завданням є порушення комплексів металів з реагентами, які були створені при промиваннях, а також виділення цих металів в осад.

Способи очищення промивних і консерваційних вод визначено пов'язано з видом палива й прийнятою схемою видалення золи на ТЕС. Тому існують два варіанти очищення таких вод:

- очищення на ТЕС, яка працює на твердому паливі з розімкнутою (прямотоковою) системою гідрозоло-видалення (ГЗВ);

- очищення на ТЕС, яка працює на твердому паливі із замкнутою (оборотною) системою ГЗВ.

Перший варіант очищення вод промивань припускає три стадії:

- збирання усіх розчинів, які відпрацювали, й частини найбільш забруднених вод обмивань ($pH < 6$) у ємності-усереднювачі;

- виведення з розчину токсичних речовин другої групи у баках-нейтралізаторах з утилізацією осаду (див. табл. 5.1);

- очищення води від речовин третьої групи (див. табл. 5.1).

Об'єм ємностей усереднювачів повинен відповідати повній кількості розчинів, які використовуються на одне промивання, що містять домішки другої і третьої груп, з урахуванням трикратного розбавлення цих розчинів водою, яка витискує їх з контуру.

Ємність-усереднювач (рис. 6.20) виконується у вигляді котлована з нефільтруючим покриттям (три шари: щебінь, пісок і жирна глина) або у вигляді баків. У цих ємностях за рахунок зливання кислих і лужних промивних вод виконується часткова нейтралізація води, для прискорення якої вода перемішується за допомогою циркуляційних насосів або повітрям. Потім вода перепускається у баки-нейтралізатори, у яких відбувається виділення токсичних речовин. Виділення досягається обробкою води вапном або іншими реагентами, причому величину рН нейтралізованого розчину підбирають залежно від тих сполук у воді, які необхідно з нею виділити.

Процес нейтралізації і осадження у баках-нейтралізаторах продовжується до 7-8 год. Шлам, який осів, подається в шламовідвал. У зв'язку з тим, що вода має високе значення рН і з неї не видалена частина органічних сполук, вода не може бути відразу скинута у водойму. Тому в бак-нейтралізатор подається ще і кислота до встановлення значення $pH = 7,5-8,5$, а потім проводиться біохімічне очищення води. Однак існують відомі обмеження для концентрації деяких речовин у воді, яка направляється на біохімічне очищення. При підвищених концентраціях деякі речовини можуть стати отруйними для мікроорганізмів.

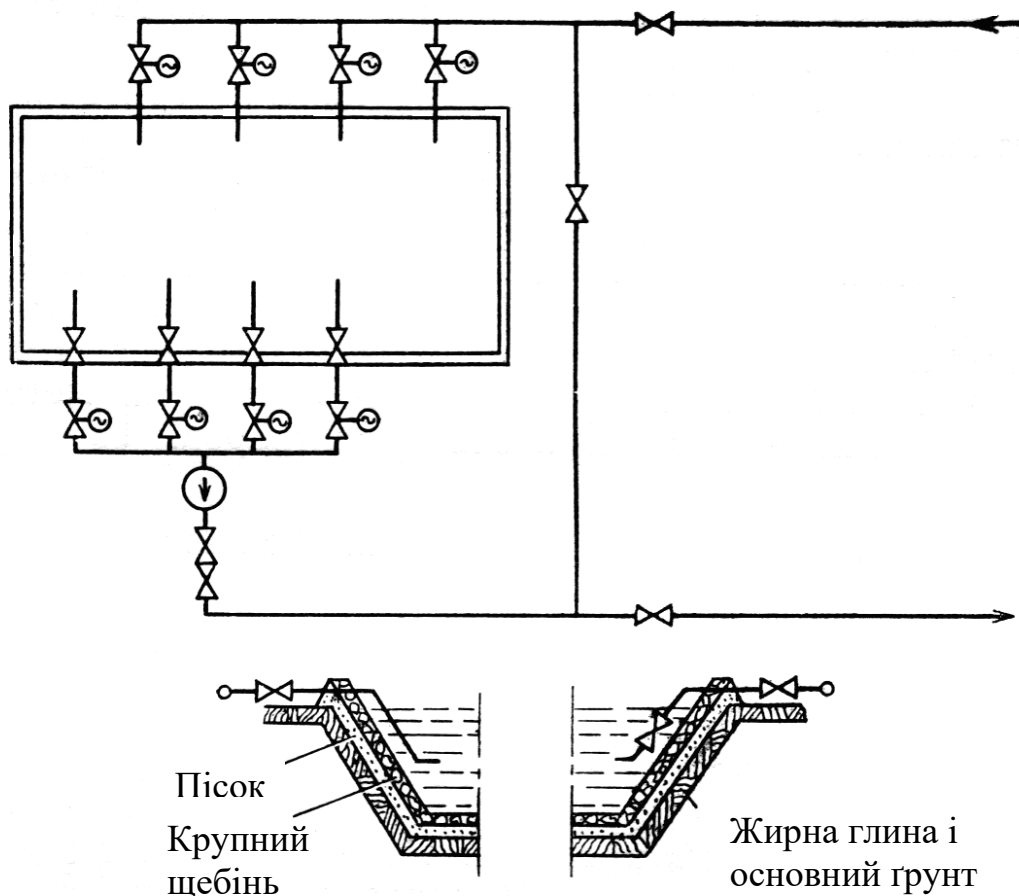


Рис. 6.20. Схема усереднювача з нефільтруючим покриттям

Біохімічне очищення може протікати в аеробних (біохімічне окислювання) і анаеробних (біохімічне розкладення) умовах.

Анаеробний метод використовують для зброджування надлишкового мулу, що утворюється при анаеробному очищенні, без доступу кисню.

Очищення в аеробних умовах відбувається у присутності розчиненого у воді кисню, що ідентично природному процесу самоочищення і відбувається у аеротенках.

На ТЕС з замкнутою системою ГЗВ можливо скидати промивні і консерваційні розчини безпосередньо на золовідвали, коли значення рН освітленої води вище 8. Коли значення рН освітленої води ГЗВ менше 8, то промивна вода попередньо нейтралізується, щоб значення рН після змішання води не було нижче 7 для запобігання процесу корозії.

При скиданні промивної води у систему ГЗВ токсичні домішки добре сорбуються золюю. Зола добре сорбує залізо, мідь, нікель та ін.

Витрата скидання промивної води після її усереднення і часткової нейтралізації в систему ГЗВ визначається таким виразом:

$$q_{ст} \leq \frac{Q_{золи} \cdot П}{C_{ст}}, \quad (6.26)$$

де $П$ – показник поглинання сполук заліза золюю, г/т;

$C_{ст}$ – концентрація сполук заліза в усереднювачі, г/м³;

$Q_{золи}$ – витрата сухої золи у місці зливу скидання, т/год.

За відсутності оборотної системи ГЗВ на ТЕС консерваційні розчини підлягають обробці різними окислювачами: киснем повітря, хлорним вапном та ін.

Основним недоліком хімічних методів нейтралізації і очищення стічних промивних і консерваційних вод є необхідність використання реагентів. Однак регенерація відроблених розчинів за метою їх повторного використання залишається надто вигідною економічно.

6.2.5. Знезараження стічних вод систем гідрозоловидалення

Очищення стічних вод ГЗВ у повному об'ємі занадто ускладнено через великі витрати цієї води і високі концентрації домішок.

Нині ведуться дослідження для розроблення методів очищення стічних вод такого типу від токсичних домішок. Основні методи, які використовуються з цією метою:

- осадження домішок;
- сорбція домішок на різних сорбентах, у тому числі і на золі;
- попередня обробка їх використанням окислювально-відновних процесів.

Найбільш розповсюдженим методом, який застосовують для видалення токсичних домішок зі стічних вод, є осадження

домішок у результаті утворення малорозчинних сполук або у результаті абсорбції – часток твердої фази.

У якості реагента-осаджувача найчастіше використовують вапно, а у необхідності сумісно з ним інші реагенти, підсилюючи процес осадження.

Значно підвищується вихід миш'яку з води при введенні FeSO_4 одночасно з вапном.

Сполуки фтору осаджуються при додаванні MgCl_2 у стічну воду.

Дослідження показують, що при визначеній корекції стічної води з урахуванням кінетики процесу можливе достатньо глибоке видалення токсичних домішок зі стічних вод ГЗУ без будівництва спеціальних очисних споруд.

6.3. Методи очищення стічних вод підприємств залізничного транспорту

Згідно з законодавством України усі стічні води від підприємств залізничного транспорту, що надходять у загальносплавну каналізацію, незалежно від її відомчої належності повинні містити у своєму складі забруднюючі речовини в кількості, що не перевищує гранично допустимих концентрацій (ГДК), яка встановлюється власниками загальносплавної каналізації окремо для кожного підприємства.

У свою чергу загальний вміст забруднюючих речовин у стічних водах загальносплавної каналізації, які скидаються у водні об'єкти, не повинні перевищувати гранично допустимого скидання. Перед скиданням усі стічні води повинні бути очищені на очисних спорудах з метою доведення їх якості до гранично допустимих значень.

На підприємствах залізничного транспорту основними забруднюючими речовинами є [3]:

- нафтопродукти і мастила від заводів з ремонту рухомого складу, вагонних і локомотивних депо, промивально-пропарювальних станцій та інших підрозділів залізниць;
- завислі і розчинні у воді речовини від пунктів промивання вантажних вагонів;

- луги і поверхнево-активні речовини від пралень і пасажирських вагонних депо;
- господарчо-побутові забруднення від санітарно-побутових приміщень, жилих будівель, їдалень та інших об'єктів соціально-культурного побуту.

Для цих забруднень використовують такі методи очищення стічних вод: механічні, фізико-хімічні, хімічні і комбіновані. Частіше за все застосовують комбіновані методи, тому що очищення, як правило, включає у себе видалення завислих частинок, нафтопродуктів, СПАР та інших хімічно активних речовин.

6.3.1. Методи очищення стічних вод залізничного транспорту від нафтопродуктів і мастил

Нафтовловлювачі

Для вловлювання нафтопродуктів і мастил застосовують нафтовловлювачі різної конструкції. Основні з них працюють за принципом відстійника, у якому застосовується різниця між питомою масою води, мастил і нафтопродуктів.

Стічні води надходять у відстійник, у якому відбувається спливання мастил і нафтопродуктів на поверхню, а важкі шламові домішки осаджуються на дно. Нафтопродукти, що спливли, спеціальним скребковим механізмом збирають у лотки і видаляють для подальшої утилізації, а очищена вода через водозлив відводиться в каналізаційну мережу. Осаджені шламові забруднення видаляються з дна відстійника за допомогою гідроелеватора. Однак нафтовловлювачі не забезпечують високого ступеня очищення стоків від нафтопродуктів, тому що в очищеній воді залишковий вміст нафтопродуктів досягає 50-100 мг/дм³, що є недопустимим для скидання у водні об'єкти.

Флотаційні установки

Установки флотаційного очищення рекомендують застосовувати для зниження вмісту в стічних водах нафтопродуктів від 70-150 до 10-30 мг/л і механічних домішок від 100-150 до 10-15 мг/л. Установка напірної флотації включає у себе насосну станцію з реагентним господарством, приймальні резервуари, напірні баки, камеру розподілу і змішання, а також флотатори або флотатори-відстійники.

Флотацію проводять з рециркуляцією стічних вод і без рециркуляції, з використанням реагенту і без нього. При варіанті без рециркуляції усі стічні води після нафтовловлювачів подаються в напірні баки, де відбувається насичення води повітрям протягом 1-2 хв під тиском 0,4-0,5 МПа. З напірних баків вода прямує в камеру, де розподіляється між флотаторами-відстійниками, у яких через розподільвачі прямують до флотаційної камери. У камері дрібні бульбашки повітря, які видаляються з води, захоплюють на поверхні завислі частинки емульсованої нафти й утворюють піноподібний шар, насичений нафтою, який легко видаляється. З флотаційної установки стічні води прямують у відстійну камеру і далі переливаються по кромці водозливу у відповідний лоток.

На залізничному транспорті у наш час використовують флотаційні установки типу ЦНИИ МПС з пропускною спроможністю від 5 до 50 м³/год. До складу установки входять багатокамерний флотатор, напірний бак, насоси для подачі і рециркуляції води, ежектори для подачі повітря і розчин коагулянту (рис. 6.21).

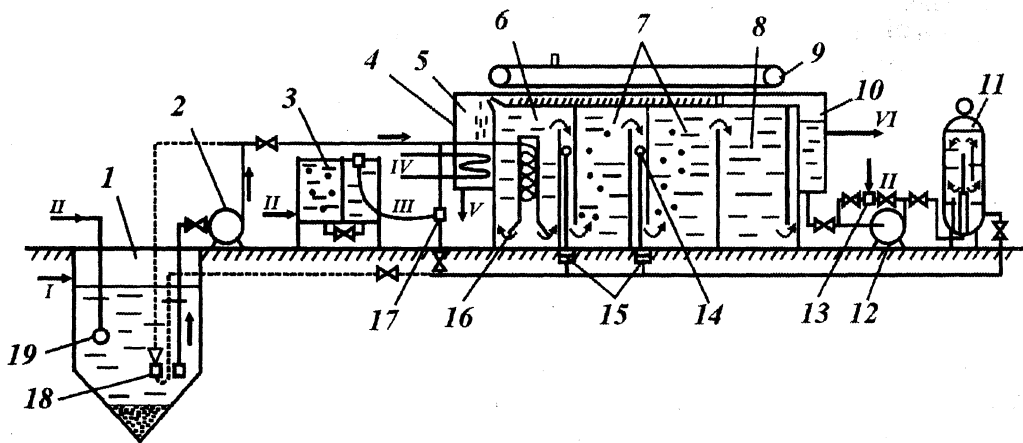


Рис. 6.21. Флотаційна установка типу ЦНИИ МПС:

- 1 – збірний резервуар-усереднювач; 2 – насос для подачі води;
- 3 – бак для коагулянту, 4 – флотатор; 5 – пінозбірний бак; 6 – камера грубого очищення; 7 – флотаційні камери; 8 – відстійна камера; 9 – скребковий механізм; 10 – карман для очищеної води; 11 – напірний бак; 12 – рециркуляційний насос; 13, 17 – ежектори; 14 – розподільні труби; 15 – діафрагми; 16 – змішувач; 18 – гідроелеватор;
- 19 – барботер; I – вода, що очищується; II – повітря; III – коагулянт; IV – пара; V – нафтопродукти; VI – очищена вода

Флотатор має вигляд прямокутного відкритого резервуара, у якому встановлено 4 направляючі перегородки, що утворюють послідовно з'єднані камери. Перша камера призначена для коагуляції і грубого очищення води, дві наступних камери – для флоатації, остання камера – для виділення бульбашок повітря. Загальна тривалість перебування води у флотаторі – 30 хв, тиск 0,3-0,4 МПа. Залишковий вміст розчинних речовин у воді становить до 20-50 мг/дм³.

Прогресивним напрямком у технології очищення стічних вод є використання електрохімічних методів, наприклад очищення води в електролізерах з розчинними електродами з алюмінію чи заліза, відомого як електрокоагуляція.

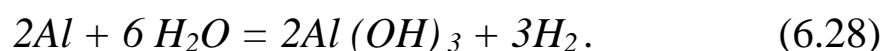
Електроліз води супроводжується виділенням на електродах пазирів газів: на катоді виділяється водень, на аноді кисень, які переносять забруднення із води на її поверхню, тому цей метод називається *електрофлоатацією*. Основну роль у процесі флоатації часток забруднень виконують бульбашки водню, які утворюються на катоді діаметром 5–30 мкм.

Розмір бульбашок залежить від властивостей змочування частинок, кривизни поверхні електродів, його конструкції. При дротяному катоді зменшуються розміри бульбашок проти пластинчатої форми, підвищується ефективність електрофлоатації.

При використанні розчинних алюмінієвих електродів на аноді відбувається анодний розчин металу, у воду переходять катіони металу алюмінію, які призводять до утворення захисної плівки:



На алюмінієвому катоді відбувається реакція взаємодії алюмінію з водою:



Ця реакція можлива через значне підвищення рН (до 10,5-12) в прикатодному шарі під час електролізу і розчинення захисної плівки Al₂O₃ в лужному розчині.

У локомотивних депо використовують електрофлоатаційну установку „Остава-5Н”, схема якої наведена на рис. 6.22.

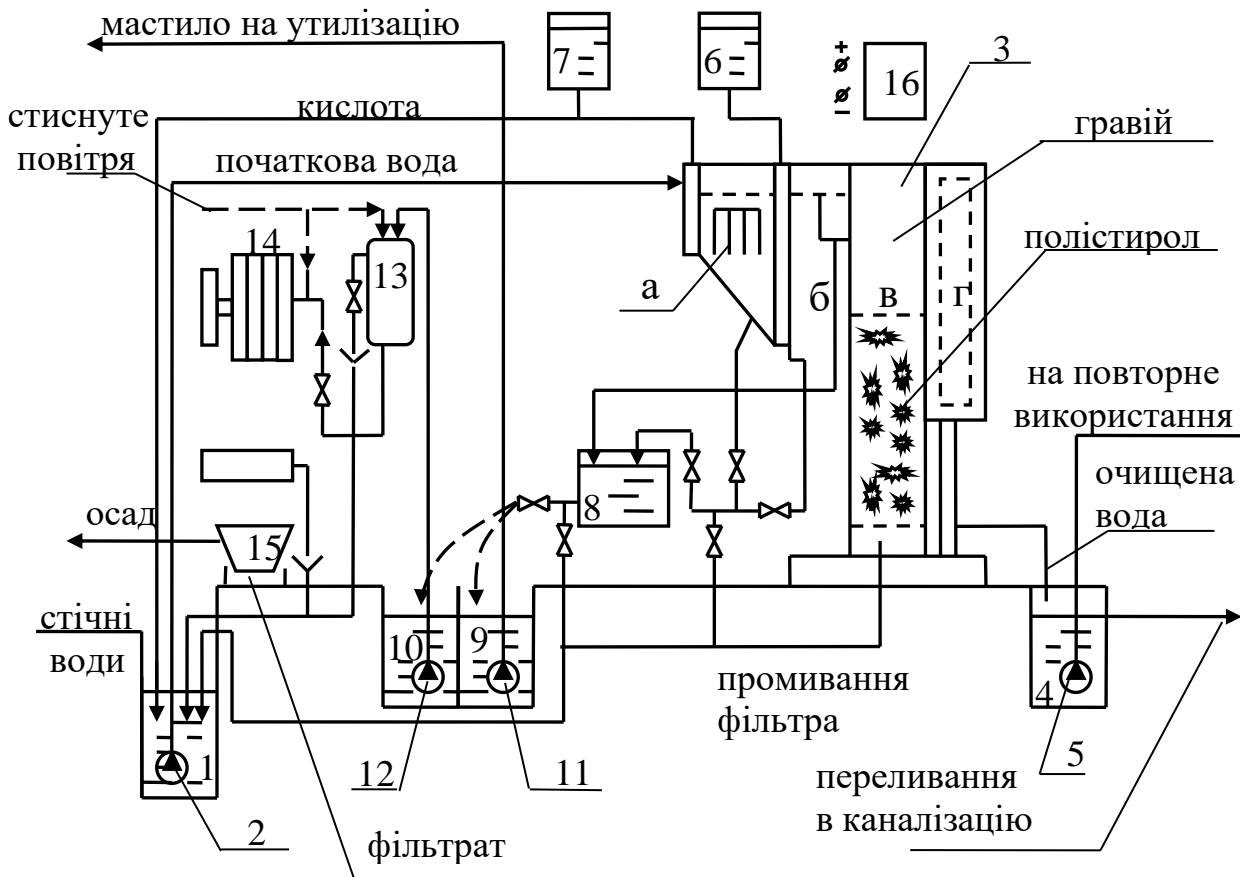


Рис. 6.22. Схема очищення стоків локомотивного депо:
 а – електрореактор; б – флотатор-відстійник; в – фільтр I ступеня; г – фільтр II ступеня;
 1 – усереднювач стічних вод; 2, 5, 11, 12 – насоси; 3 – водоочисний комплекс «Остава-5Н»; 4 – резервуар очищеної води; 6 – витратний бак лугу; 7 – витратний бак кислоти; 8 – збірник осаду і шламу; 9 – збірник мастила; 10 – збірник осаду; 13 – ресивер; 14 – фільтр-прес ФП-400/11; 15 – візок; 16 – випрямний агрегат

У результаті обробки стічних вод в електрокоагуляторі відбувається коагуляція забруднень, що знешкоджуються в стічній воді в грубодисперсних і колоїдних формах, і одночасно їх сорбція на утворюваних пластівцях гідроксиду алюмінію $Al(OH)_3$ разом з частиною розчинених у воді домішок емульсованих нафтопродуктів тощо. Однозначне утворення пластівців коагулянту $Al(OH)_3$ і бульбашок водню в міжелектродному просторі призводить до надійного закріплення

газових бульбашок на пластівцях та інтенсивної коагуляції забруднень, що забезпечує високу ефективність флотаційного процесу.

За допомогою методу електрофлотації успішно очищаються стічні води локомотивних депо залізничного транспорту від емульсованої частини нафтопродуктів, які в контакті з водою утворюють емульсії (менше 5 мкм) та погано відділяються у відстійниках.

Стічна вода з цехів депо надходить без локального очищення в усереднювач 1 ємністю 60 м³, звідки після відстоювання насосом 2 подається у водоочисний комплекс 3 „Остава-5Н”, головними його частинами є електрореактор а, відстійник б, фільтри першого ступеня в і другого ступеня г.

З резервуара 4 очищена вода повертається в цехи на повторне використання, частина води скидається в каналізацію.

З поверхні води у флотаційному відстійнику спеціальними скребками знімається флотошлам і направляється в збірник осаду 8, звідки за допомогою стиснутого повітря в ресивері 13 переміщається в збірник 10 і на фільтр-прес.

Одержані нафтопродукти накопичуються в резервуарі 9 і звідти відходять на утилізацію. Періодично контролюється показник рН і корекція його до необхідного значення здійснюється дозуванням розчину сірчаної кислоти концентрацією 400 мг/дм³ з ємності 7 або розчином NaOH концентрацією 200 мг/дм³.

У процесі електролізу виділяється водень Н₂ 63 г/год, який може утворювати небезпечну суміш (при 4 %). Тому над електрореактором передбачений витяжний зонт.

Електрореактор а, показаний на рис. 6.22, виготовлений з 32 алюмінієвих пластин товщиною 4 мм, шириною 150 мм, довжиною 700 мм. На них подається постійний струм напругою 24 В.

Фільтрування

Фільтри (відкриті і напірні) є пристроями додаткового очищення стічних вод від завислих частинок і емульсованих нафтопродуктів при випусканнях стоків у водойми або повторному використанні їх у технологічних процесах, де потрібна вода підвищеної якості. Фільтри встановлюють після відстояних споруд, флотаторів, електрокоагулянтів.

Найбільш розповсюджені фільтри з зерновим завантаженням з піску, дрібного керамзиту та інших місцевих матеріалів. Останнім часом використовують фільтри з плаваючим завантаженням з синтетичних або легких природних матеріалів.

У процесі фільтрування стічної води дрібнодисперсні домішки, які містяться у ній, під дією сил прилипання затримуються на поверхні і в порах фільтруючого завантаження. З забрудненням завантаження піддають регенерації шляхом промивання або відтискання.

Відкритий фільтр – це прямокутний резервуар, звичайно залізобетонний, у якому знаходиться зернисте завантаження, що складається з шару гравію, який піддержує завантаження, розміром 5-30 мм, висотою 0,5-0,8 мм і фільтруючого шару з зерен крупністю 0,8-2 мм і висотою 1-1,2 мм. Під завантаженням розміщена дренажна система для збирання і виведення відфільтрованої води і рівномірного розподілу промивної.

Напірний фільтр – це закритий циліндричний резервуар з розміщеним у ньому фільтруючим завантаженням, дренажною системою і водовідвідними пристроями. Напірні баки працюють під тиском 0,4-0,6 МПа і при швидкості фільтрації до 10-15 м/год.

Питання для самоперевірки

1. За якими принципами класифікуються методи очищення стічних вод?
2. Назвіть методи механічного очищення стічних вод.
3. Назвіть хімічні методи очищення стічних вод.
4. Назвіть фізико-хімічні методи очищення стічних вод.
5. Назвіть основні біохімічні методи очищення стічних вод.
6. Як класифікуються методи очищення стічних вод згідно з формою домішок, що видаляють?
7. Які методи відносять до методів безпосереднього виділення домішок?
8. Які методи можна віднести до методів виділення домішок зі зміною фазового складу?

9. Як класифікуються методи, пов'язані з розходженням характеру домішок?
10. Назвіть методи біологічного очищення стічних вод.
11. Які методи нейтралізації застосовують для стічних вод?
12. Які методи очищення стічних вод від нафтопродуктів застосовують на ТЕС?
13. Які методи чищення стічних вод обмивання поверхонь нагріву котлів застосовують на ТЕС?
14. Які методи очищення стічних вод хімічних промивань і консервації устаткування застосовують на ТЕС?
15. Які методи очищення стічних вод систем гідрозоловидалення застосовують на ТЕС?
16. Що на підприємствах залізничного транспорту є основними забруднюючими речовинами?
17. Які методи очищення стічних вод застосовуються на підприємствах залізничного транспорту?
18. Які методи флотації застосовують на підприємствах залізничного транспорту?

7. Вплив на ґрунтовий покрив об'єктів теплоенергетики, залізничного транспорту та інших об'єктів

7.1. Характеристика ґрунтового покриву і земельних ресурсів України

Для оптимальної оцінки стану ґрунтового покриву відносно незбалансованого антропогенного забруднення та процесів деградації ґрунтів необхідний постійний моніторинг ґрунтів, який складається із систематичних спостережень за станом ґрунтів, виявлення змін через забруднення токсичними речовинами, процесів, пов'язаних з техногенними явищами, стану земель, зайнятих енергетичними об'єктами, залізничним транспортом та іншими промисловими підприємствами, захороненням промисловими відходами.

Придатну оцінку впливу теплоенергетики, транспорту та інших об'єктів можна отримати за допомогою даних, що характеризують склад ґрунтів, їх функції, процеси, що в них протікають, а також критеріїв їх стану. Без такого аналізу не можливо моделювати і прогнозувати об'єктивну екологічну ситуацію, що ми маємо у наш час.

7.1.1. Ґрунти та їх функції у біосферних процесах

Роль ґрунтів у біосферних процесах надзвичайно велика, вони виконують важливі екологічні функції. Основна з них – середовище існування мікроорганізмів, грибів, рослин, інших живих істот.

Ґрунт – самостійне природне історичне органо-мінеральне утворення, яке виникло на поверхні Землі внаслідок тривалого впливу біотичних, абіотичних і антропогенних факторів. Цей продукт утворюється внаслідок складних процесів, які відбуваються у верхньому шарі літосфери. Ґрунт складається з твердих мінеральних і органічних частинок. Залежно від кліматичних, геологічних і географічних умов ґрунти мають товщину від 15-25 см до 2-3 м [38].

Незважаючи на те, що площа суші втричі менша за площу океану, біомаса суші завдяки ґрунтам у сотні разів більша від

біомаси водних екосистем. Ґрунти є також основною ланкою у взаємодії геологічного і біологічного колообігів речовин у біосфері. Ще одна важлива екологічна функція ґрунтів – у ґрунтах відбувається перетворення продуктів розпаду живої речовини на доступні для живлення рослин сполуки. Родючість ґрунтів визначає умови існування людини та її розвитку.

Найбільшим багатством ґрунту є його гумус-органічна речовина і її роль у біосфері величезна. В українських чорноземах вміст гумусу становить 4-6 %, а ще в кінці ХІХ ст. його вміст складав 8-12 % і навіть 16 %. Природі для того, щоб утворити шар гумусу завтовшки 1 см, потрібно 200-400 років. Зменшення цієї речовини на 1 % зменшує врожайність зернових на декілька центнерів. Ґрунт є основою організації біосфери, у ньому стикаються всі компоненти біосфери, поєднуються тут, формуючи складну полігенетичну систему.

Найважливіша функція ґрунтів – це родючість – здатність забезпечувати рослини необхідними речовинами для протікання в них біохімічних реакцій. Родючість ґрунтів обумовлена органічною речовиною, що утворюється внаслідок діяльності живих організмів, води, атмосферного повітря і сонячного випромінювання.

Ґрунтово-рослинний комплекс є також регулятором водного і теплового режиму біосфери, оскільки він поглинає і утримує атмосферну вологу і сонячне випромінювання.

Ґрунти й земельні ресурси мають величезне значення для біосфери, тому, як і водні джерела та атмосфера, потребують захисту від впливу шкідливих хімічних і фізичних факторів, крім того, використовувати їх треба на основі науково обґрунтованих факторів.

7.1.2. Склад ґрунту і процеси, які відбуваються в ньому

Тверда частина ґрунту складається з частинок різного розміру – уламків гірських порід, мінералів, решток рослин і тварин, нерозчинних органічних і неорганічних сполук. Умовно всі частинки розміром понад 0,01 мм називають фізичним піском, менші за 0,01 мм – фізичною глиною [8].

Гранулометричний склад ґрунту характеризує родючість, водопроникність і вологоємність, повітро- і газопроникність.

За вмістом фізичного піску, %, ґрунти поділяють на такі:

- глина важка ≤ 10 %;
- глина легка ≤ 30 %;
- суглинок важкий ≤ 40 %;
- суглинок середній ≈ 50 %;
- суглинок легкий ≥ 60 %;
- супісок ≥ 80 %;
- пісок ≥ 90 %.

У важких ґрунтах висока вологоємність і в'язкість, низька водопроникність, вони родючі, але важкі в обробці; легкі ґрунти збагачені великими частинками, легко прогриваються і обробляються, швидко пропускають вологу, але малородючі через низьку концентрацію гумусу.

Фазовий склад ґрунту:

- тверда частина;
- рідка частина (ґрунтовий розчин);
- газоподібна частина – ґрунтове повітря, збагачене порівняно з атмосферним вуглекислим газом, метаном, аміаком, гідрогеносульфуром і збіднене киснем; у верхніх 15-30 см ґрунту склад повітря такий: 78-86 % N₂, 11-21 % O₂, 0,3-8 % CO₂;

- жива частина – сукупність ґрунтових мікроорганізмів і тварин, що риють (в 1 га землі перебуває приблизно 10 т найрізноманітніших видів живої речовини).

Усі процеси, що відбуваються в ґрунті, тісно пов'язані між собою. Оптимальною є питома маса ґрунту 1 г/см³, вже при 1,4 г/см³ погіршуються умови для росту коріння, газо- і водообміну, існування тварин, що риють.

Згідно з кліматичними зонами змінюється швидкість процесів ґрунтоутворення, товщина ґрунтового покриву, його родючість, типі ґрунтів.

За вмістом гумусу ґрунти поділяються на два типи: чорноземи – 7-10 % гумусу та підзолисті ґрунти – до 2-3 %. Гумус містить воду та біогенні елементи, розкладаючись щороку на 20-50 % залежно від умов, підвищує вбираючу здатність та буферну ємність ґрунтів, регулює рН, створюючи оптимальні умови для росту рослин.

Оксид вуглецю утворюється в ґрунті під час дихання живих організмів та розкладення органічних решток; частина його виділяється в атмосферу, інша поглинається коріннями рослин та використовується в процесі фотосинтезу для утворення біомаси, CO_2 збільшує розчинність солей і доступність їх для живлення рослин.

Хімічний склад і концентрація ґрунтового розчину зумовлює живлення і ріст рослин. При високому вмісті солей рослини витрачають тургор (вода виходить з капілярів коренів рослин у ґрунт), висока концентрація катіонів Ca^{2+} стримує надходження в рослини калію і сприяє надходженню PO_4^{3-} , зниження рН погіршує ріст коренів.

Основними характеристиками ґрунтів щодо самоочищення є час самоочищення та захисна здатність ґрунтів, котра характеризує їх здатність суттєво знижувати токсичність забруднювальних речовин. Час самоочищення – інтервал, протягом якого відбувається зменшення масової частки речовини, що забруднює ґрунт, на 96 % від початкового значення або його фонового значення. Процес самоочищення триває від декількох днів до декількох років, а процес відновлювання порушених земель – сотні років.

7.1.3. Сучасний стан земельних ресурсів України

За даними Держкомстату України, на початок 2000 р. земельний фонд держави становив 60,4 млн га. Сільськогосподарські землі займають 72 % території, з них сільськогосподарські угіддя – 69,3 %, у тому числі рілля – 54,4 %, перелоги – 0,4 %, багаторічні насадження – 1,6 %, сіножаті – 3,8 %, пасовища – 9,1 %. Лісові та інші насадження складають 17,2 %, заболочені землі – 1,6 %, відкриті землі без рослинного покриву – 1,8 %, землі, вкриті водою, – 4,0 % [47].

Внаслідок проведення земельної реформи у державній власності залишається 29,7 % сільськогосподарських угідь, які використовуються переважно для забезпечення наукової діяльності, з навчальною метою, а також для насінництва.

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується невизначеністю у співвідношенні між

сільськогосподарськими угіддями, незбалансованістю біохімічних речовин і енергії в ґрунтах, недосконалістю протиерозійних систем охорони ґрунтів та моніторингу земельних ресурсів. Все перераховане зумовлює не тільки зниження потенційної родючості ґрунтів, але й порушення екологічної стійкості ґрунтового покриву, зниження продуктивності сільськогосподарських угідь. За сучасних умов землеробства щорічно втрати гумусу становлять 600-700 тис. т, а поживних речовин – 100 кг/га й більше. За авторитетними свідченнями вчених, наші чорноземи втратили за останні 100 років 25-30 % гумусу і 20-30 % своєї родючості.

Згідно з чинними нормами площа розораності земель у загальній площі на рівні 60-80 % вважається несприятливою, 25-60 % – умовно сприятливою і менше 25 % – сприятливою. Оптимальну оцінку розораності земель мають незначні території: переважно в Українському Поліссі, гірських районах Карпат і Криму. Нині в Україні є надзвичайно високий рівень розораності території: тільки близько 8 % площі (5 млн га) знаходиться у природному стані. Сільськогосподарське освоєння земельного фонду становить 72,2 % суші, зокрема розораність складає 57,3 %. Така висока розораність небажана з економічної та екологічної точки зору, адже вона різко знижує природний потенціал території, робить її одноманітною, а господарство – вузькоспеціалізованим. Таким чином, сучасне використання земельних ресурсів України не відповідає вимогам раціонального природокористування, а саме порушено екологічно допустиме співвідношення площ ріллі, природних кормових угідь, багаторічних насаджень. Це негативно впливає на стійкість ландшафтів до техногенного навантаження.

Вилучення територій під об'єкти теплоенергетики (будівництво будівель, прокладення підвідних та відвідних каналів, доріг тощо), під лінії електропередач, електричні підстанції та теплотраси мають свій негативний внесок до зменшення сільськогосподарських угідь. Для ТЕС, що працюють на органічному паливі, необхідна добича палива у великих розмірах. Добування палива (особливо твердого), переробка його – це не тільки створення шахт, але і териконів, що займають великі території, і небезпечні для усього довкілля. Відвали, що

займають великі площі, піддаються водній і вітровій ерозії, забруднюючи тим самим прилеглу територію.

При використанні твердого палива ТЕС, а також при очищенні димових газів утворюється значна кількість твердих відходів, які займають великі площі під золошламовідвали і протягом тривалого часу не можуть використовуватися для сільськогосподарських цілей. На території України розміщено 25 потужних вугільних ТЕС, золошламовідвали яких складають 300 млн т, так, наприклад, під золовідвалами Зміївської ТЕС відведено землі 220 га.

На мережі 6 залізниць розташовано 1684 станції, 68 основних локомотивних депо, 51 вантажне вагонне депо, 16 пасажирських вагонних депо, 110 дистанцій колії, 43 станції електропостачання та інші підприємства, усе це займає великі площі, що становить 263 тис. га і зменшує природні земельні ресурси. Для прокладання залізниць також вилучається багато земель, у тому числі родючих.

Несприятливі природно-антропогенні процеси – це зсуви, ерозія, суфозія, дефляція, карст, селі, засолення, підтоплення, просідання тощо. На 80 % міських територій спостерігається близько 20 видів небезпечних для населення природних процесів, серед яких загрозливими залишаються підтоплення, зсуви, абразія, карст.

Водною і вітровою ерозією охоплено понад 17 млн га сільськогосподарських угідь, або 40,9 % їх загальної площі. Загалом в Україні щорічне збільшення площі еродованих земель складає у середньому близько 80-120 тис. га. Економічні збитки тільки через ерозію ґрунтів перевищують 9,1 млрд грн.

Ще більш небезпечною є яружно-лінійна ерозія ґрунтів. Лінійне розмиття руйнує не тільки ґрунти, а й весь природний комплекс. У процесі утворення яружно-балкових систем з обороту вилучаються величезні площі сільськогосподарських земель. З розвитком ярів знижується рівень підґрунтових вод, землі стають непридатними для житлового, промислового і шляхового будівництва. Одним з найбільших лих після ерозії ґрунтів є, мабуть, їх засолення, головна причина якого – незбалансоване зрошення. Ерозія і засолення призводять до опустелювання земель. На 80 % зрошувальних площ відбувається

процес техногенного підтоплення; 14% загальної площі поливних земель піддаються ерозії; 5% перезволожуються, 7,7% складають ґрунти з підвищеною кислотністю; ураженість процесами вторинного засолення ґрунту складає 11-25 %. До масового зрошування на значних територіях росли дикі трави, чагарники, на розумно зрошених землях була постійно висока врожайність полів і садів. Нині через перезволоження, надлишок води в ґрунтах, їх засоленість гинуть дерева, поля, сади, виноградники.

Негативні наслідки має також осушення ґрунтів. Так, 43,2 % площі земель з осушувальною мережею мають підвищену кислотність; 7,6 % – засолені, 10,7 % – перезволожені, 12,8 % – заболочені, 18,4 % – піддаються вітровій і 4,6 % – водній ерозії.

Якщо узагальнити всі зміни земель, то майже на 22 % території України можна спостерігати сильно, дуже сильно уражені та непридатні до повного використання ґрунти. Така ситуація значно погіршує умови проживання і виробничої діяльності населення, особливо негативно впливає на стан його здоров'я. Це вимагає необхідних науково обґрунтованих заходів, спрямованих на підвищення родючості земель та одержання екологічно чистих продуктів споживання.

7.2. Антропогенне забруднення ґрунтового покриву

7.2.1. Оцінювання забруднення ґрунтів та показники його обмеження

За величиною зон та рівнем забруднення ґрунтів поділяють на фонове, локальне, регіональне і глобальне [38].

Фоновим вважається такий вміст забруднюючих речовин у ґрунті, котрий відповідає або близький до його природного складу.

Локальним вважається забруднення ґрунту поблизу одного або сукупності декількох джерел забруднення.

Регіональним є таке забруднення ґрунту, яке виникає внаслідок перенесення забруднюючих речовин на відстань не більше 40 км від техногенних та більше 10 км від сільськогосподарських джерел забруднення.

Глобальними називають забруднення ґрунту, котрі виникають внаслідок дальнього перенесення забруднення на відстань більше 1000 км від будь-яких джерел забруднення.

Найбільш небезпечними для ґрунтів є хімічне забруднення, ерозія, засолення.

За ступенями небезпеки хімічні речовини поділяються за ГОСТ 17.4.1.02-83 на три класи:

- 1 клас – високонебезпечні речовини;
- 2 клас – помірнонебезпечні речовини;
- 3 клас – малонебезпечні речовини.

Клас небезпеки встановлюють за відповідними показниками (табл. 7.1).

За ступенями забруднення ґрунти поділяються на сильнозабруднені, середньозабруднені і слабозабруднені.

У *сильнозабруднених* ґрунтах кількість забруднюючих речовин у декілька разів перевищує ГДК. Вони мають низьку біологічну продуктивність та істотні зміни фізико-хімічних, хімічних та біологічних характеристик, внаслідок чого вміст хімічних речовин у вирощувальних культурах перевищує норми.

Таблиця 7.1

Показники та класи небезпеки хімічних речовин

Показник	Норма концентрації		
	1 клас	2 клас	3 клас
Летальна доза, ЛД ₅₀ , мг/кг	до 200	200-1000	понад 1000
Персистентність у ґрунті, міс.	понад 12	6-12	менше 6
ГДК в ґрунті, мг/кг	менше 0,2	0,2-0,5	понад 0,5
Персистентність у рослинах, міс.	3 і більше	1-3	менше 1
Вплив на харчову цінність сільсько-подарської продукції	сильний	помірний	немає

У *середньозабруднених* ґрунтах перевищення ГДК незначне, що не призводить до помітних змін його властивостей.

У слабозабруднених ґрунтах вміст хімічних речовин не перевищує ГДК, але перевищує фон.

Для визначення ступеня забрудненості ґрунтів використовують такі характеристики:

1. Коефіцієнт концентрації забруднення ґрунту

$$k_c = \frac{C}{C_{cp}} = \frac{C}{C_{ГДК}}, \quad (7.1)$$

де C – загальний вміст забруднюючих речовин;

C_{cp} – середній фоновий вміст забруднюючих речовин;

$C_{ГДК}$ – гранично допустима кількість забруднюючих речовин.

2. Інтегральний показник за елементного забруднення ґрунту

$$k_{cj} = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{C_{\phi j}}, \quad (7.2)$$

де C_j – сума контрольованих забруднюючих речовин;

$C_{\phi j}$ – сума фонового вмісту забруднювачів.

3. Коефіцієнт зворотної реакції ґрунтів на динаміку забруднення

$$k_p = \frac{(A - A_{\phi})}{A_{\phi}}, \quad (7.3)$$

де A , A_{ϕ} – параметри, які контролюються в забрудненій і фоновій пробах.

За ступенями стійкості до хімічних забруднень та характером зворотної реакції ґрунти поділяються на дуже стійкі, середньостійкі, малостійкі. Ступінь стійкості ґрунтів до хімічних забруднень характеризується такими показниками, як гумусний склад ґрунту, кислотно-основні властивості, окісно-відновні властивості, катіонно-обмінні властивості, біологічна активність, рівень ґрунтових вод, частка речовин, що знаходяться в розчинному стані.

У разі оцінювання стійкості ґрунтів до хімічних забруднень слід враховувати показники, що характеризують

короткотермінові (2-5 років), довготермінові (5-10 років) зміни ґрунтів та показники ранньої діагностики розвитку змін у ґрунтах.

Короткотермінові зміни властивостей ґрунтів діагностуються за динамікою вологості, величиною водневого показника рН, складом ґрунтових розчинів, вмістом поживних речовин.

Довготермінові зміни властивостей ґрунтів діагностуються за складом та запасом гумусу, відношенням вуглецю гумінових кислот до вуглецю фульвокислот, втратами ґрунтів внаслідок ерозії, загальною лужністю, кислотністю, вмістом солей.

Функціонування промислових підприємств, транспорту та енергетичних установок призводить до регіонального і навіть глобального забруднення ґрунтів. Регіональне забруднення ґрунтів може спричинятися кислотними дощами, що випадають поблизу великих промислових підприємств, ТЕС та транспорту, які викидають в атмосферу шкідливі гази.

Важливим елементом комплексу заходів щодо збереження ґрунтів є гігієнічне регламентування їх забруднення. Розроблено методичні рекомендації щодо встановлення ГДК хімічних речовин у ґрунтах. При цьому термін *«гранично допустима кількість забруднюючих ґрунти речовин»* означає частку хімічної речовини, що забруднює ґрунти (мг/кг) і не має прямої або опосередкованої дії, включаючи віддалені наслідки для навколишнього середовища та здоров'я людини. Значення ГДК деяких хімічних речовин у ґрунтах наведено в табл. 7.2.

Номенклатура регламентованих ГДК хімічних речовин у ґрунті складає декілька десятків найменувань, тому вони за ступенем шкідливості розташовуються у такій послідовності:

- пестициди та їх метаболіти;
- важкі метали;
- мікроелементи;
- нафтопродукти;
- сірчисті сполуки;
- речовини органічного синтезу тощо.

Крім ГДК, **оціночним показником** характеризують *орієнтовано допустиму кількість забруднюючої ґрунти хімічної речовини (ОДК)*, яка визначається розрахунковим методом.

Таблиця 7.2

Значення ГДК хімічних речовин у ґрунті

Назва речовини	ГДК, мг/кг
1	2
Метали	
Ванадій	150
Кобальт (рухлива форма)	5
Марганець, вилучений :	700
- з дерново-підзолистого ґрунту:	
рН=4	500
рН=5,1-5,9	3
рН=6	4
Мідь (рухлива форма)	2.1
Нікель	32
Ртуть	6
Свинець	6
Свинець (рухлива форма)	23
Неорганічні сполуки	
Нітрати	130
Миш'як	20
Сірководень	0,4
Фосфор (суперфосфат)	200
Фториди – водорозчинна форма	10
Ароматичні вуглеводні	
Бензол	0,3
Ізопропілбензол	0,5
Ксилол	0,3
Стирол	0,1
Толуол	0,3
Добрива та ПАР	
Рідкі комплексні добрива з додаванням марганцю	80
Азотно-калійні добрива	120
Поверхнево активні речовини	0,2

Санітарне оцінювання стану ґрунтів здійснюється за спеціальними показниками, основним є *санітарне число*. Це частка від ділення кількості ґрунтового білкового азоту (мг/100 г) абсолютно сухого ґрунту на кількість органічного азоту в тих самих одиницях.

Показником **бактеріального забруднення** ґрунтів є *титр кишкової палички та титр одного з анаеробів*.

Санітарно-гельмінтологічним показником ґрунтів є *кількість яєць гельмінтів* в 1 кг ґрунту.

Ентомологічний показник визначається за *наявністю личинок та лялечок мух* в 0,25 м² поверхні ґрунту (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Оціночні показники санітарного стану ґрунтів населених пунктів та сільськогосподарських угідь

Ґрунт	Кількість личинок та лялечок мух	Кількість яєць гельмінтів	Титр колі	Титр анаеробів	Санітарне число
Чистий	0	0	1 і вище	0,1 і вище	0,98-1
Мало-забруднений	Одиниці	До 10	1-0,01	0,1-0,001	0,85-0,98
Забруднений	10-25	11-100	0,01-0,001	0,001-0,0001	0,7-0,85
Сильно-забруднений	25	Понад 100	0,001 і менше	0,0001 і менше	0,7 і менше

Для земель єдиного державного земельного фонду встановлюється номенклатура показників ґрунтів згідно з ГОСТ 17.2.01-81. Ця номенклатура показників повинна застосовуватися у розробленні нормативно-технічної документації з охорони ґрунтів від забруднень, а також при контролі стану ґрунтів.

Контроль стану ґрунтів здійснюється за спеціальними методиками санітарними лікарями, санітарно-епідеміологічними станціями, а контроль хімічних забруднень, які спричиняють

підкислення та підлучення ґрунтів, – агрохімічними лабораторіями, СЕС та органами охорони природи.

7.2.2. Негативний вплив на забруднення ґрунтів техногенних факторів

В останній час процеси деградації ґрунтового покриву, обумовлені техногенним забрудненням, підсилились і найбільшу небезпеку для довкілля має забруднення ґрунтів радіонуклідами, важкими металами і пестицидами. Рівень забруднення ними ґрунтів може істотно різнитися, наприклад, забруднення ґрунтів важкими металами відмічається поблизу джерел забруднення. Встановлено, що в ґрунтах діють механізми, які призводять до трансформації техногенних потоків, однак діють ці механізми в певних межах, тому екологічна ситуація, обумовлена техногенним впливом на ґрунти, може змінюватися від благополучної до катастрофічної.

Основою негативного впливу на рослину того або іншого елемента є не сам елемент, а його кількість. При поліелементному забрудненні ґрунтів найбільшу небезпеку для рослин викликає елемент, концентрація якого в ґрунтовому розчині найвища.

Якщо у ґрунтовому розчині концентрація важких металів така, що рослини фізіологічно не можуть протидіяти їм – вони гинуть або розвиваються неповноцінно, що є наслідком деформації або руйнування адаптивного потенціалу рослини до важких металів.

Визначення екологічної ситуації щодо забруднення ґрунтів важкими металами – більш складніше завдання. Оскільки техногенне забруднення ґрунту майже завжди є поліелементним, використовується так званий сумарний показник концентрацій, який є сукупністю перевищення вмісту надлишкових хімічних елементів над їх фоновим рівнем. Встановлені параметри вмісту в одному шарі важких металів, при яких умови для росту і розвитку рослин можуть змінюватися від сприятливих до незадовільних.

Свій внесок до забруднення важкими металами мають і підприємства енергетики і залізничного транспорту. У продуктах

згоряння палива знаходять сполуки різноманітних важких металів (міді, заліза, цинку, свинцю та ін.). Вони викидаються в золошламоотвали і дуже рідко переробляються.

Вугледобування супроводжується утворенням відвалів, які містять у своєму складі до 20 % сполук сірки, деяку кількість кольорованих, рідких і важких металів, а також радіонукліди. Значну шкоду природному середовищу приносить самозаймання териконів, що виділяють значну кількість вуглеводнів, сажі, оксидів азоту, сірки, вуглецю та ін. Також у відвалах вуглезбагачення містяться сірка, мікроелементи – свинець, цинк, молібден, галій, германій та ін.

Специфічною особливістю залізничного транспорту є різноманітність виробничих процесів, які пов'язані з перевезенням вантажів і пасажирів, ремонтом рухомого складу і магістралей. Цей факт визначає перелік виробничих відходів, які утворюються при виконанні основних і допоміжних технологічних процесів. Тут присутні багато важких металів у різних формах і усіх класів небезпеки. Джерелами забруднення смуг залізниць і прилеглих територій є втрати перевізних вантажів (цементу, кам'яного вугілля, рудної сировини та ін.), проливання різних рідких вантажів, відходи пасажирського транспорту, що викидаються на шляхи, тощо.

За сумарним показником забруднення важкими металами територію, що займана земляним полотном й безпосередньо прилягає до нього, слід віднести до 1 категорії небезпеки в районах рудоперевізних залізниць. Решту частину технічної смуги відводу (до 30-120 м від смуги) можна віднести до 2 категорії небезпеки. Територію, що розташована на відстані більше 120 м від смуги, шириною приблизно 30-40 м можна віднести до 3 категорії небезпеки.

Безпосередні та віддалені проблеми охорони навколишнього середовища і здоров'я людини, викликані невідповідним використанням токсичних речовин та поганим управлінням небезпечними відходами, усе більше усвідомлюють як у країнах світу, так і в Україні.

Основними принципами державної політики у сфері охорони ґрунтового покриву є захист природного середовища та здоров'я людини від негативного впливу забруднення ґрунтів,

забезпечення ощадливого використання матеріально-сировинних та енергетичних ресурсів, науково обґрунтоване узгодження екологічних, економічних і соціальних інтересів суспільства щодо утворення та використання відходів, тому що в Україні немає міста, де б не було так званого смітника побутових і промислових відходів.

В Україні щороку викидають 35 млн м³ твердих побутових відходів, які зберігаються на полігонах загальною площею 3 тис. га, і лише частково утилізують на сміттєспалювальних заводах. Нині в Україні накопичено 20 млрд т сміття. За рік їх накопичується близько 10 млн т. За приблизними даними, з відходами країна втрачає щороку щонайменше 2 млн т макулатури, 600-700 тис. т металів, близько 800 тис. т скла, понад 500 тис. т текстилю. Підприємства України щороку продукують близько 100 млн т токсичних відходів. Причому на деяких об'єктах знаходяться такі речовини, що навіть невідомими є методи поводження з ними. Не розроблено методів профілактики і попередження інтоксикації тих, хто працює з такими речовинами.

Кількість промислових відходів металургійної промисловості, агропромислового комплексу, енергетики і транспорту перевищує 152 млн т. Їх зберігають у шламонакопичувачах, більша частина яких переповнена рідкими відходами у півтора-два рази вище нормативів.

На території України є кілька тисяч полігонів і смітників для розміщення різних відходів. Більша частина з них не відповідає елементарним санітарно-гігієнічним нормам. За останні десять років кількість відходів збільшилася в 2-3 рази і найгірше, що вони змінилися за якістю. З огляду на це є чимало фундаментальних проблем, які необхідно вирішувати як промисловості, енергетиці, транспорту, так і науці. Йдеться про концепцію сталого розвитку, про оптимальні заходи з поліпшення якості ґрунтового покриву, тобто використання землі за її прямим призначенням, контроль за рівнем забруднення ґрунтів, відновлення властивостей родючості земель, створення на підприємствах безвідходних технологій, розроблення й упровадження замкнених технологічних процесів та ін.

Транспортний комплекс за останні роки продовжує розвиватися, підвищуються обсяги перевезень вантажів і

пасажирів, однак транспорт продовжує залишатися одним з найбільших забруднювачем ґрунтового покриву. У результаті виробничої діяльності залізничних підприємств щорічно утворюється більше 65 тис. т відходів. Масштаби розвитку теплоенергетики також прогнозовані, тому забруднення територій, що вилучаються при будівництві, відходами будуть підвищуватися.

Ситуація, яка складається з забруднення ґрунтів, спричинена рядом факторів, основними з яких є:

- відсутність політики екологізації виробництва на всіх рівнях управління;
- застаріла і недосконала технологія виробництва, що призводить до накопичення значних обсягів забруднень;
- відсутність належного нормативно-правового регулювання процесу поводження з відходами, особливо стосовно екологічної і економічної відповідальності;
- відсутність контролю матеріального балансу виробництва;
- відсутність постійного (моніторингового) контролю якості ґрунтів, особливо в місцях накопичення відходів;
- низька екологічна підготовка і свідомість інженерно-технічного персоналу.

Питання для самоперевірки

1. Що називають літосферою?
2. Який склад літосфери?
3. Що таке ґрунти?
4. З чого складаються ґрунти?
5. Що є основною характеристикою ґрунту?
6. Що характеризує гранулометричний склад ґрунту?
7. Як поділяють ґрунти за вмістом фізичного піску?
8. Який фазовий склад ґрунту?
9. Чим є для ґрунту гумус?
10. Як класифікується забруднення ґрунтів за величиною зон і вмістом забруднення?
11. Вплив теплоенергетики на утворення відходів.
12. Які речовини мають найбільший вплив на ґрунтовий покрив?

8. Відходи, їх утворення, накопичення, розміщення і знешкодження

8.1. Класифікація відходів і підприємств

У Законі України «Про відходи» дані такі визначення відходам та небезпечним відходам [48]:

«відходи – будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються в процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення та яких їх власник повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення;

небезпечні відходи – відходи, що мають такі фізичні, біологічні та інші властивості, які створюють або можуть створити значну небезпеку для навколишнього природного середовища і здоров'я людини та які потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними».

В Україні з 1996 р. введений у дію національний Класифікатор відходів (КВ), який входить до державної системи класифікації кодування техніко-економічної і соціальної інформації [49]. Класифікатор відходів забезпечує інформаційну підтримку у вирішенні широкого кола задач державного управління відходами і використання ресурсів на базі системи обліку і звітності. Цей класифікатор відповідає міжнародним системам [50].

Класифікація відходів здійснюється за декількома параметрами:

- за агрегатним станом;
- класом токсичності;
- видами діяльності підприємства;
- стадіями виробництва та ін.

За агрегатним станом відходи поділяють на тверді (Т), рідкі (Р), газоподібні (Г), змішані (З), шлами (Ш) та інші (У).

За класом токсичності:

- 1 клас – дуже небезпечні;
- 2 клас – високонебезпечні;
- 3 клас – помірнебезпечні;
- 4 клас – малонебезпечні.

За видом діяльності: виробничі (розділ «А»: А1-А30), побутові (розділ «Б»: Б1-Б8) і послуги за відходами (розділ «В»: В1-В5).

За стадіями виробництва:

- 1) відходи вхідних компонентів;
- 2) відходи виробництва;
- 3) відходи продукції.

Використання КВ створює нормативну базу для проведення у порівняльному аналізі структури та об'ємів утворення відходів у рамках Європейської статистики усіх видів економічної діяльності. Класифікатор застосовує такі терміни та їх визначення.

Бракована продукція – продукція, передача якої споживачу не допускається через наявність дефектів.

Некондиційна продукція – продукція, котра:

- не відповідає нормативним вимогам або не придатна за призначенням внаслідок забруднення;
- не може бути регенерована, відновлена або використана іншим засобом за місцем її виробництва;
- підлягає обробці на спеціалізованих підприємствах як вторинний матеріальний ресурс.

Неідентифікована продукція – продукція, яка не має відповідного нормативним вимогам маркування або для якої відсутні технічні специфікації (стандарти) і використання якої не можливо.

Зіпсована продукція – продукція:

- котра втратила свої функціональні та інші властивості, які встановлені нормативними вимогами, до закінчення строку використання;
- подальше використання якої за її прямим призначенням може призвести до непередбаченої післядії.

Відпрацьована продукція – продукція:

- котра у процесі експлуатації (використання) втратила свої функціональні та інші властивості, які встановлені нормативними вимогами, після закінчення строку служби;

- котра у процесі експлуатації стала неремонтопридатною щодо відновлення основних функціональних властивостей у відповідності з нормативними вимогами;
- подальше використання якої за її прямим призначенням може призвести до непередбаченої післядії.

Згідно з українським КВ код для конкретного виду відходів становить 10 цифр, але необхідно заповнювати перші вісім: [XXXX.X.X.XX]. У КВ вибрані такі класифікаційні ознаки відходів:

- перші чотири цифрові позиції – вид економічної діяльності, при котрій утворилися відходи (009-96);
- п'ята цифрова позиція – фаза процесу, на якій утворилися відходи (1-3);
- шоста цифрова позиція – складений елемент процесу, від якого утворилися відходи (1-9);
- дві останні – це код конкретного відходу, який можна визначити за КВ.

Запропонована класифікація відходів за вхідними компонентами, виробничо-технологічними процесами і кінцевою продукцією відповідає вимогам міжнародних стандартів. Класифікація об'єктів, яка встановлена в міжнародних стандартах, дає повну системну класифікацію усіх можливих об'єктів.

Крім того, існує ратифікований Україною Перелік Базельської Конвенції 1992 р., де під літерою «Н» перераховуються небезпечні властивості речовин, а під літерою «У» – конкретно небезпечні речовини.

Важливим елементом класифікації, але не окремого виду відходів, а підприємства у цілому є **категорія безпеки об'єкта або підприємства (КНП)**, який визначають за формулою

$$КНП = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{ГДК_{м.р.}} \right)^\alpha, \quad (8.1)$$

де M_i – маса викиду i -ї речовини, т/рік;

$ГДК_{м.р.}$ – максимально-разова концентрація i -ї речовини, мг/м³;

n – кількість шкідливих речовин, які викидають підприємства;

α – спеціальний коефіцієнт для i -ї речовини.

Коли $10 < \text{КНП} < 10^2$, то підприємство 4-го класу небезпеки.

Коли $10^2 < \text{КНП} < 10^3$, то підприємство 3-го класу небезпеки.

Коли $10^3 < \text{КНП} < 10^4$, то підприємство 2-го класу небезпеки.

Коли $10^4 < \text{КНП}$, то підприємство 1-го класу небезпеки.

Постановою Кабміну України № 956 від 11.06.2002 р. введена ідентифікація потенційної небезпеки об'єктів. Усі об'єкти (підприємства, склади, відвали та ін.) поділяють на 3 групи:

1) вибухонебезпечні, що виробляють або зберігають вибухові речовини, стиснені горючі гази, лужні метали та ін.;

2) пожежонебезпечні, що виробляють або зберігають горючі гази, рідини, карбід та ін.;

3) небезпечні для людини і природи, що виробляють або зберігають високотоксичні речовини.

8.2. Промислові та побутові відходи та їх вплив на ґрунтовий покрив

На сучасному етапі розвитку техніки будь-яке виробництво, що здійснюється в сфері господарства, супроводжується утворенням певного виду продукції і деякої кількості відходів. Крім того, знаряддя і предмети праці, які були використані, по закінченні деякого часу стають непридатними або застарівають морально і навіть переходять у категорію відходів.

Специфіка промислових відходів полягає в тому, що в процесі їх формування виявляються дві взаємовиключні тенденції. Перша виявляється у збільшенні маси відходів у зв'язку з прогресуючим вилученням корисної первісної сировини і її залученням у виробництво; друга тенденція, яка базується на швидкому вдосконаленні технології переробки вихідної сировини, виражається в тому, що норми накопичення відходів при виробленні одиниці продукції постійно зменшуються. Але незважаючи на вдосконалення технології виробництва зростання потреб господарства в кінцевій продукції, а отже, в сировині і енергії настільки значне, що загальний обсяг промислових відходів збільшується досить енергійно.

Техногенна забрудненість ґрунтового покриву залежить від типу, кількості надходження промислових та побутових відходів, радіонуклідів, пестицидів і мінеральних добрив. Кожній галузі промисловості властивий свій характерний склад відходів. Особливо впливають на стан ландшафтів несприятливі природно-антропогенні процеси, техногенні викиди промисловості, забруднення радіонуклідами і пестицидами тощо.

Відбувається масове накопичення відходів, серед яких більшість є шкідливими для усієї біосфери й, особливо, для ґрунтового покриву. Одночасно зі зростанням обсягу накопичення відходів відбуваються надто помітні зміни їх структури, пов'язані перш за все з застосуванням нової технології і появою нових видів матеріалів. У країнах з високим рівнем економічного розвитку у відходах різко зростає частка паперу, пакувальних матеріалів, скла. Як показують розрахунки, з точки зору санітарного стану природного середовища, небезпечними за характером розміщення слід визнавати всі промислові відходи. Особливу проблему складають величезні маси відходів, які формуються в урбанізованих або індустріальних зонах країни.

Небезпека забруднення зростає, коли з відходами виробництва на звалище потрапляють несправні засоби та апарати з вмістом токсичних речовин, наприклад люмінесцентна лампа, яка містить до 150 мг ртуті. Несправні лампи часто викидають на звалище, де вони руйнуються. Забруднюються не тільки ґрунти, але й атмосфера й водоймища. Відпрацьовані люмінесцентні лампи відносять до промислових відходів першого класу, при їх пошкодженні у навколишнє середовище потрапляють металева ртуть та її пари. Вони дуже отрутні, мають кумулятивні властивості і належать до ферментних отруєнь, які викликають отруєння навіть від дуже малої кількості пари, яка утворюється при кімнатній температурі. При падінні ртуть розбивається на багато дрібних крапель, які дуже небезпечні, оскільки при їх вдиханні подразнюється горло, з'являється металевий присмак у роті, нудота, запаморочення, слабкість. Хронічне отруєння може призвести до втрати працездатності. Відпрацьовані ртутні лампи відповідно до «Класифікатора

відходів» ДК 005-96 підлягають утилізації за технологією, яка дозволяє вилучити ртуть і переробити скляні балони.

Значної екологічної шкоди земельним ресурсам завдає забрудненість ґрунтів викидами промисловості, тепловою енергетикою та транспортом.

8.2.1. Відходи паливно-енергетичного комплексу

Паливно-енергетичний комплекс відрізняється великою різноманітністю промислових відходів, які утворюються при добуванні палива, його збагаченні і при спалюванні. Основним видом палива, що добувають в Україні, є тверде паливо, яке створює **відходи видобутку**. Залежно від способу видобутку відходи називають розкривними або шахтними. Так, на 1 т вугілля при відкритому добуванні створюється до 3-5 т розкривних порід, при підземному – до 0,2-0,3 т шахтних. Породи складають у відвали, які займають великі площі земель і підпадають під водну і вітрову ерозію, забруднюючи прилеглу територію.

Окрему групу відходів вугледобування складають горілі породи, що утворюються при природних підземних пожарах у вугільних пластах, і перегорівши відвальні шахтні породи. За основними фізико-хімічними властивостями вони близькі до глин, що обпалені при температурі 800-1000 °С, густина яких становить 2400-2700 кг/м³. Вміст палива в природних горілих породах досягає 2-3 %, у відвальних горілих породах його значно менше.

Відходи вуглезбагачення створюються при збагаченні вугілля для коксування, енергетичних і інших цілей і є сумішшю осадових порід, часток вугілля і мінеральних домішок. До їх складу входить у різних співвідношеннях залежно від району добування глини, аргилити, сланці, пісковики, вапно, кальцити. Вміст органічної маси може досягати 15 % і більше. Крім того, у відходах містяться сірка та мікроелементи.

За зерновим складом відходи збагачення розподіляють на породи збагачення крупністю від 200 до 0,5 мм, що утворюються при гравітаційному збагаченні вугілля, і хвости флотації крупністю менше 0,5 мм, що утворюються при флотаційному

збагаченні. Породи збагачення складають основну масу відходів (90 %). Складують їх у гідровідвали або механічними засобами у відвали, відходи (хвости) флотації – у хвостосховища.

Золошлакові відходи створюються при спалюванні твердого палива в топках ТЕС, вихід яких залежить від виду палива і становить у бурих вугіль – 10-15 %, кам'яних – 3-40 %, горючих сланцях – 50-80 %, мазуті – 0,15-0,2 %. Зола після спалювання вугілля уловлюють у спеціальні бункери і видаляють в золовідвали. Шлаки гранулюють шляхом швидкого охолодження водою і видаляють у відвали сухим або гідравлічним способом. Зола і шлаки є крупнотоннажними відходами і їх хімічний склад коливається в широких межах. Хімічний склад золошлакових відходів залежить від мінеральної складової палива і коливається залежно від родовища вугілля. Приблизний склад основних оксидів у золошлакових відходах: SiO_2 37-63 %, Al_2O_3 9-37 %, Fe_2O_3 4-17 %, CaO 1-32 %, MgO 0,1-5 %, SO_3 0,05-2,5 %. У золі присутньо незгоріле паливо до 6-7 % і більше.

Золовідвали займають тисячі гектарів землі, придатної для використання сільським господарством. Вугільні ТЕС впливають на ґрунтовий покрив через відходи транспортування, пилоприготування, золовидалення і утворення на поверхні золо- і шламовідвалів.

Загальна кількість викидів енергетичними об'єктами України складає близько 2,3-2,5 млн т/р., частка ТЕС в цих викидах найбільша. Їх основними складовими є оксиди вуглецю, сірки і азоту, а при спалюванні твердого палива ще й зола і шлак. Відходи вугільних ТЕС складають 300 млн т. Так, при роботі вугільної ТЕС потужністю 2400 МВт на високозольному антрацитовому штибі при спалюванні палива 1100 т/год витрачається 820 т/год кисню і утворюється золи 194 т/год, шлаку – 34 т/год, до атмосферного повітря надходить летючої золи – 2,5 т/год, двооксиду вуглецю 2350 т/год, двооксиду сірки – 34 т/год, оксидів азоту – 10 т/год. Таким чином, у вигляді відходів у навколишнє середовище викидається 2774,5 т/год, а це більш ніж в 2,5 рази перевищує кількість палива, що спалили на ТЕС. Наприклад, за 45 років роботи Зміївської ТЕС проектною потужністю 2400 МВт накопичено 28 млн т відходів.

Відвали золошлакових матеріалів є значними джерелами забруднення, насамперед ґрунтового покриву. Лише за 2007 р. нагромадження золи і золошлакових відходів в Україні склало 299,4 млн т, вони займають великі площі, а їх утримання вимагає значних експлуатаційних витрат.

8.2.2. Відходи підприємств залізничного транспорту

Через різноманітність виробничих процесів, пов'язаних з перевезенням вантажів і пасажирів, ремонтом рухомого складу і магістралей, енергопостачанням, будівництвом нових залізничних шляхів і об'єктів, утворюється великий об'єм виробничих відходів.

Території підприємств залізничного транспорту забруднюються, в основному, нафтопродуктами, металами, а також залишками сипких вантажів, що перевозяться.

Залежно від виробництва на підприємствах утворюються такі відходи:

- відпрацьовані мастила (моторні, трансформаторні, компресорні);
- шлами, які містять залишки нафтопродуктів (шлам нафтопісковловлювачів, шлам після миття локомотивів, цистерн, шлам приямків миючих машин);
- шлами водостоків і біологічного очищення;
- відходи металообробки;
- відходи відпрацьованих деталей;
- зола вугільних котелень і кузень;
- відходи, що містять ПХР і хлорорганічні речовини, та ін.

Перечень видів виробничих відходів, що утворюються при виконанні основних і допоміжних технологічних процесів, достатньо великий [3].

8.3. Технології поводження з відходами

Важко порівняти рівень вирішення проблеми утилізації відходів у розвинутих державах і в Україні. На Заході ланцюг такий: сортування відходів – найвища технологія переробки – отримання прибутків. А у нас – розвалена система

«Вторсировина», закон про відходи, який не діє. В Україні чотири сміттєспалювальних заводи (ССЗ), з яких працюють тільки два – у Києві та Дніпропетровську. Харківський і Севастопольський на даний час на реконструкції. Але спалювання відходів теж небезпечно, оскільки у викидах ССЗ було виявлено діоксини. Виконати детальний і розгорнутий аналіз з діоксинів дуже складно і дорого. Щодо інших показників, то, як стверджують, усе перебуває у допустимих межах і відповідає прийнятим екологічним нормам. Проблема сортування відходів також важлива, вона передбачає відмову від системи сміттєпроводів, установлення контейнерів для окремих видів відходів. Прикладом може бути Німеччина, де справа збирання, сортування і переробки сміття поставлена промислово. Серйозне ставлення до чистоти навколишнього середовища у Німеччині досягає добрих результатів [51].

В Україні пішли іншим шляхом, запропонувавши комплексну систему з відходами в містах країни. Це стосується, перш за все, розподілу відходів за категоріями – промислові і комунальні, і створення ефективної системи їх збирання, сортування та екологічно безпечної утилізації. Оптимальним є підхід, коли спеціалізовані підприємства охоплюють усі етапи роботи з комунальними відходами: збирання, транспортування, сортування з метою вилучення окремих компонентів (макулатури, полімерних матеріалів, металів, скла, деревини, текстилю) для вторинного використання, брикетування неутилізованого залишку, складування брикетів на полігоні.

З урахуванням ситуації в Україні прийняли на цей час найоптимальніший (для нашого способу життя) варіант: відходи збирають, вивозять на підприємство, де їх сортують, рештки (не утилізований залишок) пресують у брикети і вивозять для складування (захоронення) на полігон. Складування брикетів на полігоні – це набагато простіший та ефективний спосіб їхнього захоронення:

- по-перше, потрібно значно менше площі під полігони;
- по-друге, на таких ділянках нема гризунів;
- по-третє, не утворюється фільтрат, тому що не набирають вологи завдяки високій густині, тобто не призводить до забруднення ґрунтових і підземних вод.

У комунальних відходах міститься до 30 % вторинної сировини. Найбільша кількість (18 %) припадає на паперові відходи та полімерні матеріали (5-7 %). Як бачимо, мікроорганізми природного середовища не в змозі переробити полімерну упаковку, а внаслідок її спалювання виділяється багато токсичних речовин. Тому вторинні полімерні матеріали подрібнюють, пресують і відправляють на повторну переробку. У комунальних відходах міститься також багато скла, а нині на склозаводах є велика потреба у склобої. Крім того, у відходах містяться інші цінні компоненти (чорні та кольорові метали, текстиль, деревина), які можуть також перероблятися у значних кількостях. За підрахунками, оцінка вартості вторинної сировини в комунальних відходах кожного з 39 міст країни становить щонайменше 5 млн грн/р.

Українськими вченими запропоновано ще один з варіантів переробки відходів. Цей метод ґрунтується на принципі піролізу, що відбувається в електромагнітному полі під дією спеціального електромагнітного прискорювача. У результаті виникає реакція розпаду органічних сполук на елементарні речовини: вуглець, водень, сірку, хлор, пару і твердий мінеральний залишок, причому процес відбувається удвічі швидше, ніж за традиційних способів піролізу. Комплекс дає змогу майже у п'ять разів зменшити викид в атмосферу діоксинів, хлору, фтору, сірки, важких і радіоактивних металів. Комплекс повністю забезпечує переробку шкідливих речовин – вихід корисних продуктів з 1 т сировини становить 350-400 кг бензину або дизельного пального, що набагато вище, ніж в установках, які застосовувалися раніше. Активні хлор, фтор, сірка, інші елементи і сполуки зв'язуються у корисні або повністю утилізовані речовини. Цей метод більш дешевий і швидко окупається.

Систему управління промисловими відходами на підприємстві можна визначити, як частину загальної системи управління підприємством, котра включає у себе організаційну структуру, діяльність з планування, обов'язки і відповідальність, практику, процедури і ресурси для формування, упровадження, аналізу й актуалізації політики у сфері поводження з відходами на підприємстві. Важливими умовами стійкого функціонування такої системи є періодичний аналіз результатів екологічної

політики в області поводження з відходами, оцінка ефективності системи управління відходами на підприємстві й оптимізації цієї системи.

Для охорони ґрунтового покриву в промисловості є такі правила:

- по-перше, вибір основного технологічного циклу виробництва конкретної продукції з урахуванням екологічних наслідків, а це величезні можливості;

- по-друге, зі зростанням масштабів виробництва питомі кількості відходів і стоків на одиницю продукції зменшуються, проте зниження цих кількостей має природні і технічні обмеження.

8.3.1. Комплексне поводження з відходами

Відходи утворюються в основному технологічному процесі виробництва продукції; у процесі очищення технологічних газів, що відходять; промислових стічних вод; ремонтних роботах та ін. Відповідно до класифікації КВ розробляють системи уловлювання, зберігання, транспортування, перероблення й утилізації відходів [52].

Збирання відходів здійснюється шляхом їх видалення з місць (об'єктів) утворення і накопичення, сортування за даними ознаками згідно з класами небезпеки на однорідні складові і розміщення у спеціалізованих об'єктах для тимчасового зберігання до забезпечення оброблення, утилізації або видалення.

Відходи I-III класів небезпеки з нагромадженням збирають у тару і доставляють на об'єкти тимчасового зберігання з дотриманням таких вимог:

- збирання і тимчасове зберігання відходів здійснюють на підставі інструкції і плану заходів, що мають бути розроблені підприємствами;

- на кожний об'єкт зберігання відходів потрібно скласти спеціальний паспорт, у якому відображаються технічна характеристика об'єкта, дані про методи контролю і безпечної експлуатації, найменування і коди відходів, їх кількісний і якісний склад;

- надзвичайно небезпечні відходи (I клас небезпеки) зберігають у герметично закритій тарі;

- високонебезпечні відходи (II клас небезпеки) зберігають виходячи з їхнього фізичного стану в поліетиленових мішках, пакетах, бочках та інших видах тари, що запобігають поширенню шкідливих речовин у навколишньому середовищі;

- помірнонебезпечні відходи (III клас небезпеки) зберігаються у тарі, що забезпечує їх локалізацію, дає змогу здійснювати вантажно-розвантажувальні і транспортні роботи, виключає поширення у навколишньому середовищі шкідливих речовин;

- малонебезпечні відходи (IV клас небезпеки) можуть зберігатися відкрито на виробничому майданчику в умовах, що дозволяють здійснювати вантажно-розвантажувальні і транспортні роботи. Зазначені відходи без негативних екологічних наслідків можуть бути об'єднані з побутовими відходами в місцях захоронення останніх або використання як ізоляційного матеріалу, а також для будівельних робіт під час планування території.

Змішувати відходи, якщо це не передбачено технологічним регламентом, не допускається.

Для збирання відходів на підприємствах має бути відведено й обладнано відповідні майданчики, встановлено марковану тару, відсіки, бункери тощо з чітким позначенням виду відходів, групи, класу, марки.

Тимчасове зберігання відходів на території підприємства

Кількість відходів, яку допускається для зберігання на території підприємства, узгоджується з територіальними службами на основі класифікації відходів за ступенем небезпечності, фізико-хімічними властивостями, агрегатним станом, леткістю окремих компонентів, можливими хімічними реакціями. Умови тимчасового зберігання відходів на території підприємства регламентуються відповідними інструкціями чи іншими нормативними документами, розробленими та затвердженими у встановленому порядку.

Зберігання відходів на виробничих майданчиках у відкритому вигляді або негерметичній, відкритій тарі дозволяється за дотримання таких вимог:

- концентрація шкідливих речовин у повітрі на висоті до двох метрів від поверхні землі на повинна перевищувати 30 % гранично допустимої концентрації (ГДК);

- концентрація шкідливих речовин у ґрунті санітарно-захисної зони не повинна перевищувати допустимих показників, а в ґрунтових і поверхневих водах – ГДК згідно із санітарними нормами;

- виробничий майданчик має розміщуватися з підвітряного боку, покриватися непроникним для токсичних речовин матеріалом з автономним водоводом і нахилом у бік очисних споруд. Потрапляння поверхневого стоку з майданчика в загальний водовід має бути виключено за рахунок обвалування та інших заходів. Для зазначеного стоку необхідні спеціальні очисні споруди, що забезпечують уловлювання і знешкоджування токсичних речовин;

- зберігання відходів здійснюється в умовах їх захисту від впливу атмосферних опадів і вітру.

Зазначені вимоги не поширюються на спеціально обладнані накопичувачі, шламовідвали та ін. Об'єкти довгострокового зберігання відходів (більше двох років) прирівнюються до об'єктів їх видалення.

Транспортування відходів здійснюється в непошкодженій тарі з використанням транспортних засобів, призначених для перевезення відходів відповідно класу небезпеки, з дотриманням таких вимог:

- перевезення небезпечних відходів здійснюється за наявності ліцензії на поводження з ними та паспорту відходу і в порядку, визначеному законодавством про перевезення небезпечних вантажів;

- кількість перевезених відходів не повинна перевищувати вантажного об'єму відповідного засобу;

- усі процеси, пов'язані з навантаженням, перевезенням і розвантаженням відходів I-III класів небезпеки, мають бути механізовані. Під час перевезення напіврідких (пастоподібних), рідких відходів використовуються транспортні засоби, які мають шланговий пристрій для зливу;

- для твердих, сипких і пилоподібних відходів використовують транспортні засоби, які оснащені пристосованою

тарою або самостійним пристроєм для розвантаження автокраном. Пилоподібні відходи необхідно зволожувати при навантаженні, перевезенні і розвантаженні;

- під час перевезення токсичних відходів не допускається присутність сторонніх осіб, крім водія, який пройшов спеціальний інструктаж з техніки безпеки при поводженні з токсичними відходами, і представника підприємства – виробника відходів, що супроводжує вантаж. Транспортні засоби повинні мати спеціальні позначення, які характеризують специфічність їх використання.

Оброблення і перероблення відходів здійснюється у разі їх знешкодження або кондиціонування для подальшого поводження з ними, а також при утилізації. Кондиціонування спрямоване на зміну окремих показників, що характеризують склад, технологічні та експлуатаційні властивості відходів, а знешкодження як різновид оброблення – для зменшення або усунення небезпечних властивостей. Оброблення та перероблення промислових відходів може здійснюватися в місцях їх утворення, збирання, заготівлі, тимчасового зберігання, утилізації або видалення. Необхідність, місце та кінцевий результат оброблення відходів визначаються згідно з вимогами нормативних документів, технологічних регламентів, технічної документації тощо на процеси, у результаті яких утворюються, утилізуються або видаляються відходи.

Методи поводження з відходами – це засоби або сукупність засобів здійснення операцій поводження з відходами із застосуванням різних механізмів, хімічних, термічних, біологічних або комбінованих методів оброблення, знешкодження, утилізації і переробки відходів з урахуванням їх небезпечності та агрегатного стану. Таких методів існує дуже багато, тільки методів знешкодження й утилізації налічується близько 20. По кожному методу є 5-10 і більше різноманітних технологічних схем застосування, локальних технологій, типів інженерних споруд [52].

Вибір оптимального методу залежить від багатьох факторів:

- конкретного природно-антропогенного регіону;
- населеного пункту;

- кліматичних, геологічних і містобудівних умов;
- обсягів утворення відходів;
- ефективності технологічних схем;
- раціональності використання земельних ресурсів.

Процес вибору методу поводження з відходами має здійснюватися з виконанням техніко-економічного аналізу.

Для оброблення і перероблення промислових відходів, а також для їх утилізації і знешкодження використовують термічні, хімічні, фізико-хімічні і біологічні методи.

Для вибору того або іншого процесу, а також технічних засобів їх забезпечення необхідно виходити з граничних і номінальних значень показників, які змінюються під час кондиціонування і знешкодження, з періодичності та об'ємів утворення відходів.

На кожен об'єкт оброблення та перероблення відходів складається реєстраційна картка встановленої форми.

Утилізація відходів здійснюється шляхом їх економічно обґрунтованого й екологічно безпечного прямого використання або шляхом переробки на базі існуючих чи спеціально створюваних виробничих потужностей і технологічних процесів виходячи з ресурсного чи енергетичного потенціалу відходів.

При постановці завдання щодо утилізації проводять пошук інформації за існуючими технологіями перероблення відходів з метою їх використання. У разі браку інформації щодо існуючих технологій, спрямованих на використання відходів, розробляють такі виробництва на існуючих технологічних лініях або створюють нові виробництва.

Технологічні вимоги до відходів, які використовуються як сировина, матеріали чи домішки для виробництва конкретних видів продукції, регламентуються відповідними нормативними документами. У разі їх відсутності вони мають бути розроблені та затверджені у встановленому порядку.

Утилізація промислових відходів здійснюється з дотриманням таких вимог:

- виробництво продукції з відходів або з їх використанням дозволяється за наявності відповідної нормативно-технологічної документації, у якій має передбачатися розділ «Вимоги безпеки»;

- відходи повинні мати токсиколого-гігієнічний паспорт, а кінцеві продукти, виготовлені з їх використанням, – висновок санітарно-гігієнічної експертизи;

- забороняється передавати небезпечні відходи громадянам, підприємствам, установам і організаціям, якщо вони не забезпечують утилізацію цих відходів екологічно безпечним способом;

- використання відходів у будівельній індустрії дозволяється за наявності висновку санітарно-гігієнічної експертизи про вплив на об'єкти природного середовища;

- гігієнічна оцінка відходів та їх продукції здійснюється органами державного санітарного нагляду із залученням у разі потреби науково-дослідних інститутів і підрозділів медичних інститутів гігієнічного профілю, які атестовані на цей вид діяльності;

- при організації виробництва товарної продукції з відходів необхідно оцінювати його техніко-економічну ефективність, конкурентоспроможність продукції і кон'юнктуру ринку, а також необхідності утилізації відходів. На кожний об'єкт утилізації відходів складають реєстраційну картку встановленої форми.

Видалення відходів у загальному випадку характеризується як здійснення операцій, що не призводить до їх утилізації за встановленим переліком у Законі України «Про відходи».

Зазначений перелік містить у собі 15 різних за кінцевим результатом операцій, частина з яких призначена для тимчасового зберігання й оброблення відходів. До операцій, що відображають кінцевий результат видалення відходів, належать:

- захоронення в землі або скидання на землю;
- оброблення ґрунту;
- закачування на глибину;
- скидання в поверхневі водойми;
- складування на спеціально обладнаних звалищах;
- скидання у водойми, моря, у тому числі захоронення на морському дні;
- спалювання на суші або в морі;
- постійне зберігання, наприклад у спеціальних контейнерах.

8.3.2. Напрями утилізації відходів паливно- енергетичного комплексу

Відходи добування містять деяку кількість вугілля, які мають здібність до самозаймання, тому необхідно здійснювати додаткове вилучення вугілля за допомогою спеціальних установок на ґрунтових відвалах. Цього досягають шляхом дрібнення породи, ущільнення її при складуванні, затоплення водою, улаштуванням глинистих екранів, обробкою порід суспензіями вапна, вапняку, глини. Таки відвали улаштовують плоскими. Породи в них ущільнюють шарами товщиною 1-1,5 м, а за периметром улаштовують дамби з інертних матеріалів.

Тверді відходи вугледобування використовують у якості низькосортного палива (за визначеним вмістом горючих складових) і як сировину при виробництві будівельних матеріалів. Однак через неоднорідність складу утилізація їх складна і не завжди економічна.

Перспективним напрямком утилізації порід, що містять вуглецеву речовину, є їх газифікація. Газифікації доцільно піддавати свіжу породу, що містить у своєму складі до 20 % вугілля і більше горючих речовин. При цьому додатково одержують енергетичне паливо, а зольний залишок можна використовувати для виробництва будівельних матеріалів.

У світовій практиці відходи вугледобування використовують для закладення відпрацьованих шахтних просторів.

Відходи вуглезбагачення використовують як енергетичну сировину шляхом спалювання або газифікації, направляють на перезбагачення, виробляють сірку і її сполуки, будівельні матеріали, сировину для кольорової та чорної металургії, для вилучення рідких розсіяних елементів, при створенні насипів, закладенні підземних виробіток, рекультивації ґрунтів.

Перспективним напрямом є використання цих відходів у якості домішки до сировини і якості основної сировини при виробництві керамічних виробів, пористих заповнювачів.

Незважаючи на багаторічні дослідження тривалі експерименти і економічні розрахунки, що підтверджують

доцільність утилізації відходів вуглезбагачення, у нашій країні використовуються незначно.

Використання *золошлакових відходів* ТЕС – одна із важливих екологічних проблем теплоенергетики. Є значний досвід утилізації золошлакових відходів ТЕС з високою економічною і екологічною економічністю.

Одним з перспективних напрямів утилізації золошлакових відходів є виробництво пористих заповнювачів для легких бетонів. Дрібний заповнювач може бути замінений золою. У якості крупних заповнювачів використовують щебінь з паливних шлаків, зольний обпалювальний гравій і глинозольний керамзит.

Шлаки, які використовуються для виробництва щебеню, повинні бути стійкими до розпаду. При повільному охолодженні шлаків наряду з утворенням мінералів можуть відбуватися поліморфні перетворення, що призводять до розпаду і спонтанного перетворення кусків у порошок. Для запобігання розпаду паливні шлаки використовують після тривалого (3-6 місяців) видержування у відвалах.

Зола і золошлакові суміші використовуються при виготовленні бетонних і залізобетонних виробів, приготуванні будівельних сумішей, виробництві цементу, штучних пористих заповнювачів цементу, силікатних і керамзитових виробів, теплоізоляційних матеріалів і в дорожньому будівництві.

Одним з найбільш перспективних напрямів утилізації золошлакових відвалів є виробництво з них пористих заповнювачів для легких бетонів. Паливні шлаки і зола є сировиною для виробництва штучного пористого заповнювача – аглопориту. Золошлакові відходи використовуються для виробництва силікатної цегли замість вапна і піску. Зольна кераміка характеризується високою кислотостійкістю, низькою стираністю, високою хімічною і термічною стійкістю.

Золошлакові відходи містять оксиди таких елементів, як кремній, алюміній, залізо, магній, натрій, а також мікроелементи, вміст яких менше 0,1 % – германій, галій, ванадій, літій, молібден, берилій, цирконій, хром, нікель, золото, срібло, а також рідкоземельні метали. Собівартість отримання рідкісних металів із золи на 70 % менше, ніж їх видобування з промислових руд.

Крім істотного економічного ефекту, це дозволило би вирішити і деякі екологічні проблеми.

Одним зі основних споживачів золошлакових відходів є дорожнє будівництво, де їх використовують для засипання при обладнанні фундаментів, для приготування асфальтобетонних покриттів.

Специфіка поводження з основними відходами, які утворюються на об'єктах теплоенергетики, полягає у тому, що рівень їх використання не перевищує 10 %. Оскільки утилізація цих відходів потребує цілого комплексу заходів від розроблення технічних умов на їх використання, технологічних ліній та різноманітних пристроїв для їх перероблення і транспортування до необхідності перебудування психології господарів відносно вторинних мінеральних ресурсів.

8.3.3. Поводження з відходами підприємств залізничного транспорту

Залізничні магістралі (їх загальна довжина складає понад 30 тис. км) і підприємства займають величезні площі, у тому числі землі, корисні для сільськогосподарчих робіт. Розміри земельних ділянок визначають згідно з «Нормами відводу земель для залізничних шляхів» (СН468-77) та Земельним кодексом України [53].

Площа земель, які відводяться на постійно, становлять 78% усієї площі, яка відводиться; на землі, які відводяться тимчасово, – 22%.

Тому рекультивация земель, які порушені, – один з основних напрямків діяльності залізничного транспорту з їх охорони і раціонального використання. Залежно від типу землі та її ґрунту маємо декілька напрямків рекультивации:

- сільськогосподарче, коли на порушених землях створюють сільськогосподарчі угіддя;
- лісогосподарчі, які передбачають лісні насадження;
- рибогосподарчі – створення у пониженнях техногенного рельєфу рибоводних водоймищ;
- водогосподарче – створення водоймищ різного призначення;

- рекреаційне – спорудження об'єктів відпочинку;
- санітарно-гігієнічне – біологічна або технічна консервація порушених земель, які мають негативний вплив на навколишнє середовище, рекультивація яких економічно не ефективна.

Більшою мірою підлягають рекультивації замазучені землі, які належать локомотивним, вагонним та колійним господарствам. Замазученість настає внаслідок порушення технологічних процесів, зіпсованого устаткування або аварії вагонів з нафтопродуктами. У таких випадках замазучений ґрунт зрізують і утилізують або заховують.

Для утилізації замазучених ґрунтів використовують термічні, хімічні, біологічні і фізико-хімічні методи. До термічних методів відносять спалювання, газифікацію і піроліз. Хімічні методи утилізації відходів проявляються в додаванні до маси, яка нейтралізується, хімічних реагентів, при цьому може відбуватися осадження, окислювання, відновлення, заміщення, утворення комплексів.

Біологічні методи знезаражування виробничих відходів знаходять усе більш широке використання, але у процесі біознезаражування відбувається вторинне забруднення: атмосферне повітря забруднюється продуктами розкладення мікроорганізмів: сірководнем і аміаком. Фізико-хімічні методи складають найбільшу групу методів очищення ґрунтів, які забруднені нафтопродуктами і важкими металами. При створюванні фізичних полів у пористих середовищах протікають одночасно безліч фізико-хімічних процесів:

- при накладенні поля механічних напружень забруднений ґрунт інтенсивно перемішується і відбувається очищення ґрунту від поверхневих забруднень;

- гідродинамічна дія на ґрунт супроводжується вилуценням, адсорбцією, дифузією і виносом забруднень з простору ґрунтів;

- екстракція і продувка вуглекислим газом також призводять до виносу забруднень з ґрунтів;

- стале електричне поле, яке прикладається до водонасиченого ґрунту, викликає протікання електрохімічних і електрокінетичних процесів;

- електромагнітне випромінювання призводить до дегідратації, дисоціації карбонатів, окислювання і плавлення ґрунтів та ін.

Для вироблення концепції знезаражування ґрунтів, які містять нафтопродукти, був оцінений тепловий ефект спалювання відходів при температурі 1100 °С з урахуванням вологості і фазових переходів. Для одержання позитивного теплового ефекту реакції горіння відходів вміст вуглеводнів не повинен бути менше 14 %, інакше відходи краще знезаражувати іншими методами [3].

Для залізничного транспорту ВНИИЖТом розроблено промивну технологію, яка дозволяє очищати ґрунт станцій і депо, що містить нафтопродукти, а також забруднений щебеневим і азбестовим баластом. Технологічна схема наведена на рис. 8.1.

Забруднений ґрунт завантажують грейдером у бункер і далі направляють транспортером у вузол шнекового миття секції промивання. Суспензія за допомогою шнеків прямує на вібраційні сита, де відбувається розподіл її на фракції 60-1 мм, а забруднена вода і фракція ґрунту менше 1 мм за допомогою насоса перекачується в секцію очищення і підготовки миючого розчину. Очищені фракції 60-20, 20-5, 5-1 мм транспортером направляють у бункери для відвантаження. Суспензія (забруднений розчин – фракція ґрунту менше 1 мм) насосом перекачується у відстійники секції очищення і підготовки води, у яких відбувається розподіл забрудненого миючого розчину на нафтопродукти, що спливають, миючий розчин і осад.

Миючий розчин з відстійника підігрівають до 45-50 °С і перекачують у вузол миття, спливаючі нафтопродукти самопливом поступають в ємність для зберігання нафтопродуктів, осад з нижньої частини відстійника насосом подається в прес-фільтр для обезводнення.

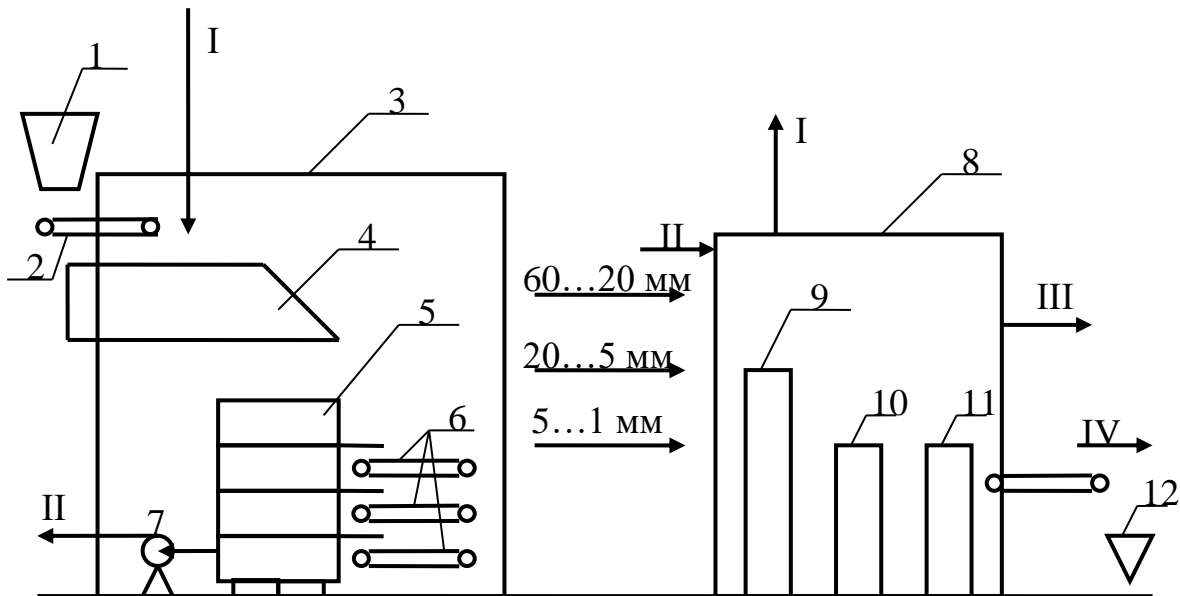


Рис. 8.1. Технологічна схема очищення ґрунту від нафтопродуктів і солей важких металів:

1 – бункер для завантаження ґрунту; 2 – транспортер; 3 – секція промивання; 4 – вузол шнекової миття ґрунту; 5 – вузол вібраційних сит; 6 – транспортери вивантаження очищених фракцій; 7 – шламовий насос; 8 – секція очищення і підготовки промивного розчину; 9 – відстійник; 10 – прес-фільтр; 11 – вузол електрохімічного очищення; 12 – бункер для очищеного ґрунту фракції менше 1 мм;

I – лінія очищеного розчину; II – лінія забрудненого миючого розчину з фракцією ґрунту 1 мм; III – лінія відбору нафтопродуктів; IV – лінія очищеного ґрунту

У структурних підрозділах залізничного транспорту утворюється велика кількість промислових і побутових відходів, які утилізують звичайно на полігонах, де відбувається анаеробне розкладення відходів протягом десятків років. При цьому створюються токсичні гази і фільтрати, які забруднюють водний і повітряний басейни, причому метан, сірководень і водень утворюють вибухонебезпечні суміші. Тому при підготовці ділянки під полігон необхідно створювати гідроізоляцію.

В останні роки розвивається новий напрям – прискорене знешкодження відходів: замість десятків років відходи

утилізуються протягом 4-8 місяців при спеціальному польовому компостуванні або протягом 1-3 тижня на сміттєпереробних заводах.

Одним з найбільш розповсюджених методів утилізації промислового і побутового сміття є його спалювання на сміттєспалювальних установках. На Південній залізниці розроблено пересувну сміттєспалювальну установку, яка спалює відходи, що накопичуються на невеликих станціях і вивезення яких пов'язане з технічними і фінансовими труднощами (рис. 8.2).

Установка змонтована на залізничній платформі вантажопідйомністю 60 т і може бути доставлена на будь-яку станцію для періодичного спалювання накопиченого сміття.

Шлак, що утворюється при спалюванні відходів, використовується у якості заповнювача при шляховому будівництві і виробництві шлакоблоків і тротуарної плитки.

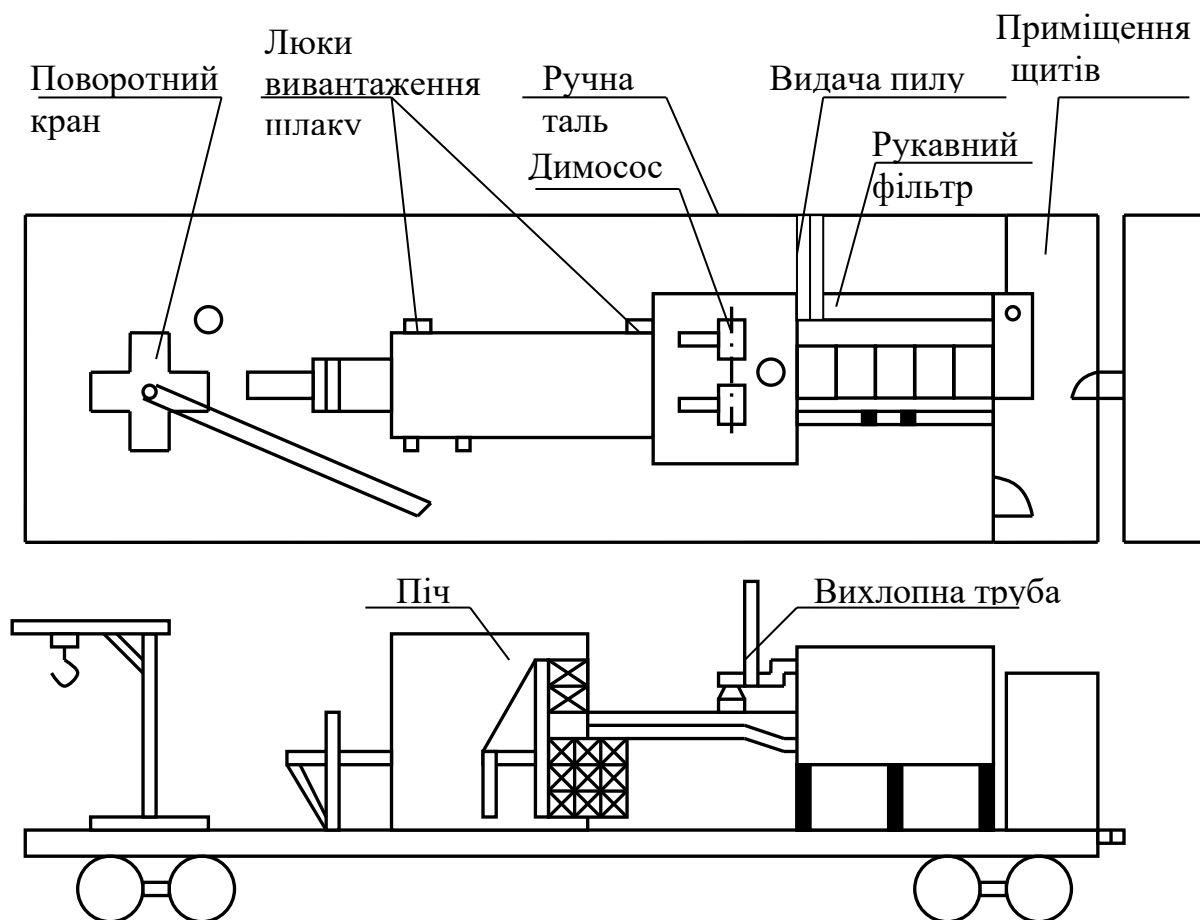


Рис. 8.2. Сміттєспалювальна установка

На підприємствах залізничного транспорту широко використовуються люмінесцентні лампи, тобто з урахуванням річної потреби ламп і накоплення їх відходів, за статистичними даними, коливається від 20 до 35 тис. шт. Відходи ламп віднесені до першого класу небезпеки і їх зберігання регламентовані нормативним документом №3209-85 від 01.02.1985 р. «Гранична кількість накоплення токсичних промислових відходів на території підприємств», крім того, складські приміщення й умови зберігання повинні відповідати ряду санітарно-гігієнічних умов:

- встановлення граничної кількості відходів у накопичувачах за погоджуванням з органами санітарно-епідеміологічної служби на основі класифікації відходів;

- зберігання в спеціальній тарі;

- наявність примусової вентиляції і регулюючого мікроклімату;

- контроль за станом навколишнього середовища на ділянці зберігання відходів.

Періодично відходи люмінесцентних ламп здаються на спеціальні підприємства для подальшої утилізації.

На підприємствах залізничного транспорту накопичуються відходи відпрацьованих акумуляторів і батарей різного типу, які відповідно до ДК 005-96 віднесені до розділу Б5 (група 60) «Відходи, які пов'язані з послугами транспорту», і за наявністю в них небезпечних складових належать до першої і другої груп токсичних відходів. Для захисту від шкідливої дії цих відходів затверджено у 1996 р. «Положення про порядок збору і переробки відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторів» № 223/154/165, яке визначає збір, накопичування, зберігання, транспортування і технологію утилізації і знешкоджування відходів свинцево-кислотних акумуляторів на території України.

Питання для самоперевірки

1. За яким параметрами здійснюють класифікацію відходів?
2. Як класифікуються відходи за агрегатним станом?
3. Як класифікуються відходи за класом токсичності?

4. Як класифікуються відходи за видом діяльності?
5. Як класифікуються відходи за стадіями виробництва?
6. Що таке бракована продукція?
7. Що таке зіпсована продукція?
8. З кількох цифр складається код конкретного виду відходів?
9. Як визначають категорію небезпеки підприємства або об'єкта?
10. Що таке КНП і як його визначають?
11. Як збираються відходи за класами небезпеки?
12. Яких вимог треба дотримуватися при транспортуванні відходів?
13. Як тимчасово зберігаються відходи на території підприємств?
14. Яких вимог треба дотримуватися при утилізації відходів?
15. Які операції з відходами є видаленням їх?
16. Назвіть методи поводження з відходами.
17. Які методи знезараження відходів застосовують на залізничному транспорті?
18. Які відходи утворюються при роботі ТЕС?
19. Назвіть методи знезараження або утилізації замазучених ґрунтів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Апостолук С.О., Джигірей В.С., Апостолук А.С. Промислова екологія: Навч. посібник. – К.: Знання, 2005. – 474 с.
2. Охрана окружающей среды: Учеб. для вузов/ Автор-сост. А.С. Степановских. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 559 с.
3. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и решения / В.Н. Плахотник и др. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 244 с.
4. Семиноженко В.П., Канило П.М., Остапчук В.М., Ровенський О.І. Енергія. Екологія. Майбутнє. – Х.: Прапор, 2003. – 464 с.
5. Экология города: Учебник / Под общ. ред. Ф.В. Стольберга. – К.: Либра, 2000. – 464 с.
6. Дейнека О.Г., Омельченко Т.М., Ніяковський В.В. Екологія: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – 197 с.
7. Орлов Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: Учеб. пособие для хим.-технол. и биол. спец. вузов / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лазоновская. – М.: Высш. шк., 2002. – 334 с.
8. Білявський Г.О., Бутченко Л.І., Навроцький В.М. Основи екології: теорія та практика: Навч. посібник. – К.: Лібра, 2002. – 352 с.
9. Україна. Статистичний щорічник 2001 р. – К.: Держкомстат, 2002. – 687 с.
10. Корчовий Ю.П., Вольчин І.А., Горбанів В.С. та ін. Екологічні аспекти розвитку теплоенергетики України // Енергінформ. – 2004. – №25 (259). – С. 5-6.
11. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-ХІІ від 25.06.1991 р. //Відомості Верховної Ради. – 1991. – № 41. – С. 546.
12. Закон України «Про зміни до Закону України «Про охорону атмосферного повітря» від 21.06.2001 р. № 2556-III //Офіційний Вісник України. – 2001. – № 31. – С. 26-39.
13. Вольчин І.А., Потапов А.А., Ращепкин В.А. К вопросу установления технологических нормативов допустимого выброса загрязняющих веществ в атмосферу // Энергетика та електрифікація. – 2006. – № 5. – С. 43-50.

14. Постанова Кабінету Міністрів України від 28.12.2001 р. № 1780 «Про затвердження «Порядку розробки та затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючої речовини від стаціонарних джерел» //Офіційний Вісник України. – 2002. – № 1. – С. 84-86.

15. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 р. //Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 50. – С. 1511-1525.

16. Рихтер А.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: Учеб. для вузов /Л.А. Рихтер, Э.П. Волков, В.Н. Покровский; Под ред. П.С. Непорожного. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.

17. Сигал И.Я., Славин В.И., Шило В.В. Очистка промышленных выбросов в атмосферу от оксидов серы и азота. (Обзор мирового опыта работ по очистке дымовых газов в 80-90-е годы) / Под ред. И.Я. Сигала – Харьков: РИП «Оригинал», 1995. – 144 с.

18. Пинчук Г.А., Покалюк А.И., Тебенихин Е.Ф. Технология топлива, смазочных материалов и воды. – М.: ГТЖИ, 1954. – 351 с.

19. Энергетика и окружающая среда / Ф.В. Скалкин, А.А. Канаев, И.З. Копп. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1981. – 280 с.

20. Русанов А.А., Урбах И.И., Анассиади А.П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике / А.А. Русанов, И.И. Урбах, А.П. Анассиади. – М.: Энергия, 1969. – 456 с.

21. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 1975. – 396 с.

22. Баженов М.И., Богородский А.С. Сборник задач по курсу «Промышленные электростанции»: Учеб. для вузов. – М.: Энергия, 1989. – 352 с.

23. Жихар Г.И. Тепловые электрические станции: Укрупненный расчет котла, выбор тягодутьевых машин, охрана окружающей среды: Учеб. пособие / Г.И. Жихор, Н.Б. Карницкий, И.И. Стриха; Под ред. Н.Б. Карницкого. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 380 с.

24. Указания по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. СН 369-74. – М.: Стройиздат, 1975. – 40 с.

25. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Л.: Госкомгидромет, 1987. – 93 с.

26. Полтавський І.П. Розрахунок розсіювання шкідливих викидів і вибір димових труб при роботі ТЕС та котельень: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – 74 с.

27. Внуков А.К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 176 с.

28. Энергетика и охрана окружающей среды /Под ред. Н.Г. Залогина и др. – М.: Энергия, 1979. – 352 с.

29. Руководство по проектированию санитарно-защитных зон промышленных предприятий /ЦНИИП градостроительства. – М.: Стройиздат, 1984. – 33 с.

30. Наказ Мінекобезпеки України «Порядок розробки і затвердження ГДВ забруднюючих речовин у атмосферне повітря стаціонарними джерелами» від 18.07.96 р. № 75. К., 1996. – 14 с.

31. Еремкин А.И., Квашин И.М., Юнкеров Ю.Ш. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: Учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 176 с.

32. Охрана окружающей среды: Справочник /Сост. Л.П. Шариков. – Л.: Судостроение, 1978. – 588 с.

33. СН245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. – М.: Стройиздат, 1972. – 96 с.

34. Ляшенко О.Л., Борщов В.А., Єгорова І.М. Основи екології: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – 146 с.

35. Водний кодекс України від 4 травня 1995 р. № 213/95-ВР (В текст внесені зміни та доповнення Законами України від 21 вересня 2000 р. № 1990-III, від 7 грудня 2000 р. № 2120-III, від 20 грудня 2001 р. № 2905-III) //Відомості Верховної Ради. – 1995. – № 24. – С. 189.

36. Покровский В.Н., Аркачев С.П. Очистка сточных вод тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.

37. «Про затвердження правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами». Постанова Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. № 465.

38. Сторожук В.М., Батлук В.А., Назарук М.М. Промислова екологія: Підручник. – Львів: Українська академія друкарства, 2006. – 547 с.

39. «Про порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується». Постанова Кабінету Міністрів України від 11 вересня 1996 р. № 1100 //Зібрання постанов Уряду України. – 1996. – № 17. – С. 91-88

40. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України. – Харків: Видавництво «ФОРТ», 2004. – 31 с.

41. Маляренко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження /Під заг. ред. В.А. Маляренка. – Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.

42. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. – Х.: Видавництво САГА, 2008. – 364 с.

43. Очистка производственных сточных вод: Учеб. пособие / С.В. Яковлев и др. – М.: Стройиздат, 1985. – 320 с.

44. Очистка сточных вод: примеры расчетов: Учеб. пособие / М.П. Лапицкая, Л.И. Зуева и др. – Минск: Выш. школа, 1983. – 255 с.

45. Охрана окружающей среды / С.В. Белов и др. – М.: Высшая школа, 1991. – 318 с.

46. Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Изд. группа «Вариант», 1999. – 440 с.

47. Барановський В.Д., Шищенко П.Г. Агроекологічна оцінка ґрунтів. – К., 2002. – 35 с.

48. Закон України « Про відходи» // Відомості Верховної Ради. – 1998. – № 36-37. – С. 242.

49. Утилизация и рекуперация отходов: Учеб. пособие /М.Е. Краснянский. – 2-е изд., испр. и доп. – Харьков: Бурун и К; Киев: КНТ, 2007. – 288 с.

50. Класифікатор відходів ДК 005-96. – К.: Парламентське видавництво, 2005. – 36 с.

51. Зербіно Д.Д., Гжегоцький М.П. Екологічні катастрофи у світі та в Україні. – Львів: БаК, 2005. – 272 с.

52. Інженерна екологія: Підруч. з теорії і практики сталого розвитку / В.А. Баженов, В.М. Ісаєнко, Ю.М. Саталкін та ін.; За заг. ред. В.П. Бабака. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2006. – 492 с.

53. Земельний кодекс України від 25 жовтня 2001 р. № 2768-III (в текст внесені зміни та доповнення Законом України від 20 грудня 2001 р. № 2905-III) //Відомості Верховної Ради. – 2002. – № 3. – С. 27.

54. Экологическое право Украины: Учеб. пособие /Отв. ред. А.П. Гетьман, М.В. Шульга. – Харьков: Одиссей, 2007. – 409 с.

55. Левин Б.И. Использование твердых бытовых отходов в системах энергоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.

ПРЕДМЕТНО-АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Аеротенки 108

Біологічні методи очищення стічних вод

- анаеробний 106

- аеробний 106

Біофільтри 106, 111

Бентос 4

Біотоп 11

Біоценоз 8

Біохімічне споживання кисню (БСК) 13, 23

Відстійники 97

Відходи

- видобутку вугілля 174

- вуглезбагачення 174

- золошлакові 175

- класифікація 169

- код 171

- специфіка 172

Вода

- використання 42, 44

- забезпеченість України 6

- загальний об'єм 6

- екологічні проблеми 8

- питна 16

Водні об'єкти

- вплив енергетики 37, 40

- вплив залізничного транспорту 41

- категорії 10

- класифікація 9

Водойми, процеси

- самоочищення 12

- фізичні 14

- хімічні 15

Гідробіонти 11

Гідросфера 6

Гранично допустимий викид (ГДВ) 62

Гранично допустима концентрація (ГДК) 48

Грати 94

Ґрунт

- забруднення 159, 165
- джерела забруднення 165, 166
- ерозія 156
- ступінь забруднення 161
- показники стану 164
- самоочищення 156
- склад 155

Гумус 162

Джерела забруднення 8

Евтрофікація 15,16

Екологічні проблеми 8

Екстракція 103

Електродіаліз 105

Забруднення водних об'єктів

- бактеріальне 36
- джерела 38
- органічне 36
- радіоактивне 36
- теплове 37
- хімічне 36

Земельні угіддя 161

Іонний обмін 104

Категорії небезпеки 171

Клас небезпеки

- відходів 169
- підприємств 172

Класифікація

- продукції 170
- очищення ґрунтів 187
- від нафтопродуктів 188

Коагуляція 100

Кратність розбавлення 69

Літосфера 7

Метантенки 112

Методи очищення стічних вод

- біологічні 105

- механічні 91
 - фізико-хімічні 92
 - хімічні 91
- Нафтовловлювачы 146
- Нафтопродукты 123
- Нейтралізація 99
- Нормативи
- водокористування 52
 - водовідведення 54
 - водоспоживання 52
 - екологічної безпеки 50
 - якості води 50
 - забруднення речовин 67
- Окситенки 110
- Окислення 100
- Осад 113
- Очищення стічних вод
- залізничного транспорту 145
 - класифікація методів 91
 - ТЕС 114
- Пісковловлювачі 96
- Поводження з відходами 179
- залізничного транспорту 186
 - енергетики 185
 - утилізація 183
- Показники якості води
- бактеріологічні 21
 - гідробіологічні 21
 - фізичні 19
 - хімічні 22
- Режим
- водоспоживання 55
 - водовідведення 55
- Розсіювання домішок 63
- Сміттєспалювальні заводи 177
- Сорбція 102
- Специфічні хімічні показники якості 26
- Усереднювачі 97

Фільтри 150

Флокуляція 101

Флотація 103

Флотаційні установки 146

Фізичні показники якості води

- вміст завислих речовин 21
- запах 19
- кольоровість 20
- присмак 20
- прозорість 20
- температура 19

Хімічні показники якості води

- азот 24
- водневий показник 24
- двооксид вуглецю 26
- мінеральний склад 25
- розчинний кисень 22
- фосфор 24
- хімічне споживання кисню (ХСК) 23

Якість води

- показники 19