

**Національний університет цивільного захисту України
Кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки**

В.А. Андронов, О.П. Шароватова

ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ

Курс лекцій

Частина 1

Харків 2012

Друкується за рішенням Вченої ради
НУЦЗУ

Протокол від 08.11.11. № 8.

Рецензенти: доктор технічних наук, професор В.К. Костенко, декан факультету екології та хімічної технології Донецького національного технічного університету;
кандидат хімічних наук, доцент П.А. Білим, доцент кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій Національного університету цивільного захисту України.

Андронов В.А., Шароватова О.П.

Промислова екологія: курс лекцій. Частина I. – Х.: НУЦЗУ, 2012. – 186 с.

Курс лекцій є складовою частиною методичного забезпечення навчального процесу при вивченні нормативної дисципліни «Промислова екологія».

Зміст видання, відповідаючи навчальній програмі дисципліни, розкриває теоретичні та практичні основи взаємозв'язку і взаємодії промислових об'єктів з навколишнім середовищем – сукупністю екологічних систем, що включають людину і середовище її існування. Висвітлені питання, орієнтовані на визначення ефективних способів і засобів охорони навколишнього природного середовища, що сприяє формуванню єдиної системи обов'язкової екологічної освіти бакалаврів, мінімально необхідного рівня природоохоронної підготовки фахівців з урахуванням нових концепцій управління техносферним розвитком на локальному, регіональному і глобальному рівнях.

Курс лекцій орієнтовано на студентів, аспірантів, викладачів ВНЗ, спеціалістів з охорони навколишнього природного середовища, практичних працівників.

ВСТУП

*Ми не чекаємо тепер милості від Природи...
тепер її чекає від нас – Вона сама!*

Леонід Сухоруков

Історія еволюції біосфери налічує багато прикладів існування процесів, які викликали функціональне порушення екосистеми і призводили до перебудови ходу біосферних процесів. Такі зміни відбувалися як до появи людини, так і при її існуванні.

Антропогенний вплив на біосферу спостерігається вже більше 20 тис. років. Відомо, що це призводить як до позитивних, так і до негативних результатів. Серед негативних наслідків науково-технічного прогресу все більшого розмаху набувають забруднення атмосферного та водного басейнів, деградація ґрунтового покриву, знищення запасів природних ресурсів, порушення стабільності екологічних систем та багато іншого. Сучасна діяльність людини викликає дедалі глибші зміни. Користуючись ресурсами природи, людство неминуче істотно змінює їх стан, а цим змінює й умови власного існування: чим більша технічна озброєність людства, тим значніший вплив на довкілля і тим важливіше, щоб цей вплив був переважно сприятливим.

Порушення стійкого функціонування біосфери і відтворення нею стабільних параметрів середовища життя організмів у зв'язку з високою чисельністю і активною господарською діяльністю людини вважають екологічною кризою. Якщо кризи за своєю природою зворотні, то перехід кризових явищ в екологічну катастрофу означає незворотний характер змін, що відбулися.

Інтенсивна техногенна діяльність людини призвела до загрози глобальної екологічної катастрофи, провісниками якої стали парниковий ефект та кислотні дощі, виснаження озонового шару та спустелювання, загрожуюче забруднення довкілля різними токсичними речовинами, підвищений радіаційний фон, зменшення біорізноманіття. Тому сучасній людині слід чітко уявити, що вона намагається побудувати для себе та своїх нащадків, оскільки нічого з того, що відбувається з природою, виправити, на жаль, неможливо.

Система державних, міжнародних заходів, спрямованих на раціональне використання, відтворення природних ресурсів, захист навколишнього природного середовища від забруднення і руйнування в інтересах задоволення матеріальних і культурних потреб як існуючих, так і майбутніх поколінь людей, визначається як охорона природи. Це - практичне втілення розроблених заходів щодо оптимізації взаємин людського суспільства і природи.

Очевидно, що переважна більшість вітчизняних виробництв сьогодні потребують забезпечення екологічного супроводження, яке міс-

тять широкий комплекс інженерно-технічних заходів, методів та способів їх реалізації. Усе це зумовлює напрями підготовки нового покоління високопрофесійних фахівців. У XXI столітті Україна потребує для всіх галузей економіки спеціалістів з високою екологічною свідомістю, новим екологічним мисленням, які не лише вільно орієнтуються у різних екологічних напрямках науки, а й розуміються на економічних, соціальних, правових аспектах взаємодії суспільства та природи.

Вивчення курсу «Промислова екологія» студентами технічних спеціальностей є необхідним, оскільки формування єдиної системи обов'язкової екологічної освіти забезпечить стабільний мінімально необхідний рівень природоохоронної підготовки фахівців усіх галузей науки, техніки, виробництва, будівництва і т.д. з урахуванням нових концепцій управління техносферним розвитком на локальному, регіональному і глобальному рівнях.

Метою дисципліни «Промислова екологія» є ознайомлення студентів із структурою та особливостями сучасних виробництв і шляхами їх екологізації; навчання основним методам зниження екологічної дії технічних систем на навколишнє природне середовище.

У процесі навчання студентів дисципліна «Промислова екологія» реалізує такі завдання, як ідентифікація негативного впливу антропогенних чинників на біосферу; добір, розробка та застосування ефективних засобів для зниження впливу антропогенних чинників до допустимих рівнів; сприяння створенню та розвитку маловідходних та безвідходних виробничих циклів; практичне застосування принципів інженерно-екологічної логіки, володіння прогресивними методами управління великомасштабними проектами і цільовими програмами; поєднання широкої фундаментальної теоретико-практичної підготовки; систематичне поповнення знань, розширення суспільно-екологічного кругозору.

Курс лекцій «Промислова екологія» Частина 1 складається з двох розділів, що відповідають змісту навчальних модулів «Теоретичні аспекти промислової екології. Захист атмосферного повітря від техногенного забруднення» та «Захист водних ресурсів від техногенного забруднення» з дисципліни «Промислова екологія», яка викладається на факультеті техногенно-екологічної безпеки НУЦЗУ для спеціальності «Охорона праці». Виходячи з особливостей сучасного стану повітряного і водного середовища та зумовлених ним проблем, у даному виданні розкриваються напрями протидії забрудненню повітря й оптимізації водокористування.

В основу видання лягли матеріали робіт вітчизняних науковців, серед яких: Апостолук С.О., Батлук В.А., Буравльов Ю.М., Джигирей В.С., Запольський А.К., Корсак К.В., Кочетова С.І., Милославський О.Г., Назарук М.М., Плахотник О.В., Салюк А.І., Солошенко О.В., Сторожук В.М., Ступін О.Б., Фесенко А.М. та ін.

З огляду на обмеженість обсягу курсу лекцій і змістовність навчальних питань, деякі з них викладені у стислому обсязі. Однак зацікавлений читач може отримати додаткову інформацію у відповідних джерелах літератури, список яких наведений наприкінці видання.

МОДУЛЬ 1

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ. ЗАХИСТ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Промислова екологія використовує якісні та кількісні параметри технологічних процесів для оцінки їх впливу на природне середовище. Наслідком інженерно-екологічного аналізу є визначення взаємозв'язків між параметрами технологічних процесів та змінами природного середовища. Їх результати є вихідними даними для розробки конкретних природоохоронних заходів певного виробництва [15].

Відомо, що з самого початку використання у своїй діяльності вогню людина почала забруднювати атмосферу. Після промислової революції і використання людиною парових двигунів, а потім і двигунів внутрішнього згорання антропогенне забруднення атмосфери збільшилось і в наш час набуло глобального характеру. Крім вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання, атмосферу засмічують викиди теплових електростанцій, промислових підприємств. Найбільш шкідливі гази і пил виділяють підприємства хімічної, металургійної, нафтопереробної, цементної промисловості [14].

ЛЕКЦІЯ 1

ВСТУП. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ

ПЛАН

1. Промислова екологія як прикладна галузь екології.
2. Структура базових понять та основні завдання промислової екології.

1.1. Промислова екологія як прикладна галузь екології

Сьогодні спостерігається інтенсивна екологізація різних технічних дисциплін завдяки впровадженню систем технологічних, управлінських та інших рішень, які дозволяють підвищувати ефективність використання природних ресурсів поряд із поліпшенням чи збереженням якості природного середовища на локальному, регіональному та глобальному рівнях, відбувається екологізація виробництва загалом та екологізація технологій зокрема.

Екологізація виробництва передбачає шляхи вдосконалення розроблених і створення нових технологічних процесів, які б якомога повніше забезпечували принцип *непорушення екологічної рівноваги*. Основними напрямками екологізації виробництва є розробка і наукове обґрунтування нових технологічних процесів, оптимізація використання ресурсів, а також комплексне і багаторазове їх використання; рекультивація природного середовища.

Під *екологізацією технологій* розуміють заходи, спрямовані на запобігання негативному впливу виробничих процесів на природне середовище. Екологізація технологій здійснюється шляхом впровадження безвідходних технологій або зведенням до мінімуму шкідливих викидів.

Останнім часом в усьому світі розвиваються найрізноманітніші напрями екологічних досліджень з метою забезпечення фахівців необхідною для прийняття рішень екологічною інформацією з усіх сфер людської діяльності. Нині сформувалося близько ста напрямів екологічних досліджень, які можна об'єднати за принципами галузевої приналежності, взаємозв'язків, взаємопідпорядкованості, пріоритетності, теоретичного та практичного значення. Відбувається формування та вдосконалення сучасного уявлення про структуру екології, формування її фундаментальних основ [15].

Умовно в сучасній екології виокремлюють дві великі складові – загальну (теоретичну) екологію та прикладну екологію. На рис. 1.1 наведено структуру сучасної екології, яка сформована на основі класифікації Г.О. Білявського – Л.І. Бутченко (2004).

Автори аргументують виокремлення **загальної екології** відносно низки прикладних екологічних наук як теоретичної, але з умовою, що основою її є біоекологія з усім колом сучасних проблем. **Біоекологія** вивчає найбільш загальні закономірності взаємостосунків організмів і їх угруповань із середовищем у природних умовах. Її складовими є екологія природних біологічних систем (аутекологія, демекоелогія, синекологія, біогеоценологія); екологія таксономічних груп і еволюційна екологія.

Прикладна екологія вивчає механізми руйнування біосфери людиною, способи запобігання цим процесам та розробляє принципи раціонального використання природних ресурсів без деградації життєвого середовища. Прикладна екологія базується на системі законів, правил та принципів теоретичної екології і природокористування.

У прикладній екології виділяють три великих блоки:

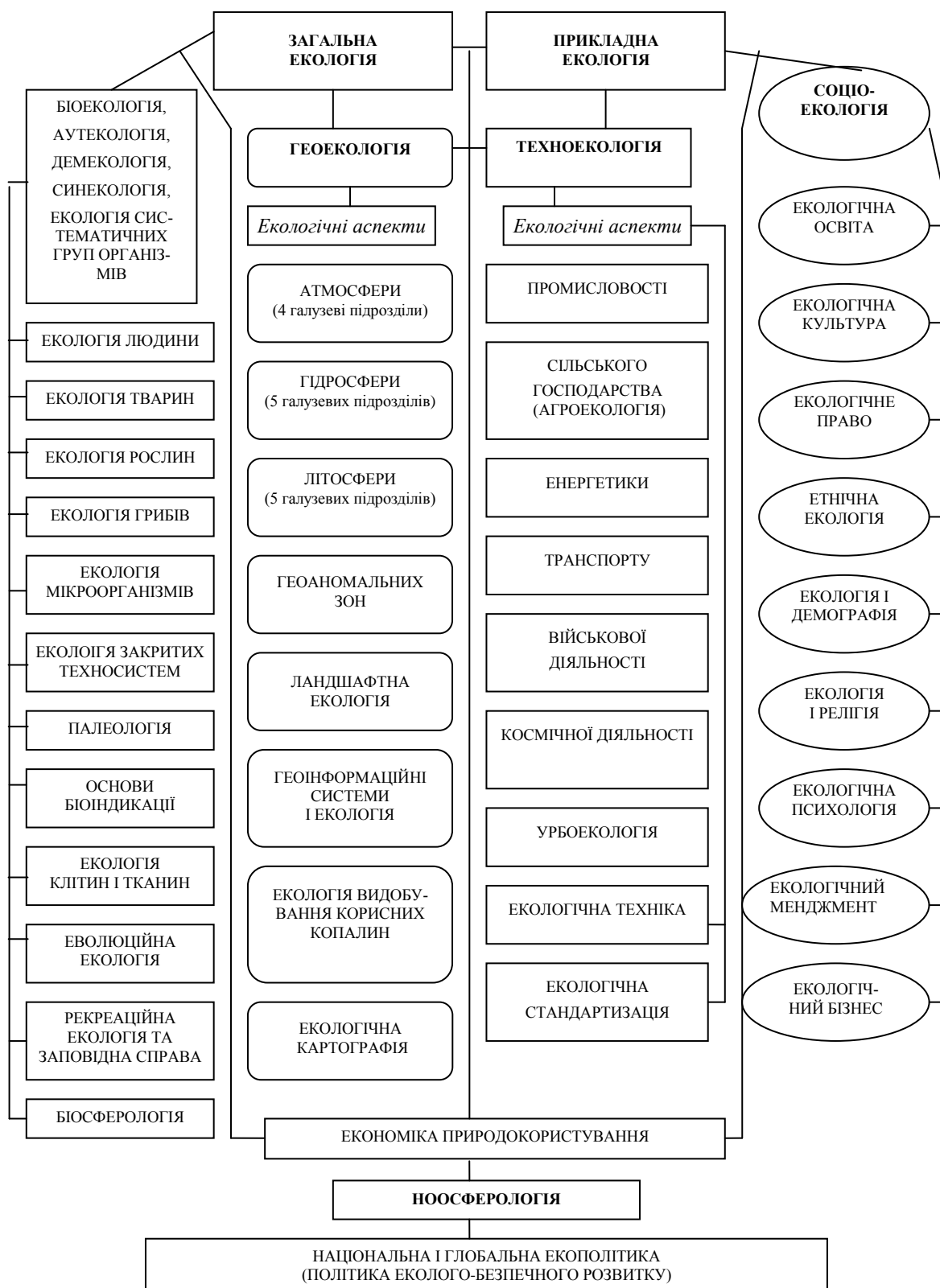
- *геоекологію*, яка розглядає екологічні аспекти атмосфери, гідросфери та літосфери (за галузевими підрозділами), геоаномальних зон; до її складу входять ландшафтна екологія, геоінформаційні системи й екологія, екологія і видобування корисних копалин та екологічна картографія;

- *соціоекологію*, до складу якої входять екологічні освіта, культура, право, психологія, менеджмент, бізнес; етнічна екологія; екологія і демографія; екологія і релігія;

- *техноекологію*.

Техноекологія – найбільший за обсягом блок прикладних екологічних напрямів (відповідно дисциплін), пов'язаних із такими об'єктами людської діяльності, як енергетика, промисловість, транспорт, військова справа, сільське господарство, космос. Займається вивченням обсягів, механізмів і наслідків впливу на довкілля та здоров'я людини різних галузей і об'єктів діяльності, особливостей використання ними природних

ресурсів; розробленням регламентацій природокористування і технічних засобів охорони природи; проблемами утилізації відходів виробництва та відтворення зруйнованих екосистем; екологізацією виробництв.



**Рисунок 1.1 – Структура сучасної екології
(класифікація Г.О. Білявського – Л.І. Бутченко)**

Техноекологія розглядає екологічні аспекти:

- *промисловості* (хімічної, нафтопереробної, целюлозно-паперової, будівельної, легкої, харчової, машинобудування, металургії, деревообробки тощо) – за близько 20 галузевими напрямками;
- *сільського господарства* (тваринництво, землеробство тощо – більше 10 підрозділів);
- *енергетики* (теплової, гідроенергетики, атомної, нетрадиційних видів);
- *транспорту* (повітряного, водного, наземного автомобільного, залізничного, трубопровідного, підземного);
- *військової діяльності* (захоронення відходів, випробування зброї, військово-промислове виробництво, маневри, війни тощо);
- *космічної діяльності* (екологія ближнього і дальнього космосу, космічних апаратів, космічних тіл).

До складу техноекології входять:

- *урбоекологія* - досліджує процеси урбанізованих і промислових територій, які формують екологічні умови та особливості функціонування екосистем під впливом енергетики, транспорту, будівництва, різних галузей промисловості;
- *екологічна техніка*;
- *екологічна стандартизація* [15].

Розкриваючи різні варіанти поняття «екологія», Ю.М. Буравльов, О.Б. Ступін, О.Г. Милославський однією зі зразкових схем щодо її структури пропонують наступну (рис.1.2):

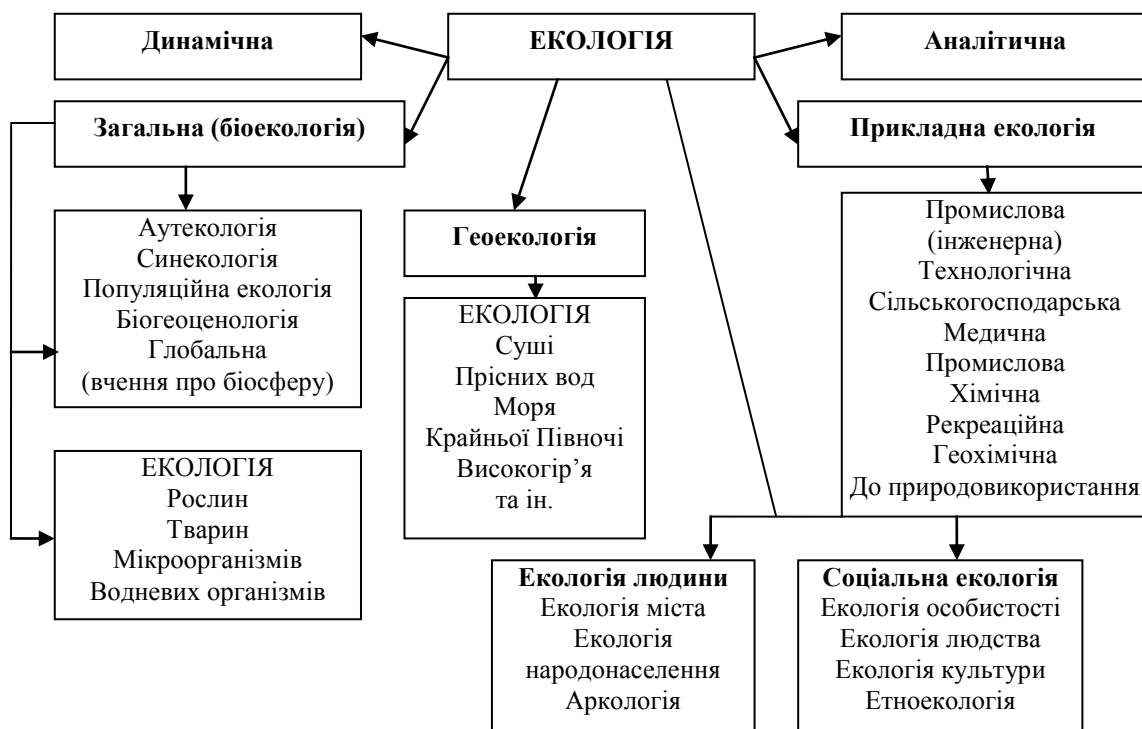


Рисунок 1.2 – Структура сучасної екології – (за Ю.М. Буравльовим, О.Б. Ступіним, О.Г. Милославським)

Отже, промисловість здійснює один із найпотужніших впливів на навколишнє природне середовище, є найбільш відповідальною за формування і розвиток негативних процесів в екосистемах різних масштабів. З огляду на домінуючий техногенний тиск, спричинений промисловими об'єктами, специфіку та масштабність впливу на довкілля, особливості утилізації відходів, методів екологічних досліджень і контролю та методи й шляхи екологізації *промисловий екологічний напрям є одним із основних та найважливіших.*

Охорона природи, у найбільш широкому розумінні, завжди була однією з найважливіших практичних аспектів екології. У вирішенні проблем, пов'язаних з охороною природи, провідна роль поза сумнівом належить фахівцям-інженерам, тому що тільки вони, створюючи мало-відходні і безвідходні технологічні схеми і виробництва, здатні вирішити найважливіші екологічні проблеми, пов'язані із забрудненням довкілля промисловими відходами і нераціональним використанням природних ресурсів. Вирішенням згаданих екологічних проблем покликана займатись саме *промислова екологія.*

1.2. Структура базових понять та основні завдання промислової екології

На відміну від власне екології, що є частиною біології навколишнього середовища, *промислова екологія* являє собою науку про взаємозв'язок, взаємодію промислових об'єктів з навколишнім середовищем – сукупність екологічних систем, що включають людину і середовище її існування.

Аналогічно до традиційного розумінням екології, як науки про екологічні системи, *промислова екологія* – наука про еколого-технічні системи, що включає промислові підприємства й інші об'єкти господарської діяльності людини, які забезпечують їх функціонування.

У наш час інженерні дисципліни мають на меті не лише розробку замкнених, безвідходних та інших екологічно чистих технологій, які дозволяють знизити ступінь шкідливого впливу на природне середовище, а й ураховують проблему раціональної взаємодії виробництва з природним середовищем. Вивчення процесу взаємодії промислового виробництва з навколишнім середовищем вимагає не лише інженерних методів, але й екологічних, що призвело до розвитку нового наукового напрямку *на стику технічних, природничих та соціальних наук – промислової екології.*

Промислова екологія, на відміну від всіх інших наукових напрямів, які вивчають взаємодію суспільства з природою, базується на повному та глибокому знанні технології виробництва. Отже, екологія є теоретичною базою, яка встановлює обмеження на параметри виробництва,

а інженерні дисципліни – підґрунтям реалізації технічних рішень у певній виробничій сфері для дотримання екологічних обмежень.

Промислову екологію не ототожнюють з охороною навколишнього середовища.

Охорона довкілля є практичною реалізацією цілеспрямованих дій, що формуються (з науковим обґрунтуванням і дослідно-експериментальним підтвердженням) у межах самостійних наукових дисциплін, до яких належать перш за все популяційна та промислова екологія. **Популяційна екологія** розглядає та обґрунтовує норми життєзабезпечення більше двох мільйонів видів рослинного та тваринного світу. **Промислова екологія**, базуючись на цих нормах, які переважно регламентують гранично допустимі концентрації (ГДК) і впливи (ГДВ), визначає ефективні способи і засоби охорони навколишнього природного середовища. Методологічною основою наукового пошуку, обґрунтування і розробки таких способів і засобів є система інженерно-екологічного забезпечення виробництва.

Методологічний аналіз визначальних критеріїв і показників за цільовими напрямками розвитку складових наукових дисциплін дає можливість синтезувати понятійний апарат промислової екології в єдину класифікаційну структуру, в якій виділяють різноманітні групи понять (рис. 1.3).

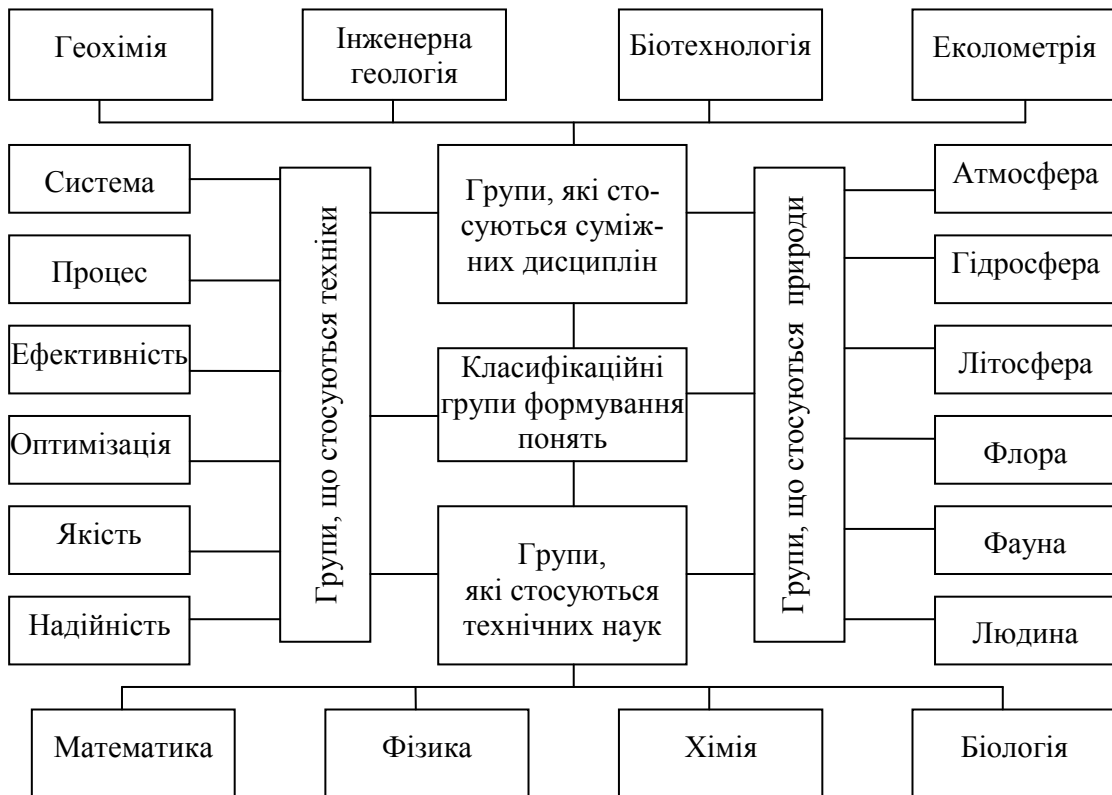


Рисунок 1.3 – Класифікаційна структура формування базових понять промислової екології

Промислова екологія є функціональною дисципліною, тому що головне її завдання, поряд із встановленням структури і законів розвитку еколого-технічних систем, – дослідження зв'язків усередині їх і зміни в часі, тобто функціонування подібної системи як єдиного цілого.

Методологічною основою промислової екології є системний підхід з урахуванням усього різноманіття економічних, біологічних, соціальних, технологічних, психологічних і інших зв'язків, їх розмаїтість і су-підрядність. Головне тут не ускладнення методів досліджень, а використання нових принципів підходу до вивчення еколотехнічних систем [15].

Сучасна система освіти спрямована на забезпечення нового покоління високопрофесійних спеціалістів у сфері охорони праці, що сприятимуть реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, врегулюванню за участю відповідних органів державної влади відносин між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановленню єдиного порядку організації охорони праці в Україні.

З огляду на це, вивчення дисципліни «Промислова екологія» стає обов'язковим у вищих навчальних закладах для підготовки фахівців відповідних спеціальностей. Відповідно до кваліфікаційних характеристик, *інженер з охорони праці повинен знати:*

- закони, постанови, розпорядження, накази, методичні, нормативні та інші керівні матеріали з охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів; систему екологічних стандартів та нормативів;
- перспективи розвитку галузі та підприємства; технологію виробництва продукції підприємства; устаткування підприємства і принципи його роботи;
- організацію роботи з охорони навколишнього середовища;
- чинні норми та правила з охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів;
- екологічні вимоги до розміщення, проектування, будівництва, реконструкції, введення в дію та експлуатацію підприємств, споруд та інших об'єктів;
- передовий вітчизняний та світовий досвід у галузі охорони навколишнього середовища; порядок і строки складання звітності про виконання заходів з охорони навколишнього середовища;
- основи економіки, організації праці, виробництва та управління;
- основи екологічного трудового законодавства [15].

Загалом, **внаслідок техногенного впливу на довкілля**, сьогодення перед фахівцями ставить **низку проблем** (за М.Ф. Реймерсом), які слід вирішувати не у віддаленому майбутньому, а саме зараз:

- зміни клімату (геофізики Землі), зумовлені посиленням теплового ефекту, викидами метану та інших низькоконцентрованих газів (малих газових домішок), аерозолів, легких радіоактивних газів, зменшенням концентрації озону в тропосфері та стратосфері;
- засмічення та інші забруднення космічного простору;
- загальне ослаблення стратосферного екрану, утворення великої озонної «діри» над Антарктидою, малих «дір» над іншими регіонами планети;
- забруднення атмосфери кислотними опадами, які утворюються з небезпечних та шкідливих речовин внаслідок вторинних хімічних реакцій, у тому числі фотохімічних (у цьому одна з причин руйнування озонного шару, на який впливають фреони, речовини типу NO_x , малі газові домішки);
- забруднення океану, захоронення в ньому (дампінг) отруйних і радіоактивних речовин, насичення його вуглекислим газом із атмосфери, надходження антропогенних нафтопродуктів, деяких забруднюючих речовин, особливо важких металів і складних органічних сполук, підкислення мілководдя за рахунок забруднень SO_x і NO_x атмосфери, руйнування нормальних екологічних зв'язків між океаном і водами суходолу і внаслідок будівництва дамб на річках;
- виснаження і забруднення поверхневих вод суші, континентальних водоймищ і водотоків, підземних вод; порушення балансу між поверхневими і підземними водами;
- радіоактивне забруднення локальних ділянок і деяких регіонів у зв'язку із поточною експлуатацією атомного обладнання, Чорнобильською катастрофою та випробовуваннями атомної зброї;
- зміна геохімії окремих регіонів планети внаслідок, зокрема, переміщення важких металів, і концентрація їх на поверхні землі в умовах нормальної дисперсності в літосфері;
- накопичення на поверхні суходолу отруйних і радіоактивних речовин, побутового сміття і промислових відходів, особливо тих, які практично не розкладаються і дуже стійкі (поліетиленові вироби, пластмаси і т.п.);
- виникнення вторинних хімічних реакцій у всіх середовищах з утворенням токсичних речовин;
- порушення глобальної та регіональної екологічної рівноваги, співвідношення екологічних компонентів, у тому числі зміщення екологічного балансу між океаном, його прибережними водами і водотоками, що впадають;
- спустелення (дезертизація) планети у нових регіонах, розширення вже існуючих пустель, поглиблення самого процесу спустелення;
- скорочення площі тропічних і північних лісів, яке призводить до дисбалансу кисню і посилення процесу зникнення видів тварин і рослин;

- звільнення й утворення в ході описаних вище процесів нових екологічних ніш і заповнення їх небажаними організмами – шкідниками, паразитами, збудниками нових захворювань рослин і тварин, у т.ч. і людей;

- абсолютне перенаселення Землі і відносно надмірне демографічне ущільнення в окремих її регіонах;

- погіршення середовища життя у міській і сільській місцевостях.

Вирішення існуючих екологічних проблем можливе лише шляхом встановлення оптимальних, гармонійних, контрольованих взаємозв'язків в екосистемах.

Створення екологічно безпечних технологічних процесів, виробництв, агропромислових і територіально-виробничих комплексів вимагає системного екологічного аналізу існуючих технологій і шляхів їх удосконалення. Нагальним є руйнування сформованої точки зору про невичерпність природних ресурсів і можливості в майбутньому істотно зростання споживання сировини й енергії з одночасним зростанням обсягу промислових відходів. Отже, вкрай важливим є виховання глибокої внутрішньої переконаності в неприпустимості нанесення збитку природі, почуття особистої відповідальності за її збереження і раціональне використання природних багатств в інтересах існуючого і майбутніх поколінь [15].

Висновок. Вплив антропогенних факторів на біосферу Землі спричинив виникнення небажаних негативних явищ. У зв'язку із трансформацією значної частини природних екосистем в антропогенно-природні та антропогенні, предметна сфера екології в наш час суттєво розширилась. Для вивчення стану і прогнозування змін, а також управління розвитком новоутворених екосистем виник новий науковий напрям - промислова екологія. Промислова екологія розглядає взаємозв'язок матеріального, в першу чергу промислового виробництва, людини й інших живих організмів і середовища їх проживання. Метою промислової екології є охорона навколишнього середовища шляхом раціонального та комплексного використання сировинних і енергетичних ресурсів і створення техногенного кругообігу речовин за аналогією з його біогеохімічним кругообігом в природних екологічних системах.

Питання для самоконтролю:

1. Обґрунтуйте доцільність та наведіть основні напрями екологізації виробництв та технологій.

2. Назвіть основні складові, що виокремлюють у структурі сучасної екології.

3. Розкрийте поняття «техноекологія».

4. Наведіть визначення «промислової екології» та охарактеризуйте її першочергові завдання.

5. Поясніть особливості застосування термінів «охорона довкілля», «популяційна екологія», «промислова екологія».

6. Доведіть необхідність вивчення курсу «Промислова екологія» студентами технічних спеціальностей в умовах сьогодення.

7. Охарактеризуйте екологічні проблеми, що потребують негайного вирішення.

ЛЕКЦІЯ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАБРУДНЕНЬ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ. ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ

ПЛАН

1. Забруднення біосфери як наслідок втручання людини у природу.
2. Класифікація промислових забруднень біосфери.
3. Основні види енергетичного забруднення довкілля.

2.1. Забруднення біосфери як наслідок неадекватності принципів і методів втручання людини у природу.

Науково-технічна революція, що розпочалась у середині ХХ століття і є одним з найбільш складних і важливих явищ у сучасному суспільстві, поставила перед людством цілу низку складних проблем, в тому числі загальних соціально-економічних, екологічних, характерних для різних суспільно-економічних устроїв. Надмірне використання природних ресурсів призвело до енергетичної кризи, до зростання забруднення навколишнього середовища і до багатьох інших негативних наслідків. У виробництво втягуються значні обсяги природних ресурсів, постійно збільшується використання корисних копалин. Усе це призводить до порушення екологічної рівноваги. Відбувається інтенсивне забруднення навколишнього середовища виробничими відходами. Самоочисна функція біосфери не справляється із значною кількістю забруднень, яка продовжує зростати. Порушення екологічної рівноваги обертається величезною загрозою для існування багатьох видів представників флори та фауни, здоров'я людини.

Науково-технічний і соціальний прогрес супроводжується суттєвими перетвореннями всього довкілля і переважно – негативними. Причиною цього є *неадекватність принципів і методів втручання людини у природу* і, як наслідок, – забруднення природного середовища зростаючою кількістю відходів виробництва [15].

Прогрес, який супроводжується зростанням чисельності населення на Землі, призводить до того, що діяльність людини щоразу більше впливає на міграцію хімічних елементів у біосфері. На рис. 2.1 наведено основні шляхи міграції забруднюючих речовин у навколишньому середовищі.

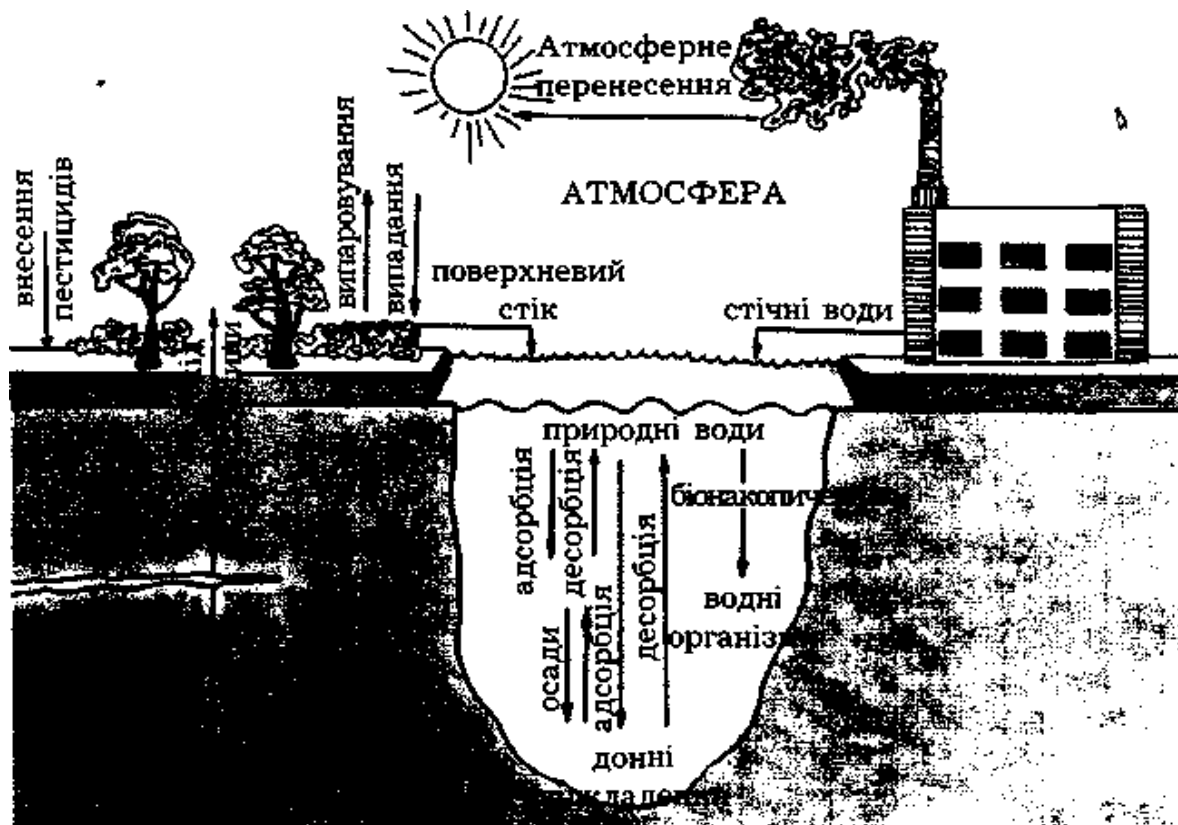


Рисунок 2.1 – Основні шляхи міграції речовин-забрудників у навколишньому середовищі

Відомо, що у середовищі існування людини циркулює понад 10 тис. хімічних сполук, які протягом доби можуть потрапляти в організм різними шляхами у різній кількості. Людина за рік вдихає близько $7,5 \cdot 10^6$ літрів повітря і тому навіть незначні концентрації шкідливих речовин можуть бути причиною патологічних змін в організмі. Отже, значна кількість хімічних речовин, що утворюються внаслідок антропогенної діяльності і потрапляють у довкілля, стають токсичними для організму людини.

Забруднення навколишнього середовища, що досягло критично небезпечних обсягів для життя людини, охоплює всю біосферу – атмосферне повітря, водойми, ґрунт і здійснює негативний вплив на умови існування фауни та флори. Хімізація, канцерогенні речовини, іонізуючі випромінювання, теплові викиди, електромагнітні випромінювання та поля, шум, вібрація, інфра- та ультразвук стали загальновідомими **компонентами, які негативно впливають на довкілля.**

Забруднення охоплює всі сфери навколишнього середовища. Отже, розуміння впливу комплексу чинників довкілля на формування певного способу життєдіяльності людини і способу існування усіх складових біосфери в період науково-технічної революції є важливим і потужним важелем у відкритті нових можливостей підвищення екологічної безпеки [15].

2.2. Класифікація промислових забруднень біосфери

Сучасне суспільство знаходиться в органічному зв'язку з природою, перетворює її за допомогою техніки, причому в таких дієвих масштабах, які зумовили формування штучного середовища існування людини, яке щодаля набуває риси цілісної оболонки, що трактується як техносфера Землі. Техніка допомагає людині задовольняти багато потреб, проте вона є головною причиною змін, які відбуваються у природі (антропогенні зміни), що є небажаними для всіх мешканців біосфери. Викиди промислових підприємств, енергетичних систем і транспорту в атмосферу, водойми і надра на сучасному етапі розвитку досягли таких розмірів, що в ряді районів, особливо в значних промислових центрах, рівні забруднень істотно перевищують допустимі санітарні норми.

Забруднення – привнесення або утворення у середовищі зазвичай не характерних для нього фізичних, хімічних, інформаційних чи біологічних агентів; перевищення в досліджуваній період часу природного середньобогаторічного рівня (у межах його граничних коливань) концентрацій перелічених агентів у середовищі, що нерідко призводить до негативних наслідків; або – збільшення концентрації фізичних, хімічних, інформаційних чи біологічних агентів понад встановлену кількість.

У загальному вигляді *забруднення* - це все те, що у позанормовій кількості виявляється у природі і порушує в її системах рівновагу, відхиляється від звичайних чи звичних для людини відповідних показників [15].

За масштабами поширення забруднення поділяються на глобальні, регіональні та локальні.

Глобальні забруднення можна виявити на всій території планети; наприклад, заборонений препарат ДДТ виявлено навіть в Антарктиці.

Регіональне забруднення – привнесення в середовище або виникнення в ньому нових фізичних, хімічних, біологічних чинників, не притаманних йому, або перевищення природної середньорічної концентрації згаданих чинників у середовищі, що виявляється в значних межах, але не охоплює всю планету.

Локальне забруднення поширюється на невеликий регіон і спостерігається навколо населених пунктів, промислових підприємств.

Виведення в навколосемний та космічний простір різноманітних об'єктів, які з часом виходять з ладу, руйнування ядерних силових установок, які знаходяться на орбіті, зумовлює загальне та радіаційне забруднення космосу, створює перешкоди функціонуванню радіотехнічних пристроїв та астрономічних приладів.

Втручання людини у природні процеси біосфери, яке спричиняє небажані для екосистем антропогенні зміни, групують за наступними **видами забруднень**:

- **інгредієнтне забруднення** – забруднення сукупністю речовин, кількісно або якісно ворожих природним біогеоценозам (*інгредієнт* - складова частина складної сполуки або суміші);

- **параметричне забруднення** – пов’язане зі зміною якісних параметрів навколишнього середовища (*параметр навколишнього середовища* – одна з його властивостей, наприклад, рівень шуму, радіації, освітленості тощо);

- **біоценотичне забруднення** – вплив на склад та структуру популяції живих організмів;

- **стаціонально-деструктивне забруднення** (*стація* – місце існування популяції, *деструкція* – руйнування) – викликає зміну ландшафтів та екологічних систем у процесі природокористування [15].

Детальніше ці види забруднень наведено на рис. 2.2.

До 60-х років минулого століття **під охороною природи** розуміли переважно захист тваринного та рослинного світу від знищення. Відповідно і формами цього захисту було створення територій, які охоронялися, обмеження промислу окремих тварин тощо. Вчених та громадськість турбували перш за все біоценотичний та частково стаціонально-деструкційний вплив на біосферу. Інгредиентне та параметричне забруднення існувало також, але воно не було настільки багатогранним та масованим, як тепер, практично не містило штучно створених сполук, котрі не підлягають природному розкладанню, тому природа з таким забрудненням справлялася самостійно.

Наприклад, у річках з неперушеним біоценозом та з нормальною швидкістю течії, яка не сповільнювалася гідротехнічними спорудами, під впливом перемішування, окислення, осадження, поглинання та розкладання редуцентами, знезараження сонячним випромінюванням забруднена вода повністю відновлювала свої властивості на відстані 30 км від джерел забруднення. До середини ХХ століття темпи інгредиентного та параметричного забруднень зросли і їх якісний склад змінився настільки різко, що на значних територіях здатність природи до самоочищення була втрачена.

Наприклад, здатність ґрунту самоочищатися порушується різким зменшенням у ньому кількості редуцентів, що відбувається під впливом нестримного застосування пестицидів та мінеральних добрив, вирощування монокультур, повного прибирання з полів усіх частин вирощених рослин тощо (*редуценти* - гетеротрофні організми, в основному бактерії та гриби, які у процесі життєдіяльності перетворюють органічні залишки на неорганічні речовини (є завершальною ланкою у колообігу речовин)).

Тому новим змістом наповнилося і поняття **охорони природи**. Основні зусилля тепер скеровано на зниження рівня матеріального та енергетичного забруднення довкілля.

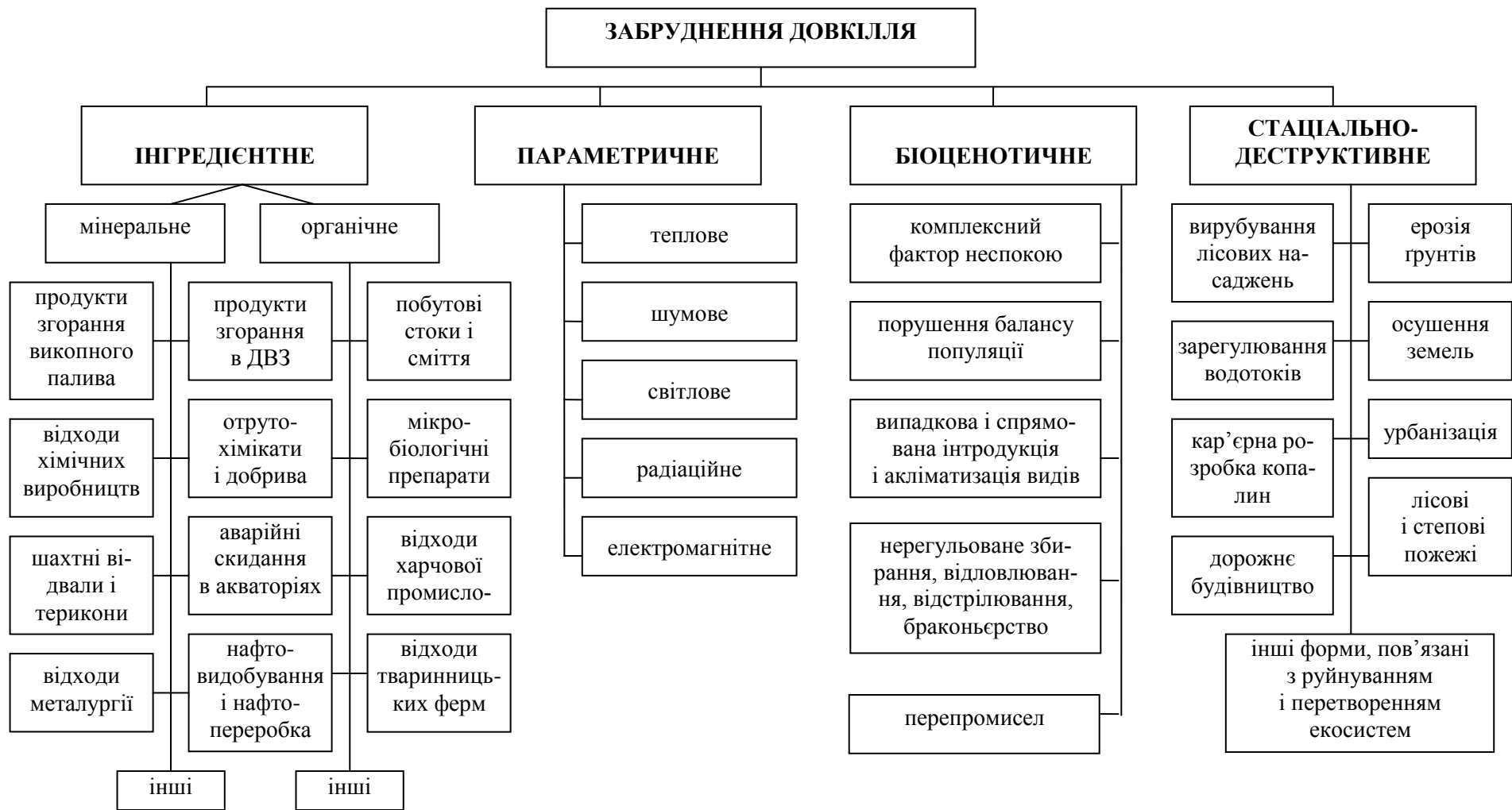


Рисунок 2.2 – Класифікація забруднення екологічних систем (за Г.В. Стадницьким та А.І. Родіоновим)

У більшості випадків *забруднення* – це відходи різних виробництв, що утворюються поряд із готовою продукцією в результаті переробки природних ресурсів – палива, сировини, кисню повітря, води і т.д. Відходи виробництва можна розглядати як продукти своєрідного «обміну речовин» між індустріально розвиненим суспільством і природою, як своєрідні «екскременти виробництва». Типовим «організмом», що здійснює такий «обмін речовин», є сучасне промислове місто (рис. 2.3).

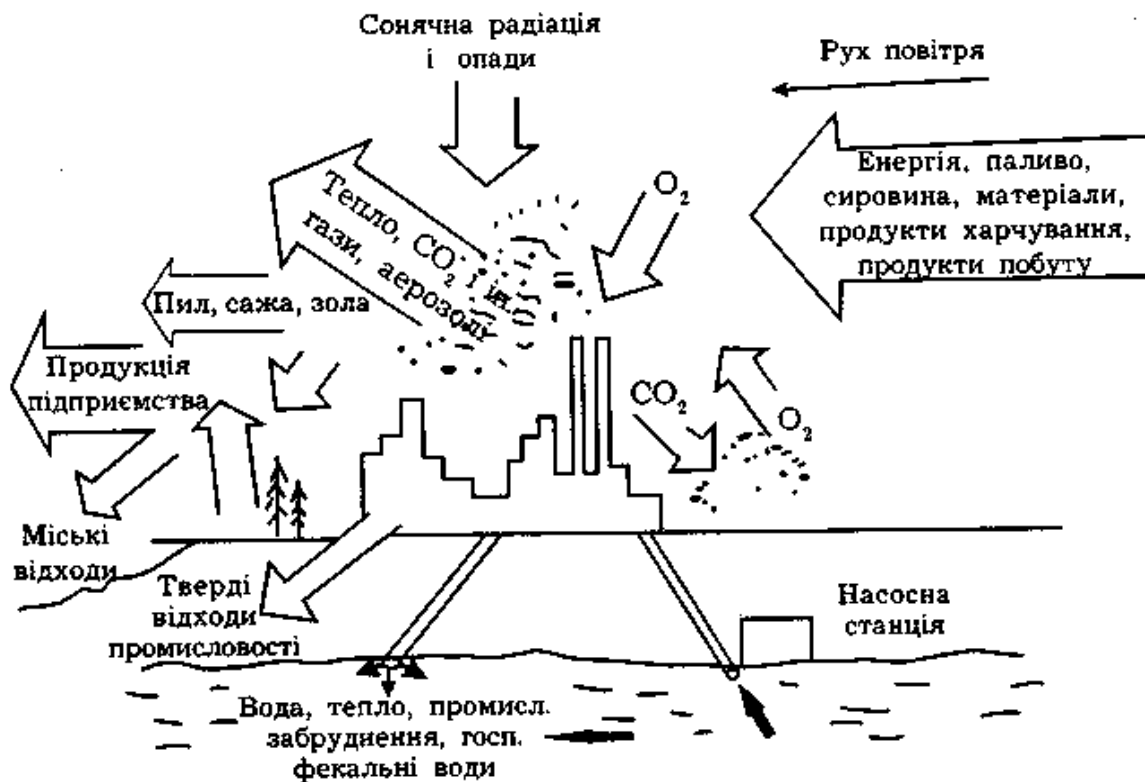


Рисунок 2.3 – Схема взаємодії промислового міста і навколишнього середовища

За походженням промислові забруднення поділяються на:

- **механічні** (запилення атмосфери, тверді частки і різноманітні предмети у воді і ґрунті);
- **хімічні** (газоподібні, рідкі і тверді хімічні сполуки й елементи, що потрапляють в атмосферу та гідросферу і вступають у взаємодію з навколишнім середовищем);
- **фізичні** (усі види енергії як відходи різноманітних виробництв – теплової, механічної, у тому числі вібрації, шум, ультразвук, освітлення, електромагнітні випромінювання);
- **біологічні** (усі види організмів, що з'явилися за участю людини і завдають шкоди їй самій або живій природі).

Схему обміну речовинами промислових підприємств з навколишнім середовищем, внаслідок якого відбувається забруднення довкілля, наведено на рис. 2.4.

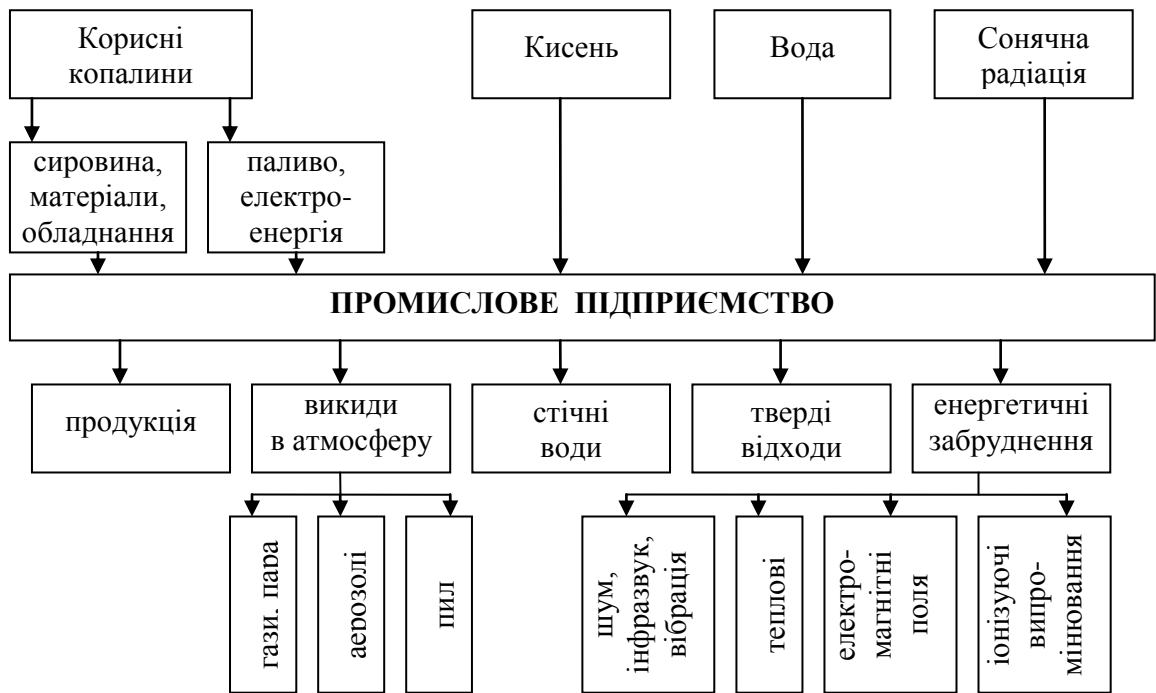


Рисунок 2.4 – Обмін речовинами та енергією сучасного промислового підприємства з навколишнім середовищем

Джерела забруднення навколишнього середовища, зокрема *атмосферного повітря*, поділяються на:

- *зосереджені* (точкові) – димові і вентиляційні труби, шахти;
- *розсіяні* – аераційні ліхтарі цехів, ряди близькорозташованих труб, відкриті склади і т.д.

Джерела можуть бути також *безперервної і періодичної дії*.

Забруднення поділяються на 2 основні групи: *матеріальні* (речовини), які включають механічні і хімічні забруднення (запилення атмосфери, тверді частинки у воді і ґрунті, газоподібні, рідкі і тверді хімічні сполуки й елементи), та *енергетичні* забруднення (теплота, шум, вібрація, ультразвук, світло, інфрачервоне (ІЧ) та ультрафіолетове (УФ) випромінювання, електромагнітне поле (ЕМП), іонізуючі випромінювання). Об'єднання механічних і хімічних забруднень в одну групу зумовлене тим, що значна частина речовин здійснює на довкілля обидва види впливу, а деякі види забруднень (радіоактивні) можуть бути – матеріальними й енергетичними.

На схемі рис. 2.5 наведена класифікація промислових забруднень навколишнього середовища.

За основу класифікації матеріальних забруднень прийнято:

- *середовище поширення* – (повітря, вода, ґрунти),
- *їх агрегатний стан* (газоподібні, рідкі, тверді),
- *застосовувані методи знешкодження*,
- *ступінь токсичності* забруднення.

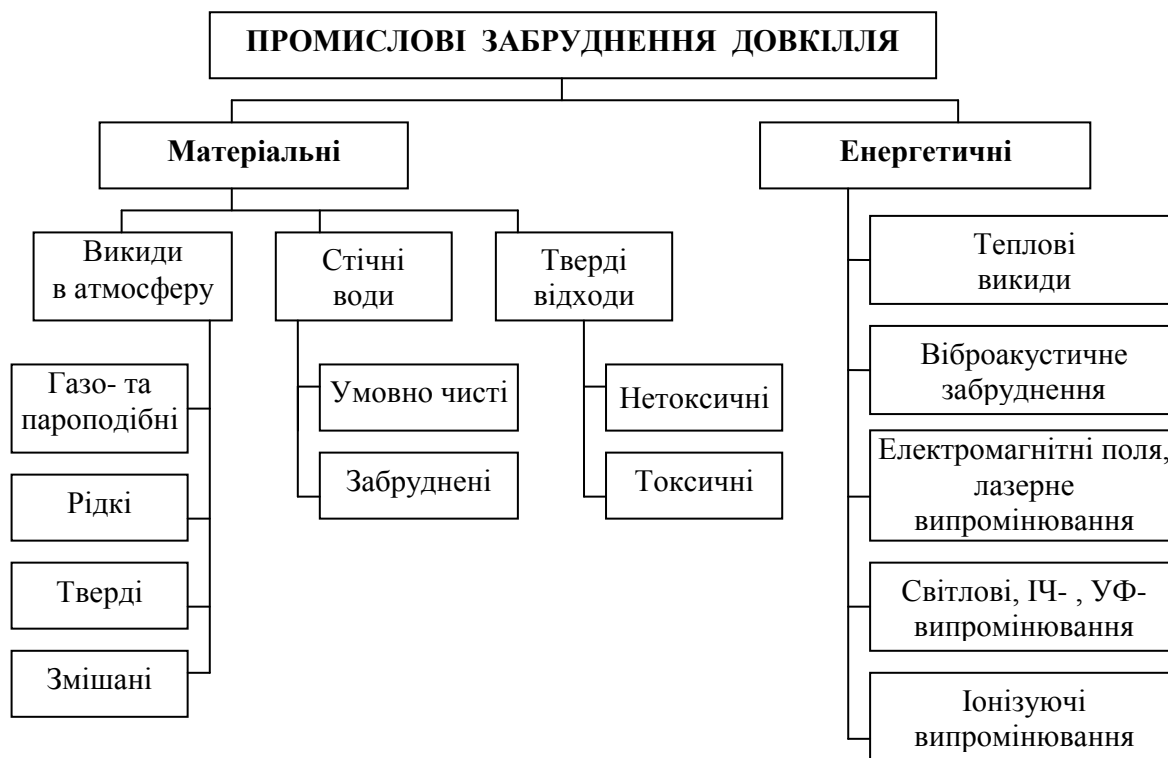


Рисунок 2.5 – Класифікація промислових забруднень навколишнього середовища (загальна)

Так, для хімічної промисловості характерними є токсичні відходи, а для машинобудування – більш характерні відходи хімічно інертні (CO_2 , абразиви і т.п.). Абсолютно нешкідливих відходів не існує (CO_2 знижує у повітрі відносний вміст O_2 , а абразивний пил, потрапляючи на слизові оболонки очей і верхніх дихальних шляхів, може призвести до захворювань). Саме тому шкідливі речовини часто ототожнюються з поняттям «токсичні речовини» навіть за відсутності власне отруйних властивостей.

Здійснюючи негативний вплив на навколишнє середовище, забруднення, у свою чергу, піддаються певному впливу довкілля. За цією ознакою (тобто *за впливом з боку навколишнього середовища*) забруднення поділяються на:

- стійкі (що не руйнуються);
- нестійкі, що руйнуються під впливом природних хіміко-біологічних процесів.

Класифікація шкідливих речовин за ознаками очищення та використання наведена на рис. 2.6.

Класифікацію викидів шкідливих речовин в атмосферу встановлює ГОСТ 17.2.1.01-76 [4]. Ці викиди в залежності від складу шкідливих речовин класифікуються за агрегатним станом цих речовин і за масовими викидами, тобто за масою речовин, що викидаються за одиницю часу. За хімічним складом викиди поділяються на групи; в залежності від розміру частинок – на підгрупи [15].



Рисунок 2.6 – Класифікація шкідливих речовин за ознаками очищення та використання

2.3. Основні види енергетичного забруднення довкілля

Теплове забруднення. Останнім часом дедалі актуальнішою постає проблема теплового забруднення довкілля, яке пов'язане з нагріванням атмосфери, гідросфери, і що призводить до змін флори і фауни в окремих регіонах і суттєво впливає на глобальне потепління на Землі в цілому. Теплове (термальне) забруднення довкілля нерозривно пов'язане з явищем парникового ефекту.

Антропогенний вплив (домінуючим серед якого є промисловий) на довкілля призводить до «підігрівання» атмосфери внаслідок спалювання великої кількості вугілля, нафти, газу шляхом прямого викидання тепла у навколишнє середовище і при охолодженні технологічних нагрітих вод, а також нагрівання природних водоймищ внаслідок скидання підігрітих вод з промислових підприємств і теплових електростанцій в ріки й озера.

Серед **найбільших техногенних джерел теплового забруднення** довкілля - *об'єкти теплоелектроенергетики та теплопостачання, металургійні підприємства, транспорт, підприємства, де використовується нагріта вода чи водяна пара, випаровувальні або охолоджувальні бапти (градирні) тощо.*

На сучасному етапі *проблема взаємодії промислових об'єктів - джерел теплових викидів у довкілля - і навколишнього середовища* набула нових ознак, поширюючи свій вплив на значні території, велику кількість річок і озер, величезні об'єми атмосфери і гідросфери.

Вирішенню цієї проблеми повинен сприяти науково-технічний прогрес за умови його екологізації, що сприятиме розробці нових тех-

нологій охолодження або більш економічних методів та обладнання з усунення теплового забруднення [15].

Віброакустичне забруднення. У зв'язку зі зростанням кількості автомашин, індустріалізацією міст, зростанням транспортної рухливості населення, зростанням технічного оснащення міського господарства розширюються взаємозв'язки між техногенним середовищем міста і природним середовищем. Сільські ландшафти, приміські території зазнають активного впливу шосейних доріг і залізниць, летовищ, морських і річкових портів. Віброакустичне забруднення довкілля є однією з найактуальніших проблем сьогодення.

Найбільшими джерелами шуму та вібрації є промислові об'єкти і великі бази будівельної індустрії, енергетичні установки, залізничні вузли і станції, великі автовокзали і автогосподарства, мотелі і кемпінги, трейлерні парки тощо.

У багатьох містах домінуючими джерелами шуму та вібрації є промислові підприємства і будівельні майданчики, міський транспорт.

При вирішенні питань щодо шумозниження у виробничих приміщеннях та на території промислових майданчиків необхідно також враховувати, що часто шум діє більш негативно на осіб, які безпосередньо не пов'язані з технологічним процесом, що генерує даний шум, а знаходяться поблизу, на інших, відносно безшумних ділянках або на прилеглих територіях поблизу промислових об'єктів.

За твердженнями фахівців Українського гігієнічного центру при МОЗ України, близько 40% загальної площі середньостатистичного міста (з населенням 750 тис. жителів) непридатні для нормального проживання через надмірне акустичне забруднення, у містах з мільйонним населенням жителі магістральних вулиць відчують значне шумове навантаження, яке в ряді випадків сягає 83-90 дБ, причому на 54,8-86,5% джерелом підвищеного рівня шуму є автотранспорт. Між тим гранично допустимий рівень шуму на територіях, що прилягають до будинків, протягом доби становить 70 дБ від 7 години до 23 години і 60 дБ - від 23 до 7 години [15].

Усе це свідчить про необхідність здійснення низки заходів, спрямованих на зниження віброакустичного забруднення довкілля в цілому і житлових районів сучасних міст зокрема до меж, які б відповідали санітарним нормам.

Радіоактивне забруднення та іонізуючі випромінювання. У зв'язку зі зростаючим радіоактивним забрудненням планети захист організму людини та інших живих організмів від радіоактивного опромінення – одна з найактуальніших проблем екології. За силою та глибиною впливу на організм іонізуюче випромінювання вважається найсильнішим.

Усі види флори та фауни Землі протягом мільйонів років виникали та розвивалися під постійним впливом природного радіоактивного

фону й пристосовувалися до нього. Штучно створені радіоактивні речовини, ядерні реактори, спеціалізоване устаткування сконцентрували незнані раніше у природі обсяги іонізуючого випромінювання, до чого природа виявилася непристосованою. За останні 50 років рівень радіоактивного фону істотно підвищився внаслідок впливу радіоактивних відходів від АЕС та інших потенційно радіаційно-небезпечних об'єктів, але більш суттєво – завдяки радіоактивним опадам внаслідок випробувань ядерної зброї (у період з 1945 до 1975 рр. було здійснено 1165 ядерних вибухів різного характеру, що безсумнівно завдало значної шкоди навколишньому природному середовищу).

Нині головними джерелами радіоактивних забруднень біосфери є *радіоактивні аерозолі*, які потрапляють в атмосферу під час випробувань ядерної зброї, аварій на АЕС та радіоактивних виробництвах, а також *радіонукліди*, що виділяються з радіоактивних відходів, захоронених на суходолі й у морі, з відпрацьованих атомних реакторів і устаткування. *Радіоактивні опади* залежно від розміру частинок і висоти їх вивісу в атмосферу мають різний час осідання та радіус поширення.

Іонізуючі випромінювання поділяються на електромагнітні (фотонні) – гамма та рентгенівські випромінювання, а також на *корпускулярні* (складаються із потоку частинок, маса спокою яких відмінна від нуля) – потоки альфа-, бета-частинок, протонів, нейтронів та ін.

До Чорнобильської аварії у 30 країнах світу діяло 272 атомні електростанції (АЕС) і на стадії спорудження знаходилося ще 236. Радіоактивні відходи, які утворюються у процесі експлуатації АЕС, складають значну частину всіх радіоактивних відходів. Одночасно з початком освоєння атомної енергії майже півсотні років тому виникла **проблема переробки радіоактивних відходів**. Але і до цього часу не знайдено промислових методів утилізації їх найбільш небезпечних видів.

Важливість знешкодження та переробки радіоактивних відходів пов'язана з їх особливою безпекою для біосфери, і перш за все – для людини. На відміну від усіх інших відходів, токсичність яких залежить від їх хімічних та бактеріологічних властивостей, радіоактивні відходи не можуть перероблятися з метою зниження їх токсичності. Якщо активність радіоактивних відходів перевищує рівень, котрий допускає їх скидання, вони підлягають захороненню таким чином, щоб запобігти їх проникненню в навколишнє середовище та доступу до них людей без спеціального захисту.

Найважливіша проблема, яка виникає при переробці радіоактивних відходів, – тривала потенційна безпека певних категорій радіоактивних відходів. Технічна можливість безпечного зберігання відходів протягом десятків та сотень років існує, але вона повинна здійснюватися під постійним наглядом спеціального персоналу.

Джерелами радіоактивних відходів АЕС є продукти нейтронної активації, які утворюються поза **ТВЕЛами** – **тепловидільними елеме-**

нтами ядерного реактора, в яких відбувається процес поділу та відновлення ядерного палива, і продукти поділу, які частково виділяються з ТВЕЛів в теплоносії. Також численні науково-дослідні організації, промислові підприємства, медичні заклади, що використовують джерела іонізуючого випромінювання, котрі розташовані у великих містах та промислових центрах, де сконцентровані промисловість та населення. У зв'язку з цим необхідно забезпечувати радіаційну безпеку не лише персоналу, який працює з радіонуклідами, але й всього населення цих промислових зон шляхом навчання безпечному поводженню з радіоактивними відходами (їх збирання, тимчасове зберігання, транспортування, перероблення та надійне остаточне захоронення). Це є важливою складовою захисту природного середовища та людини від радіоактивних забруднень [15].

Електромагнітні поля. Усі електромагнітні поля (ЕМП) і випромінювання поділяють на *природні й антропогенні*.

Навколо Землі існує **електричне поле** середньої напруженості 130 В/м. Воно постійно змінюється під впливом грозових розрядів, опадів та інших природних явищ і катаклізмів. Також існує **магнітне поле** напруженістю 47,8 А/м і 39,8 А/м на Північному та Південному полюсах відповідно. Це поле коливається з 80- та 11-річними циклами змін, а також більш короткочасними змінами з різних причин, пов'язаних із сонячною активністю. Також існує магнітне поле 19,9 А/м на магнітному екваторі. Це поле інколи змінюється під впливом магнітних бур. Земля постійно знаходиться і під впливом **електромагнітного поля**, що випромінюється сонцем і постійно змінюється через низку чинників (сонячна активність, процеси у земних надрах та ін.). Ці поля впливають на біологічні об'єкти протягом усього часу їхнього життя. Тому *у процесі еволюції людина пристосувалася до впливу ЕМП і виробила здатність компенсувати негативний вплив завдяки захисним здібностям організму*. Проте науковці доводять зв'язок між спалахами сонячної активності і змінами електромагнітного поля, що спричиняється згаданими процесами, та деякими групами захворювань людей.

Інтенсивний розвиток електроніки та радіотехніки спричинив забруднення природного середовища електромагнітними випромінюваннями (полями) антропогенного походження. **Головними їх джерелами є** радіо-, телевізійні і радіолокаційні станції, високовольтні лінії електропередач, електротранспорт.

Терміном **оптичне випромінювання** позначається випромінювання видимого (ВВ) діапазону хвиль (760-400 нм), а також сусідніх діапазонів - інфрачервоного (ІЧ) - 540-760 нм, та ультрафіолетового (УФ) - 400-10 нм.

Потужним джерелом **інфрачервоного випромінювання** є Сонце, яке свою енергію частково передає на Землю у вигляді довгохвильових ІЧ-променів. Джерелами ІЧ випромінювання також є багато елементів

та вузлів радіоапаратури — електровакуумні, напівпровідникові та квантові прилади індуктивності, резистори, трансформатори, з'єднувальні проводи тощо, нагрівальні пристрої та елементи, які використовуються у різних галузях промисловості.

Ультрафіолетове випромінювання - це невидиме оком електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 10^{-8} до $4 \cdot 10^{-8}$ м. Життя на Землі залежить від енергії Сонця, яка частково надходить у вигляді УФ-променів. Ультрафіолетове випромінювання несе найбільшу енергію і є фізіологічно активним, тобто діє на живу речовину. УФ-випромінювання антропогенного походження в основному генерується в медицині та у промисловості, зокрема для створення специфічних умов середовища щодо знешкодження, УФ-сушіння фотополімерних покриттів та ін.

Лазерним випромінюванням називають електромагнітне випромінювання в діапазоні довжин хвиль 0,1-1000 мкм. Цей діапазон в залежності від особливостей біологічної дії розбивається на такі піддіапазони: 0,2-0,4 мкм - ультрафіолетовий діапазон; 0,4-0,75 мкм - видима зона; 0,75-1,4 мкм - ближня інфрачервона зона; понад 1,4 - дальня інфрачервона зона.

Лазерне випромінювання має низку особливостей. Воно характеризується великою часовою та просторовою когерентністю (сумісністю) фаз у деякій точці простору на певну величину моменту часу. Це спричиняє монохроматичність (одночастотність) випромінювання. У зв'язку з малою довжиною хвилі лазерне випромінювання може бути сфокусоване оптичними системами (лінзами та дзеркалами різних геометричних розмірів), завдяки чому на малій площі досягається велика густина випромінювання.

Розрізняють кілька видів дії лазерного випромінювання на біологічну тканину: теплову, ударну, світлову, а також утворення мікрохвильового електричного поля на рівні клітини. Найбільшої шкоди лазерне випромінювання завдає очам. При лазерному опроміненні у біологічних тканинах виникають вільні радикали. Вони порушують нормальний процес обміну речовин, що призводить до загального погіршення стану здоров'я [15].

Висновок. Основними джерелами антропогенного забруднення навколишнього природного середовища є промисловість, сільське та комунальне господарство. Забруднення біосфери означає не просто внесення у ґрунт, воду чи повітря тих чи інших чужорідних компонентів. Надлишок одних речовин у довкіллі або наявність інших призводить до зміни екологічних факторів, порушення глобальних процесів обміну речовин. Завдається велика шкода всім процесам життєдіяльності, яка в кінцевому підсумку призводить до екологічної кризи, а згодом й екологічної катастрофи [7].

Питання для самоконтролю:

1. Розкрийте поняття «забруднення середовища».
2. Наведіть класифікацію забруднень екологічних систем.
3. Проаналізуйте особливості обміну речовинами промислових підприємств з навколишнім середовищем, внаслідок якого відбувається забруднення довкілля.
4. Поясніть, якому впливу піддаються забруднення з боку довкілля.
5. Розкрийте класифікацію промислових забруднень довкілля.
6. Наведіть класифікацію шкідливих речовин, що викидаються в навколишнє середовище.
7. Охарактеризуйте основні види енергетичного забруднення навколишнього середовища.

ЛЕКЦІЯ 3 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ

ПЛАН

1. Групи антропогенних викидів в атмосферу.
2. Зниження ступеня забруднення повітряного середовища населених пунктів.
3. Системи очищення викидів в атмосферу.

3.1. Групи антропогенних викидів в атмосферу.

Атмосфера завжди містить у своєму складі певні речовини, кількість яких регулюється як природними, так і антропогенними чинниками.

До *природних джерел* відносяться виділення, що є результатом життєдіяльності організмів, розкладання органічних речовин, лісових та інших пожеж, діяльності вулканів і гейзерів, пиловиділення при руйнуванні гірських порід і ґрунту внаслідок ерозії. Джерела цих виділень розподілені більш-менш рівномірно по планеті, діють мільярди років, врівноважуються в колообігу речовин у природі.

Більш небезпечними є *антропогенні виділення* в атмосферу, які з випадкових перетворилися на такі, що постійно діють і до того ж постійно кількісно зростають. Їх об'єднують у такі групи:

- забруднення, які утворюються в результаті згоряння палива для потреб промисловості, опалення житлових будинків, при роботі усіх видів транспорту;
- забруднення, які утворюються в результаті промислових викидів;
- забруднення, які утворюються при згорянні і переробці побутових і промислових відходів.

Ці забруднення різні за походженням: димові гази від спалювання палива, вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння, хвостові гази й абгази технологічних процесів, вентиляційні викиди, неорганізовані ви-

ділення з каналізації, стічних вод, відвалів і багато інших видів викидів в атмосферу.

Промисловий пил - основний вид забруднення атмосфери, який наносить глобальну шкоду: погано пропускає ультрафіолетову радіацію, перешкоджає самоочищенню атмосфери, засмічує слизові оболонки дихальних органів та зорового аналізатора, подразнює шкіру, є переносником бактерій і вірусів, призводить до онкологічних захворювань.

Сьогодні в атмосферу в усьому світі щорічно викидається до $2,5 \cdot 10^9$ т різних видів забруднення: газів, пари, пилу, аерозолів. Незважаючи на це, середній склад повітря над планетою, у межах існуючої точності вимірювань, поки ще залишається стабільним. Тому забруднення атмосфери має швидше локальний характер, крім підвищення концентрації вуглекислого газу, аерозолів і руйнування озонового шару.

Частка різних галузей промисловості у забрудненні атмосфери за всіма видами забруднень складає (у % від загального забруднення) [1]:

- теплова енергетика – 30,7%;
- автотранспорт – 22,8%;
- чорна металургія – 15,7%;
- промисловість будівельних матеріалів – 13,3%;
- кольорова металургія – 7,4%;
- нафтопереробна промисловість – 6,3%;
- хімічна промисловість – 3,8%.

Отже, теплоелектростанції і підприємства чорної металургії викидають більше половини всіх забруднень атмосфери. Викиди підприємств хімічної промисловості досить концентровані і дуже агресивні.

У промисловості одержують і використовують різні речовини з найрізноманітнішими фізичними і хімічними властивостями, тому і *викиди в атмосферу за своїм хімічним складом різні*. Проте з усіх викидів за обсягами і нанесеною шкодою виділяють такі речовини: *сірчистий газ SO_2 (сірчистий ангідрид або двооксид сірки), окисли азоту, вуглецю CO (чадний газ), нафтові гази, леткі розчинники, а також пило-виділення*.

Леткі розчинники - речовини з низькою температурою кипіння, які застосовуються в технологічних процесах для розчинення твердих і рідких сполук: спеціальні бензини (екстрагований бензин, уайт-спірит), ароматичні вуглеводні (бензол, толуол, ксилол), сольвент, спирти (бутиловий, ізобутиловий, метанол), ефіри, які зазвичай застосовуються в суміші зі спиртами й ароматичними вуглеводнями, галогенопохідні вуглеводнів (дихлоретан), кетони (ацетон) та ін. Усі вони токсичні, багато з них - вибухонебезпечні.

У світі щорічно викидається понад 200 млн. т SO_2 і близько 50-55 млн. т NO_x .

Більше 70% *сірчистого ангідриду*, який потрапляє в атмосферу, утворюється при спалюванні вугілля і 16% - рідкого палива. Значне за-

бруднення двооксидом сірки призводить до істотного зниження рН дощової води. Підвищення кислотності атмосферних опадів - «закислення» - призвело до серйозних наслідків, особливо в Скандинавії, Канаді і США, тому що воно істотно понизило біологічну продуктивність озер і в багатьох випадках стало причиною повної загибелі риби. Негативно впливають «кислі дощі» на продуктивність сільського господарства, внаслідок чого підвищується кислотність ґрунтів і знижується врожайність.

Основним антропогенним джерелом надходження **оксидів азоту** в атмосферу є спалювання твердого і рідкого палива. Загальна кількість оксидів азоту, що надходять в атмосферу від промислових джерел, приблизно в 10 разів менша ніж від природних джерел, головним чином - вулканів. Двооксид азоту, який потрапив в атмосферу різними шляхами, що утворився при окислюванні оксиду, знаходиться в ній у середньому близько 3 доби. Далі він переходить в азотну кислоту внаслідок взаємодії з водяною парою і, у свою чергу, реагуючи з атмосферним аміаком або аерозолями, утворює нітрати. Нітрати повертаються на землю разом із опадами.

Важливу роль у локальних забрудненнях атмосфери відіграють **аерозолі штучного походження**. На першому місці знаходиться промисловість будівельних матеріалів і, в першу чергу, - виробництво цементу. Цементні заводи викидають в атмосферу до 3% цементного пилу. Велика кількість пилу також утворюється у процесі виробництва чорних і кольорових металів.

Раніше вулканічні явища давали значну частку двооксиду вуглецю в атмосферу. Тепер виділення його за рахунок спалювання палива перевищує на два порядки надходження цього газу з мантиї Землі.

Найбільша кількість **пилу** викидається в атмосферу тепловими електростанціями, що використовують переважно місцеві види низькосортного вугілля, яке при згорянні виділяє значну кількість золи і сірчистих сполук. Спалюються вони в пилоподібному стані, викидаючи багато золи з димовими газами в атмосферу, яка осідає потім у вигляді кіптяви.

Теплові електростанції, які працюють на твердому паливі, забруднюють атмосферу **золою** (щодоби викидається близько 3200 т золи), нафтохімічні підприємства - **пилом токсичним і вибухонебезпечним** і т.д. Іншим суттєвим джерелом виділення окисів вуглецю, азоту, деяких вуглеводнів (пентан, гексан та ін.), токсичних сполук свинцю і навіть канцерогенних речовин (бензапірен) є **двигуни внутрішнього згорання**. З відпрацьованими газами легкового автомобіля протягом 1 год. викидається до 3 м³, а вантажного автомобіля - до 6 м³ оксиду вуглецю. Інтенсивне зростання кількості одиниць автомобільного й авіаційного транспорту призводить до того, що викиди цього газу сягають досить високих значень. На вуличних перехрестях великих міст відзначаються випадки гострого і хронічного отруєння регулювальників, вуличних торговців і навіть пішоходів.

Сьогодні у містах багатьох країн забруднення повітря у 15 разів вище, ніж у сільській місцевості, й у 150 разів вище - ніж над океаном. У деяких промислових містах за добу випадає більше 1 т пилу на км² території, а за рік - більше 1 кг/м² пилу і сажі.

Не є винятком у загальному обсязі забруднень і Україна, де основними забруднювачами є підприємства чорної металургії (33%), енергетики (30%), вугільної промисловості (10%), хімічної і нафтохімічної промисловості (7%).

За кількісним і якісним складом шкідливих викидів промислове виробництво поділяють на чотири групи:

1) виробництва, які викидають в атмосферу умовно чисті технологічні і вентиляційні викиди з вмістом шкідливих речовин, що не перевищують гранично допустимі концентрації (цехи з технологічними печами, які працюють на природному газі і малосірчистому мазуті);

2) виробництва, які викидають в атмосферу гази з неприємним запахом (виробництво азотної кислоти з каталітичним очищенням);

3) виробництва зі значними викидами в атмосферу, які містять не-токсичні або інертні гази (цехи з дробильно-помольним устаткуванням, сушильними барабанами, збагачувальні фабрики);

4) виробництва, які викидають в атмосферу токсичні і канцерогенні речовини (хімічні і нафтохімічні виробництва (виробництво поліетилену, фенолу, поліамідних смол, фталієвого ангідриду, сірчаної і соляної кислот, стиролу, карбаміду, гербіцидів, аміаку, ацетилену і т.д.).

Внаслідок забруднення атмосфери **важкими металами** спостерігається зростання алергічних і хромосомних захворювань, хвороб кровотворних органів, імунодепресивних станів, злоякісних новоутворень. Збільшення концентрації фтору, миш'яку, деяких важких металів призводить до серцево-судинних і легеневих захворювань, недоношування плоду вагітними. Формальдегід зумовлює подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів.

Потенційно шкідливий вплив хімічних забруднювачів на здоров'я згідно з «Керівними матеріалами Всесвітньої організації охорони здоров'я про якість атмосферного повітря» наведено в табл. 3.1 [15].

Таблиця 3.1 – Потенційно шкідливий вплив хімічних забруднювачів на здоров'я

| Забрудник | Шкідливий вплив на здоров'я |
|------------------------------------|--|
| Бензол C_6H_6 | Гематоксичність, канцерогенність, мутагенний процес |
| Окис вуглецю CO | Неврологічні порушення, погіршення здатності крові переносити кисень |
| Формальдегід H_2CO | Подразнення очей, носа і горла, нудота, рак носової порожнини, генотоксичність |
| Поліциклічні ароматичні вуглеводні | Імунотоксичність, генотоксичність, канцерогенність, токсичність репродуктивних органів |

Продовження таблиці

| Забрудник | Шкідливий вплив на здоров'я |
|--------------------------------------|---|
| Свинець <i>Pb</i> | Гематологічні і неврологічні ефекти, зниження рівня гемоглобіну |
| Двооксид азоту <i>NO₂</i> | Хронічна абструптивна легенева недостатність, посилення респіраторних симптомів |
| Тверді частинки | Бронхіти, ослаблена легенева функція, ймовірне скорочення середньої тривалості життя |
| Двооксид сірки <i>SO₂</i> | Респіраторні симптоми (утруднене дихання, кашель з виділенням мокротиння, задишка), хронічна абструптивна легенева недостатність, смертність від респіраторних та серцево-судинних хвороб |

3.2. Зниження ступеня забруднення повітряного середовища населених пунктів

У розміщенні продуктивних сил на території держави необхідно забезпечувати оптимальне співвідношення між подальшим зростанням виробництва та якістю навколишнього середовища регіону. Необхідно, зокрема, розосереджувати підприємства, які забруднюють повітряне середовище, враховувати явище синергізму, антагонізму і т.д. *Одним із шляхів ефективної боротьби із забрудненням повітряного басейну населених пунктів є врахування особливостей метеорологічного режиму.* Так, не можна споруджувати підприємства в долинах і улоговинах, а слід розташовувати їх з підвітряного боку відносно населеного пункту, тобто з урахуванням напрямку превалюючих вітрів і на рівні – не нижче рівня житлового масиву, щоб виключити застій забрудненого повітря і забезпечити розсіювання шкідливих речовин до рівня гранично допустимих концентрацій (ГДК).

Питання про раціональне розміщення джерел забруднень («захист відстанню») вирішується на різних рівнях (загальнодержавному, регіональному, місцевому) у залежності від їх масштабу (розташування територіально-промислових комплексів на території країни, виробничих об'єднань і окремих підприємств у державі, області, місті, цехів усередині підприємства, устаткування усередині цеху), причому, враховується велика кількість факторів (рівень виробничих шкідливостей, рельєф місцевості, метеоумови, водопостачання, каналізація, заселеність, планування виробничих будівель і кварталів житлової забудови, особливості технології виробництва і т.д.).

Велике значення мають планувальні заходи, які визначають *доцільне розташування житлових масивів і селищ відносно джерел викидів в атмосферу.*

Насамперед **необхідно розташовувати житлові об'єкти з урахуванням напрямку панівних вітрів у даній місцевості.** На рис. 3.1 зображена, як приклад, діаграма панівних вітрів, на якій векторами вказані панівні на даній місцевості вітри (кількість днів на рік, коли дме вітер

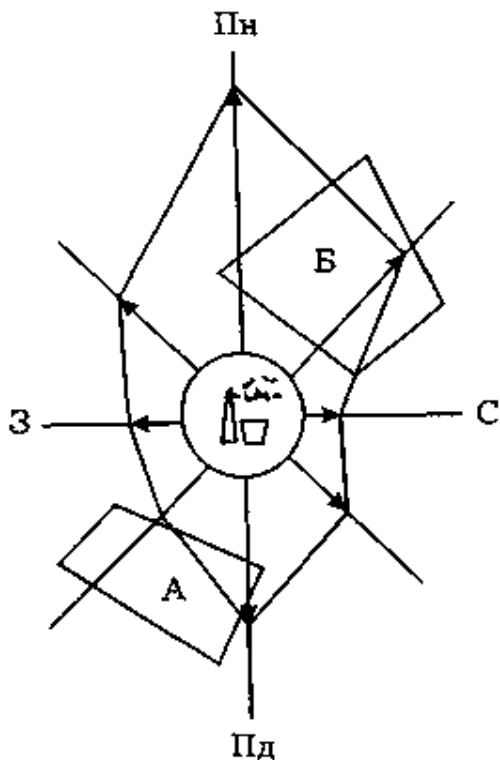


Рисунок 3.1 – Діаграма панівних вітрів

пил і газові викиди. Тому всі організовані викиди слід направляти вище від цієї зони, тоді приземні концентрації шкідливих речовин зменшуються приблизно в 6 разів.

даного напрямку, визначена на основі багаторічних спостережень). Як видно, у даній місцевості переважають північні і північно-східні вітри, тому для меншого занесення шкідливих викидів доцільніше розташовувати селище на ділянці А, ніж на ділянці Б.

Ступінь забруднення атмосферного повітря залежить також від висоти викиду. За наявності вітрового потоку повітря, спрямованого на будівлі промислових підприємств, над дахами і за будівлями утворюється ділянка зниженого тиску, яка називається зоною аеродинамічної тіні (рис. 3.2). В середині цієї зони виникає циркуляція повітря, в результаті якої в зону затягується

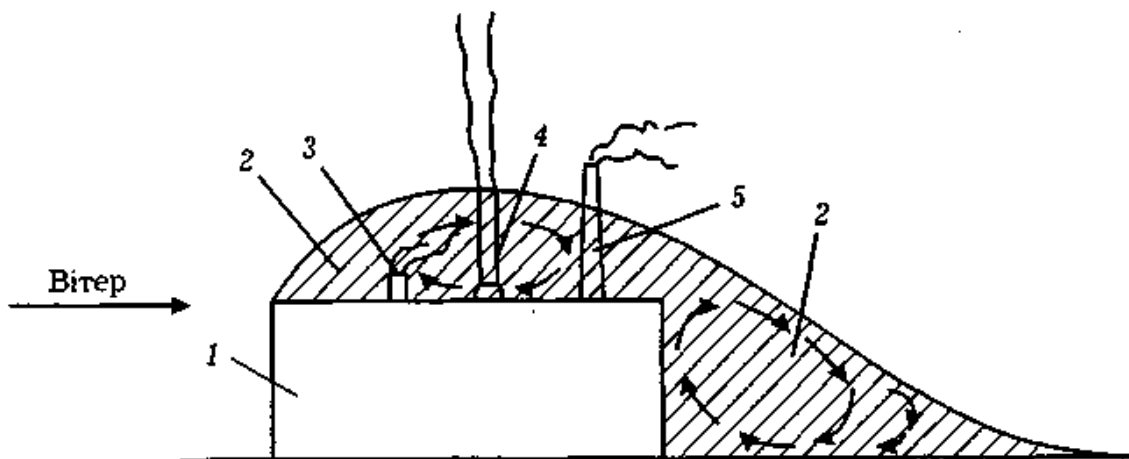


Рисунок 3.2 – Розподіл викидів у зоні аеродинамічної тіні:

1 – промислова будівля; 2 – зона аеродинамічної тіні; 3 – джерело викиду в зону аеродинамічної тіні; 4 – факельний викид; 5 – джерело викиду вище зони аеродинамічної тіні

Останнім часом усе ширше застосовують так званий *факельний викид шкідливих речовин* (4 на рис. 3.2), який полягає в тому, що вихлопний струмінь викиду під підвищеним тиском спрямовують угору зі швидкістю

15-40 м/с, при цьому струмінь досягає висоти 60 м і більше, що забезпечує краще розсіювання забруднюючих речовин і зниження їх концентрації до допустимої.

Для того, щоб концентрація шкідливої речовини у приземному шарі атмосфери не перевищувала гранично допустиму максимальну разову концентрацію, пилогазові викиди розсіюються в атмосфері за допомогою висотних труб.

Зі збільшенням висоти викиду ступінь розсіювання забруднюючих речовин зростає, їх концентрація знижується і може бути зменшена до гранично допустимої. Тому високі труби споруджують, переважно, для викиду димових газів теплоелектроцентралей. Будівництво високих труб є дорогим (вартість труби висотою 120 м складає близько 800 тис. \$), і їх будують або за дуже значних викидів диму чи газу, або у тих випадках, коли до однієї труби підключено кілька джерел викидів.

Прикладом раціонального розміщення може бути відповідний вибір висоти димарів, тому що у випадку застосування високої труби забруднений газ досягає приземного шару атмосфери на значній відстані від труби, коли шкідливі речовини, що містяться у ньому, вже встигають розсіятися в атмосфері. Однак таке зниження рівня забруднень повітряного басейну має значення лише у локальному чи у регіональному масштабі, оскільки шкідливі речовини, що акумулюються в атмосфері, рано чи пізно опускаються в приземний шар атмосфери і на землю або вступають в реакцію з іншими з утворенням шкідливих та небезпечних сполук.

Проте на етапі розроблення заходів щодо скорочення викидів не рекомендується передбачати викиди шкідливих речовин через велику кількість низьких труб, вентиляційних шахт, дефлекторів, аераційних ліхтарів і т.д. Необхідно спрямовувати викиди в якомога меншу кількість труб висотою, яка у 2,5 рази вища за висоту сусідніх споруд у радіусі 4-5 висот труби.

Поширення в атмосфері промислових викидів з труб підпорядковується законам турбулентної дифузії. На процес розсіювання викидів істотно впливають: стан атмосфери, розташування підприємств, характер місцевості, фізичні властивості викидів, висота труби, діаметр устя та ін. Горизонтальне переміщення домішок обумовлюється в основному швидкістю вітру, а вертикальне – розподілом температур у вертикальному напрямку.

На рис. 3.3 наведено розподіл концентрації шкідливих речовин в атмосфері над факелом організованого висотного джерела викиду. Зі збільшенням відстані від труби у напрямку поширення промислових викидів концентрація забруднювачів у приземному шарі атмосфери спочатку зростає, досягає максимуму і потім повільно спадає, що свідчить про наявність трьох зон неоднакового забруднення атмосфери: зона переміщення факела викидів, що характеризується відносно невисоким вмістом шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери; зона задим-

лення – зона максимального вмісту шкідливих речовин і зона поступового зниження рівня забруднення.

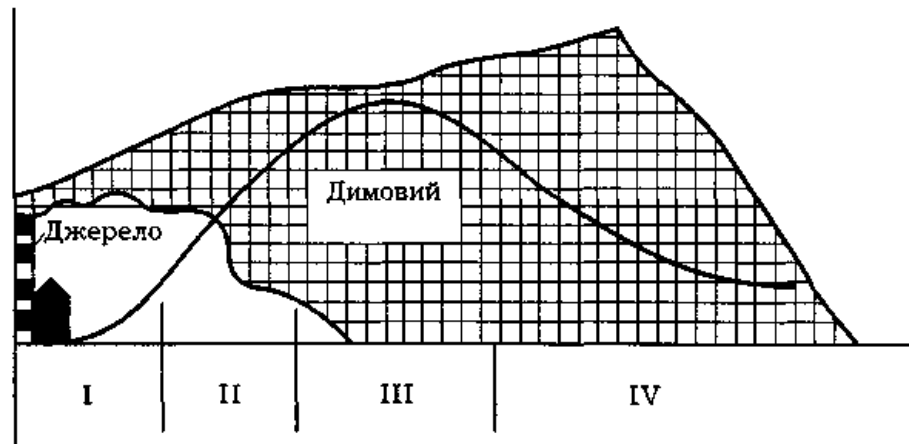


Рисунок 3.3 – Схема розподілу концентрації шкідливих речовин в атмосфері від організованого висотного джерела викиду:

I – зона неорганізованого забруднення; II – зона переміщення (перекидання) факела; III – зона задимлення; IV – зона поступового зниження рівня забруднення

В основу регламентації розрахункового розсіювання викидів промислових підприємств в атмосфері і визначення приземних концентрацій шкідливих речовин закладено те, що величина найбільшої концентрації кожної шкідливої речовини в приземному шарі атмосфери не повинна перевищувати максимальну разову гранично допустиму концентрацію даної шкідливої речовини в атмосферному повітрі. За одночасної наявності в атмосферному повітрі декількох речовин, що мають адитивні властивості, повинна виконуватися ця умова для кожної точки місцевості.

Відповідно до санітарних норм проектування, промислові підприємства виробництва, технологічні процеси яких супроводжуються шкідливими викидами, відокремлюються від житлових районів *санітарно-захисними зонами (розривами)* [15].

Санітарно-захисні зони (СЗЗ) - це ділянки землі навколо підприємств, що відокремлюють їх від житлових масивів з метою зменшення шкідливого впливу цих підприємств на здоров'я людини. Їх розташовують з підвітряного боку підприємств і засаджують пилистійкими деревами та чагарниками, що мають бактерицидні властивості (береза, біла акація, грецький горіх, дуб, канадська тополя, сосна, смерека, бузина, смородина та ін.) [7].

Санітарно-захисна зона - територія навколо потенційно небезпечного підприємства, в межах якої заборонено проживання населення та ведення господарської діяльності, розміри якої встановлюються проектною документацією відповідно до державних нормативних документів

(Державний комітет України у справах містобудування і архітектури Наказ про затвердження «Методики обстеження і паспортизації гідротехнічних споруд систем гідравлічного вилучення та складування промислових відходів» (п.1.9.25 Методики) № 252 від 19.12.95 м. Київ).

Санітарно-захисна зона - функціональна територія між промисловим підприємством або іншим виробничим об'єктом, що є джерелом надходження шкідливих чинників в навколишнє середовище, і найближчою житловою забудовою (чи прирівняними до неї об'єктами), яка створюється для зменшення залишкового впливу цих факторів до рівня гігієнічних нормативів з метою захисту населення від їх несприятливого впливу (Міністерство охорони навколишнього природного середовища України Наказ про затвердження «Інструкції про загальні вимоги до оформлення документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для підприємств, установ, організацій та громадян-підприємців» (п.1.9) 09.03.2006 № 108).

Санітарно-захисна зона - озеленена територія спеціального призначення, яка розділяє (відокремлює) заселену частину міста від промислових підприємств (Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України Наказ про затвердження «Правил утримання зелених насаджень у населених пунктах України» (п.2.1) 10.04.2006 № 105).

Отже, санітарно-захисна зона сприяє розведенню шкідливих викидів до допустимого рівня; її територію упорядковують та озеленюють, тому що зелені насадження очищають і освіжають повітря. Установлено, що на 1 м² поверхні листків рослин у середньому затримується 1,5-3,0 г пилу, а 1 га зелених насаджень поглинає з повітря до 8 кг/год двоокису вуглецю [15].

Наприклад, *найбільша зона, шириною 1000 м*, встановлена для підприємств, що виготовляють азотну і сірчану кислоти, анілінові барвники, віскозне волокно, а також для підприємств, що переробляють нафту, яка містить більше 0,5% (масових) сірки, для сажових заводів; *найменша зона, шириною 50 м*, – для підприємств, що виготовляють шляхом механічного оброблення виробу з пластмас, неорганічні реактиви, для пунктів очищення, промивання і пропарювання цистерн з-під нафтопродуктів.

Згідно із санітарними нормами проектування промислових підприємств, виділяють **5 класів промислових об'єктів із СЗЗ** завширшки від 50 м до 3000 м з урахуванням ступеня забруднення повітря поблизу виробництва.

Перший клас поділяють на підкласи 1 А із СЗЗ завширшки 3000 м та 1 Б - 1000 м. До першого класу А із СЗЗ завширшки 3000 м належать особливо небезпечні об'єкти (АЕС та ін.). До першого класу Б із СЗЗ завширшки 1000 м належать хімічні, нафтопереробні, паперово-

целюлозні та металургійні заводи й підприємства, що займаються випалюванням коксу, вторинною переробкою кольорових металів, видобутком нафти, природного газу та кам'яного вугілля.

До другого класу із СЗЗ завишки 500 м належать цементні, гіпсові, вапнякові та азбестові заводи і підприємства, що виробляють свинцеві акумулятори, пластичні маси, видобувають горючі сланці, кам'яне, буре та інше вугілля.

До третього класу із СЗЗ завишки 300 м належать підприємства з виробництва скловати, керамзиту, толю й руберойду, вугільних виробів для електропромисловості, різних лаків та оліфи, ТЕЦ, заводи залізобетонних виробів, асфальтобетонні, кабельні заводи тощо.

До четвертого класу СЗЗ завишки 100 м належать підприємства металообробної промисловості, машинобудівні заводи, електропромисловість з невеликими ливарними цехами, виробництва неізольованого кабелю, котлів, цегли, металевих електродів, будівельних матеріалів з відходів ТЕС.

До п'ятого класу із СЗЗ завишки 50 м включено підприємства легкої промисловості, металообробної промисловості з термічною обробкою без ливарних цехів, виробництва лужних акумуляторів, приладів для електротехнічної промисловості без застосування ртуті й лиття, друкарні, виробництва харчової промисловості, пункти очищення й промивання цистерн, виробництво стиснених і зріджених продуктів розділення повітря [7].

Санітарно-захисна зона може бути збільшена (не більше ніж у три рази) за умов:

- використання неефективних методів очистки викидів в атмосферу;
- відсутності ефективних способів очистки викидів;
- необхідності розміщення житлової зони з підвітряного боку відносно до підприємства, у зоні можливого забруднення атмосфери;
- залежно від рози вітрів та інших несприятливих метеорологічних умов (часті штилі, тумани та ін.);
- будівництва нових, ще недостатньо вивчених у санітарному відношенні підприємств [16].

У проектах генеральних планів розвитку міст правильно виконані планування і розміщення озелених зон і водних басейнів забезпечують природний повітрообмін, що сприяє самоочищенню повітря. Над забудованими кварталами виникають висхідні струмені повітря, що обумовлено акумуляцією сонячного тепла дахами будинків і асфальтованих вулиць. Ці струмені повітря відносять вгору забруднення. А над озеленими зонами і територіями водойм утворюються низхідні струмені чистого повітря. У такий спосіб забезпечується оздоровлення мікроклімату міста.

Усі ці заходи, поліпшуючи санітарний стан локальних місць, не вирішують цілком завдання *запобігання забруднення атмосфери*. Ра-

дикальне вирішення даного завдання полягає, як уже зазначалось, у припиненні викидів, що стає можливим при безвідходних технологічних процесах або при очищенні викидів до ступеня, меншого гранично допустимих концентрацій [15].

3.3. Системи очищення викидів в атмосферу

У тих випадках, коли заходи, що зменшують викиди в атмосферу, не в змозі знизити вміст забруднень в атмосферному повітрі до гранично допустимих концентрацій, то викиди належить піддавати очищенню до такого ступеня, щоб у кінцевому результаті гранично допустимі концентрації не перевищувалися.

Сьогодні очищення забрудненого повітря і газів, які утворюються в технологічних процесах і викидаються в атмосферу, від домішок, що містяться в них, є основним способом охорони повітряного басейну від забруднення, який застосовується у всіх випадках, коли використання активних методів поки неможливе або економічно недоцільне. ***Завдання промислового газоочищення*** полягає у вилученні шкідливих домішок або їх нейтралізації з організованих газових викидів та викидів від стаціонарних джерел з метою захисту повітряного басейну.

Очищення викидів значно спрощується, якщо гази, що відходять, наприклад, димові, рухаються по *газоходах*. Проте у багатьох випадках, наприклад у процесах, де застосовуються дробарки, грохоти, травильні установки, гальванічні ванни, у процесах обробування і зачищення виливків, оброблення крихких матеріалів з інтенсивним пилоутворенням, а також в інших випадках необхідне застосування спеціальних заходів для запобігання виділенню шкідливих речовин безпосередньо в атмосферу виробничих приміщень. Інакше шкідливі домішки-забрудники не лише створюють небезпеку для працівників, можуть впливати на якість продукції, але також стають важко вловимими. Тому *уловлювання шкідливих речовин безпосередньо в джерелі їх виділення* є запорукою не лише поліпшення гігієнічних умов праці на робочих місцях, але і високої ефективності пило- і газуловлювальних установок.

Установки для уловлювання шкідливих речовин, що містяться у повітрі, складаються з наступних елементів:

- уловлювального чи пилоприймального пристрою, що може включати один або групу приймачів;
- мережі трубопроводів;
- вентилятора, що відсмоктує запилене або загазоване повітря по трубопроводах до пило- чи газоочисної установки.

Орієнтовна класифікація систем очищення і знешкодження газових викидів наведена на рис. 3.4.

Системи очищення і знешкодження газових викидів умовно розділяють на 2 групи:

- I група – установки з очищення від токсичних газових домішок (хімічного очищення);
- II група – установки з очищення газових викидів від аерозолів (пилу, диму, крапель туману або бризок).

Темпи зростання ефективності роботи комплектуючих апаратів схем пилоочищення помітно відстають від вимог до них з точки зору енерго- і металоємності. Виникло протиріччя: з одного боку, значно підвищилися потенційні можливості установок для очищення повітря від пилу і вимоги до них, а з іншого – зросла кількість проблем, пов'язаних з реалізацією цих можливостей внаслідок ускладнення схем пилоочищення. Це протиріччя зумовило необхідність забезпечення підвищених вимог щодо ефективності роботи апаратів пилоочищення, яка визначається здатністю пилоочисної установки зберігати працездатність протягом певного часу в певних умовах експлуатації [15].



Рисунок 3.4 – Структурна схема систем очищення та знешкодження газових викидів в атмосферу

Висновок. Промисловий негативний вплив на атмосферу продовжує зростати і загрожує глобальними наслідками для майбутніх поколінь, що ставить перед наукою і технікою серйозні інженерні завдання щодо їх попередження. Проектування систем пилоочищення, які базуються на високоефективних апаратах, що характеризуються малим гідравлічним опором і габаритами, допоможе у вирішенні актуальної проблеми сучасності – очищення повітря від пилу.

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте наслідки, до яких призводить накопичення в атмосфері викидів промислових підприємств.
2. Поясніть особливості розповсюдження викидів шкідливих речовин в атмосферу у районі промислового об'єкта.
3. Розкрийте сутність способу факельного викиду шкідливих речовин в атмосферу.
4. Проаналізуйте ефективність та проблеми використання високих труб для викиду шкідливих речовин в атмосферу.
5. Охарактеризуйте фактори, що впливають на процес розсіювання викидів шкідливих речовин в атмосферу.
6. Розкрийте сутність санітарно-захисних зон. Наведіть класи санітарно-захисних зон.
7. Наведіть класифікацію основних видів апаратів очищення та знешкодження газових викидів в атмосферу.

ЛЕКЦІЯ 4 АПАРАТИ СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ВІД ПИЛУ

ПЛАН

1. Пилоосадні (гравітаційні) камери.
2. Інерційні пиловловники.
3. Відцентрові пиловловники (циклони).
4. Відцентрово-інерційні пиловловники.

4.1. Пилоосадні (гравітаційні) камери

Для зниження концентрації зважених частинок у газах, що надходять на очищення в газоочисні установки, застосовуються апарати, так званого, попереднього, чи грубого, очищення газів, які відрізняються простотою і надійністю в експлуатації і не потребують значних енергетичних витрат.

За способом дії апарати грубого очищення газів поділяються на групи:

а) апарати, принцип дії яких базується на використанні гравітаційних сил, – **пилоосадні камери**;

б) апарати, в роботі яких використовується сила інерції, – **інерційні пиловловники**;

в) апарати, принцип дії яких базується на використанні відцентрових сил, – **циклони**;

г) апарати, принцип дії яких базується на використанні **відцентрових і інерційних сил**.

Цyklони і відцентрово-інерційні апарати у практиці газоочищення застосовуються і як апарати попереднього очищення газів, а в ряді випадків і як апарати самостійного очищення. Таким чином, вони займають проміжне положення між апаратами грубого і тонкого очищення газів.

Класифікація апаратів сухого очищення газів наведена на рис. 4.1, а схеми їх основних типів – на рис. 4.2.

Характеристика пилоосадних камер. *Пилоосадні камери* та деякі пиловловники інерційної дії за конструкцією відносяться до найпростіших апаратів, у тому числі: багатополічні камери, камери з перегородками, камери з ланцюговими або дрововими завісами; пилоосадники інерційної дії з центральним або бічним підведенням газу (пилові мішки), з відбивальною перегородкою та інші (рис. 4.2, 4.3).

У пилоосадних камерах використовується гравітаційне осадження частинок з горизонтально спрямованого потоку газу. Для досягнення прийнятної ефективності очищення газів необхідно, щоб частинки перебували у камері якомога більш тривалий час, і тому ці апарати є громіздкими. Матеріалом для спорудження камер може бути цегла, залізобетон, рідше – сталь і навіть дерево (для холодних газів). Вони застосовуються, коли основна маса частинок має розміри більше 10 мкм.

Робота пилоосадних камер базується на гравітаційному осадженні або осадженні під дією сили ваги частинок пилу і є найбільш простим видом вилучення пилу. Частинка за прямолінійного і рівномірного руху в газовому середовищі долає опір з боку середовища. На величину опору руху частинок також впливає концентрація їх у газовому потоці, що зумовлено взаємодією частинок, яка змінюється між їх двома граничними положеннями за умови, що кожна частинка рухається індивідуально, а група щільно зв'язаних частинок розглядається як єдине ціле. Надійних залежностей для обліку впливу концентрації частинок аерозоллю на величину опору через складність процесу поки не існує.

Вважається, що за об'ємної концентрації частинок (відношення об'єму частинок, що містяться в газах, до повного об'єму газів), яка дорівнює 0,002, опір руху збільшується, приблизно, на 1% [15].



Рисунок 4.1 – Класифікація апаратів сухого очищення газів

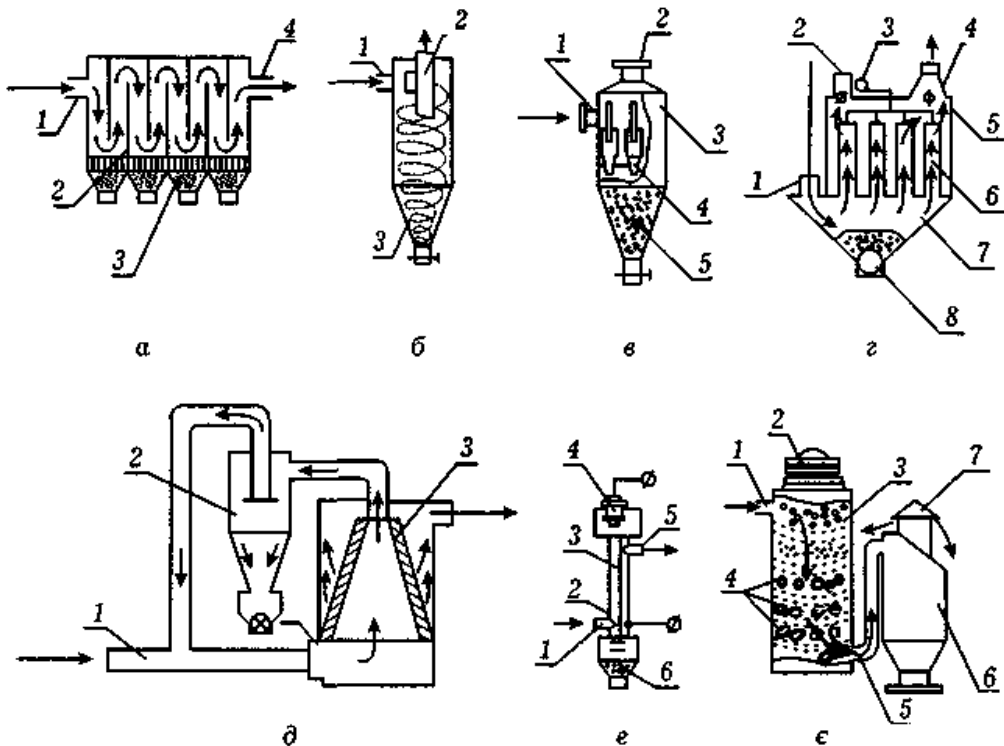


Рисунок 4.2 – Схеми основних видів сухих пиловловників:

а) гравітаційний: 1 – вхідний патрубок; 2 – перепони; 3 – бункер; 4 – вихідний патрубок;

б) інерційний: 1 – вхідний патрубок; 2 – верхні отвори; 3 – бункер;

в) батарейний: 1 – вхідний патрубок; 2 – вихідний патрубок; 3 – загальний корпус; 4 – циклонні елементи малого діаметра; 5 – загальний бункер-збирач;

г) рукавний: 1 – вхідний патрубок; 2 – канал для продування; 3 – струшувальний механізм; 4 – колектор; 5 – розбірний корпус; 6 – циліндричні рукави-фільтри; 7 – бункер; 8 – шнек;

д) жалюзійний: 1 – пилезбірник; 2 – циклон; 3 – корпусна жалюзійна решітка;

е) електричний: 1 – вхідний патрубок; 2, 3 – відповідно осадний і коронувальний електроди; 4 – ізолятор; 5 – вихідний патрубок; 6 – бункер;

є) ультразвуковий: 1 – вхідний канал; 2 – ультразвуковий генератор; 3 – агломераційна башта; 4 – зона коагуляції; 5 – канал подачі в циклон; 6 – корпус циклона; 7 – вихідний патрубок.

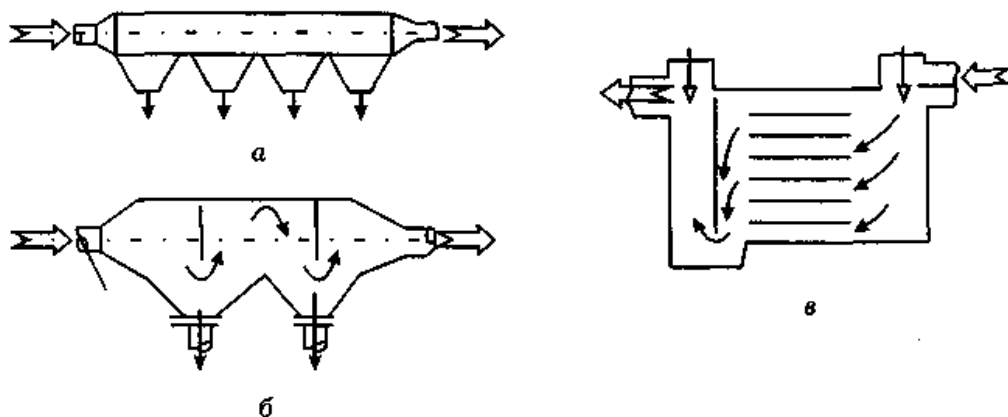


Рисунок 4.3 – Схеми пилоосадних камер:

а) найпростіша камера; б) камера з перегородками; в) багатополична камера

4.2. Інерційні пиловловники

За різкої зміни напрямку руху газового потоку частинки пилу під впливом інерційної сили будуть прагнути переміщатися в попередньому напрямку і надалі можуть бути вилучені з цього потоку. На цьому принципі працює низка пиловловників, в яких завдяки зміні напрямку газового потоку забезпечується прискорений рух частинок у бік їх осадження. Деякі з цих пиловловників наведені на рис. 4.4.

Камера з перегородкою (рис. 4.4, а) за ефективністю пиловловлення мало відрізняється від традиційної та пилоосадної горизонтальної камери, але має високий гідравлічний опір.

Проектуючи осадні камери, необхідно також брати до уваги можливість вторинного винесення, для запобігання якого необхідно, щоб швидкість газового потоку була не вищою за 3 м/с, хоча для деякого пи-

лу, наприклад, сажі, ця величина швидкості зависока.

Плавний поворот у камері (рис.4.4, б) дозволяє знизити гідравлічний опір.

На рис. 4.4, в наведено осадник, в якому запилений газовий потік спрямовується спочатку донизу по розширювальному конусу, а потім повертає на кут 180° і виводиться зверху. У результаті цього на частинки пилу діє додаткове зусилля, яке спрямовує їх у бік бункера, яке забезпечує і додаткове прискорення.

Розширювальний конус дозволяє поступово знизити швидкість газового потоку і перешкоджає

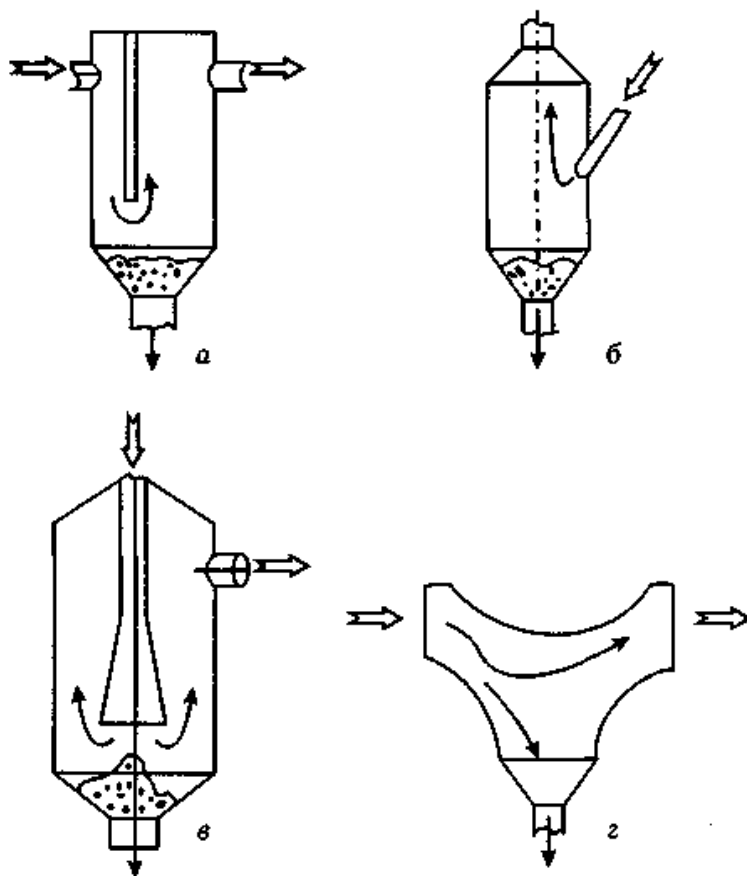


Рисунок 4.4 – Інерційні пиловловники:

а) камера з перегородкою; б) камера з плавним поворотом газового потоку; в) – камера з розширювальним конусом; г) камера з заглибленим бункером

вторинному винесенню частинок. У подібних пиловловниках швидкість газів у вільному перетині камери складає приблизно 1,0 м/с, а у вхідній циліндричній трубі – близько 10 м/с. При цьому частинки пилу, більші за 25-30 мкм, уловлюються на 65-85 %.

Гідралічний опір подібного пиловловника з камерою діаметром 10 м і приблизно такої ж висоти циліндричної частини становить 150–390 Па.

Вирішальний вплив на вторинне винесення частинок пилу з пиловловника із заглибленим бункером, наведеного на рис. 4.4, г, має глибина циліндричної частини камери, де гаситься турбулентний потік газу. Наявність вторинного виносу підтверджується зниженням ефективності його роботи зі зростанням швидкості газів.

Принцип раптової зміни напрямку газового потоку при зустрічі із ґратами, що складаються з похилих пластин, використаний у пиловловнику жалюзійного типу (рис. 4.5). Цей апарат застосовується для попереднього очищення газів перед циклонами або рукавними фільтрами. У ньому близько 90% газів частково очищується від пилу при проходженні через жалюзі, а інший газовий потік з уловленим пилом спрямовується на очищення в циклон.

У разі підвищення швидкості подачі газів до пластин ґрат ступінь уловлювання пилу в жалюзійному пиловловнику спочатку швидко зростає, а починаючи зі швидкості близько 10 м/с, цей процес сповільнюється. Зазвичай швидкість газів у жалюзійному пиловловнику складає 12–15 м/с.

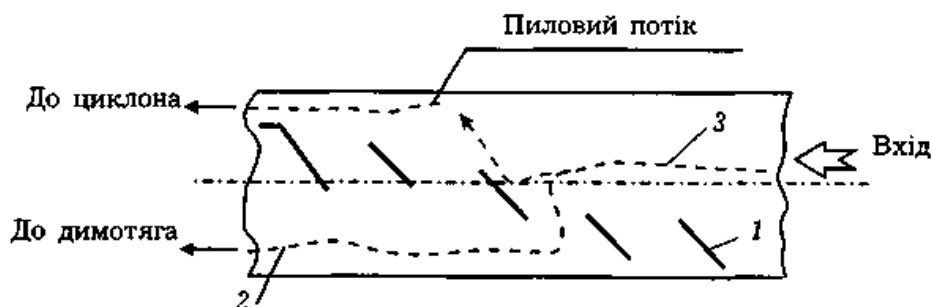


Рисунок 4.5 – Жалюзійний пиловловник з частковим відведенням запиленого газового потоку:

1 – жалюзійні ґрати; 2 – очищені газы ($\approx 90\%$); 3 – запилені газы ($\approx 10\%$)

На ступінь очищення пилу в цих апаратах впливає швидкість руху газів, що відсмоктуються в циклон. Для того, щоб у циклон було відведено якнайбільше пилу, ця швидкість повинна бути не меншою за швидкість газів при підході до ґрат. Гідралічний опір ґрат складає 100–500 Па. Як правило, жалюзійні пиловловники застосовують для уловлення частинок пилу, більших за 20 мкм. Недоліками жалюзійного пиловловника є зношення пластин ґрат за високої концентрації особливо великого пилу і можливість утворення відкладень при охолодженні газів до точки роси.

Жалюзійні апарати застосовуються відносно рідко, тому що ступінь їх експлуатаційної надійності досить низька, особливо у роботі цих апаратів за наявності абразивного пилу та пилу, який злипається, що часто зустрічається у промисловості. Крім того, жалюзійні ґрати вимагають встановлення

додаткових пристроїв для осадження пилових концентратів, що утворюються на них [15].

4.3. Відцентрові пиловловники (циклони)

Відцентрові сили, що виникають при обертанні газового потоку, широко використовуються в техніці пиловловлення. На цьому принципі базується робота найбільш чисельної групи пиловловників – циклонів. Унаслідок дешевизни і простоти конструкції й обслуговування, порівняно невеликого опорю і високої продуктивності циклони мають перевагу над іншими апаратами, які застосовуються для очищення газів.

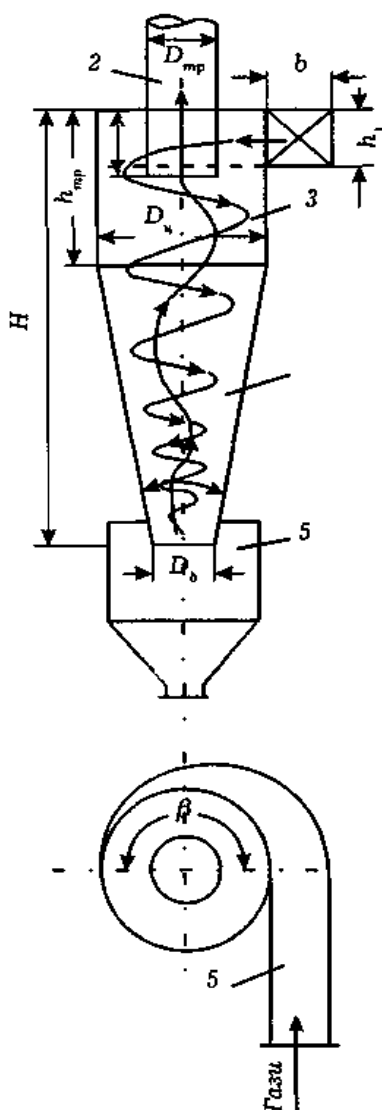


Рисунок 4.6 – Схема роботи циклона:
1 – вхідний патрубок; 2 – вихлопна труба; 3 – циліндрична камера; 4 – конічна камера; 5 – пилоосадна камера

Обидва способи підведення можуть застосовуватися з однаковою ефективністю.

Циклони розрізняються за способом підведення газів в апарат, який може бути спіральним, тангентальним, звичайним, гвинтоподібним і осьовим.

Основними видами конструкцій циклонних пиловловників є спіральні, тангентальні, гвинтоподібні, розеткові циклони з поверненням газів, розеткові прямоточні циклони. Принципова схема роботи циклона наведена на рис. 4.6.

Циклони з осьовим (розетковим) підведенням газів працюють як з поверненням газів у верхню частину апарата, так і без нього, й отримали назву «прямоточні циклони». Вони відрізняються низьким гідравлічним опором і меншою, порівняно з циклонами інших типів, ефективністю пиловловлення. Недоліком прямоточних циклонів є необхідність відкачування частини газів через бункер для вилучення пилу, що сприяє їх абразивному зношенню.

Найкращим за формою з позицій аеродинаміки є підведення газів по спіралі, однак за практичними даними усі способи підведення можуть застосовуватися з однаковою ефективністю.

Рух газів у циклоні носить дуже складний характер і, незважаючи на значну кількість теоретичних досліджень, вивчений ще недостатньо.

Гази, що направляються в апарат, надходять у циліндричну частину циклона, отримуючи рух по спіралі зі швидкістю, що збільшується, від периферії до центра, усередину, опускаються по зовнішній спіралі, потім піднімаються по внутрішній спіралі і виходять через вихлопну трубу. Зазвичай у циклонах відцентрове прискорення у декілька разів більше за прискорення сили ваги, тому навіть дуже маленькі частинки пилу не в змозі встигати за лініями потоку газів і під впливом відцентрової сили виносяться з кривої руху газів у напрямку до стінки апарата.

У циліндричній камері циклона статичний тиск, як і в кожному скривленому потоці, значно знижується в напрямку від периферії до центру. В основному потоці зусилля стискання, які спрямовані у внутрішню сторону, зрівноважуються з відцентровими силами газів. На більш повільній біля стінки циклона прикордонний шар діють відповідно менші відцентрові сили. Однак біля конічної стінки циклона й біля його кришки перепад тисків починає впливати, зусилля стискання потоку стають значно більшими за відцентрову силу, і потік у вигляді сильного вторинного вихору спрямовується всередину, захоплюючи із собою значну кількість частинок пилу, але внаслідок того, що потім потік газу ще кілька разів на його шляху донизу обернеться навколо вихлопної труби, частинки можуть бути знову відкинуті відцентровою силою до стінки корпусу апарата. Вторинний потік, скривлений уздовж конічної стінки, захоплює відкинутий до стінки пил і спрямовує його донизу до бункера. Без цього потоку окремі частинки, що знаходяться біля стінки, не змогли б потрапити вниз, оскільки спрямована нагору складова відцентрової сили є більшою в порівнянні із силою ваги. *Про суттєвий вплив вторинного потоку свідчить той факт, що пил виноситься з лежачих і навіть з перевернених циклонів.*

У бункері (внаслідок звуження у місці з'єднання) газовий потік циркулює слабше, ніж у корпусі, однак і в цьому випадку по осі вихор має знижений тиск. Частина вторинного потоку переміщується вниз і знову повертається в ядро вихора, завдяки чому вже відсепарований пил може бути знову захоплений і винесений в район осі вихора. Газовий потік, який переміщається по трубі, має обмежену несучу здатність (так звану завантаженість) за пилом, що ще більше стосується циклонів, оскільки замість сили ваги тут відіграє роль в багато разів більша відцентрова сила.

Так, за концентрації пилу 100 г/м^3 (середній розмір частинок d_{50} мкм і $\rho_p=1700 \text{ кг/м}^3$) у циклоні діаметром $D=750 \text{ мм}$ і швидкості газового потоку на вході 10 м/с – 90 % пилу відсепаровується безпосередньо після входу завдяки перевищенню граничної завантаженості. Частинки пилу, що залишились, будуть вилучатися з газового потоку вже за рахунок вихрового руху.

Переваги циклонних пиловловників:

- 1) відсутність будь-яких рухомих частин апарата;
- 2) надійне функціонування при температурах газів аж до 500°C без будь-яких конструктивних змін (якщо передбачається застосування більш високих температур, то апарати можна виготовляти зі спеціальних матеріалів);
- 3) можливість уловлювання абразивних матеріалів при захисті внутрішніх поверхонь циклонів спеціальними покриттями;
- 4) пил уловлюється у сухому вигляді;
- 5) гідравлічний опір апаратів майже постійний;
- 6) апарати успішно працюють за високих тисків газів;
- 7) пиловловники дуже прості у виготовленні;
- 8) зростання запиленості газів не призводить до зниження фракційної ефективності очищення.

Разом із тим слід мати на увазі, що гідравлічний опір високоефективних циклонів сягає 1250-1500 Па і частинки розміром менше за 5 мкм уловлюються циклонами погано.

Прямоточні циклони. Прямоточні циклони мають меншу ефективність уловлення в порівнянні із звичайними циклонами, проте часто їх застосування є виправданим. На прямоточні циклони великого діаметра зручно наносити футерування і вони мають малий гідравлічний опір, тому їх можна використовувати як стійкі до зношення пиловловники для відділення крупних частинок високоабразивної золи або пилу, що спричиняють найбільше зношування, перед більш ефективними, але чутливими до зношення апаратами.

Якщо в дисперсному складі пилу завдяки тим або іншим особливостям технологічного процесу вміст дрібних частинок незначний, то прямоточні циклони можуть використовуватися як самостійні пиловловники.

Для низки систем пиловловлення першим ступенем очищення рекомендовано застосування вертикальних футерованих прямоточних циклонів (рис. 4.7), коефіцієнт гідравлічного опору яких, віднесений до повного пере-тину апарата, дорівнює 47.

Вихрові пиловловники були розроблені значно пізніше циклонів і відрізняються від останніх наявністю в апараті двох зустрічних в осьовому напрямку закручених потоків – нижнього (первинного) і верхнього (вторинного). Конструкції вихрових пиловловників наведені на рис. 4.8.

З подачею запиленого газу одночасно по обох каналах частинки пилу, що надходять у вихровий пиловловник по верхньому каналу, відкидаються відцентровими силами до стінки апарата, рухаються уздовж неї вниз по спіралі і потрапляють у пиловий бункер; частинки пилу, що надходять в апарат по нижньому каналу, спочатку з потоком газу піднімаються по спіралі угору, потім під дією відцентрових сил відкидаються до стінки і з вторинним, верхнім потоком газу, рухаються донизу, також потрапляючи в пиловий бункер.

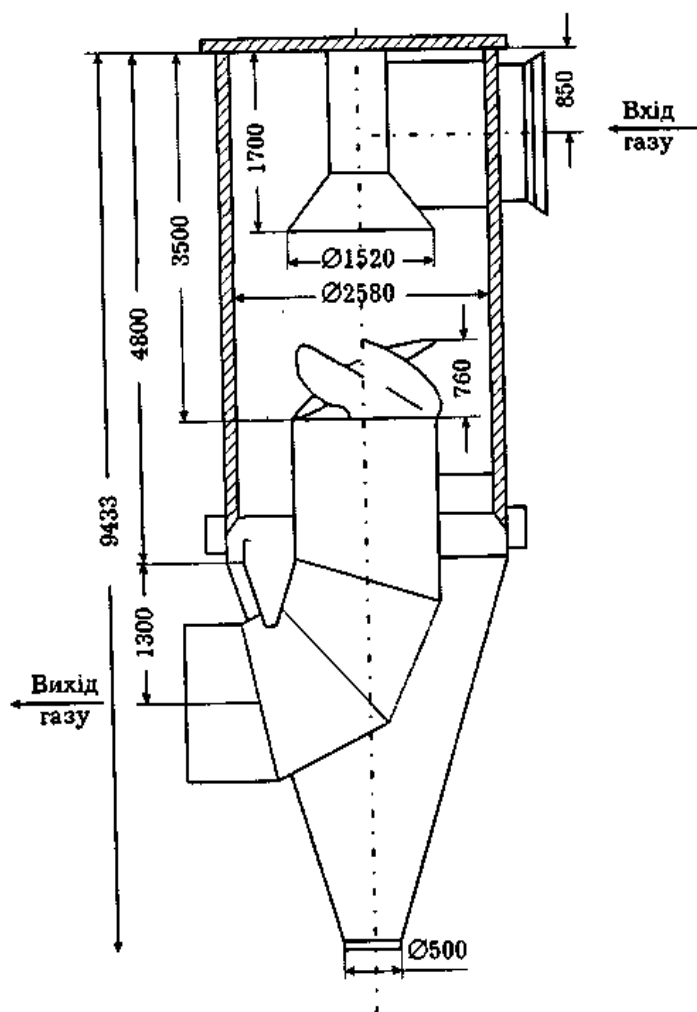


Рисунок 4.7 – Прямоточний циклон

За способом подачі верхнього (вторинного) потоку газу вихрові пиловловники поділяють на *пиловловники із сопловою, лопатковою і тангентальною подачею*.

У *вихрових пиловловниках із сопловою подачею* вторинний газовий потік закручується системою тангентальних сопел; у верхній частині пиловловника встановлюють кілька рядів сопел, зазвичай нахилених до горизонталі під кутом 15–30°. Газ надходить у них через розподільну камеру під великим тиском і виходить з відносно великою швидкістю. В апаратах із сопловою подачею вторинного газу його об'ємна витрата складає 30–50% від загальної витрати газу.

У *пиловловниках з верхньою лопатковою і тангентальною подачами* тиск на вторинній подачі значно менший, ніж на сопловій. Поточний тиск і швидкість входу вторинного газу приблизно такі самі, як і у циклонів. У масштабах виробництва зручніше й економніше використовувати вихрові пиловловники з верхньою і нижньою тангентальною подачею (простіше конструкційно, менші втрати тиску).

У конструкції, наведеній на рис. 4.8, в, – у *пиловловниках з тангентальною подачею верхнього і нижнього потоків газу*, подача верхнього газового потоку нахилена до горизонтальної осі на 15° (як у циклонів ЦН-15); перетин входних каналів такий, що встановлюється необхідне співвідношення між витратами газу по верхньому і нижньому каналах (65% газу подають по верхньому каналу, 35% – по нижньому).

До основних переваг *вихрових пиловловників* відносять більш інтенсивну, ніж у циклонів, сепарацію частинок по всій висоті, більш ефективне уловлювання тонкодисперсного пилу (менше 5 мкм); широкий діапазон навантажень за газом і дисперсною фазою.

Енергетично доцільне, особливо за великих витрат газу, включення вихрового пиловловника в систему пилоочищення, в якій запилений газ подають по обох каналах. Необхідне оптимальне співвідношення витрат газу, що подається по верхньому і нижньому каналах, забезпечується добором відповідних перетинів каналів. Із включенням пиловловника з подачею запиленого газу тільки по нижньому каналу через верхній – подають чистий газ. У цьому випадку застосовують соплову подачу верхнього газу, тому що тоді менше витрачається чистий, незапилений газ, який використовується для розведення запиленого потоку. Один з напрямів *підвищення ефективності* вихрових пиловловників – часткове видалення газової фази з бункера і подача чистого газу в центральну зону апарата. Такі пиловловники особливо перспективні для уловлювання тонкодисперсного пилу.

У *ротаційних*, або *динамічних пиловловниках*, виникають відцентрові сили і сили Кориоліса, які діють на частинки пилу, завдяки обертанню робочого колеса (ротора). Загальні закономірності пиловловлення у вихрових пиловловниках притаманні також і ротаційним пиловловникам. Перевага ротаційних пиловловників полягає в тому, що у випадку їх роботи не потрібен додатковий пристрій для створення напору повітря (тяги). Їх можна застосовувати на першому ступені очищення повітря, а також для уловлювання волокнистого пилу.

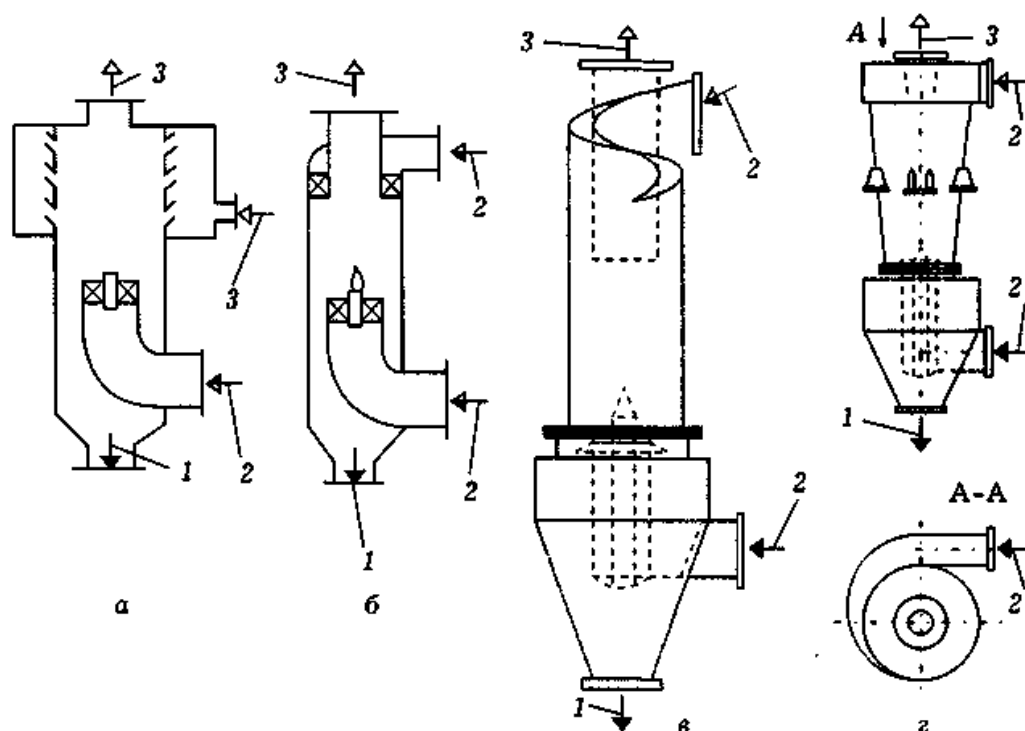


Рисунок 4.8 – Вихрові пиловловники:

а) із сопловою подачею верхнього потоку газу; б) з лопатковою подачею верхнього і нижнього потоків газу; в) з тангентальною подачею верхнього і нижнього потоків газу; г) конічний: 1 – пил; 2 – газ, що очищається; 3 – очищений газ.

Збільшуючи кількість обертів ротора, можна домогтися значно більшого ефекту дії відцентрових сил, ніж в інерційних і відцентрових пиловловниках.

Недолік ротаційних пиловловників – їх висока енергоємність, але внаслідок суміщення функції безпосередньо пиловловників і вентиляторів вони характеризуються компактністю. Існуючі в промисловій практиці *ротаційні пиловловники можна розділити на дві групи*: пиловловники зі спіралевидним корпусом і пиловловники з обертовим перфорованим барабаном.

Пиловловники зі спіралевидним корпусом (рис. 4.9) характеризуються тим, що газ, який очищується, здійснює навколо осі ротора спіралепоподібний рух.

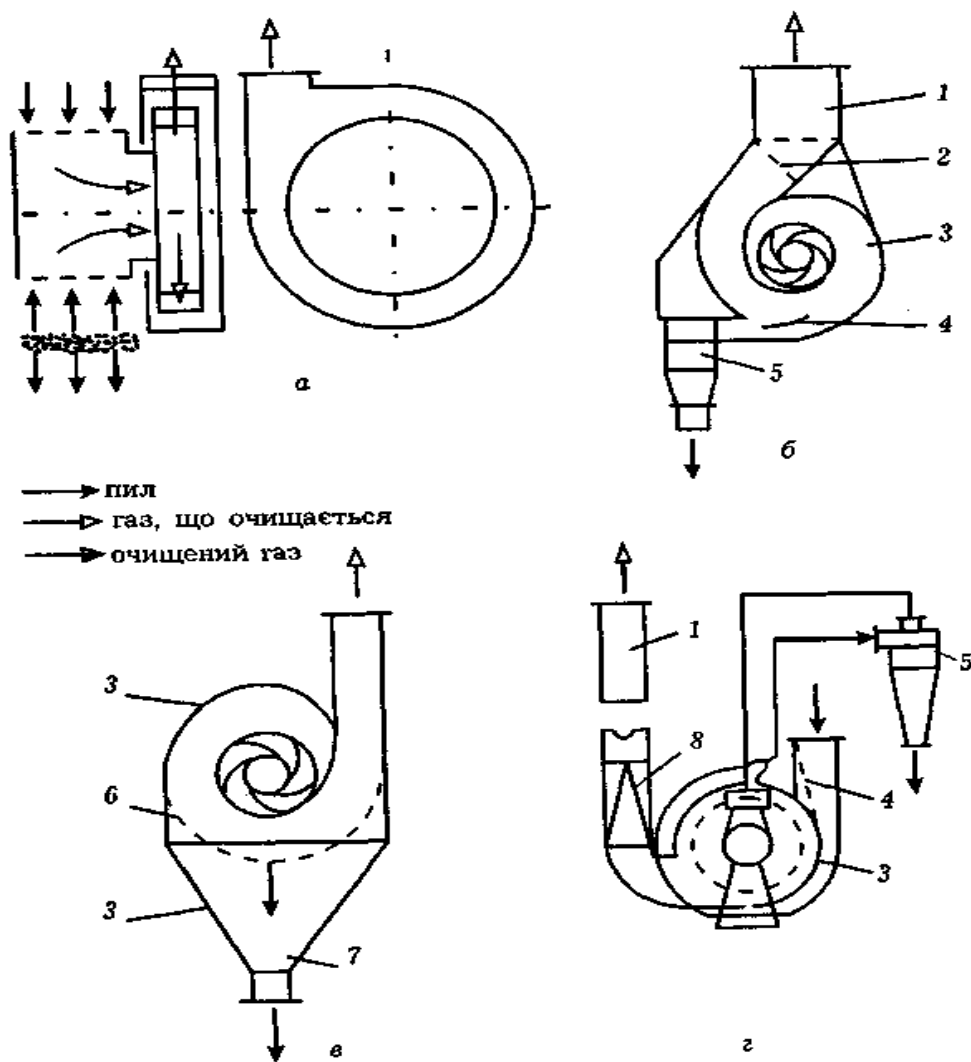


Рисунок 4.9 – Ротаційні пиловловники:

а) схема роботи; б) із вбудованим циклоном; в) зі щілинними затворами; г) димотяг-пиловловник;

1 – вихлопна труба; 2 – перекидний клапан; 3 – кожух; 4 – поворотний клапан; 5 – циклон; 6 – щілинні затвори; 7 – пилозбірник; 8 – козирки

Наприклад, у пиловловник, зображений на рис. 4.9, б, запилені гази виходять з робочого колеса і потрапляють у спіральний кожух; частинки пилу під дією відцентрових сил сепаруються до стінок кожуха і потім виходять через зовнішній тангентальний пристінковий патрубок. Пиловловник має невеликий циклон (5), куди надходить частина насиченого пилом газу, і клапан (4), який дозволяє регулювати якість очищення. У пиловловнику, зображеному на рис. 4.9, в, пил від газу відокремлюється в щілинних зазорах, розташованих у нижній частині апарата.

До пиловловників цієї групи можна віднести і **димотяг-пиловловник** (рис. 4.9, г). За допомогою робочого колеса запилений газ надходить у кожух (3), пил сепарується до периферії і з деякою частиною газу через вихідний патрубок потрапляє у циклон (5). Очищений у циклоні (5) газ під дією різниці тисків повертається до центральної зони камери. Для регулювання витрати газу, що надходить, є клапан (4). Козирки (8) запобігають зворотному випаданню пилу.

У ротаційних **пиловловниках з обертовим перфорованим барабаном** газ, що очищається, у пиловловники надходить через перфорований обертовий барабан, а частинки пилу завдяки дії відцентрових сил залишаються поза барабаном. Пиловловник має порожній обертовий барабан з перфорованою поверхнею. Барабан і колесо вентилятора встановлені на загальному валу, який приводиться в обертання електродвигуном. За допомогою обертового колеса створюється розрідження усередині барабана, необхідне для видалення газу. Пил під дією відцентрових сил відокремлюється від перфорованої поверхні барабана і збирається в нижній частині корпусу у пилозбірнику.

Ротаційні пиловловники з обертовим перфорованим барабаном можуть мати під барабаном спеціальну решітку для зменшення небажаного завихрення повітря у пилозбірнику.

Існують також ротаційні пиловловники, де частинки пилу рухаються вздовж осі апарата, обертуючись навколо неї за допомогою ротора з крильчаткою. Потрапивши на стінку кожуха, вони ковзають по ній до вихідної щілини, через яку уловлений пил потрапляє до бункера. До пиловловників цієї групи відносяться **турбоциклон** і **турбокомпресор**, які оснащені спеціальною турбіною, що створює і підсилює відцентрове поле і завдяки чому підвищується ефективність очищення.

Компонування циклонів. За великих витрат газів, що очищуються, застосовують групове конструювання апаратів, яке дозволяє не збільшувати діаметр циклона, що позитивно позначається на ефективності очищення.

Іноді у групу (батарею) поєднують багато малих циклонних елементів, так званих мультициклонів. Зниження діаметра циклонного елемента D у цьому випадку має на меті збільшити ефективність очищення, що трохи зростає зі зменшенням D . Батарея мультициклонів показана на рис. 4.10 [15].

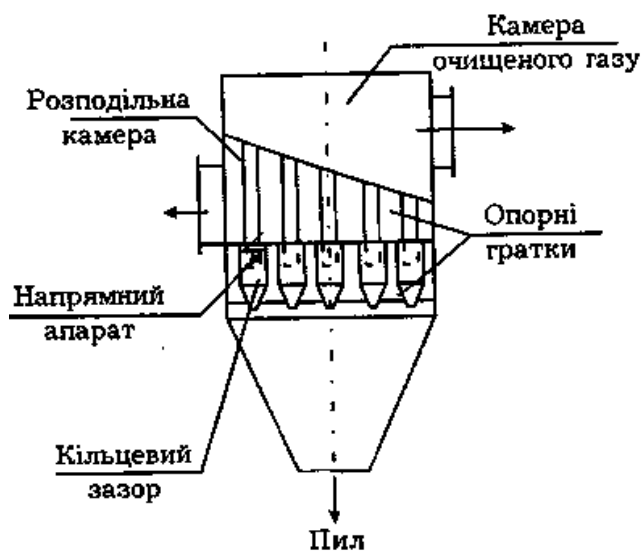


Рисунок 4.10 – Батарея мультициклонів:
 1 – люк для ревізії; 2 – мультициклон;
 3 – бункер для крупних частинок пилу;
 4 – бункер для пилу, вловленого мультициклонами.

пилоочисні апарати в залежності від форми корпусу апарата поділяють на наступні *групи*: спіральні, циліндричні, конічні, циліндрично-конічні пиловловники, циліндрично-конічні апарати з бункером, вихрові відцентрово-інерційні пиловловники з жалюзійним віддільником.

Проходження процесу сепарації у *відцентрово-інерційному апараті з жалюзійним віддільником* (рис. 4.11) здійснюється в такий спосіб:

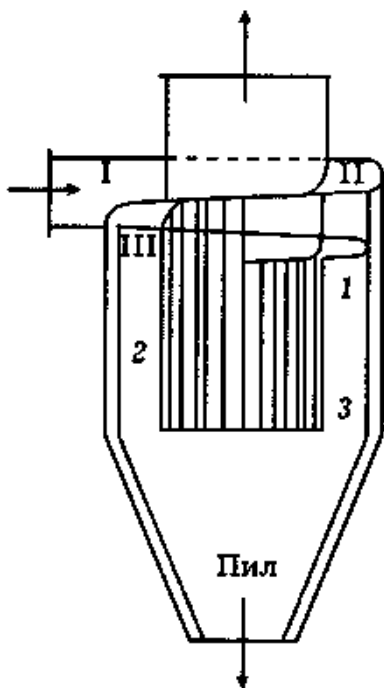


Рисунок 4.11 – Пиловловник з жалюзійним віддільником

на першій ділянці (I) пилогазова суміш рухається прямолінійно, запиленість газового потоку у розрізі апарату зберігається практично рівномірною і швидкість пилу дорівнює швидкості газового потоку. На другій ділянці (II) під дією відцентрової сили тверді частини відкидаються до зовнішньої стінки апарату (аналогія з циклоном), причому тим ефективніше, чим більша початкова швидкість газу і, відповідно швидкість пилових частинок, що транспортуються цим газом, та чим вищий обертовий момент, прикладений з боку газу до частинок і який спрямовує їх до стінки. У такий спосіб на цій ділянці відбувається первинний пошаровий розподіл потоку під дією відцентрових сил: більш забруднений – шар уздовж зовнішньої стінки, а

4.4. Відцентрово-інерційні пиловловники

Наведені вище схеми очищення свідчать, що досягти в них значного збільшення ефективності уловлювання дрібнодисперсного пилу неможливо без уведення в них другого ступеня очищення. Таким пиловловником, що поєднує у собі подвійний поділ пилоповітряної суміші - циклонний (плаский вихор) і жалюзійний (радіаційний стік), - і є група апаратів, об'єднаних назвою «відцентрово-інерційні».

Відцентрово-інерційні

менш забруднений – шар біля жалюзійного роздільника. Очищене повітря виводиться з апарата (третя ділянка), проходячи через щілини поміж жалюзі роздільника (цей вплив переважно здійснюється на дрібні частинки, які, в основному, рухаються з внутрішньою частиною потоку).

У залежності від переважання відцентрової чи всмоктувальної сили частинки пилю будуть продовжувати рухатися спірально уздовж стінки корпусу апарата зверху вниз, або, будучи захоплені радіальним стоком, будуть рухатися до центра апарата убік роздільника. Шар суміші, що підходить до роздільника, обходить жалюзі з невеликим кутом атаки (кутом між напрямком руху потоку і площиною жалюзі), що обумовлено конструкцією. Очищене повітря проходить через щілини жалюзійного роздільника, здійснює поворот на кут, більший за 90° , але менший 180° , частинки пилю внаслідок своєї інертності не встигають за ним, підхоплюються радіальною течією потоку, ударяються об жалюзі, відбиваються від них, підхоплюються потоком, що рухається, ударяються об наступні жалюзі і т.д. доти, поки не потраплять до потоку, який рухається уздовж стінки корпусу і транспортує їх до пиловипускного патрубку.

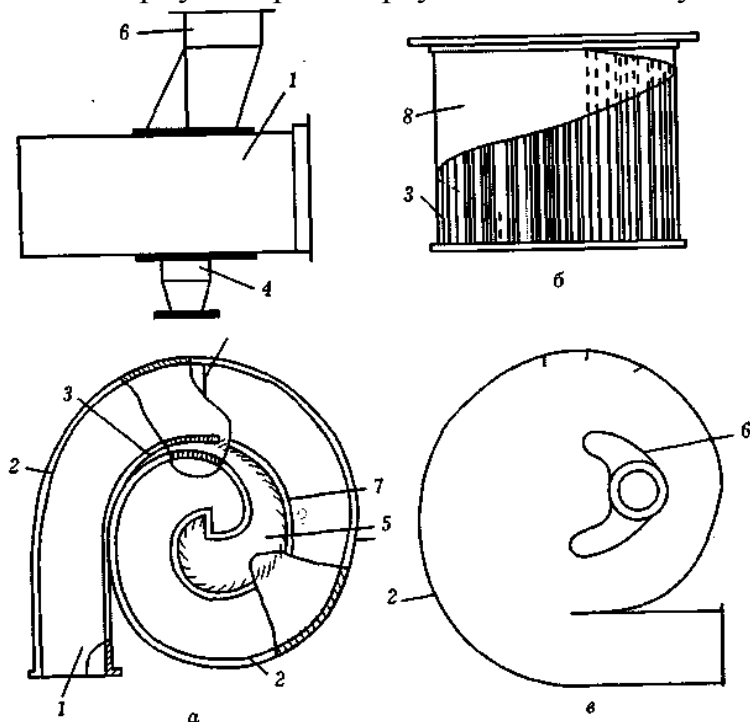


Рисунок 4.12 – Спіральні пиловловники:

1 – корпус; 2 – суцільна стінка корпусу; 3 – жалюзійний віддільник; 4 – пиловипускний патрубок; 5 – спіральна площина; 6 – патрубок виходу чистого повітря; 7 – екран; 8 – гвинтова напрямна

Таким чином, в апараті відбувається подвійний поділ потоку: циклонний – на другій ділянці апарата і циклонно-жалюзійний – на третій ділянці (III рис. 4.11).

Спіральні пиловловники. Конструктивно у цьому виді апаратів корпус, жалюзійний віддільник, кришка і дно виконані у вигляді спіралі (рис. 4.12).

Така форма апарата підсилює дію відцентрових сил на частинки пилю і не порушує траєкторію їх закрученого руху, тобто сприяє їх плавному, без будь-яких

вихорів, руху. Візуальне спостереження за поведінкою частинок пилю в апараті з органічного скла свідчить, що рух частинок після їх тангенціального уведення в апарат відбувається по кривій, найбільш близькій за формою до спіралі Архімеда, що й використано при конструюванні.

Циліндричні пиловловники. В апарати цієї групи (рис. 4.13) запилений газ надходить через тангентальний патрубок у циліндричний корпус.

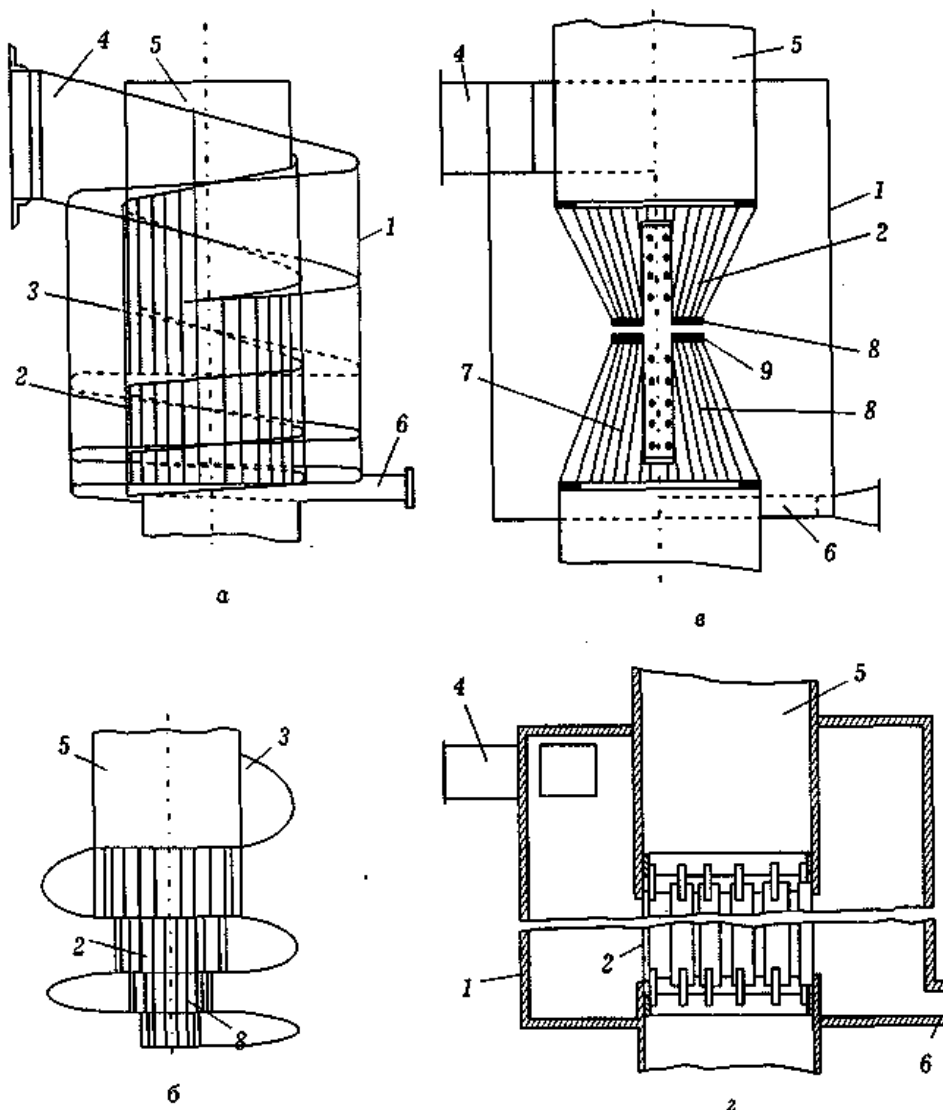


Рис. 4.13 – Різновиди циліндричних пиловловників:

1 – корпус; 2 – жалюзійний віддільник; 3 – спіральна напрямна; 4 – вхідний патрубок; 5 – патрубок виходу чистого повітря; 6 – пиловипускний патрубок; 7 – жалюзійний віддільник; 8, 9 – жалюзі віддільника

Рухаючись по каналу, утвореному корпусом і циліндричним патрубком виходу чистого повітря, зважені частинки пилю під дією відцентрових сил відкидаються до внутрішньої стінки корпусу, за рахунок чого і відбувається попереднє пошарове очищення повітря від пилю. При цьому найбільш чистим буде повітря, яке протікає вздовж вихідного патрубка, що переходить в нижній частині у жалюзійний віддільник.

Пилогазовий потік обходить жалюзійний віддільник з дуже малим кутом атаки. Більш дрібні частинки пилю підходять з газом до жалюзійного віддільника, ударяються в його жалюзі, за рахунок своєї інерції не потрапляючи, як повітря, в отвори між ними, відбиваються від них, під-

хоплюються потоком, що рухається зверху донизу вздовж стінки циліндричного корпусу, знов підхоплюються потоком, підносяться до віддільника, відбиваються від його жалюзі і т.д. (кількість співударів залежить від маси і концентрації частинок) доти, поки не потраплять у зовнішній потік, що рухається зверху донизу вздовж внутрішньої частини корпусу, який і транспортує їх до пиловипускного патрубку, через який вони виводяться назовні з 8–15% газу, що їх транспортує на додаткове очищення у фільтрах, мультициклонах, електрофільтрах і т.д.

Конічні пиловловники. Конструктивно ця група пиловловників відрізняється наявністю конічного корпусу, всередині якого співвісно розташований жалюзійний віддільник (рис. 4.14).

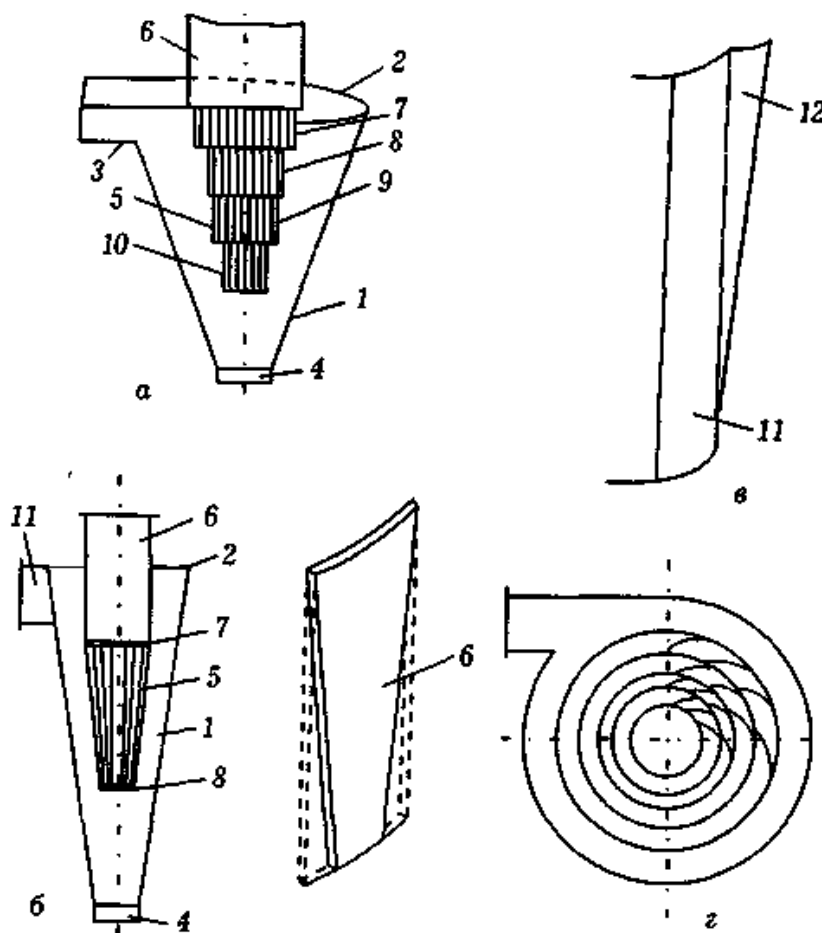


Рисунок 4.14 – Конічні пиловловники:

1 – корпус; 2 – кришка; 3 – вхідний патрубок; 4 – пиловипускний патрубок; 5 – жалюзійний віддільник; 6 – патрубок виходу чистого повітря; 7, 8, 9, 10 – секції віддільника; 11, 12 – частини жалюзі віддільника

Дослідження на прозорій моделі показали, що максимальну ефективність вдається отримати у випадку рівномірного руху потоку з постійною швидкістю як всередині корпусу апарата, так і у разі проходження через щілини кожного ступеня жалюзійного віддільника. Для

досягнення цієї умови корпус апарата має бути конічним, з конусністю, що забезпечує зазор між ним і кожним ступенем віддільника постійним.

Циліндрично-конічні апарати. Апарати цієї групи мають циліндрично-конічний корпус, в який тангентально уводиться пило-повітряна суміш (рис. 4.15). У циліндрично-конічних апаратах застосовано *два ступені очищення*: перший – під дією відцентрових сил в корпусі апарата і другий – під дією сил інерції при проходженні через жалюзійний віддільник.

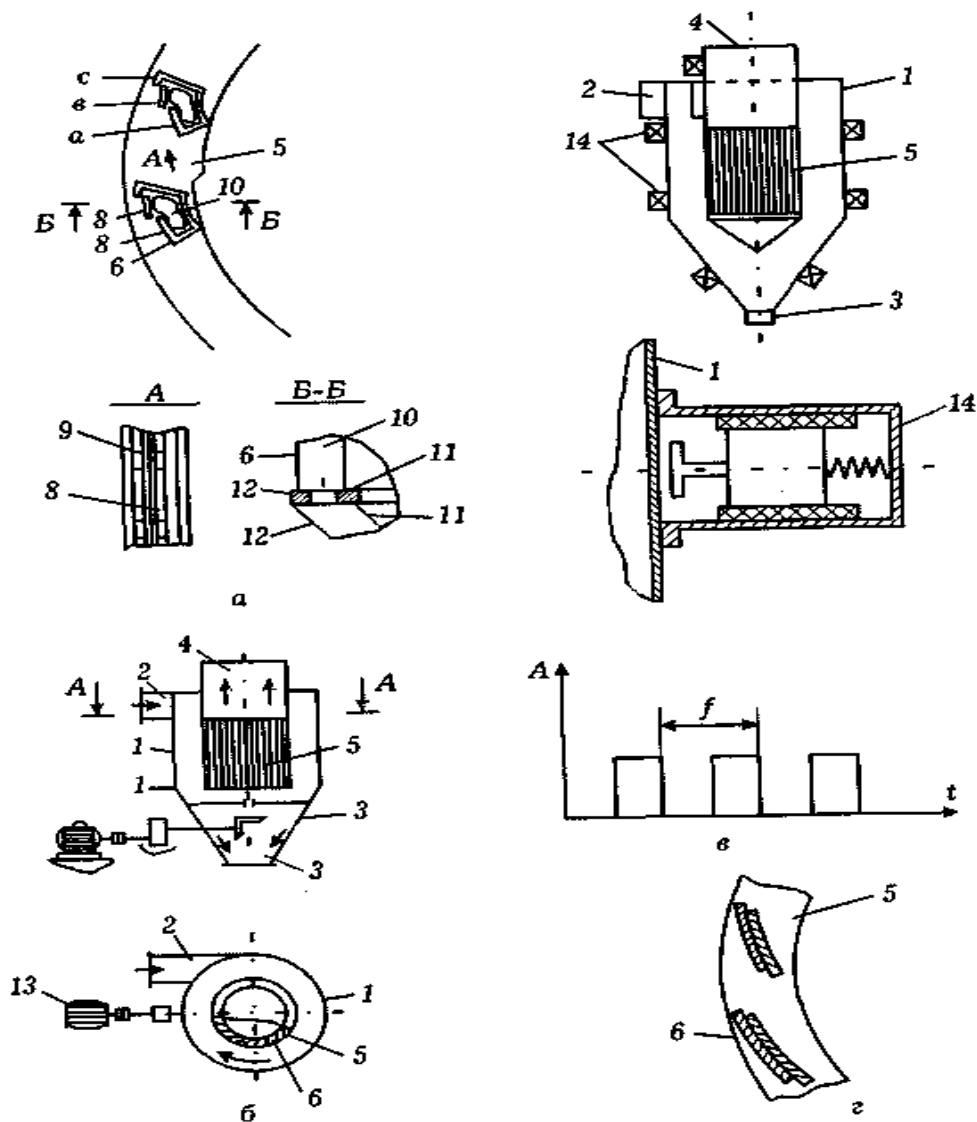


Рисунок 4.15 – Циліндрично-конічні пиловловники:

1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – пиловипускний патрубок; 4 – патрубок виходу чистого повітря; 5 – жалюзійний віддільник; 6 – жалюзі; 7 – екран; 8 – козирок; 9 – патрубок; 10 – спіральна напрямна; 11, 12, 13, 14 – секції жалюзійного віддільника

Так, пиловловник, наведений на рис. 4.15, б, характеризується тим, що жалюзійний віддільник (5) складається з набору випуклих жалюзі (6), які повернуті своєю випуклістю назустріч пилогазовому потоку, і має

механізм обертання. Отже, через створення примусової зміни швидкості обтікання повітряним потоком жалюзійного віддільника досягається забезпечення вибору оптимальних параметрів проходження через пиловловник чистого повітря, покращуючи умови його доочищення.

Пиловловник, схема якого наведена на рис. 4.15, в, відрізняється від попередніх апаратів тим, що на зовнішній поверхні корпусу у декількох місцях по висоті і по його діаметру, а також на патрубку виходу чистого повітря розміщені струшувачі. Переваги конструкції пиловловника очевидні і легко пояснюються тим, що пил, який осів на поверхню корпусу і жалюзі, безперервно струшується вниз, тобто ці поверхні очищаються і не дають пилу налипати на них, крім того є можливість заміни кількості струшувачів, а також параметрів (сили і частоти удару), що дозволяє отримати найефективніший режим роботи залежно від умов застосування. Зміна режиму роботи струшувачів здійснюється зміною параметрів струму, який живить обмотки електромагнітів, що значно надійніше й економніше, ніж інші методи. Причому, струшується не лише зовнішня поверхня корпусу апарата, але й зовнішня поверхня вихлопного патрубка, тобто і жалюзійного віддільника. Важливим є також можливість періодичного струшування апарата як по діаметру, так і по висоті його корпусу.

Циліндрично-конічні апарати з бункером. Недоліком апаратів попередньої групи є те, що при виході пилу з пиловловника через пило-випускний патрубок існує:

- по-перше – підсмоктування газу в місці стику його з бункером,
- по-друге, по центру пиловловника з бункера утворюється вторинний вихор, який рухається гвинтоподібно знизу вгору назустріч гвинтоподібному руху пилогазової суміші, яка рухається згори донизу, але радіус її значно менший. Вторинний вихор захоплює вже виділений і зібраний у бункері пил, який знову бере участь у процесі пилоочищення в апараті, тому що утворюється зона підвищеного тиску.

Циліндрично-конічні апарати з бункером складаються з циліндрично-конічного корпусу, розташованого співвісно з ним жалюзійного віддільника і відрізняються наявністю на виході патрубка для пилу герметично з'єданого з ним бункера (рис. 4.16).

Так, у пиловловнику, наведеному на рис. 4.16, б, виділений в апараті пил виводиться із апарата через пило-випускний патрубок (3) у бункер (7). Витікання газу з циклону здійснюється не по всьому перетину вихлопної труби, а по її кільцевій зовнішній поверхні. Дуже важливим є і те, що після заповнення нижньої частини конуса пилом, що осів (у випадку відсутності бункера) до рівня, де радіальні складові швидкості потоку вже здатні розмивати осад, осадження зупиняється. Тому, для забезпечення безперебійної роботи, циклони повинні додатково оснащуватись герметичними бункерами циліндрично-конічної форми.

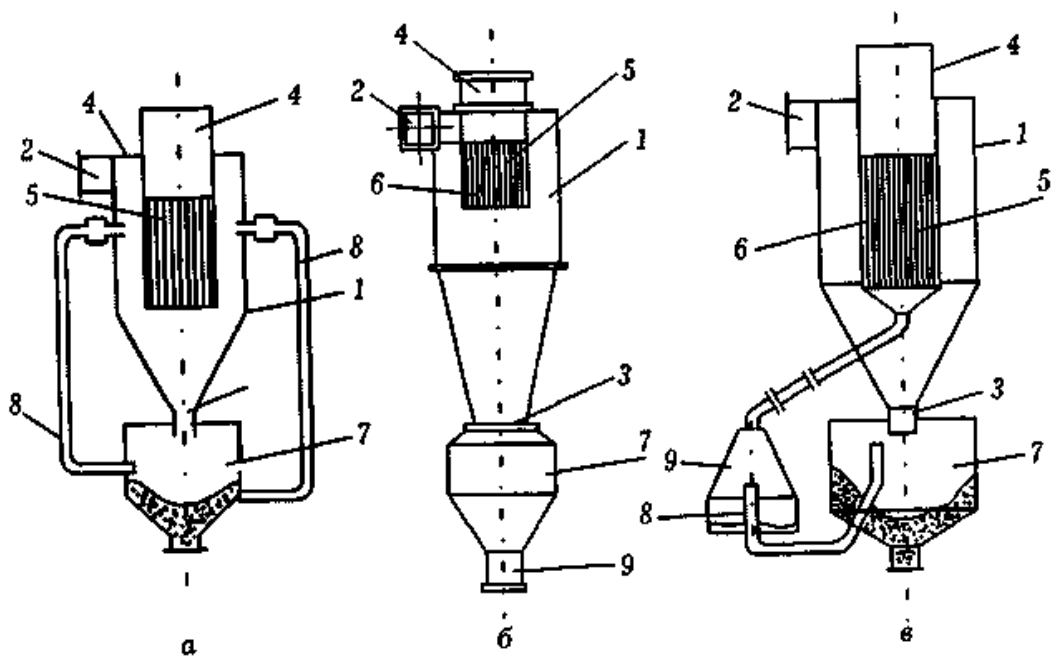


Рисунок 4.16 – Циліндрично-конічні пиловловники з бункером:
 1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3, 9 – пиловипускні патрубки; 4 – патрубок виходу чистого повітря; 5 – жалюзійний віддільник; 6 – жалюзі; 7 – пилозбірний бункер; 8, 10 – трубопроводи

Вихрові відцентрово-інерційні пиловловники з жалюзійним віддільником характеризуються тим, що уведення пилоповітряної суміші здійснюється зверху апарата. Після входу вона закручується навколо жалюзійного віддільника, де знов відбувається подвійне очищення: під дією відцентрових сил – у корпусі та інерційних сил – при проходженні через жалюзійний віддільник [15].

Висновок. Циклони і відцентрово-інерційні апарати у практиці газоочищення застосовуються і як апарати попереднього очищення газів, і як апарати самостійного очищення. Таким чином, вони займають проміжне положення між апаратами грубого і тонкого очищення газів.

Питання для самоконтролю:

1. Розкрийте класифікацію установок сухого очищення газів.
2. Охарактеризуйте особливості пилоосадних камер.
3. Наведіть характеристику інерційних пиловловників.
4. Розкрийте переваги циклонних пиловловників.
5. Поясніть принцип роботи вихрових пиловловників.
6. Дайте характеристику відцентрово-інерційних пилоочисних апаратів (залежно від форми корпусу).
7. Поясніть, в яких випадках для очищення газів від пилу застосовують пилоосадні камери та циклони.

ЛЕКЦІЯ 5 УСТАНОВКИ МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ

ПЛАН

1. Загальна характеристика мокрих пиловловників.
2. Конструкції мокрих пиловловників.

5.1. Загальна характеристика мокрих пиловловників

У мокрому пиловловленні досягається контакт запиленого потоку з рідиною у вигляді крапель або плівки. Пил, що має гідрофільні властивості, прилипає до поверхні рідини і видаляється з нею. *Недолік мокрого пиловловлення – утворення забруднених стоків, які необхідно очищати.* Проте у випадку мокрого пиловловлення досягається високий ступінь очищення (уловлюються частинки розміром до 0,1 мкм). Мокрі пиловловники доцільно використовувати для одночасного з пиловловленням охолодження або зволоження газу, уловлювання разом з пилом бризок і туману, абсорбції газових домішок.

До недоліків мокрих пиловловників відносяться також:

- наявність відкладень частинок пилу на устаткуванні та трубопроводах і забивання останніх шламом;
- підвищена витрата рідини, переважно води, внаслідок винесення бризок;
- необхідність захисту устаткування і трубопроводів від корозії, особливо у випадку агресивних газів;
- неможливість роботи при температурах, нижчих 0°C (вода замерзає);
- необхідність встановлення додаткових краплевловників для швидкісних газопромивників.

Мокрі пиловловники класифікують:

- *за типом поверхні контакту фаз:*
 - порожнинні зрошувальні;
 - насадкові з рухомою і нерухомою насадками;
 - тарілчасті (барботажні та пінні);
 - плівкові (циклони, вихрові апарати з водяною плівкою);
- *за способом дії:*
 - гравітаційні (зрошувальні);
 - проточні (насадкові, тарілчасті);
 - відцентрові (плівкові циклони, вихрові апарати);
 - ударно-інерційні (ротоклони);
 - струминні (труби Вентурі, ежектори);
 - механічні (механічні і динамічні скрубери) газопромивники.

До мокрих пиловловників *також відносять* мокрі електрофільтри, зрошувальні волокнисті фільтри, повітряні масляні фільтри, апарати конденсаційного принципу дії.

За витратами енергії мокрі пиловловники поділяють на *три групи*:

- *низьконапірні* – з гідравлічним опором до 1500 Па (зрошувальні, тарілчасті, відцентрові й ін.);

- *середньонапірні* – з опором 1500-3000 Па (насадкові, механічні, ударно-інерційні, ежектори);

- *високонапірні* (труби Вентурі і дезінтегратори).

У мокрих пиловловниках як розподільні пристрої рідини, в основному, використовують **форсунки і зрошувачі**. Перші – призначені для тонкого розпилення рідини, а також для збільшення поверхні контакту фаз; другі – для рівномірного розподілу рідини по стінці чи по всьому перетину апарата.

В апаратах мокрого пилоочищення застосовують **механічні** (відцентрові, ультразвукові), **пневматичні** (розпилення здійснюють подачею газу), і **електричні форсунки**. Найбільш поширені – механічні форсунки. Вони відносно прості, вартість їх порівняно незначна, надійні в експлуатації, створюють краплі розмірами 0,001-3,5 мм.

Зрошувачі відрізняються конструктивно в залежності від типу зрошення (*точкове, зональне і суцільне*). Їх виготовляють у вигляді жолобів з боковими прорізами або отворами, перфорованих труб, стаканів, дисків, торів і т.д.

Процес пиловловлення у мокрих газоочисних апаратах супроводжується процесами абсорбції й охолодження газів, тому багато апаратів цього класу можуть застосовуватися не лише для очищення газів від пилу і крапель рідини, але і для очищення від газоподібних складових, а також для охолодження газів. Часто їх доцільно використовувати для одночасного пиловловлення, абсорбції й охолодження газів. Конденсація парів рідин, що містяться у газах, у разі їх охолодження сприяє зростанню ефективності мокрих пиловловників.

Мокрі газоочисні апарати широко застосовуються для попереднього очищення і відповідної підготовки (кондиціювання) газів, що надходять у газоочисні апарати інших типів, у тому числі і сухі (наприклад, у електрофільтри, рукавні фільтри).

Для зрошення рідини в мокрих газоочисних апаратах найчастіше застосовується вода; у випадку спільного вирішення питань пиловловлення і хімічного очищення газів вибір зрошувальної рідини (абсорбента), обумовлюється процесом абсорбції.

Для зменшення кількості відпрацьованої рідини в роботі мокрих апаратів застосовується її часткова рециркуляція, а іноді і замкнена система зрошення.

Єдиної загально визнаної класифікації мокрих газоочисних апаратів до сьогодні немає.

До мокрих пиловловників можуть бути віднесені й **інші пиловловні апарати**: конденсаційні, зрошувальні волокнисті фільтри і мокрі електрофільтри [15].

5.2. Конструкції мокрих пиловловників

Порожнинні газопромивники. У порожнинних газопромивниках запилені гази пропускаються через завісу розпиленої рідини і частинки пилу захоплюються краплями рідини й осаджуються разом з ними, а очищені гази видаляються з апарата.

Зрошувальні газоходи. Найбільш простим порожнинним газопромивником є зрошувальний газохід – коли ряд форсунок або бризкалок вбудовуються в газохід або димар для створення водяних завіс на шляху запиленого газового потоку. Щоб уникнути значного бризкорознесення, швидкість газів у зрошуваному газоході приймають не більшою за 3 м/с. Витрату води приймають у межах 0,1-0,3 л/м³. У більшості випадків після зрошувальних газоходів необхідно встановлювати краплевловники і обладувати газопроводи дренажними пристроями для відведення рідини.

Порожнинні зрошувальні газопромивники (скрубери) мають вигляд пустотілого корпусу, в який подають запилений газ, а у верхній частині якого розташовані зрошувальні форсунки для подачі води (рис. 5.1, а). Газ рухається протитоком до крапель води, які падають (бувають конструкції з прямоточним і поперечним потоком газу). Краплі мають бути до-

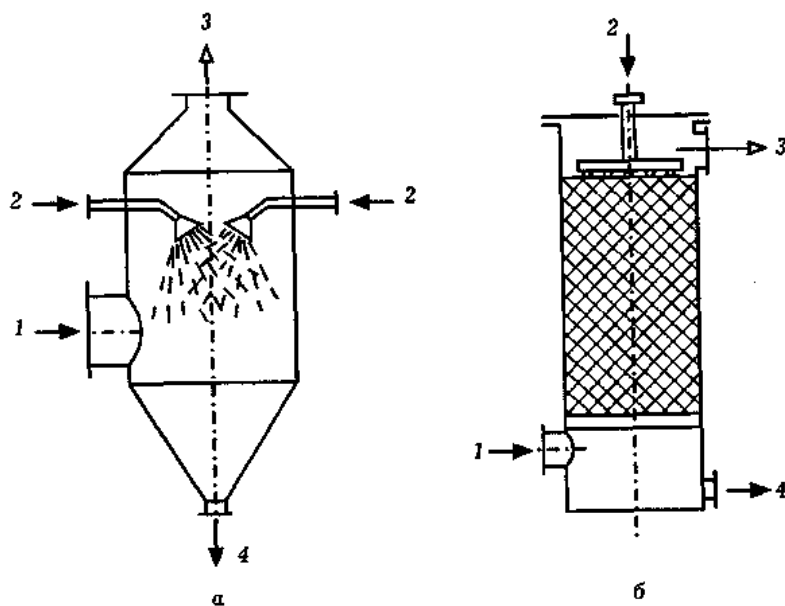


Рисунок 5.1 – Схеми скруберів:

а) повний форсунковий скрубер; б) насадковий скрубер;

1 – газ, який подається на очищення; 2 – вода; 3 – очищений газ; 4 – шлам

але для частинок меншого розміру ефективність різко знижується. Ці апарати *широко використовують* для уловлювання великого пилу, а також охолодження газів і кондиціонування повітря. Висота апарата, як

суть великими, щоб не відбувалось їх віднесення з очищеним газом. У газопромивниках зазвичай встановлюють форсунки грубого розпилення, що працюють під тиском 0,3-0,4 МПа. У випадках, коли швидкість потоку газу перевищує 5 м/с, часто після газопромивника

встановлюють краплевловник. Ступінь уловлювання частинок пилу розміром більше 10 мкм складає 99%,

правило, у 2,5 рази більша за його діаметр. Питома витрата води 0,5-8 л/м³.

Насадкові газопромивники. Насадкові газопромивники - це колонні апарати з нерухомою насадкою у вигляді кілець, куль та іншої форми. Рідина тече плівкою по насадці, газ проходить протитоком (рис. 5.1, б) або застосовуються насадкові скрубери з поперечним зрошенням газів рідиною. Насадка призначена для збільшення поверхні контакту фаз. На рис. 5.2 наведені типи насадок газопромивників.

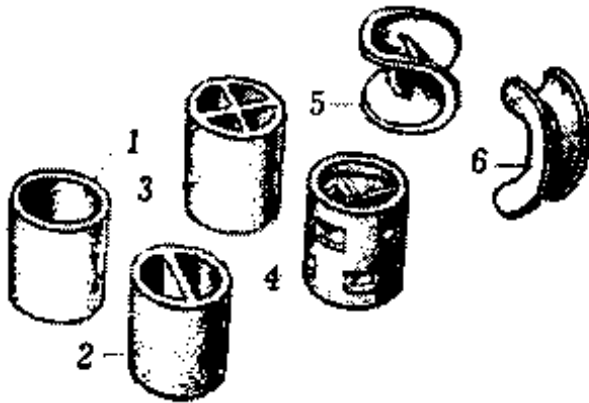


Рисунок 5.2 – Типи насадок:

1 – кільце Рашига; 2 – кільце з перегородками; 3 – кільце із хрестоподібною перегородкою; 4 – кільце Палля; 5 – сідло Берля; 6 – сідло «Італлокс»

зопромивниках газ із рідиною контактує на тарілках, розташованих горизонтально. За малих витрат газу (швидкості близько 1 м/с) газ барботує у вигляді бульбашок через шар рідини, за великих витрат – утворюється шар турбулізованої піни. *Пінні газопромивники більш ефективні, ніж барботажні.*

Барботери. Гази, що очищають у барботажних апаратах, проходять через шар рідини у вигляді пухирців, на поверхні яких і відбувається осадження частинок пилу. Ефективність апаратів досить велика лише у разі уловлення частинок розміром $d > 5$ мкм. Внаслідок невисокої їх продуктивності на сьогодні барботажні пиловловники використовуються мало.

Пінні газоочисники. Пінний спосіб обробки газів знаходить досить широке застосування в різних галузях промисловості завдяки своїй простоті та ефективності. Ефективність пінних апаратів достатньо висока в установках промислової теплотехніки, теплообміну, абсорбції, ректифікації тощо. Високі результати досягаються в очищенні газів за допомогою пінних апаратів на сажових заводах, у виробництві ацетилену електрокрекінгом метану, при парокисневій газифікації мазуту тощо.

За принципом роботи пінний апарат нагадує звичайний барботер із гратчастими чи дірчастими тарілками. Але, на відміну від суто барбо-

Питома витрата зрошувальної рідини складає 1,3-2,6 л/м³. Ефективність пиловловлення частинок розміром понад 2 мкм більше 90%. Застосовують також насадкові газопромивники з насадкою у вигляді порожніх пластмасових куль. Як правило, насадкові газопромивники більш ефективні, ніж порожнинні зрошувальні, але мають більший гідравлічний опір.

Тарілчасті газопромивники. У тарілчастих га-

тажних апаратів, у пінному апараті газ проходить через шар рідини на тарілці зі швидкістю, що перевищує швидкість вільного спливання бульбашок, створюючи стійкий шар рухливої високотурбулізованої газорідинної піни.

Пінний режим може досягатись лише за оптимальної кількості отворів у ґратах і швидкості газів у повному перетині апарата.

Основним недоліком пінних апаратів є властиве їм явище значного бризковинесення, з яким дуже важко боротись.

Схеми двох найбільш простих пінних газопромивників із провальною і переливною тарілками наведені на рис. 5.3.

У газопромивниках з провальними тарілками використовують дірчасті (перфоровані) і щілинні решітки. Діаметр отворів - 4-8 мм, ширина щілини - 4-5 мм. Вільний перетин тарілки (частка отворів від усього перетину) складає 0,2-0,5 м²/м².

В апаратах з переливними тарілками використовують ковпачкові, s-подібні перфоровані з піддоном та інші типи тарілок.

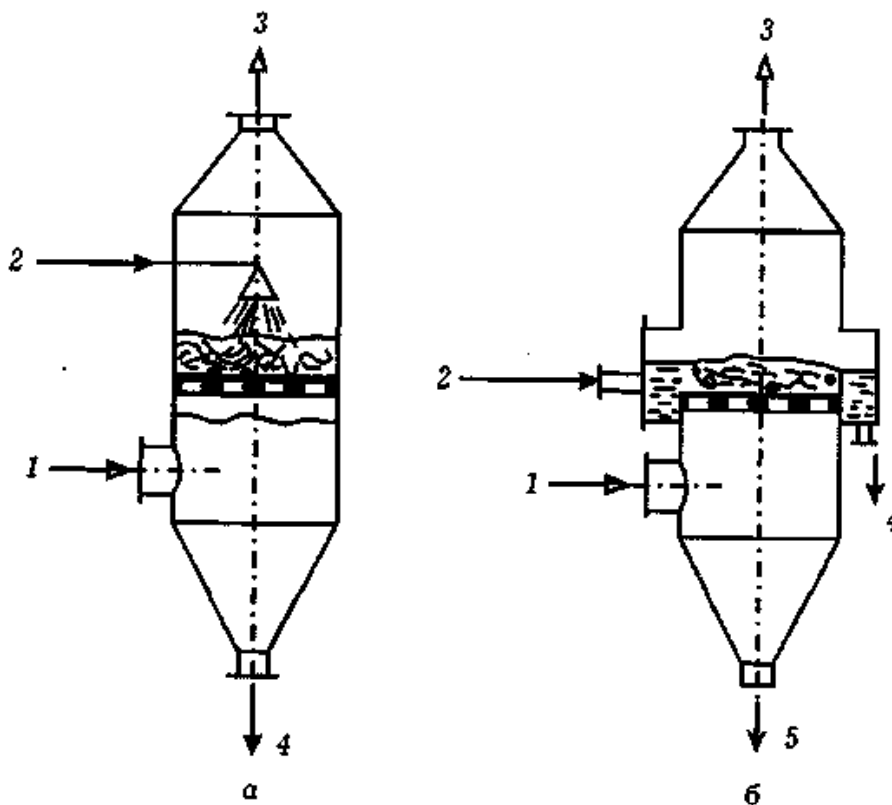


Рисунок 5.3 – Схеми пінних газопромивників з тарілками:

а) провальними; б) переливними;

1 – газ, який подається на очищення; 2 – вода; 3 – очищений газ; 4 – шлам; 5 – пил

Промисловість серійно випускає *пінні пиловловники з провальною тарілкою зі стабілізатором шару піни*, що являє собою стільникові ґрати з вертикальних коротких пластин. Стабілізатор розширює

швидкісний інтервал пінного режиму (до 4 м/с), збільшує висоту шару піни. Такі апарати мають ряд типорозмірів продуктивністю за газом 3-90 тис.м³/год. Оптимальні швидкості руху газу на тарілках - 2,5-4,5 м/с, питома витрата рідини - 0,05-0,1 л/м³. Пінні апарати високоефективні в очищенні газів від пилу, сірки, фосфору, у виробництві мінеральних добрив, у хімічній і металообробній промисловості.

Газопромивники з рухомою насадкою. Принципова схема газопромивника з рухомою кульовою насадкою наведена на рис. 5.4.

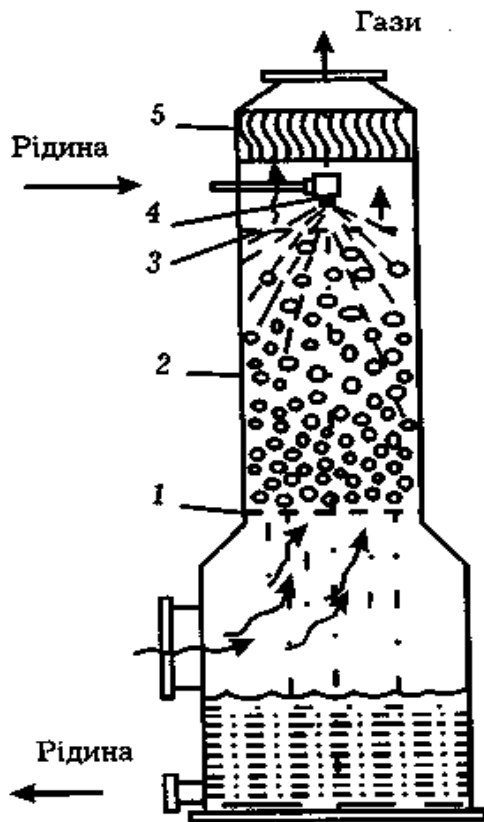


Рисунок 5.4 – Скрубер з рухомою кульовою насадкою:

1 – опорна тарілка; 2 – кульова насадка; 3 – обмежувальні ґрати; 4 – зрошувальний пристрій; 5 – бризковловник

газорідинної суспензії через отвори різної конфігурації або безпосереднім відведенням газорідинної суспензії в сепаратор рідкої фази. У результаті такої взаємодії утворюються краплі діаметром 300-400 мкм. Особливістю апаратів ударної дії є повна відсутність засобів переміщення рідини, і тому вся енергія, яка необхідна для збудження поверхні контакту, підводиться через газовий потік. У зв'язку з цим газопромивники ударно-інерційного типу іноді називаються *апаратами з внутрішньою циркуляцією рідини*.

Найбільш розповсюдженими газопромивниками ударно-інерційної дії є: газопромивник з центральною трубою, скрубера Дойля і ротоклон.

У корпусі апарата між нижньою опорно-розподільною тарілкою (1) і верхньою обмежувальною тарілкою (3) міститься шар куль з полімерних матеріалів, скла або пористої гуми. Як насадки можливе використання тіл і іншої форми, наприклад, кілець.

Для забезпечення вільного переміщення насадки в суміші щільність куль ρ_k не повинна перевищувати щільності рідини ($\rho_k < \rho_p$).

Оптимальним гідродинамічним режимом роботи газопромивника у пиловловленні вважається режим повного (розвинутого) псевдозрідження.

Газопромивники ударно-інерційної дії. До апаратів ударно-інерційної дії належить велика група пиловловників, в яких контакт газів з рідиною здійснюється за рахунок удару газового потоку до поверхні рідини з наступним пропусканням газорідинної су-

Газопромивник з центральною трубою – це вертикальний апарат, у нижній частині якого знаходиться шар рідини (рис. 5.5).

Запилений газ подається по центральній трубі з великою швидкістю, вдаряється об поверхню рідини і, повертаючи на 180° , видаляється з апарата. Частинки пилу при ударі проникають у рідину й у вигляді шламу періодично або постійно видаляються з апарата.

За періодичного відведення шламу постійне підживлення води здійснюється лише для компенсації її втрат за рахунок випаровування, тому апарати ударно-інерційної дії доцільно встановлювати для очищення холодних або попередньо охолоджених газів.

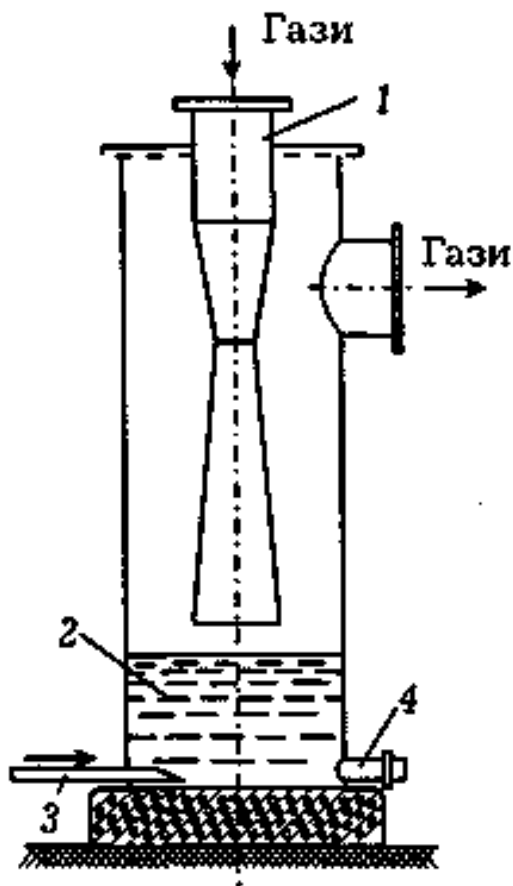


Рисунок 5.5 – Мокрий пиловловник ударно-інерційної дії:

1 – вхідний патрубок; 2 – резервуар з рідиною; 3 – змивне сопло; 4 – труба для видалення шламу

ної труби встановлено конус вершиною назустріч потоку газу, за допомогою якого швидкість потоку газу на виході з труби досягає 35-55 м/с, гідравлічний опір 500-4000 Па.

Газопромивник-ротоклон має щілинні канали, частково занурені в рідину, через які проходить запилений газ, відтискаючи рідину до нижньої стінки, де у вигляді водних струменів рідина видаляється з щілини. Швидкість потоку газу в щілині - до 15 м/с. За інтенсивного контак-

В основі процесу осадження частинок пилу в мокрому пиловловнику ударно-інерційної дії лежить так званий «механізм удару». Ефективність подібного осадження визначається інерційним параметром при $l=d_e$ (де d_e – еквівалентний діаметр отвору витікання, м) і $w_{o,r}$ – швидкості витікання газового потоку з отвору. Важливе значення для ефективності роботи апарата має відстань від отвору витікання до поверхні осадження h . Зі зменшенням h зростає як ефективність пиловловлення, так і гідравлічний опір, і, навпаки, зі збільшенням значення h обидва ці показники знижуються. Тому підтримка оптимального рівня рідини в апаратах цього типу є визначальною умовою їх нормальної експлуатації.

Подібну конструкцію має **скруббер Дойля**, який відрізняється тим, що на виході з централь-

ту газу з рідиною частинки пилу проникають у рідину і виводяться з апарата. Очищений газ виходить зверху.

Апарати відцентрової дії. Використання зрошення дозволяє значно підвищити ефективність апаратів усіх перерахованих раніше сухих типів пиловловників. Насамперед, зрошувальна рідина (найчастіше вода) перешкоджає вторинному винесенню частинок пилу.

Найчастіше використовуються два типи мокрих пиловловників: **прямоточні циклони з водяною плівкою і порожнинні скрубери.**

До їх переваг належать:

- порівняно невелика вартість;
- більш висока ефективність уловлення зважених частинок у порівнянні із сухими механічними пиловловниками;
- дуже просте відведення пилу, що вловлюється, у вигляді шламу.

З іншого боку, мокрі пиловловники мають і *недоліки*, які, насамперед, пов'язані з необхідністю оброблення стічних вод. Крім того, в очищенні агресивних газів апаратуру і комунікації необхідно захищати антикорозійним покриттям. Зазвичай *основне призначення мокрих пиловловників у кондиціонуванні газів – охолодження і зволоження газів.*

У відцентрових газопромивниках запилений потік газу закручується внаслідок його тангентальної подачі або за допомогою лопаткового чи розеткового елемента, а рідина стікає плівкою по стінці корпусу.

Прямоточний циклон з водяною плівкою відрізняється від звичайного циклона тим, що по внутрішній стороні його стінки безупинно стікає плівка рідини, що вводиться в апарат через ряд трубок, розташованих у верхній частині апарата, чи за допомогою форсунок. Останні встановлюють таким чином, щоб розпилювання утворювало плівку на поверхні внутрішньої стінки.

Циклони другої модифікації працюють за підвищених швидкостей газів на вході і забезпечують більш високу ефективність, але водночас мають більш високий гідравлічний опір. Діапазон гідравлічного опору циклонів першого виконання - 400-850 Па, а другого – 850-2100 Па.

Для обох варіантів виконання найбільшим значенням гідравлічного опору відповідає умовна швидкість газів у горизонтальному перетині корпусу циклона 6,8 м/с. Коефіцієнти гідравлічного опору циклонів, які віднесені до швидкості газів в горизонтальному перетині, становлять: для першого виконання 30, для другого – 74.

Найбільш простим апаратом цього типу є **циклон з водяною плівкою (ЦВП)** (рис. 5.6), аналогічний сухому циклону.

Додатково у верхній частині тангентально розташований ряд трубок, якими надходить вода, що плівкою стікає по внутрішній поверхні циклона. Апарати випускають діаметром 300-1000 мм. Витрата води складає 0,14-0,43 л/с, максимальна концентрація пилу на вході в циклон 2 г/м³.

Підбір циклонів здійснюється за заданими витратами повітря і допустимим гідравлічним опором. За площею вхідного отвору в корпусі

циклони можуть мати два виконання: основне і з удвічі зменшеною площею входу шляхом встановлення у вхідному патрубку перегородки.

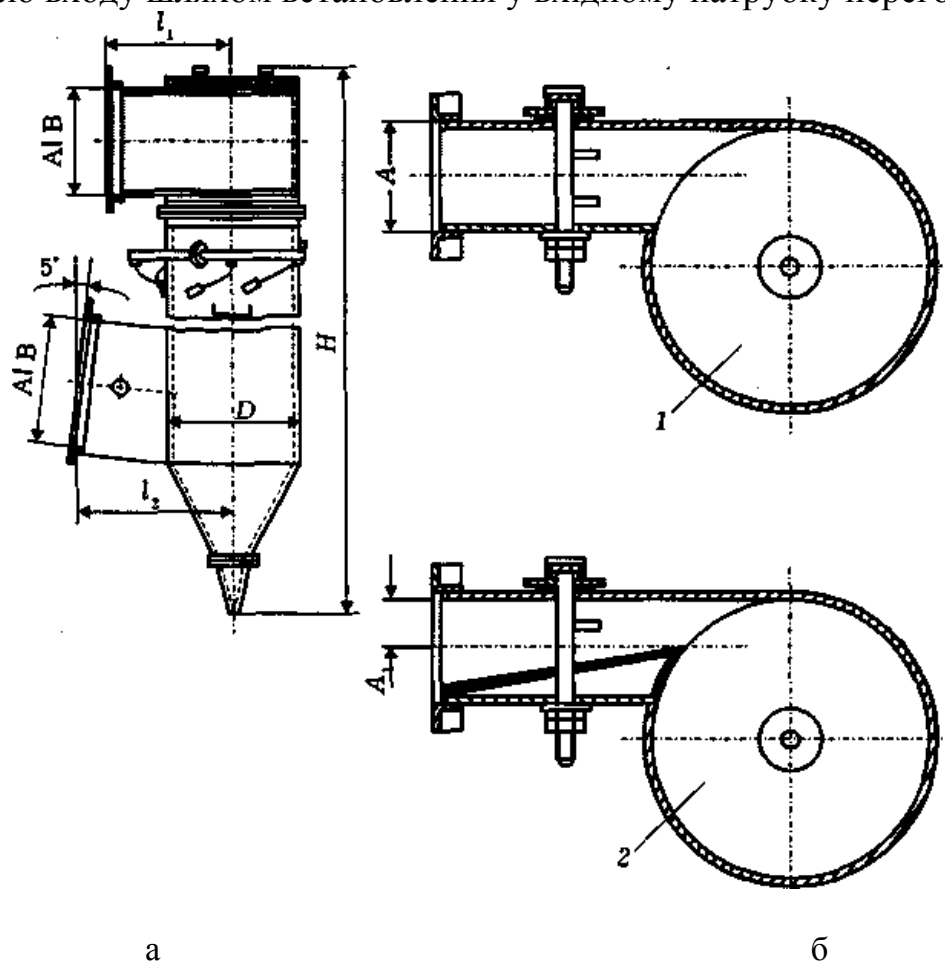


Рисунок 5.6 – Циклон з водяною плівкою ЦВП:

а) вид спереду; б) вид зверху

За вмісту пилу, що перевищує 2 г/м^3 , до циклона з водяною плівкою рекомендується встановлювати перший ступінь очищення у вигляді сухого циклона або іншого інерційного пиловловника. Циклони ЦВП не слід застосовувати для очищення агресивних газів.

Механічні газопромивники. Характерною рисою механічних газопромивників є наявність обертового пристрою (ротора, диска тощо), що забезпечує розбризування і перемішування рідини або обертання газового потоку.

Залежно від того, до чого підводиться механічна енергія, *апарати цього типу поділяються на дві групи.*

До першої з них, яка отримала назву **механічних скрубєрів**, відносяться газопромивники, в яких гази, що очищуються, приводяться до зіткнення із рідиною, що розбризується за допомогою обертового тіла (весла з лопатками, перфорованого барабана, дисків тощо). Апарати цього типу у даний час для очищення газів від пилу практично не застосовуються.

До другої групи газопромивників відносяться **відцентрові механічні пиловловники**, в яких для обертання газового потоку і перемішування його з рідиною використовується крильчатка. Ці апарати одержали назву динамічних газопромивників. **Динамічні газопромивники** відрізняються від сухих ротаційних пиловловників тільки підведенням (зазвичай на вході в апарат) зрошувальної рідини, що сприяє збільшенню їх ефективності.

Динамічні газопромивники через складність конструкції не набули значного поширення у промисловості.

Найбільш ефективним апаратом цього типу є **дезінтегратор**, який являє собою мокрий пиловловник-вентилятор, що складається зі статора і ротора, кожен з яких оснащений напрямними лопатками. Через сопла всередину обертового ротора подається рідина. Газовий потік, що рухається між кільцями ротора і статора зі швидкістю 60-90 м/с, забезпечує інтенсивне дроблення рідини на краплі, добрий контакт газів і частинок, що вловлюються, з рідиною. Напрямок потоку газів у дезінтеграторах не відіграє істотної ролі, тому що відцентрові сили, які розвиваються за його дії, у багато разів перевищують силу тяжіння, тому дезінтегратори випускаються в горизонтальному і вертикальному виконанні. В останньому випадку сопло, що розпилює рідину, встановлюється в нижній частині апарата. На рис. 5.7 показана одна з можливих конструкцій дезінтегратора.

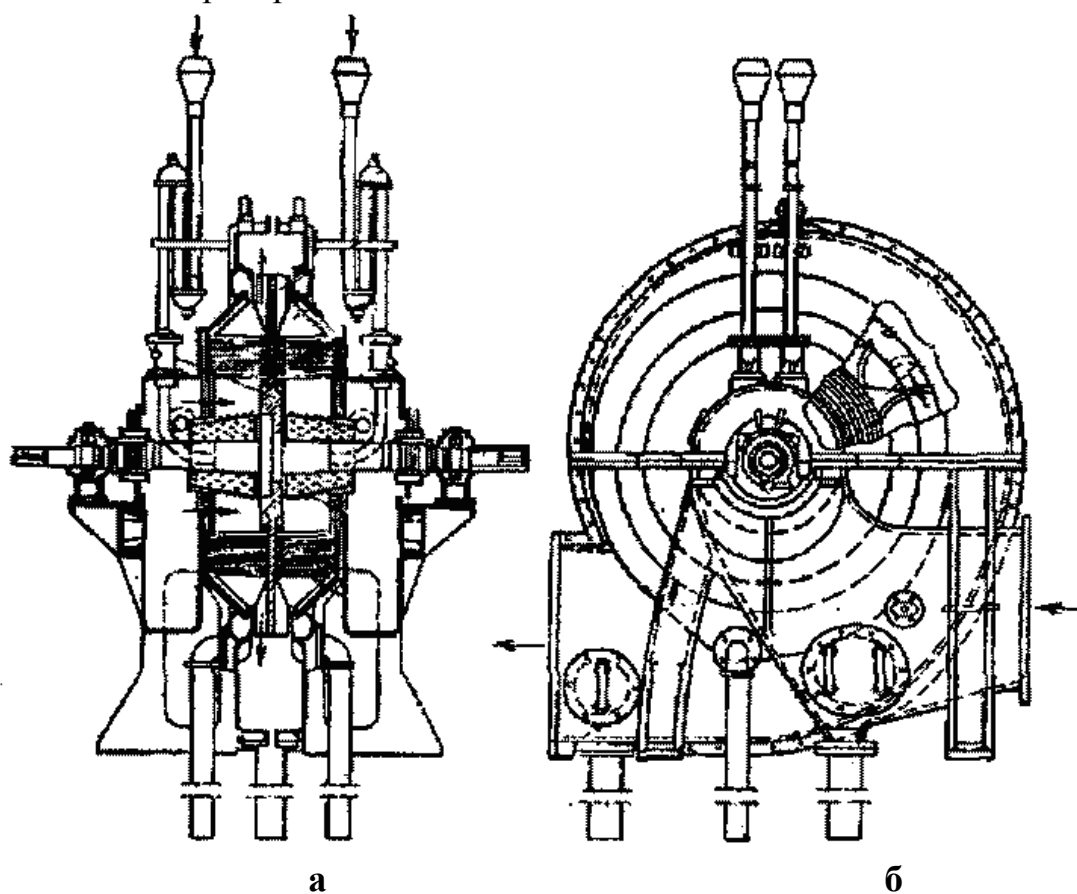


Рисунок 5.7 – Дезінтегратор:

а) вид спереду; б) вид збоку

Витрата води в дезінтеграторах складає 0,5-1,5 л/м³ газів, питома витрата електроенергії – 13-22 МДж на 1000 м³ газів. Для очищення газів до вмісту в них пилу не більше 0,03-0,05 г/м³ у дезінтегратор необхідно подавати охолоджені гази з температурою 50-60°C і вмістом пилу не більше 2 г/м³. Після дезінтеграторів гази зазвичай містять туман і бризки рідини і тому повинні пропускатися через краплевлонники.

Ефективність дезінтеграторів складає близько 70% у разі уловлення частинок розміром 0,6 мкм і 90-95% – за уловлення частинок розміром 1 мкм. Ефективність зростає зі збільшенням питомого зрошення і кількості напрямних лопаток ротора і статора. Незважаючи на складність виготовлення й експлуатації, дезінтегратори продовжують використовуватися, наприклад, для очищення ваграночних газів у чорній металургії.

Швидкісні газопромивники. Швидкісні газопромивники (скрубери Вентурі) поєднують велику групу апаратів, спільним для яких є наявність труби-розпилювача (пульверизатора) і встановленого за нею краплевлонника. У трубі-розпилювачі відбувається інтенсивне розпилення газовим потоком зрошувальної рідини, що рухається з високою швидкістю (порядку 40-150 м/с). Спочатку як труба-розпилювач використовувалася труба Вентурі в її чистому вигляді, звідки і з'явилася назва газопромивників подібного типу.

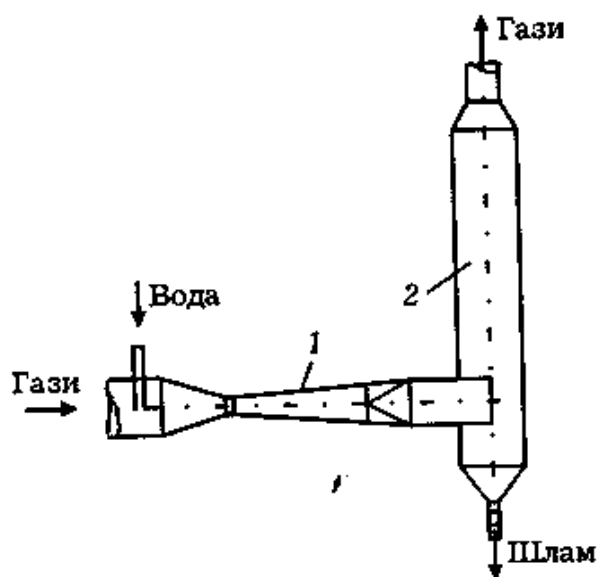


Рисунок 5.8 – Скрубер Вентурі з винесеним краплевлонником:

1 – труба-розпилювач; 2 – циклон-краплевлонник

ка (рис. 5.8). Основною умовою для досягнення високої ефективності апарата є рівномірний розподіл води, яка подається на зрошення, по перетині труби-розпилювача.

Швидкісні газопромивники широко застосовуються для очищення димових газів, що містять частинки матеріалів після установок промислової теплотехніки, і для золовловлення у процесі газифікації високосірчаного мазуту. Останнім часом застосовуються швидкісні скрубери з лінійною швидкістю газів 5-8 м/с, в яких після скрубера встановлюється краплевлонник.

Швидкісний газопромивник складається зі зрошуваної водою труби-розпилювача і краплевлонника

Можливості рівномірного розподілу щільності зрошення у трубі круглого перетину погіршуються зі збільшенням її діаметра. Тому, за витрати газів до $3 \text{ м}^3/\text{с}$, трубу-розпилювач оформлюють у вигляді труби Вентурі, тобто вона складається з конфузора, циліндричної горловини і дифузора, а за витрати газів, вищої за $10 \text{ м}^3/\text{с}$, її перетину рекомендується надавати прямокутну конфігурацію. За витрати газів $3 - 10 \text{ м}^3/\text{с}$ можливі обидва варіанти.

Часто, за великих витрат газів, застосовують батареї труб-розпилювачів, що складаються з декількох десятків труб з діаметром горловини – 90 мм. Залежно від конкретних умов, воду у трубу-розпилювач найчастіше подають через централь-но розташовані розбризкувальні пристрої або комбінованим способом. В останньому випадку частина води, що витрачається на зрошення, подається у вигляді плівки, що стікає по стінках дифузора.

Труби Вентурі – ефективні високонапірні мокрі пиловловники струминної дії. *Зрошення рідиною може бути форсунковим із центральною форсункою* (рис. 5.9, а), *периферійним* (рис. 5.9, б), *плівковим, з подачею рідини у вигляді плівки в центральну зону* (рис. 5.9, в). Останнє здебільшого використовується у випадку значно забрудненої оборотної рідини. Можливе спільне плівкове і форсункове зрошення, але форсункове зрошення забезпечує більш тонке диспергування крапель і більш високий ступінь пиловловлення порівняно із плівковим.

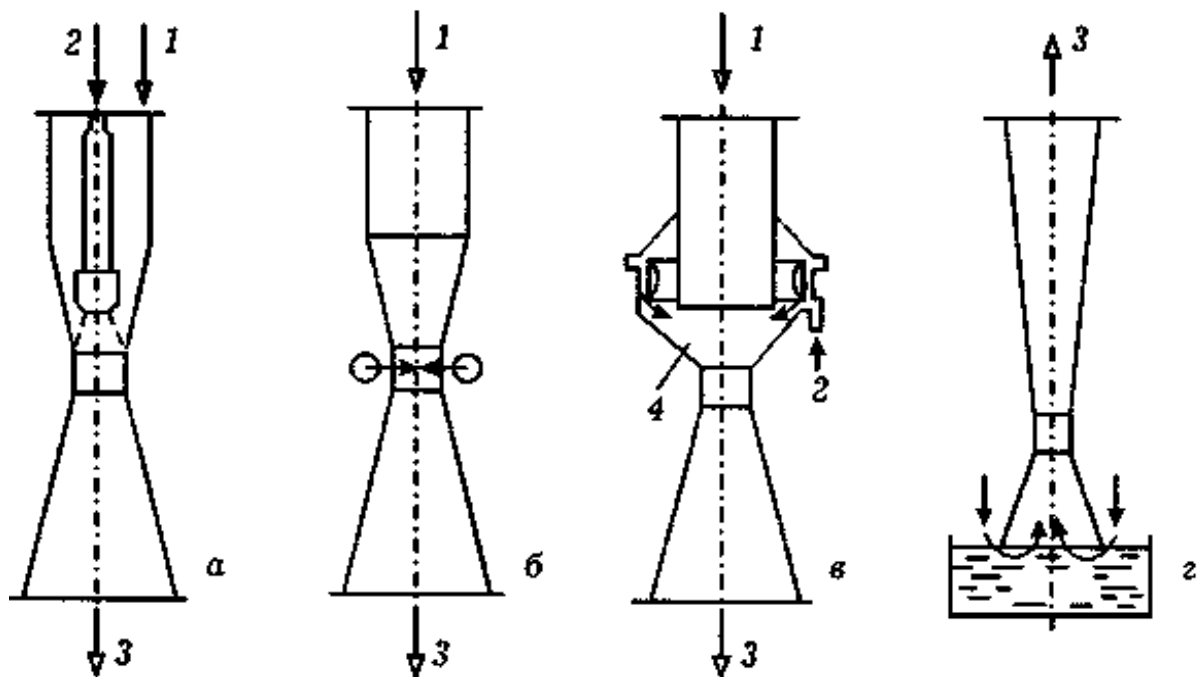


Рисунок 5.9 – Труби Вентурі:

- а) центральне підведення зрошення; б) периферійне підведення зрошення;
 в) плівкове зрошення; г – безфорсункове зрошення;
 1 – газ, який подається на очищення; 2 – вода; 3 – очищений газ; 4 – плівка

Існує конструкція *труби Вентурі з центральним регулювальним конусом*, який переміщується уздовж осі труби у дифузійній частині. Подаючи конус у звуження, зменшують кільцевий зазор і підвищують швидкість потоку газу. Типорозміри труби Вентурі забезпечують продуктивність газу у діапазоні 2-500 тис.м³/год. Промисловість випускає *трубу Вентурі, скомпоновану з циклоном* типу ЦВП.

Ефективність пиловловлення у скруберах Вентурі. Найбільший вплив на ефективність уловлювання мають швидкість газів у горловині труби Вентурі і питоме зрошення. Оптимальне співвідношення між швидкістю газів у горловині труби-розпилювача і питомим зрошенням специфічне для кожного виду пилу і суттєво залежить від його дисперсного складу. Зазвичай питоме зрошення коливається у межах 0,5-1,5 л/м³ газів.

Після труби Вентурі часто встановлюють краплевловник. У ролі краплевловників найчастіше використовуються прямоочні циклони і циклони типу ЦН-24. Таким чином, *конструктивно швидкісні газопромивники відрізняються між собою* в основному:

- конфігурацією поперечного перерізу труби-розпилювача,
- способом подачі води на зрошення,
- типом краплевловника.

Швидкісний газопромивник на даний час є не тільки найефективнішим мокрим пиловловлюючим апаратом, але й апаратом, в якому найбільш інтенсивно здійснюються процеси тепло- і масообміну.

Краплевловники. Застосовують різні типи краплевловників, вибір яких обумовлюється розміром крапель, що уловлюються. Так, за швидкості 120 м/с у трубі Вентурі утворюються краплі із середнім розміром 50 мкм.

У ролі краплевловників найбільш часто застосовують циклони, а також колінні сепаратори, сепаратори із закручувальними елементами і розділювальні ємності. Іноді після труб Вентурі встановлюють порожнинні і насадкові скрубери, пінні апарати й електрофільтри.

Для більш повного очищення використовують *двоступінчасті краплевловники* (грубого і тонкого очищення). У ролі краплевловника грубого очищення застосовують розділювальні ємності, в яких великі краплі під дією сил гравітації падають на дно, а потік газу виходить зверху очищеним. Для тонкого очищення використовують циклони (прямоочні циклони НДЮГАЗу) (НДЮГАЗ - Державний науково-дослідний інститут з промислового і санітарного очищення газів (м. Запоріжжя) - прим. авт. [18]).

Колінні сепаратори мають вигляд коліна (поворот потоку на 90°). Внаслідок інерції великі краплі відкидаються до стінки коліна в нижню його частину, де є короб або штуцер для відведення рідини. З метою посилення сепарації крапель у коліні іноді встановлюють поздо-

вжні лопатки. Колінні сепаратори відносяться до краплевловників грубого очищення, вони більш компактні за розділювальні ємності.

Компактністю характеризуються також *відцентрові краплевловники з лопатковим завихрювачем* циліндричної або конічної форми. Його встановлюють безпосередньо після труби Вентурі. Газорідинний потік входить знизу через вузький перетин конуса і закручується за допомогою лопаток. Виходячи з конуса, під дією відцентрових сил крапельки відкидаються до стінок і у вигляді плівки рідини стікають у збірник, звідки через штуцер видаляються; очищений газ виходить зверху. Такі краплевловники встановлюють також у верхній частині тарілчастих газопромивників. Відцентрові краплевловники забезпечують уловлювання крапель діаметром більше 10 мкм до 99%. Швидкості руху газу в сепараторах досягають 15 м/с. У випадках уловлювання крапель суспензій і розчинів міжлопаткові канали забиваються. У зв'язку з цим НДІОГАЗом запропонована конструкція *краплевловника з декількома секціями* по висоті, причому кількість лопаток у завихрювачах збільшується зверху донизу [15].

Висновок. Процес пиловловлення в апаратах мокрого очищення газів зазвичай супроводжується процесами абсорбції й охолодження газів. Тому багато які з розглянутих апаратів застосовуються не лише для очищення газів від пилу і крапель рідини, але і для очищення від газоподібних складових, а також у ролі теплообмінників. Ці апарати знаходять застосування для підготовки газів, що надходять у газоочисні апарати інших типів (у тому числі і сухі, наприклад, в електрофільтри, рукавні фільтри й ін.).

Питання для самоконтролю:

1. Наведіть класифікацію установок мокрого очищення газів.
2. Охарактеризуйте порожнинні газопромивники.
3. Розкрийте особливості насадкових газопромивників.
4. Поясніть принцип дії тарілчастих газопромивників.
5. Охарактеризуйте газопромивники з рухомою насадкою.
6. Розкрийте особливості газопромивників ударно-інерційної дії.
7. Поясніть принцип дії механічних газопромивників.
8. Проаналізуйте переваги швидкісних газопромивників.
9. Розкрийте особливості краплевловників.

ЛЕКЦІЯ 6

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ АПАРАТІВ

ПЛАН

1. Характеристика фільтрувальних апаратів.
2. Конструкції фільтрувальних апаратів.

6.1. Характеристика фільтрувальних апаратів

У зв'язку з підвищенням вимог до якості очищення газів, зокрема перед випусканням їх в атмосферу, швидко розширюється застосування фільтрувальних апаратів, в яких пил відокремлюється шляхом пропускання газу (повітря) через пористі перегородки. *Фільтри використовують частіше, ніж інші пристрої, у випадках, коли концентрація пилу на виході з апарата не повинна перевищувати 50 мг/м³, або якщо потрібно вловлювати цінні порошкоподібні продукти.*

Значне розширення сфери застосування фільтрів пов'язане з організацією випуску нових фільтрувальних тканин і нетканих матеріалів, які здатні тривалий час працювати за підвищених температур та мають високу стійкість до дії кислот і лугів.

За техніко-економічними розрахунками вартість очищення в рукавних фільтрах газів, що надходять від дугових, мартенівських і феросплавних печей, нижча від вартості очищення газів у мокрих пиловловниках. На теплових електростанціях, що працюють на твердому паливі, коли залишкова запиленість не повинна перевищувати 80 мг/м³, а також, якщо зола має підвищений електричний опір і погано вловлюється в електричному полі, економічно виправдане використання рукавних фільтрів замість традиційно застосовуваних електрофільтрів. В алюмінієвому виробництві застосування фільтрів дозволяє вловлювати одночасно як пил, так і фтористі гази.

Для очищення газів *за підвищених і високих температур використовують* фільтрувальні матеріали з перегородками зі сталеві сітки, металеві повсті, кераміку, металокераміку й насипні матеріали. Як матеріали, що утворюють фільтрувальний насипний шар, застосовують гравій, грубий кварцовий пісок, скляні кульки й інші теплостійкі матеріали.

У випадках, коли фільтри із гнучкими перегородками й насипним шаром використовують не лише з метою уловлення пилу, але й для хімічного очищення газів, на фільтрувальні перегородки наносять шар сорбенту, а насипний шар виконують із матеріалів, здатних поглинати з газів шкідливі компоненти – сірчисті й фтористі сполуки й інші токсичні гази.

За типом фільтрувальних матеріалів фільтри з фільтрувальною перегородкою класифікують наступним чином:

- *з гнучкими пористими перегородками:* тканинні фільтри з природних, синтетичних і мінеральних волокон (вовна, склотканина, синте-

тична тканина); з нетканих матеріалів (повсть, клейончасті і голкопробивні матеріали, папір, картон); з пористих матеріалів (пінополіуретан, пористі мембрани, губчата гума);

- з *напівжорсткими пористими перегородками*: шари волокна, стружка, сітки і т.п.;

- з *жорсткими пористими перегородками зернистої структури*: пориста кераміка, пластмаса, пористе скло і т.п.;

- *із зернистим шаром*: нерухомим і псевдорідотним з різних сипучих матеріалів.

У магнітних фільтрах використовують частинки, що мають магнітні властивості, наприклад, залізовмісні гранули. Їх робота базується на принципі фільтрування через зернистий шар, причому, регенерація фільтрів відбувається також у магнітному полі зміною полюсів магнітів.

Електрофільтри істотно відрізняються від попередніх апаратів тим, що вони не мають фільтрувальної перегородки. Їх робота заснована на принципі іонізації газу. Іони адсорбуються на поверхні частинок пилу, які при цьому заряджаються. Потім заряджені частинки пилу рухаються до осадного електрода і сепаруються з газового потоку.

За призначенням фільтри поділяють на промислові і повітряні.

Промислові фільтри використовують для очищення різних промислових газів (тканинні, зернисті, глибоковолокнисті фільтри, електрофільтри й ін.). Вхідна концентрація пилу в таких фільтрах - до 100 г/м^3 і більше.

Повітряні фільтри застосовують для очищення повітря вентиляційних систем, систем кондиціонування, повітряного опалення.

Принцип дії фільтрів. Пилоловлення – процес поділу фаз «тверді частинки – газ». Він здійснюється у фільтрі, розділеному пористою перегородкою на дві камери – запиленого й очищеного газу (рис. 6.1).

Як пористі перегородки можуть бути використані волокнисті тканині й неткані матеріали, насипний шар і тверді пористі матеріали.

Ефективність осадження частинок у початковий період роботи фільтра (коли тканина або зернистий шар ще чисті) невелика через відносно великі пори у фільтрувальній перегородці.

Осадження відбувається завдяки безпосередньому зіткненню частинок пилу і волокон (ниток) або зерен фільтрувальної перегородки, дії сил інерції, дифузії й електростатичного тяжіння. У цей період на лобовій поверхні пористого шару утворюються острівці пилу, які у волокнистих фільтрах поступово замикаються у суцільний, але ще тонкий шар. Переважно такий шар стає не проникним для частинок, що знову набігають на пористу перегородку, і, теоретично, ефективність фільтра повинна становити 100%.

Однак така абсолютна ефективність роботи в рукавних фільтрах не досягається за двома основними причинами: внаслідок мікровібрації фільтрувального матеріалу та внаслідок утворення тріщин і порожнин у пиловому шарі при регенерації.

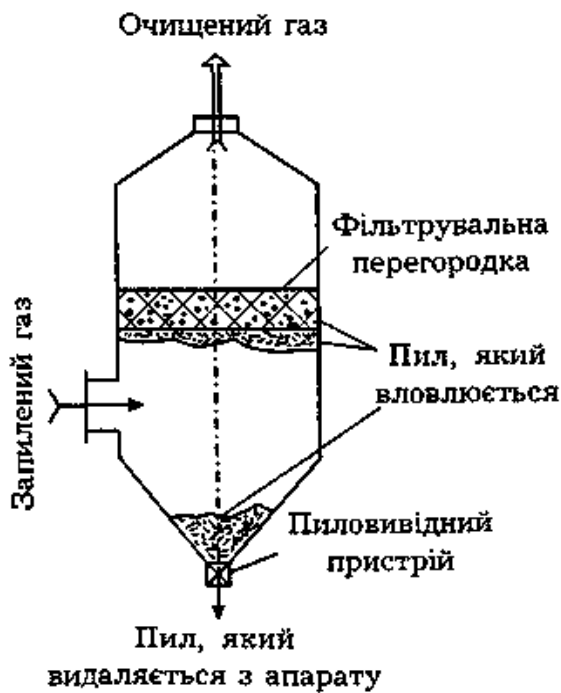


Рисунок 6.1 – Принцип дії апарату фільтрувального типу

фільтра характеризується одночасно й залишковою запиленістю, тому що навіть дуже високий ступінь очищення (близько 99%) ще не гарантує дотримання санітарних норм за значної вхідної запиленості.

Економічні показники ефективності роботи фільтрувальної установки визначаються за капітальними й експлуатаційними витратами.

До капітальних відносяться витрати на закупівлю основного й допоміжного устаткування, металоконструкцій, будівельних матеріалів і на будівельно-монтажні роботи;

до експлуатаційних – вартість енергоресурсів (електроенергія, вода, пара, стиснене повітря), відновлення фільтрувальних перегородок і матеріалів, заробітна плата обслуговуючого персоналу, амортизаційні відрахування, цехові й загальнозаводські витрати, за винятком вартості вловленого продукту.

До технологічних параметрів роботи фільтра відносяться:

- продуктивність або пропускна здатність, V або Q ;
- температура газу t ;
- вхідна $Z_{вх}$ і залишкова $Z_{зал}$ запиленість;
- питоме газове навантаження при фільтруванні q або швидкість фільтрування ω , питоме газове навантаження при регенерації q_p ;
- гідравлічний опір Δp ;
- витрата й тиск продувального газу;
- тривалість τ_p і періодичність регенерації $\tau_{мр}$;
- тривалість циклу фільтрування τ ;
- тривалість регенерації фільтра $\tau_{рф}$.

У результаті відбувається проникнення пилу в зону очищеного газу в режимі фільтрування. Особливо характерними є прориви запиленого газу для фільтрів з насипним шаром, а також із твердими пористими матеріалами, що не дозволяє ідеально очищати в них газ.

Показники й технологічні параметри роботи фільтрів. Основний технологічний показник роботи фільтрів – ступінь очищення (ефективність) уловлення пилу.

Про ступінь очищення η судять за відношенням маси вловленої пилу до загальної його кількості, що надходить в апарат. Ефективність роботи

Питоме газове навантаження у процесі фільтрування для фільтрів із гнучкими й твердими перегородками визначають як витрату очищеного газу, яка припадає на одиницю фільтрувальної поверхні, причому вона може бути різною у період регенерації й за її відсутності. Зазвичай питоме газове навантаження виражають у $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$.

Для фільтрів з насипними шарами питоме газове навантаження або швидкість фільтрування визначається як витрата газу, що припадає на одиницю перерізу шару зернистого матеріалу, перпендикулярного до ходу газу.

Гідралічний опір фільтру – різниця тисків на вході й виході з апарата перед моментом включення системи регенерації. Вона складається з опору фільтрувальної перегородки й опору корпусу апарата (вимірюється у Па).

Тривалість циклу фільтрування – час, протягом якого в тому самому фільтрувальному елементі (секції) здійснюється безперервний процес фільтрування.

Періодичність регенерації – час, що минає від початку регенерації того самого фільтрувального елемента (секції) до початку наступного циклу регенерації цього самого фільтрувального елемента (τ_p і τ_{mp} прийнято наводити у хвилинах).

Тривалість регенерації – час, затрачений на одночасну регенерацію групи (секції) фільтрувальних елементів (розмірність – секунди).

Таким чином, періодичність регенерації перевищує за часом тривалість фільтрувального циклу на величину тривалості регенерації $\tau_{pф}$:

$$\tau_{mp} = \tau + \tau_p \quad (6.1)$$

Тривалість регенерації фільтру $\tau_{pф}$ – час, затрачений на регенерацію всіх фільтрувальних елементів апарата в межах періодичності регенерації:

$$\tau_{pф} = n \cdot \tau_p \quad (6.2)$$

де n – кількість фільтрувальних елементів (секцій) фільтра, які послідовно регенеруються.

Шпаруватість – проміжок часу між спрацьовуванням суміжних клапанів у фільтрах із заелементною імпульсною продувкою [15].

6.2. Конструкції фільтрувальних апаратів

Тканинні фільтри. У тканинних фільтрах запилені промислові гази або повітря системи аспірації проходять через тканину, на якій осідає пил, утворюючи додатковий фільтрувальний шар. Від пилу фільтр зазвичай очищують зворотним продуванням повітрям.

Тканинні фільтри розрізняються між собою за наступними ознаками:

- за формою фільтрувальних елементів (рукавні, пласкі, клинові тощо) і наявністю в них опорних пристроїв (каркасні, рамні);
- за місцем розташування вентилятора відносно фільтра (всмоктувальні, які працюють під розрідженням, і нагнітальні, що працюють під тиском);
- за способом регенерації тканини (струшувальні, зі зворотним продуванням, з віброструшуванням, з імпульсним продуванням тощо);
- за наявністю і формою корпусу для розміщення тканини - прямокутні, циліндричні, відкриті (безкамерні);
- за кількістю секцій в установці (одно-, двокамерні і багатосекційні);
- за видом тканини, яка застосовується (вовняні, бавовняні, склотканинні, синтетичні тощо).

Фільтрувальні матеріали для очищення газу від пилу за походженням волокон поділяють на групи:

- 1) з натуральних органічних волокон рослинного й тваринного походження (бавовняні, лляні, вовняні, шовкові);
- 2) з натуральних неорганічних волокон (азбестові);
- 3) з ненатуральних органічних синтетичних волокон (лавсан, нітрон, оксалон, фенілон, капрон, поліфен, фторфлон тощо);
- 4) з ненатуральних неорганічних волокон (скляні, металеві тощо).

Тканинні фільтри працюють під тиском (нагнітальні) – вентилятор розташований перед фільтром і в умовах розрідження (всмоктувальні) – вентилятор встановлений після фільтра. Останні застосовуються частіше, тому що в цьому випадку зменшується ерозійне зношування вентилятора й у випадку витоків – пил у приміщення не потрапляє.

Рукавний багатосекційний фільтр із регенерацією, струшуванням і зворотним продуванням зображений на рис. 6.2, а.

У кожній секції є кілька рукавів. Запилений газ надходить знизу секцій у рукав; проходячи через тканину, він очищається і через відкритий випускний клапан виходить у вихлопний газохід. Пил поступово осідає на внутрішній поверхні рукавів, збільшуючи втрати тиску на фільтрі. Коли товщина шару пилу досягає граничного значення, подачу газу припиняють, механізмом струшування пил зсипається з рукавів у бункер. За зворотного продування чисте повітря спрямовують через продувний клапан, при цьому випускний клапан автоматично закривається.

Рукавні фільтри типу РФГ призначені для уловлення пилу з технологічних димових газів і вентиляційного повітря. Фільтри переважно працюють при тиску до 2,5 кПа; фільтри Г4-5ФМ – до 20 кПа, а фільтри ФРУ, ФВС-45 і ФРН-30 - за розрідження 30, 60 і 80 кПа відповідно. Фільтри ФРУ, ФРВ-20, ФРН-30 не мають бункерів; їх встановлюють зверху пиловидільного апарата.

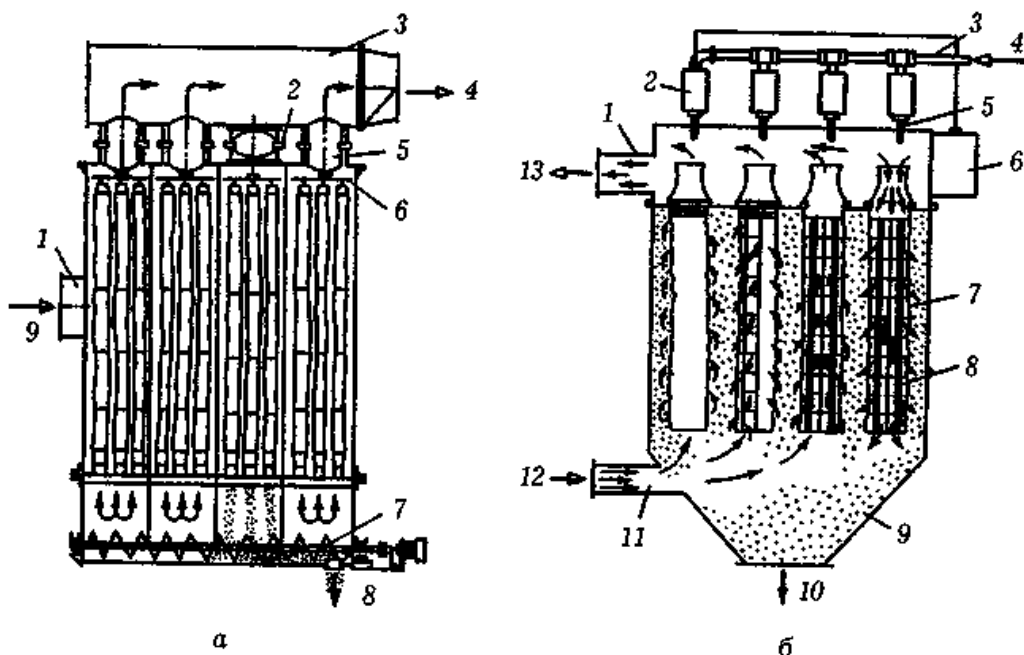


Рисунок 6.2 – Рукавні фільтри:

а) багатосекційний РФГ-МС: 1 – вхідний газохід; 2 – механізм струшування для регенерації; 3 – вихідний газохід; 4 – очищений газ; 5 – секційний клапан; 6 – рама підвішування рукавів; 7 – шнек видалення пилу з електроприводом; 8 – пил; 9 – газ, який подається на очищення;

б) каркасний з імпульсним продуванням: 1 – вихлопний патрубок; 2 – клапан стисненого повітря; 3 – колектор стисненого повітря; 4 – стиснене повітря; 5 – сопло для подачі стисненого повітря; 6 – прилад автоматичного керування регенерацією; 7 – рукав; 8 – каркас; 9 – бункер; 10 – пил; 11 – вхідний патрубок; 12 – газ, який подається на очищення; 13 – очищений газ

Технічні характеристики рукавних фільтрів наведені у табл. 6.1. Нормальна витрата повітря на продування рукавів складає 10-15%, підсмоктування внаслідок нещільності – 10% загальної витрати газів.

Таблиця 6.1 – Технічні характеристики рукавних фільтрів типу РФГ-УМС

| Показники | Одинарний фільтр | | | | Здвоєний фільтр | | | |
|--|---------------------------|------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|
| | 4 | 6 | 8 | 10 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| Кількість секцій, шт. | 4 | 6 | 8 | 10 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| Кількість рукавів, шт. | 53 | 84 | 112 | 140 | 112 | 168 | 224 | 280 |
| Фільтрувальна поверхня, м ² | 112 | 168 | 221 | 280 | 224 | 333 | 448 | 530 |
| Довжина фільтра, мм | 3003 | 4503 | 6003 | 7503 | 3003 | 4503 | 6003 | 7503 |
| Ширина фільтра, мм | 2250 | 2250 | 2250 | 2250 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 |
| Розміри рукавів, мм | Діаметр 220, довжина 3100 | | | | | | | |
| Продуктивність, м ³ /с | 3,12 | 4,68 | 6,20 | 7,80 | 6,20 | 9,36 | 12,40 | 15,60 |
| Маса апарата, кг | 6920 | 9600 | 12300 | 15400 | 14212 | 19792 | 25344 | 31575 |

У конструкції *каркасного фільтра* (рис. 6.2, б) струшування замінене імпульсним продуванням стисненим повітрям протягом 0,1-0,2 с. Надлишковий тиск стисненого повітря складає 400-800 кПа. Частота ім-

пульсів 5-10 за хвилину. Як фільтрувальний матеріал використовують повсть або лавсанову тканину. Їх застосовують у хімічній, харчовій, металургійній промисловості, а також у виробництві будівельних матеріалів. Ці фільтри регенерують без відключення секцій. Пил вивантажують шлюзовими затворами.

Основні позначення фільтрів: Ф – фільтр; Р – рукавний; К – каркасний; І (можливе ІІ – рос.) – з імпульсним продуванням; Н – НДІОГАЗу; В – вибухобезпечний. Цифри – площа фільтрування, м².

Оптимальні швидкості фільтрування газів через тканину визначаються експериментально в залежності від дисперсності вловленого пилу, кількісного вмісту пилу, типу тканини фільтра і знаходяться в діапазоні 0,35-1,5 м³/м²хв.

З вибором тканинного фільтра необхідно враховувати параметри газу на вході, властивості пилу, характеристику джерела пилоутворення (кількість, періодичність викидів та ін.), вимоги до уловленого пилу (спосіб вивантаження, цінність пилу, можливість використання його і т.д.), а при встановленні фільтра – його габарити і зону обслуговування.

Волокнисті фільтри. Волокнисті фільтри являють собою шари різної товщини, в яких більш-менш однорідно розподілені волокна відповідного матеріалу. Це фільтри об'ємної дії, тому що розраховані на уловлення і нагромадження частинок переважно по всій своїй глибині. Дані фільтри використовуються при концентрації частинок 0,5-5 мг/м³ і умовно поділяються на тонковолокнисті, глибокі і грубоволокнисті фільтри.

Тонковолокнисті фільтри застосовуються для уловлення високодисперсних аерозолів з ефективністю не меншою за 99% за найбільш проникними частинками (розміром 0,05-0,5 мкм) у вигляді тонких аркушів чи об'ємних шарів з фільтрувальними матеріалами з тонких чи ультратонких волокон (діаметром <5 мкм). Швидкість фільтрування у фільтрах складає 0,01-0,1 м/с, опір чистих фільтрів зазвичай не перевищує 200–300 Па, забитих пилом – 700–1500 Па.

Регенерація сухих фільтрів тонкого очищення після забивання пилом неможлива. Фільтри призначені для тривалої безупинної роботи терміном 0,5-3 роки з наступною заміною або усього фільтра, або тільки фільтрувального середовища. При використанні фільтрів вхідна концентрація твердих частинок не повинна перевищувати 0,5 мг/м³, інакше фільтри доведеться занадто часто міняти.

Найбільш поширені *фільтри з матеріалу типу ФП* рамкової конструкції. Фільтрувальний матеріал у вигляді стрічки укладається між П-подібними рамками, що чергуються у процесі збирання пакета відкритими і закритими сторонами в протилежних напрямках. Між сусідніми шарами матеріалу встановлюються гофровані роздільники. Рамки, роздільники, бічні стінки корпусу можуть бути виконані з фанери, вініпласту, алюмінію, нержавіючої сталі. Будова рамкового фільтра наведена на рис. 6.3.

Забруднені гази надходять в одну з відкритих сторін фільтра, проходять через матеріал і виходять з протилежного боку. На одній з торцевих сторін корпусу розташований фланець, що ущільнює, а до приєднувальної поверхні його приклеєна губчата гумова прокладка.

На сьогодні замість частини номенклатури рамкових фільтрів випускаються *фільтри типу Д*, що являють собою набір суцільноштампованих гофрованих рамок-роздільників з вініпластової плівки, між якими укладається фільтрувальний матеріал. Рамки мають форму клинів і встановлені з чергуванням відкритих і закритих сторін у протилежних напрямках.

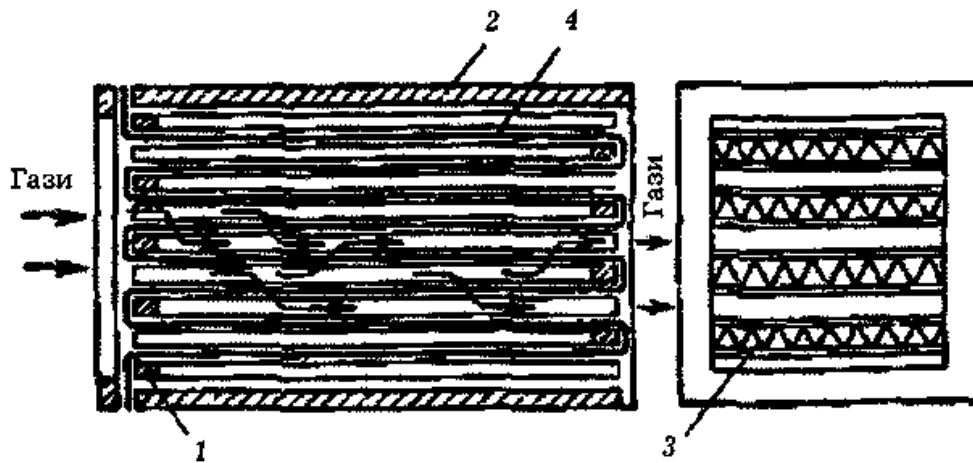


Рисунок 6.3 – Рамний фільтр тонкого очищення:

1 – П-подібна планка; 2 – бічна стінка; 3 – роздільники; 4 – фільтрувальний матеріал

Фільтри з клинчастими рамками мають позначення $D_{кл}$. На відміну від відповідних їм за габаритами фільтрів із прямими рамками-роздільниками фільтрувальна поверхня фільтрів $D_{кл}$ більша на 25-30%. У деяких конструкціях розглянутих фільтрів передня і задня сторони апаратів закриті кришками.

В апаратах малої продуктивності в одному корпусі розташовуються фільтри тонкого очищення з матеріалу типу ФП і грубого очищення у вигляді набивного шару товщиною 5-10 мм з лавсанових волокон. Такі фільтри називаються *двоступінчастими чи комбінованими* (рис. 6.4), мають позначення ДК (*дерев'яні комбіновані*).

Скловолоконні фільтри тонкого і грубого очищення серійно випускаються продуктивністю 200, 500, 1000 і 1500 м³/год з опором 200-1000 Па; корпуси фільтрів можуть бути виготовлені з нержавіючої сталі Х18Н10Т чи фанери.

Фільтри використовуються в системах, у яких можливе підвищення температури вище 60°C, а також за наявності у повітрі речовин, що руйнують матеріали типу ФПП і ФПА.

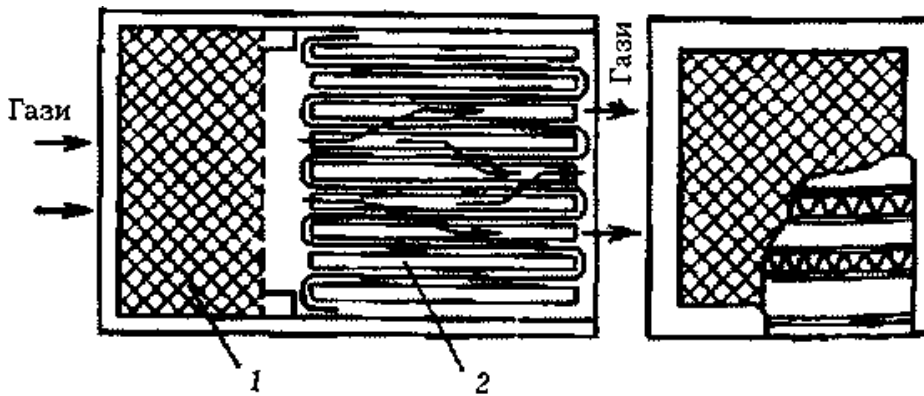


Рисунок 6.4 – Комбінований фільтр ДК:

1 – секція з набивним шаром із грубих волокон; 2 – секція тонкого очищення

Зернисті фільтри. У зернистих фільтрах пил уловлюється в шарі зернистого матеріалу. Їх застосовують рідше, ніж фільтри з волокнистих матеріалів. Використання цих фільтрів особливо доцільне у випадках високотемпературного і фізико-хімічного очищення газів. Відомо багато типів фільтрів із зернистим шаром.

У *зернистих насипних фільтрах* гранули між собою не зв'язані. Вони можуть бути з нерухомою, рухомою, а також із псевдорідотною насадкою. Як насадку використовують гальку, пісок, шлак, тирсу, гумову, пластмасову крихту, а також відходи різних виробництв. Доцільно насадку зернистого фільтра виготовляти з матеріалу, пил якого уловлюється, тому що в цьому випадку його разом з уловленим пилом можна повертати у виробництво.

На рис. 6.5 наведено *гравійний фільтр*, що призначений для очищення газів від пилу механічного походження (від дробарок, грохотів, сушарок, млинів, транспортувальних пристроїв) і застосовується у процесах одержання цементу, вапна, гіпсу, фосфорних добрив та в інших виробництвах за наявності абразивного пилу й агресивних газів чи речовин, які погано вловлюються в електрофільтрах та інших пиловловниках.

Проте, липкий пил, який важко видаляється, у цих фільтрах не можна уловлювати. Швидкість фільтрування газу в залежності від типу і розміру зерен складає 17-50 м/хв, газодинамічний опір фільтрів знаходиться у межах 0,5-1,5 кПа. За початкової концентрації пилу більше 12 г/м³ перед гравійними фільтрами встановлюють циклони. Залишковий вміст пилу в очищених газах зазвичай складає 10-100 мг/м³, ефективність очищення – 99-99,8%.

З накопиченням у зернистих фільтрах частинок пилу ефективність пилоочищення зростає, але збільшуються і втрати тиску на фільтрі. За досить великих втрат тиску виникає необхідність у регенерації фільтра або в його заміні. Орієнтовний розмір зерен у насипних зернистих фільтрах – 0,2-2 мм, вхідна концентрація пилу – 1-20 мг/м³, початковий перепад тиску в шарі – 50-200 Па (у процесі експлуатації фільтра перепад тиску зростає), висота шару 0,1-0,15 м.

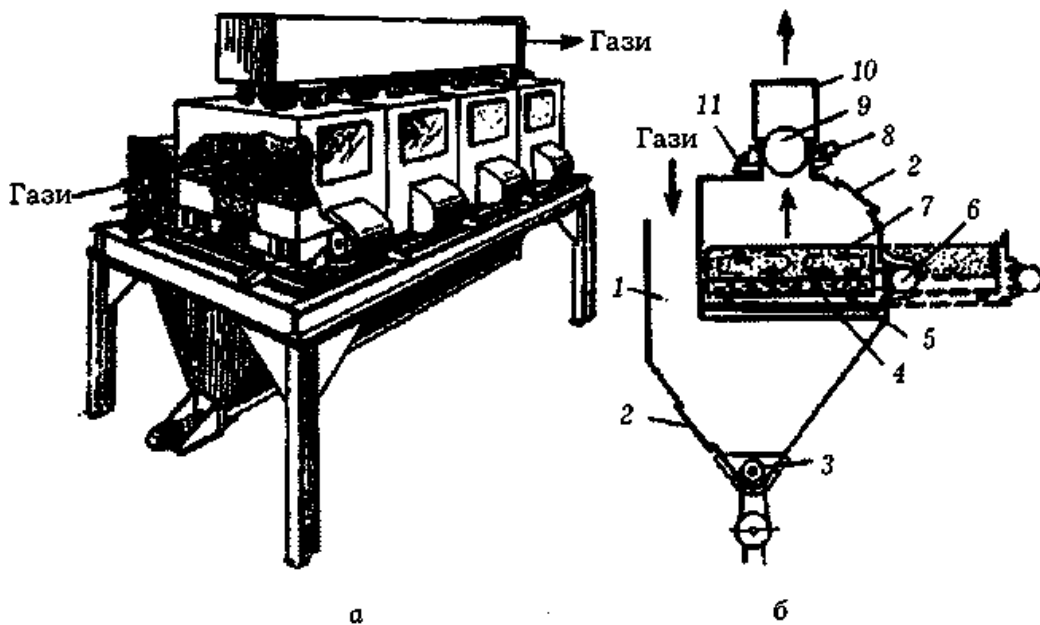


Рисунок 6.5 – Чотирикамерний гравійний фільтр Лургі з вібраційною регенерацією:

а) загальний вид фільтра; б) розріз фільтра;
 1 – вхідний патрубок; 2 – люк; 3 – шнек; 4 – шар стружки; 5 – пружина; 6 – вібратор; 7 – шар гравію; 8 – електродвигун; 9 – заслінка для очищеного газу; 10 – патрубок для очищених газів; 11 – клапан продувного повітря

Лургі (Lurgi) - провідна технологічна фірма (Німеччина), яка успішно працює в усьому світі в галузі технологічного інжинірингу і створення установок. Технологічне лідерство ґрунтується на власних розробках, а також на ексклюзивних ліцензійних технологіях у галузях: переробки газу на продукти нафтохімії через синтгаз або метанол і на синтетичне паливо, нафтопереробки, полімерів, поновлюваних енергосередовищ, харчових середовищ. Лургі входить до групи Air Liquide (прим. авт.) [17].

Насипні зернисті фільтри регенеруються перемішуванням або вібраційним струшуванням. Зернистий фільтр може складатись з двох або декількох фільтраційних камер, з'єднаних паралельно; коли одні з них регенеруються, інші – працюють. Крім механічної регенерації фільтрів, перспективним є спосіб регенерації зворотним імпульсним продуванням газу.

Широке застосування одержали насипні зернисті фільтри з *регенерацією ворушінням і зворотним продуванням*. Швидкість фільтрації газу в них – 17-50 м/хв, перепад тиску – 0,5-1,5 кПа, ефективність очищення – 99-99,8%.

У НДІОГАЗі розроблено **комбінований фільтр-циклон**. У такому комбінованому фільтрі від більш великих фракцій пилу газ очищують спочатку у циклоні, а від більш тонких – у зернистому фільтрі. Запилений газовий потік потрапляє у циклон, потім знизу угору проходить крізь фільтрувальний шар. Очищений у циклоні і зернистому фільтрі газ через перемикаючий клапан надходить у колектор (у режимі регенерації

секцію фільтра за допомогою клапана відключають від колектора очищеного газу і з'єднують з колектором продувного повітря). У режимі *регенерації*: вмикається механізм ворушіння (перемішування); продувне повітря проходить через фільтрувальний шар знизу угору і відносить із собою в циклон частинки неуловленого пилу, де найбільш великі осідають, а більш дрібні – надходять разом із продувним повітрям у фільтрувальні секції.

При вирішенні питання про доцільність застосування фільтрациклона *враховують наступне*: швидкість потоку газу (віднесена на всю площу фільтра) складає 20-25 м/хв, а в циклоні швидкість потоку газу (віднесена на площу циліндричної частини циклона) – 3-5 м/сек. Тому і площа поперечного перерізу фільтра повинна бути в 8-10 разів більшою за площу поперечного перерізу циклона.

Крім насипних зернистих фільтрів, застосовують також *жорсткі зернисті (або пористі) фільтри*, в яких зерна жорстко зв'язані одне з одним внаслідок спікання, пресування, склеювання і т.д. Прикладом фільтрувальних матеріалів для таких фільтрів може бути кераміка, пориста пластмаса і т.п. Жорсткі зернисті фільтри зазвичай *застосовують* за високих температур і механічних навантажень; *їх недолік* – висока вартість в експлуатації, обумовлена труднощами їх регенерації і великими втратами тиску газового потоку.

Жорсткі зернисті фільтри *регенерують* зворотним продуванням чистого газу, гарячої пари або спеціальних рідких розчинів, а також вібрацією. Регенерацію жорстких зернистих фільтрів здійснити складніше, ніж насипних, внаслідок глибокого проникнення дрібних частинок пилу у пори фільтра. Жорсткі фільтри недоцільно застосовувати для очищення запилених потоків за великих витрат газу; переважно їх використовують для фільтрації газів, що знаходяться під великим тиском.

Жорсткі зернисті фільтри бувають: керамічні (патрони, пластини, отримані спіканням зерен шамоту, кварцового піску і т.п.); *металокерамічні* (отримані пресуванням з наступним спіканням металевих порошків). *Фторопластові пористі фільтри* застосовують для стерилізації повітря. *Керамічні фільтри* використовують для очищення газів у газокаталітичних процесах, у системах газопостачання, а також для очищення стисненого повітря. *Металокерамічні фільтри* часто застосовують у високотемпературному очищенні газів від цінних пилоподібних матеріалів.

Повітряні фільтри. Повітряні фільтри *використовуються* для:

- знепилення повітря, що забирається з атмосфери в системи припливної вентиляції;
- кондиціонування і повітряного опалення виробничих, службових і громадських будинків;
- подачі повітря на технологічні верстати;
- повітряного охолодження газотурбінних енергетичних установок і вентиляції електричних машин.

Особливістю роботи повітряних фільтрів є те, що повітря, яке очищується, в них надходить з приміщення або з вулиці; концентрація пилу, як правило, низька.

Залежно від ступеня очищення, повітряні фільтри поділяють на три класи:

- 1) з розміром частинок, що уловлюються, менше 0,1 мкм (ефект - 60%);
- 2) з частинками більше 1 мкм (85%);
- 3) з частинками більше 10 мкм (99%).

Щоб сухі частинки пилу не проскакували через волокна, фільтрувальні матеріали промаслюють. Широке застосування одержали **коміркові фільтри** типу ФК (ФЯ – ячеєвые (рос.)), які монтують у пласкі панелі з кількістю комірок до 25-27. Пластмасові сітки можна використовувати без промаслення.

Застосовують також **рулонні повітряні фільтри**. *Принцип їх роботи:* у разі запилення сітки фільтра і досягненні визначеного перепаду тиску спрацьовує датчик манометра і включається електродвигун, що намотує забруднений фільтр на котушку. У випадку падіння тиску датчик знову спрацьовує і електродвигун зупиняється. Усе повторюється доти, поки весь рулон фільтра не перемотається з однієї котушки на іншу, після чого його замінюють новим. Термін роботи рулону – близько року.

Промисловість випускає також **самоочисні масляні фільтри** типу Кд, КдМ і Кт продуктивністю 40-240000 м³/год. Їх, переважно, вмонтовують як секції кондиціонерів. Вони складаються зі стрічки, яка постійно рухається на рамках, і масляної ванни, внаслідок проходження через яку забруднені ділянки стрічки відмиваються від пилу і знову повертаються на фільтрацію. Пил осаджується на дні ванни.

У фільтрах встановлені послідовно дві стрижневі або пружинно-стрижневі сітки, кожна з яких є нескінченною стрічкою. Сітки натягнуті між двома валами, з яких верхній – ведучий, а нижній – натяжний. Перша сітка переміщається зі швидкістю 0,003 м/с, друга – зі швидкістю 0,001 м/с. Таким чином, повітря проходить через чотири сітки послідовно (рис. 6.6).

У масляному баку розташовані шнек і елеваторний пристрій для видалення шламу, механізм промивання сіток, два змішувачі для підігріву олії в зимовий час і маслоснімач для зняття надлишків олії із сіток.

Ступінь очищення фільтрів залежить від дисперсності і концентрації порошку і складає 90-98 % для частинок, більших за 3 мкм; для більш дрібного пилу ефективність знижується до 50-60%.

Фільтри-тумановловники. Тумановловлення – процес виділення з туманів (газових потоків із зваженими в них рідкими частинками) крапель розмірами, меншими за 10 мкм, що утворилися за рахунок термічної конденсації пари, хімічної взаємодії газоподібних складових чи у процесі тонкого диспергування рідин. Як правило, значна частина крапельок у туманах має субмікронні розміри.

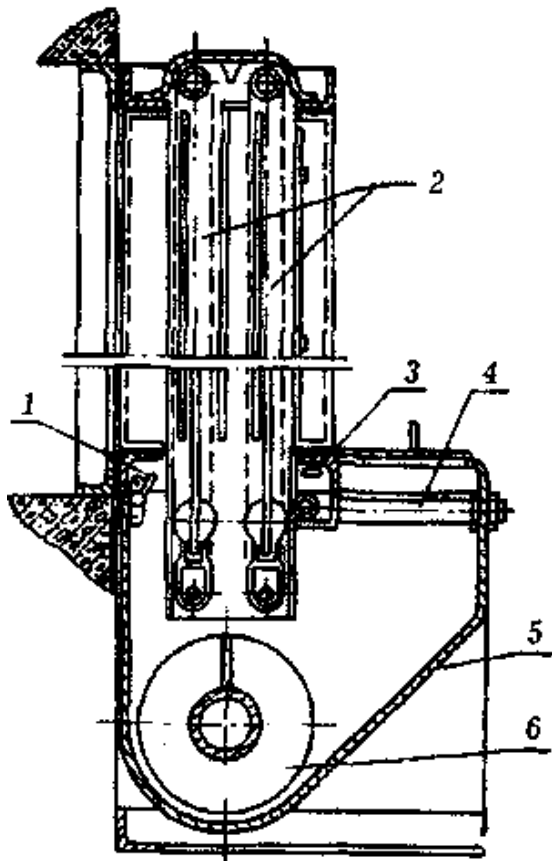


Рисунок 6.6 – Фільтр масляний самоочисний типу КдМ:

1 – механізм промивання сіток;
 2 – сітки; 3 – маслоснімач; 4 – система підігріву олії; 5 – бак; 6 – шнек

кості твердих частинок і у випадку утворення нерозчинних сольових відкладень ($CaCO_3$, $CaSO_4$, $CaSO_3$, Ca_2 та ін.) при взаємодії солей води з газами (SO_2 , HF і ін.).

З підвищенням щільності упакування шару і зменшенням діаметра волокон все більша кількість рідини утримується в шарі і тим значніші зміни його структури в порівнянні із сухим фільтром. Утворення чисельних пухирців на тильній поверхні й у глибині тонковолокнистого шару та їх розриви призводять до утворення дрібних крапель, які виносяться газовим потоком. У результаті опір зростає, ефективність очищення падає і лише зниження насиченості рідиною шару може призвести до зниження вихідної концентрації. Цього можна досягти зменшенням вхідної концентрації і швидкості фільтрування, використанням товстих і пористих шарів з більш великими і пружними волокнами в шарі, вертикальним розташуванням шару, односпрямованим упакуванням волокон у шарі, а іноді і примусовим відведенням рідини із замикаючого шару.

Використання синтетичних та інших гідрофобних волокон також дозволяє знизити опір і підвищити ефективність очищення.

У ролі тумановловників широко застосовуються волоконні самоочисні фільтри, що оснащуються шарами зі скляних, синтетичних або металевих волокон, а також пакетами в'язаних металевих чи синтетичних сіток. Відмінною рисою волокнистих фільтрів-тумановловників є коалесценція вловлених рідких частинок при контакті з поверхнею волокон і утворення на них плівки рідини, що видається в міру нагромадження із шару у вигляді струмків чи великих крапель, які переміщуються всередині шару і з його тильної сторони під дією сили ваги, захоплення газовим потоком і капілярних сил. У цьому випадку не потрібно ніяких механічних впливів на фільтрувальні шари, тобто фільтри працюють з постійним опором у стаціонарному режимі саморегенерації (самоочищення).

Недоліком волокнистих фільтрів є можливість їх забивання за наявності в тумані значної кіль-

Волокнисті фільтри-тумановловники поділяються на:

- *низькошвидкісні* ($\omega < 0,2$ м/с), що оснащуються волокнами діаметром 5-20 мкм і призначені для уловлення субмікронних частинок за рахунок броунівської дифузії й ефекту зчеплення; ефективність їх збільшується зі зменшенням швидкості фільтрування, розміру частинок і діаметра волокон;

- *високошвидкісні* (ω і $0,5 > 1,2$ м/с) із шаром грубих волокон діаметром 20-100 мкм, які призначені для виділення з газу частинок, більших за 1 мкм, за рахунок механізму інерційного осадження, ефективність якого зростає зі збільшенням розміру частинок і швидкості фільтрування до певної (критичної) величини (зазвичай 1-2,5 м/с), за якої починається вторинне бризковинесення вловленої рідини із шару у вигляді багатоступінчастих великих крапель; вони складаються з 2-3 фільтрів другого і першого типів, у яких перший ступінь працює за швидкостей, вищих за критичні, і є *укрупнювачем* крапель, що вловлюються, або *розвантажувачем* – у випадку високих вхідних концентрацій туману.

Як приклад, на рис. 6.7 наведений *фільтр із циліндричним фільтрувальним елементом*. Шар вловленої кислоти, що наявна у просторі, утвореному патрубком, який входить всередину елемента, і стінками корпусу чи фільтра абсорбера, на полиці якого може розташовуватися кілька таких елементів. Фільтрувальний елемент являє собою перфорований барабан із глухою кришкою.

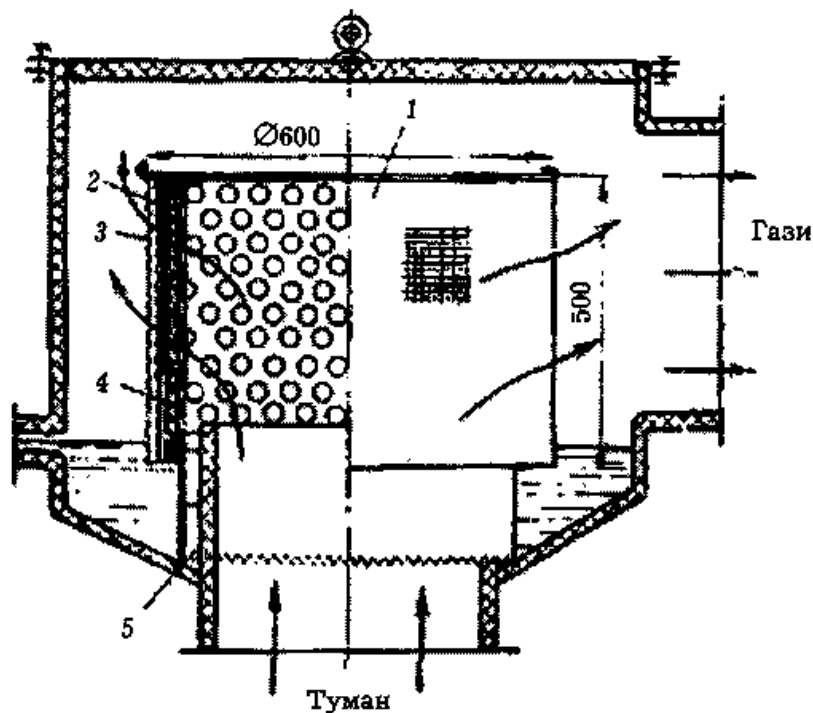


Рисунок 6.7 – Самоочисний сірчаноокислотний тумановловник:
1 – фільтрувальний елемент; 2 – фільтрувальний матеріал; 3 – бризковловник;
4 – попередній крапельловник; 5 – гідрозатвор

Грубоволокнисті фільтри з періодичним чи безупинним промиванням - застосовуються для очищення туману й уловлення бризок розчинів кислот і лугів на операціях травлення металевих виробів і гальванопокриттів.

За певної швидкості руху газів рідина заповнює більшу частину вільного об'єму шару насадки і частина її захоплюється оминаючими газами, тобто виникає вторинне винесення. Максимально допустимим вважається навантаження, за якого не спостерігається вторинне винесення рідини; цьому навантаженню відповідає максимальна ефективність сепарації.

Установки електричного очищення газів. За допомогою установок електричного очищення газів – **електрофільтрів**, можна уловлювати найбільш дрібні частинки, у тому числі і субмікронні. Ступінь уловлювання високодисперсних частинок у них - 99%-99,9%. Гідравлічний опір електрофільтрів не більший 100-150 Па; температура газу, що очищається, може досягати 400-450 °С.

Електрофільтри відрізняються відносно низькими експлуатаційними витратами. Гідравлічний опір правильно спроектованого електрофільтра не перевищує 100-150 Па, тобто є мінімальним у порівнянні з іншими газоочисними апаратами, енерговитрати складають 0,36-1,8 МДж (0,1-0,5 кВт·год) на 1000 м³ газу.

До недоліків електрофільтрів відносять:

- високу металоемність і громіздкість,
- велику чутливість до відхилень від режиму роботи,
- високі вимоги до вибухо- і пожежобезпечності пилу.

Внаслідок високих капітальних витрат економічно *доцільно застосовувати* електрофільтри у випадках великих витрат газу (існують електрофільтри, розраховані на витрату газу більше 1 млн. м³/год).

Часто електрофільтри не можуть бути застосовані у зв'язку з тим, що властивості газопилового потоку несприятливі для здійснення процесу електрогазоочищення. Це стосується випадків, коли питомий електричний опір пилу надмірно великий.

Електрофільтри не застосовуються, якщо газ, який очищають, являє собою вибухонебезпечну суміш, що може утворитися в ході процесу в результаті відхилення від нормального технологічного режиму, тому що в роботі електрофільтра неминучим є виникнення іскрових розрядів.

У виняткових випадках електрофільтри все ж встановлюються в умовах можливого утворення вибухонебезпечних середовищ, однак тоді застосовуються спеціальні запобіжні заходи, що передбачають спеціальні конструктивні рішення, автоматичне відключення електроживлення у разі виникнення вибухонебезпечних концентрацій середовища тощо.

Сутність процесу електричного очищення газів в електрофільтрах розкрито на рис. 6.8. Запилений газ проходить між електродами, до яких підводиться достатньо висока постійна напруга. Режим електроочищення розрахований таким чином, щоб між електродами утворився,

так званий, коронний розряд, який характеризується тим, що біля поверхні одного з електродів (коронувального) виникає світна корона – зона ударної іонізації газу (на весь міжелектродний простір вона не поширюється). Газ, що складається з нейтральних молекул, не має електричної провідності, але вона може виникнути при впливові сильного електричного поля. Відбувається електроіонізація газу, тобто процес, при якому в газі у результаті зіткнення швидких заряджених частинок з молекулами (деяка частка заряджених частинок у газі майже завжди є) утворюються іони. Іони адсорбуються (утримуються) на поверхні частинок пилу, які внаслідок цього стають зарядженими і рухаються під дією електричного поля до осадних електродів; деякі частинки досягають і коронувальних електродів.

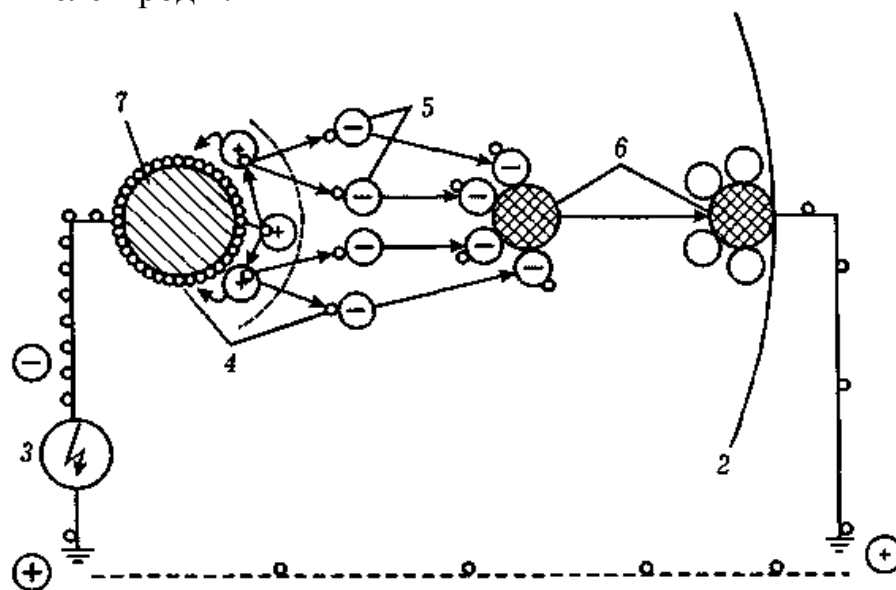


Рисунок 6.8 – Принципова схема роботи електрофільтра:

1 – коронувальний електрод; 2 – осадний електрод; 3 – агрегат електроживлення; 4 – електрон; 5 – молекула газу; 6 – частинка, що осаджується

Накопичені на електродах частинки пилу видаляються струшуванням.

Очищення газів в електрофільтрах передбачає наступні етапи:

- зарядження частинок пилу в газі;
- рух заряджених частинок пилу до електродів;
- видалення осадженого пилу з електродів.

Процес очищення інтенсифікують збільшенням неоднорідності електричного поля.

Електрофільтри поділяють на **однозонні** (частинки пилу заряджаються й осаджуються в одній зоні) і **двозонні** (ті самі процеси відбуваються в різних зонах – в іонізаторі й осаднику). Двозонні електроосадники застосовують для очищення газу з меншою концентрацією пилу, оскільки в них відстань і напруга між електродами менші, ніж в однозонних електрофільтрів.

За способом видалення осадженого на електродах пилу електрофільтри поділяють на сухі і мокрі. У *мокрих електрофільтрах* осаджений пил змивається рідиною, найчастіше водою; такі електрофільтри призначені для уловлювання крапельної рідини або туманів. У *сухих електрофільтрах* пил з електродів видаляють струшуванням.

За способом проходження газосуміші електрофільтри бувають горизонтальні і вертикальні (рис. 6.9).

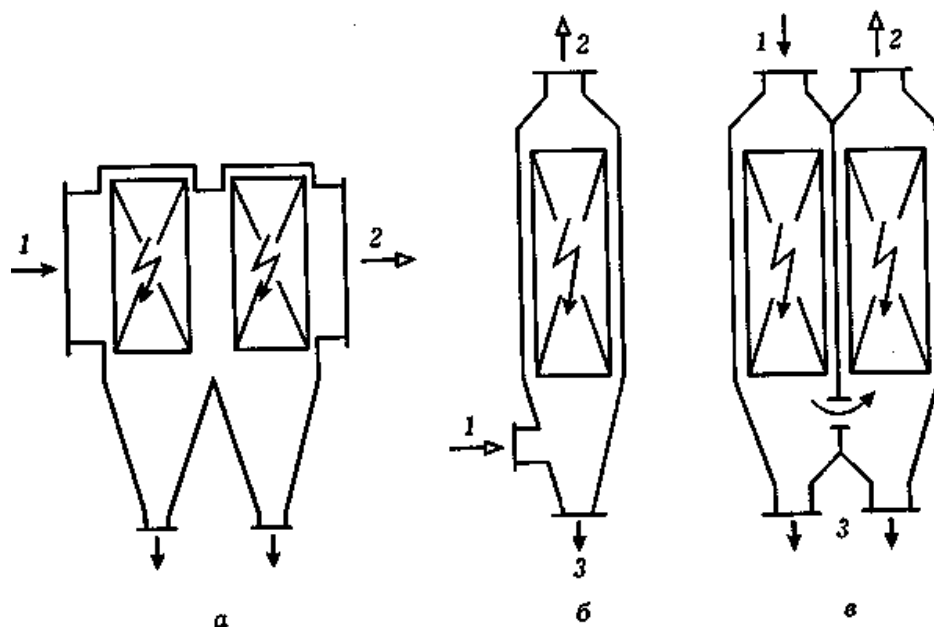


Рисунок 6.9 – Схеми електрофільтрів:

а) горизонтальний багатопільний; б) вертикальний однопільний; в) вертикальний двопільний

Широке застосування одержав багатопільний (кілька електричних полів) *горизонтальний електрофільтр* (рис. 6.9, а), в якому можна регулювати параметри кожного електричного поля. *Вертикальні електрофільтри* виконують однопільними (рис. 6.9, б) і двопільними (рис. 6.9, в). Сухі електрофільтри рідко виготовляють вертикальними, мокрі – частіше.

Осадні електроди електрофільтрів можуть бути *пластинчасті* – за їх допомогою створюють підвищену напруженість поля, *трубчасті* – завдяки зручності струшування їх використовують тільки у вертикальних електрофільтрах, *перфоровані* – оснащені отворами різної конфігурації, *карманні* – мають кармани для відводу пилу під кутом 40° назустріч газовому потоку.

Апарати акустичного очищення. Пилоочищення сухими методами, незважаючи на високоефективне уловлювання крупнодисперсного пилу, не може забезпечити очищення від дрібнодисперсної фракції (менше $5 \cdot 10^{-6}$ м) більше 95 %. Низка методів, збільшуючи ефективність, часто призводить до значного ускладнення схем пилоочищення. Виникає

необхідність застосування нових принципів створення схем пилоочищення, які поєднують в одному апараті декілька ступенів очищення, що базуються на використанні відцентрових, інерційних сил, сил тяжіння або на зміні фізичних параметрів пилу.

Застосування акустичного і магнітного полів є більш прогресивним способом швидкого збільшення субмікронних частинок промислового пилу з метою їх наступного уловлювання у відцентрово-інерційних пиловловниках, описаних вище.

Процес акустичної коагуляції аерозолів відбувається наступним чином: впливаючи звуковими (ультразвуковими) хвилями на промислові гази, що містять завислі частинки, за певних умов досягають такого коливного руху частинок, за якого значно збільшується зіткнення частинок між собою, у результаті чого вони злипаються, утворюючи великі агрегати (коагулюють), що значно полегшує наступне очищення газів у газоочисних апаратах.

Відповідно до сучасних поглядів на завислі в газах частинки **при наявності впливу акустичних коливань діють три основних фактори:**

- спільне коливання частинок і газового середовища;
- динамічні сили між сусідніми частинками;
- тиск акустичного випромінювання.

Залежно від умов зависла частинка або бере участь у коливанні середовища (цілком чи частково), або ні.

Пристрій для акустичної коагуляції завислих частинок зазвичай складається з генератора звукових або ультразвукових коливань і агломераційної камери. Загальний вигляд пристрою для акустичної коагуляції завислих частинок наведений на рис. 6.10.

Як **генератори акустичних коливань** у промислових установках застосовують в основному *випромінювачі механічного типу* – статичні і динамічні сирени, а також свистки.

Найбільше поширення одержала **сирена динамічного типу**, що складається з ротора, статора, джерела стисненого газу й електродвигуна. Надлишковий тиск стисненого газу, що надходить у сирену, складає 0,02-0,2 МПа. Діапазон частот випромінюваних коливань у сирен складає 3-5 кГц. Рівень звукового тиску коливається у межах 100 і більше дБ.

Звукова агломераційна камера переважно виконується у вигляді вертикальної порожнистої вежі круглого перетину У верхній частині вежі встановлюють акустичний генератор, а в нижній – бункер для збору і видалення агломерованих частинок, які осаджуються.

Діаметр і висота агломераційної вежі визначається на основі двох параметрів – кількості газів, що піддаються обробці, і часу витримки їх у вежі, необхідного для досягнення достатньої коагуляції. Для оброблення газів з високою температурою вежі оснащуються теплоізоляцією з метою запобігання конденсації вологи. Теплова ізоляція є одночасно і звуковою. Газовий потік пропускається через вежу як зверху, так і знизу.

Ефективність коагуляції залежить від концентрації і розмірів завислих частинок, інтенсивності і частоти звукового поля і тривалості впливу поля на аерозоль.

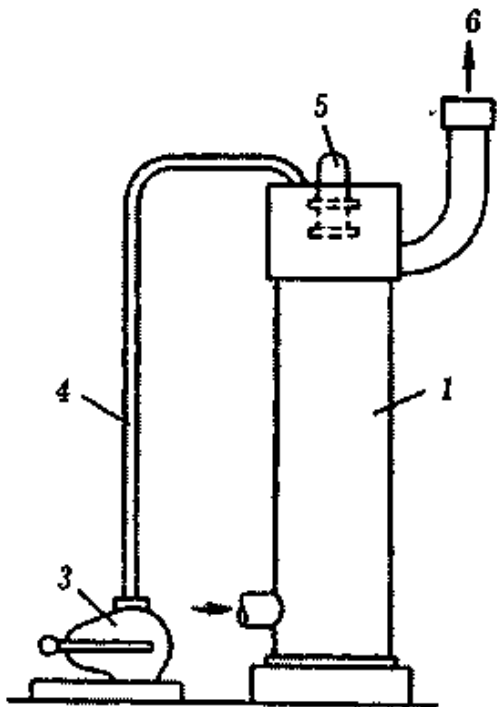


Рисунок 6.10 – Схема установки для укрупнення завислих у газах частинок за допомогою акустичних коливань: 1 – агломераційна камера; 2 – забруднене повітря; 3 – компресор; 4 – трубопровід повітря високого тиску; 5 – генератор акустичних коливань; 6 – очищене повітря

В окремих випадках зображена на рис. 6.10 установка може застосовуватися як коагулювальна і газоочисна. Але, як правило, її застосовують для попереднього очищення і встановлюють перед газоочисними апаратами більш інтенсивної дії, ніж агломераційна вежа (перед циклонами, газоочисними апаратами мокрого типу, тканинними фільтрами та ін.).

Магнітні пиловловники.

Основу магнітного методу газозоводоочищення становить *магнітодинаміка*, що вивчає закони поведінки дрібних феромагнітних частинок у магнітних полях. Під дією сил поля можна змінити траєкторії руху частинок і відокремити їх від середовища, яке очищається. У реальних умовах магнітні сили зазвичай використовуються у поєднанні з іншими силами: інерції, гравітації і т.д., що дає підставу розглядати в окремих випадках магнітний метод очищення як істотне доповнення до відомих методів. У таблиці 6.2 визначається місце магнітного методу газозоводоочищення.

У виробництво впроваджуються такі *модифікації магнітних очисних апаратів*, як магнітні коагулятори, контактні магнітні осадники, прохідні магнітні фільтри.

Магнітні коагулятори. Основні закономірності магнітного методу газозоводоочищення доводять, що його висока ефективність є наслідком розвитку такого фізичного процесу, як магнітна коагуляція. Потрапляючи у магнітне поле, феромагнітні частинки намагнічуються і взаємно притягаються, утворюючи нитковидні агрегати довжиною до 10-50 мм, орієнтовані вздовж силових ліній поля.

Таке умовне перетворення тонкодисперсних фракцій на грубодисперсні безпосередньо перед апаратами механічного очищення або будь-якими фільтрами підвищує їх ККД.

Таблиця 6.2 – Класифікація магнітних пиловловників для механічного очищення газів

| Апарати для механічного очищення газів | |
|---|---|
| Пиловловники, робота яких базується на використанні гравітації, інерції або дифузії | Фільтри, робота яких базується на ударному, ситовому або лабіринтовому ефекті |
| Магнітний коагулятор – пилоосадна камера | Магнітний фільтр з гідрозмивом |
| Магнітний коагулятор – жалюзійний пиловловник | Магнітний кульковий фільтр ротаційного типу (сухий) |
| Магнітний коагулятор – циклон | Магнітний фільтр з рухомим магнітним полем (сухий)* |
| Магнітний циклон | Магнітний фільтр з обертовим магнітним полем (сухий)* |
| Скрубер з магнітною насадкою | Магнітний фільтр з ультразвуковою коагуляцією* |
| Скрубер з магнітною насадкою | Магнітний шламоосадник |
| Магнітний контактний фільтр | Магнітний фільтр з напиленням магнітної фільтротканини |
| Магнітні пилоподавачі | Волокнисті, сітчасті, зернисті фільтри з накладанням магнітного поля |

Примітка: *апарати, які уловлюють немагнітний пил.

Магнітні коагулятори – це пристрої для намагнічування й укрупнення феромагнітного компонента. Оскільки процес коагуляції феромагнетиків притаманний усім видам магнітних апаратів, то магнітні осадники і фільтри включають коагулятор як складову частину. У конструктивному виконанні магнітний коагулятор найчастіше являє собою електромагнітну котушку, що охоплює трубопровід, параметри якої розраховуються стосовно до умов очищення. Магнітні коагулятори можуть бути виконані:

- з електромагнітною системою – на постійному і змінному струмі;

- на постійних магнітах – стаціонарного типу і з механічними системами, що створюють обертове магнітне поле.

Якщо для водоочищення втілення цієї ідеї не являє технічних труднощів, то у випадку газоочищення, коли доводиться працювати з апаратами громіздкими, створення магнітного поля у великому перерізі газозоходу (апарата) пов'язане із подоланням серйозних конструктивних труднощів. Тому магнітні коагулятори встановлюються посекційно на розчленованому газозоході або йому надаються спеціальні концентратори магнітної енергії. Ця ідея набула подальшого удосконалення і розвитку у контактних магнітних фільтрах або осадниках.

Контактні магнітні осадники. Магнітна сепарація – намагнічування й осадження феромагнітного компонента диспергованих частинок – у цих пристроях здійснюється за контактного зіткнення газу, що очищається і містить завислі частинки, з поверхнею активної зони магнітної системи.

Для підвищення ефективності осадження потоку надається напрямок, який не лише забезпечує його ковзання по активній поверхні осадника, але й утворює невеликий кут між напрямком потоку і цією поверхнею.

Схеми конструктивного виконання магнітних осадників з різним ступенем розвитку магнітоактивної поверхні наведені на рис. 6.11.

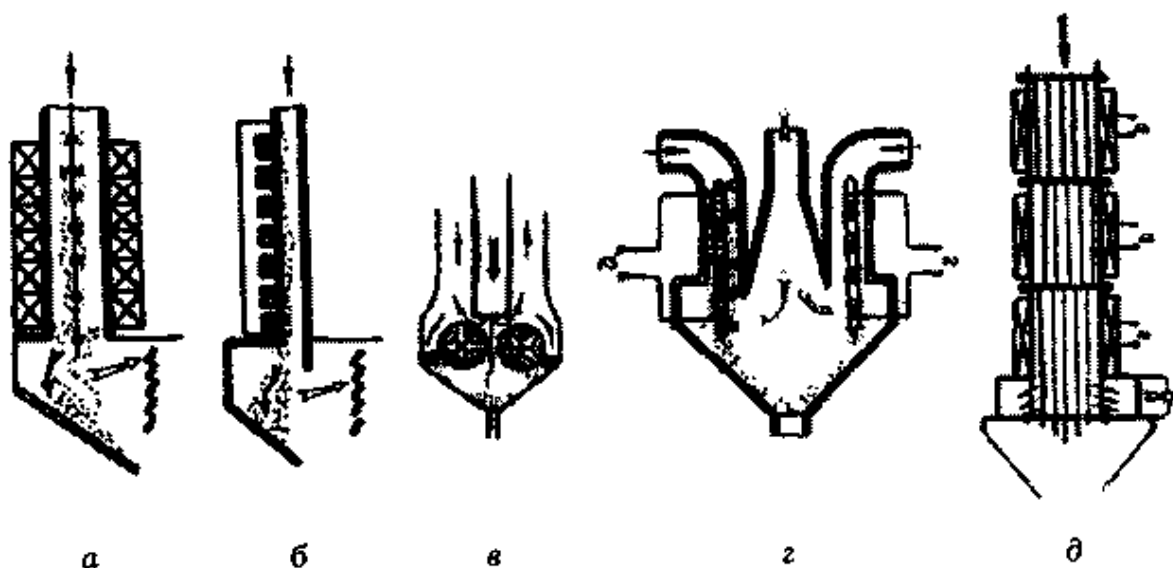


Рисунок 6.11 – Схеми конструктивного виконання магнітних осадників:
 а) коагулятори з електромагнітною системою соленоїдного типу; б) коагулятор з рухомих магнітним полем; в), г), д) контактні магнітні осадники

Магнітні коагулятори і контактні магнітні осадники *призначені* для грубого і попереднього очищення. Їх *переваги* полягають у простоті конструктивного виконання, низькому гідравлічному опорі і порівняно високій ефективності. Ці пристрої газоочищення можуть бути виконані як у «сухому», так і у «мокрому» варіанті. Діапазон їх застосування – системи газоводоочищення підприємств чорної і кольорової металургії, машинобудування тощо.

Прохідні магнітні фільтри. Найбільш складними, але і *найбільш досконалими серед магнітних уловлювачів* є магнітні фільтри, в яких осадження аерозолів здійснюється за рахунок ситового, ударного і лабіринтового ефектів, у значній мірі посилених магнітною взаємодією. Висока ефективність механізму магнітної фільтрації пояснюється магнітною коагуляцією і надзвичайно великою місткістю фільтротканини у магнітному полі. Очищення відбувається у шарі «магнітної тканини», утвореної з ферогранул, в об'ємі яких індукується зовнішнім джерелом поліпільна поліградієнтна структура. Така магнітна тканина створює

основу для розвитку вторинної магнітної тканини з уловлених феромагнітних частинок.

У цьому випадку створюється магнітозамкнена система, тобто енергетично найбільш вигідна магнітна мережа з мінімальними потоками розсіювання. Витрата електроенергії у такій системі у 5-6 разів нижча, ніж у магнітних коагуляторах.

Під час роботи фільтротканина заростає, її пори, канали забиваються феромагнітними частинками, магнітний опір цієї ділянки мережі зменшується, проте зростає гідравлічний опір фільтра. Тому необхідно здійснювати регенерацію фільтротканини.

Магнітні пиловловники. «Сухі» магнітні фільтри поділяються на дві групи. **До першої групи** відносяться ті з них, в яких фільтротканина виводиться із зони магнітного поля, після чого вона втрачає «монолітність», з'єднувальна дія магнітних сил слабшає, фільтротканина розпадається на складові частини і відокремлюється від пилової фракції сепарацією або просіванням. **У другій групі** магнітних фільтрів регенерація здійснюється продуванням або відсмоктуванням за аналогією з рукавними фільтрами.

До «сухих» фільтрів відноситься **фільтр на постійних магнітах** типу «магнітний ротор». Він складається з корпусу, виконаного з немагнітного матеріалу закріпленого на рамі. У нижній частині корпусу розміщений бункер для збирання уловленого пилу. Газохід, по якому подається запилений газ, підводиться до верхньої частини корпусу. До центральної його частини приєднаний газохід для відведення очищеного газу. У середині корпусу знаходиться ротор, що обертається за допомогою електродвигуна.

«Сухий» **фільтр, аналогічний «намивному»**. У цьому випадку магнітна фільтротканина утворюється лише з феромагнітних частинок пилу, що осіли на полюсах обертової магнітної системи. Регенерація здійснюється за допомогою повільного виведення магнітної тканини з поля. Ефективність газоочищення і гідравлічний опір в апараті цього типу регулюються швидкістю обертання магнітної системи, виконаної на постійних магнітах [15].

Висновок. Останнім часом швидко розширюється застосування фільтрувальних апаратів, в яких пил відокремлюється шляхом пропускання газу (повітря) через пористі перегородки. Фільтри використовують частіше, ніж інші пристрої, у випадках, коли концентрація пилу на виході з апарата не повинна перевищувати 50 мг/м^3 , або якщо потрібно вловлювати цінні порошкоподібні продукти.

Питання для самоконтролю:

1. Наведіть загальну характеристику фільтрувальних апаратів.
2. Охарактеризуйте тканинні фільтри.
3. Поясніть конструкцію та принцип дії волокнистих фільтрів.

4. Охарактеризуйте особливості зернистих фільтрів.
5. Розкрийте конструктивні особливості повітряних фільтрів.
6. Поясніть конструкцію та принцип дії фільтрів-тумановловників.
7. Охарактеризуйте особливості установок електричного очищення газів.
8. Охарактеризуйте конструкцію та принцип дії апаратів акустичного очищення газів.
9. Розкрийте конструктивні особливості магнітних пиловловників.

ЛЕКЦІЯ 7

ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ ВІД ГАЗО- І ПАРОПОДІБНИХ ДОМІШОК. МЕТОДИ ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ ВІД ПРОМИСЛОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ

ПЛАН

1. Методи очищення промислових викидів від газоподібних домішок.
2. Класифікація методів охорони навколишнього середовища (НС) від промислових забруднень.
3. Нові типи фізико-хімічних процесів охорони довкілля від промислових забруднень.

7.1. Методи очищення промислових викидів від газоподібних домішок

Методи очищення промислових викидів від газоподібних домішок за характером протікання фізико-хімічних процесів *поділяються на групи:*

- 1) промивання викидів розчинниками, що не сполучаються із забруднювачами (метод абсорбції);
- 2) поглинання газоподібних домішок твердими активними речовинами (метод адсорбції);
- 3) промивання викидів розчинами реагентів, що вступають у хімічне з'єднання із забруднювачами (метод хемосорбції);
- 4) поглинання домішок шляхом застосування каталітичного перетворення (використання каталізаторів);
- 5) термічна обробка викидів;
- 6) осаджування в електричних та магнітних полях;
- 7) виморожування.

Сорбцією називається поглинання твердим тілом чи рідиною речовини з навколишнього середовища.

Зворотний процес називають **десорбцією** (найчастіше його здійснюють підвищенням температури чи зниженням тиску речовини, що сорбується).

Метод абсорбції. Абсорбцію у техніці часто називають скрубберним процесом очищення. Принцип цього методу полягає у розділенні газоповітряної суміші на складові частини поглинанням одного або кількох газових компонентів (*абсорбантів*) цієї суміші рідким поглиначем (*абсорбентом*) з утворенням розчину. Рухомою силою при цьому є градієнт концентрації на межі фаз «газ-рідина». Розчинений у рідині абсорбант внаслідок дифузії проникає у внутрішні шари абсорбента. Даний процес визначається величиною поверхні розділення фаз, турбулентністю потоків і коефіцієнтом дифузії. Головною умовою у виборі абсорбента є розчинність у ньому компонента, який вилучається, та її залежність від температури й парціального тиску. Так, наприклад, для видалення з технологічних викидів хлористого чи фтористого водню як поглинальну рідину застосовують воду, рідше – сірчану кислоту або в'язку олію та ін.

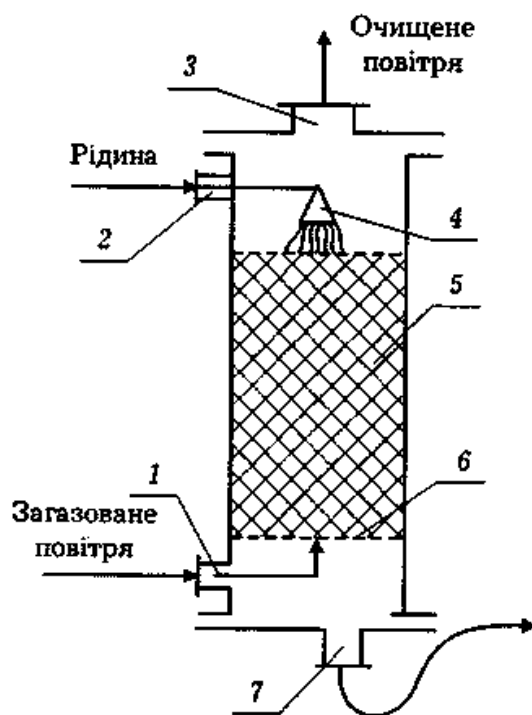
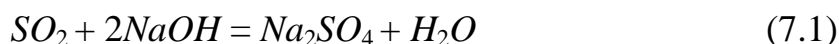


Рисунок 7.1 – Схема абсорбера:

1 - вхідний патрубок; 2 - патрубок для подачі рідини; 3 - вихідний патрубок; 4 - розбризкувач; 5 - шар рідини; 6 - сітка

сірки як поглинач (нейтралізатор) застосовують розчин лугу, у результаті реакції одержують сіль:



Метод адсорбції. Адсорбційний метод дозволяє вирішувати завдання щодо глибокого очищення технологічних викидів від шкідливих

речовин. Якщо правильно вибрати технологічний режим, схеми та апаратуру, то можна практично повністю видалити шкідливі речовини з повітря виробничих приміщень. Разом з цим адсорбційний метод відіграє важливу роль – вловлює і повертає в технологічний процес деякі цінні речовини (у т.ч. розчинники). Цей метод найчастіше застосовують для очищення атмосферного повітря від летких компонентів лакофарбових матеріалів, карбамідоформальдегідних смол та ін.

Адсорбцію поділяють на фізичну адсорбцію і хемосорбцію. У випадку фізичної адсорбції молекули газу прилипають до поверхні твердого тіла під впливом міжмолекулярних сил тяжіння. Теплота, що при цьому вивільнюється, за значенням збігається з теплотою конденсації пари. *Перевага фізичної адсорбції* – зворотність процесу, особливо за умови, якщо економічно вигідно рекуперувати газ або адсорбент.

В атмосферному повітрі у місцях розміщення деревообробних підприємств може знаходитися значна кількість пари формальдегіду. Основними джерелами забруднення повітря такою речовиною є: личкувальні, клеїльні цехи, а також цехи з виробництва клеєної фанери, деревинно-стружкових плит, варіння і приготування сечовиноформальдегідних смол і т.н.

Для очищення атмосферного повітря від пари формальдегіду застосовують спеціальні *установки-фільтри* (рис. 7.2).

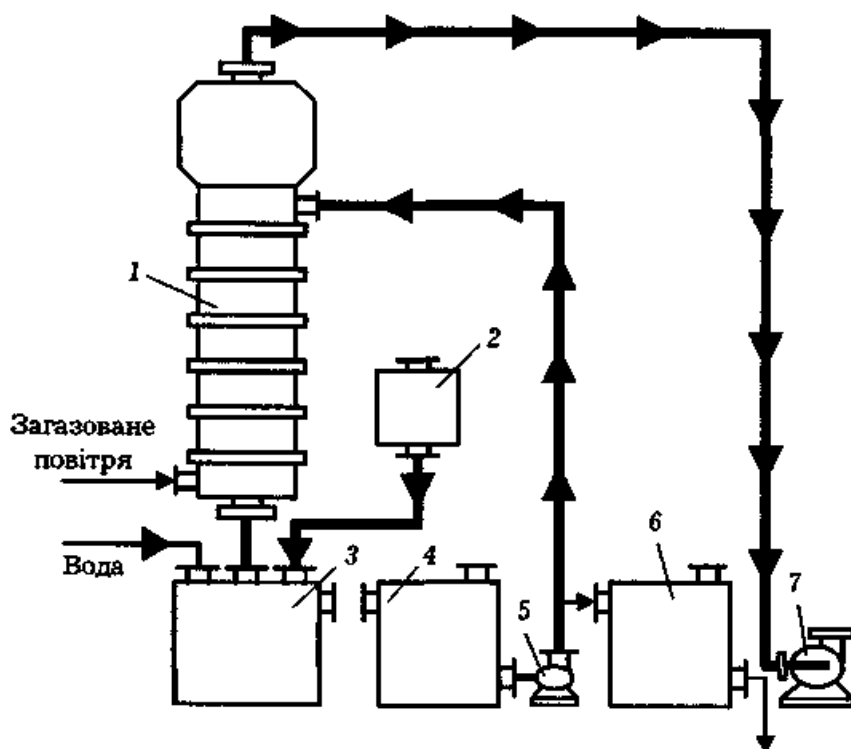
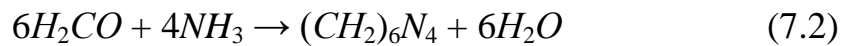


Рисунок 7.2 – Схема установки для очищення повітря від пари формальдегіду:

1 – шеститарілчаста колонка; 2 – мірник аміаку; 3 – реактор; 4 – ємність; 5 – насос; 6 – збирач; 7 – вентилятор

Принцип роботи установки: повітря, забруднене формальдегідом, подається в адсорбер (1) знизу догори через шари активованого вугілля, у результаті чого відбувається адсорбція (поглинання) пари формальдегіду. Процес адсорбції триває 30 хв., після чого вугілля автоматично висипається в реактор (3). У цей момент у реактор подається вода, а з мірника (2) – розчин аміаку. Уся суміш у реакторі перемішується спеціальним роторним механізмом, відбувається хімічна реакція:



У результаті реакції вловлений поглиначем формальдегід H_2CO під дією аміаку нейтралізується і переходить в уротропін $(CH_2)_6N_4$. Отже, досягається відповідне очищення повітря від формальдегіду та утворення нової речовини – уротропіну, застосування якого досить різноманітне.

Метод хемосорбції ґрунтується на поглинанні газів і пари твердими або рідкими поглиначами з утворенням малолетких або малорозчинних хімічних сполук. Поглинальна здатність хемосорбента не залежить від тиску, через що хемосорбція більш вигідна за незначної концентрації забруднень. Більшість реакцій, що відбуваються у процесі хемосорбції, є екзотермічними та оборотними, оскільки хімічна сполука у разі підвищення температури розкладається на вихідні елементи.

У ролі адсорбентів найчастіше застосовують речовини, що мають велику площу поверхні на одиницю маси. Такою речовиною є активоване вугілля (марки АГ, СКТ або АР), оскільки питома поверхня його сягає 105-106 м²/кг. Такі поглиначі відрізняються від інших значною гідрофобністю та адсорбційною здатністю.

Установки, що уловлюють пару розчинників, яку після її оброблення повертають у вигляді продуктів розкладу знову у виробництво, називають рекупераційними. На рис. 7.3 наведена схема **рекупераційної установки**.

Принцип роботи установки: повітря, що містить в собі пару розчинника, вентилятором (1) подається в адсорбер (4). Пройшовши шихту адсорбера, очищене повітря викидається в атмосферу. Після спрацювання шихти потік повітря подають у паралельний адсорбер, а у попередньому адсорбері здійснюють десорбцію пари розчинника перегрітою водяною парою, що подається протипотоком у напрямку подачі забрудненого повітря на стадії адсорбції. Суміш водяної пари та пари розчинника потрапляє в холодильну камеру (6), де відбувається охолодження і конденсація водяної пари. Конденсат подається в конденсатор (5), а далі відводиться за межі установки. Пара розчинника подається у фракціонатор, де відбувається її розділення на легкі і важкі вуглеводні. Отримані компоненти поступають у спеціальні камери, де за певних умов відбувається перетворення газової суміші в рідку фазу, після чого вже гото-

вий розчинник знову подається у виробництво для повторного його використання.

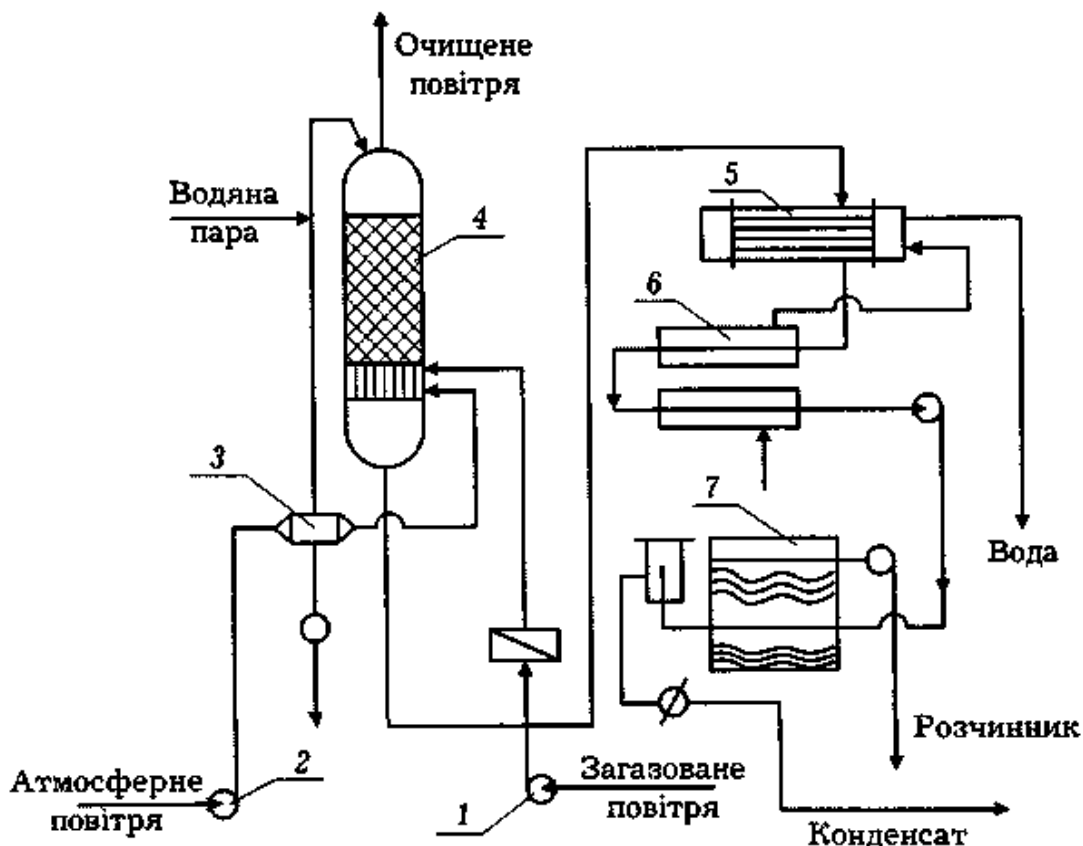


Рисунок 7.3 – Схема рекуперативної установки:

1, 2 – вентилятори; 3 – нагрівач; 4 – адсорбер; 5 – конденсатор; 6 – холодильник; 7 – сепаратор

Ступінь «витягування» розчинника в таких установках досягає 95-99 %, а залишковий вміст його у повітрі, що виходить з адсорбера, не перевищує $0,5 \text{ г/м}^3$.

Продуктивність рекуперативних установок такого типу $10-150 \text{ тис.м}^3$ повітря за 1 годину, а концентрація в ньому пари розчинника $0,5-20 \text{ г/м}^3$.

Каталітичний метод очищення. Каталітичний метод очищення використовують для перетворення розчинників і розріджувачів у нешкідливі або менш шкідливі речовини за допомогою каталізаторів. Наявність каталізаторів різко скорочує процес і габарити очисного обладнання. У даному випадку температура реакції порівняно з термічною оксидацією істотно знижується.

Як каталізатори використовують платину, метали платинового ряду, окиси міді, двоокис марганцю, п'ятиокис ванадію.

Основним апаратом для каталітичного очищення є *реактор*, робота якого характеризується певними технологічними параметрами.

Товщину шару каталізатора δ , м, визначають за формулою:

$$\delta = \frac{L_{\text{внт}} \cdot C_o \cdot n \cdot C''}{S_k \rho_{\text{н.к}} S_{\text{н.п}} \omega_p}, \quad (7.3)$$

де $L_{\text{внт}}$ – витрата повітря, м³/с;

C_o – концентрація токсичних речовин у повітрі, що поступає на очищення, моль/м³;

C – концентрація шкідливих речовин у повітрі, що пройшли через каталізатор, моль/м³;

S_k – площа шару каталізатора, м²;

$\rho_{\text{н.к}}$ – насичена щільність каталізатора, кг/м³;

$S_{\text{н.п}}$ – питома поверхня каталізатора, м²/кг;

ω_p – швидкість гетерогенної каталітичної реакції, моль/(м²с).

На рис. 7.4 наведена схема **каталітичного реактора**, що застосовується для очищення повітря від пари толуолу.

Принцип дії реактора: забруднене толуолом повітря подається на підігрівання у міжтрубному просторі теплообмінника – рекуператорі (1), звідки по перехідних каналах переходить у підігрівач (5). У пальнику (4) спалюється природний газ. Продукти спалювання, змішуючись з повітрям, підвищують температуру горіння до 250-350 °С, тобто до рівня, що забезпечує оптимальну швидкість окислення толуолу. Процес хімічного знешкодження протікає на поверхні каталізатора (3), розміщеного в контактному пристрої (2).

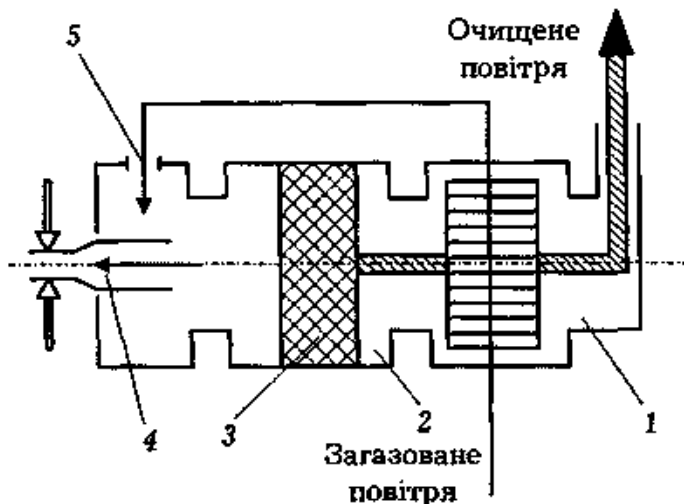


Рисунок 7.4 – Схема каталітичного реактора:
1 – теплообмінник-рекуператор; 2 – контактний пристрій; 3 – каталізатор; 4 – пальник; 5 – підігрівач

Суміш повітря і продуктів реакції за температури 350-450 °С спрямовується знову в рекуператор (теплообмінник) (1), де віддає теплоту газоповітряному потоку, що подається на очищення, а відтак через патрубок виводиться в атмосферу [15].

Біохімічний метод. Біохімічний метод базується на здатності мікроорганізмів руйнувати й перетворювати різні сполуки.

Речовини розпадаються під дією ферментів, вироблених мікроорганізмами під впливом окремих сполук або групи речовин, наявних у газах, що очищаються.

Біохімічний метод газоочищення найбільше *застосовується* для очистки відвідних газів постійного складу. При частій зміні газу мікроорганізми не встигають адаптуватися до нових речовин і виробляють недостатню кількість ферментів для їх розкладання, внаслідок чого біологічна система матиме слабку руйнівну здатність відносно шкідливих компонентів газів. *Високий ефект газоочищення* досягається за умови, що швидкість біохімічного окислення вилучених речовин більша, ніж швидкість їх надходження із газової фази.

Метод термічної нейтралізації. Метод базується на допалюванні та термічній нейтралізації шкідливих речовин у викидах (горючі токсичні компоненти (гази, пари та дуже ароматні речовини) окислюються до менш токсичних за наявності вільного кисню та високої температури газової суміші).

Переваги методу – відсутність шламів, невеликі габарити очисних установок, простота їх обслуговування, можливість автоматизації їх роботи, висока ефективність знешкодження шкідливих речовин. *Використовується* тоді, коли об'єми викидів надто великі, а шкідливі домішки піддаються спалюванню. Ефективність очищення систем термічного та вогневого знешкодження – 99%. *Застосування обмежується* характером утворених при окисленні продуктів реакції – лише для викидів, що не містять токсичних компонентів (органічні речовини, до яких не входять галогени, сірка та фосфор). Ефективний при очищенні викидів від лакофарбових та просочувальних ділень [6].

Спалювання використовують для знешкодження горючих вуглеводнів, що не використовуються у виробництві. З економічного погляду – це малоефективний процес, оскільки теплота не використовується і тільки призводить до теплового забруднення навколишнього середовища.

Отже, усі методи очищення промислових димових викидів можна розподілити на три групи: механічні, фізико-хімічні і хімічні (рис. 7.5). Вибір методу очищення залежить від кількості відхідних газів та їх складу [7].

Послідовність вибору типу очисних пристроїв та фільтрів така:

- виявлення характеристик викидів (температура, вологість, вид та концентрація домішок, токсичність, дисперсність тощо);
- визначення типу очисного пристрою або фільтра за витратою газу, необхідним ступенем очищення, можливостями виробництва та іншими факторами;
- знаходження робочої швидкості газів;
- техніко-економічний аналіз можливих варіантів очищення;
- розрахунок параметрів очисного пристрою;
- проектування та вибір очисного пристрою або фільтра.

При виборі засобів очищення викидів в атмосферу враховують такі рекомендації:

- сухі механічні способи та пристрої не ефективні при видаленні дрібнодисперсного та липкого пилу;
- мокрі методи не ефективні при очищенні викидів, в яких містяться речовини, що погано злипаються й утворюють грудки;
- електроосаджувачі не ефективні у випадку видалення забруднень з малим питомим опором і тих, які погано заряджаються електрикою;
- рукавні фільтри не ефективні для очищення викидів з липкими та зволженими забрудненнями;
- мокрі скрубери не можна застосовувати для роботи поза приміщеннями в зимових умовах [6].

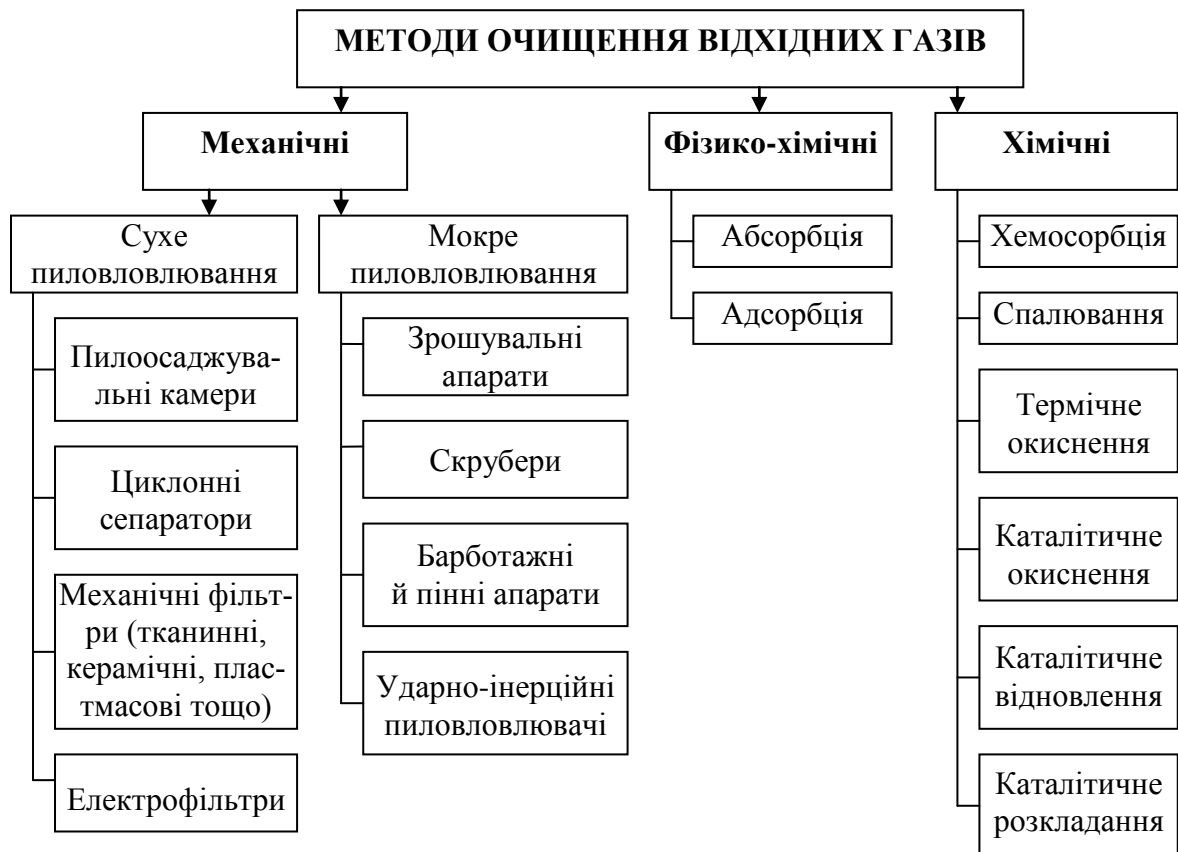


Рисунок 7.5 – Методи очищення відхідних газодимових викидів

7.2. Класифікація методів охорони навколишнього середовища (НС) від промислових забруднень

Існують два принципово різних шляхи захисту довкілля від антропогенного забруднення.

Перший – очищення шкідливих викидів (промисловості, сільськогосподарських підприємств тощо).

Другий, найбільш радикальний та економічний, – розробка безвідходних технологічних процесів, які найбільш повно імітують замкнені природні процеси. Уся сировина, що надходить у виробництво, пере-

робляється на корисні продукти або передається на сусіднє виробництво.

Дотепер основні зусилля були спрямовані на розширення мережі очисних споруд. Це було неминучим, оскільки вся промисловість до 60-х рр. XX століття розвивалася без урахування можливості безвідходної технології. Забруднення біосфери нібито планувалися, тобто проектувався завод, що мав давати певну кількість викидів та відходів, і паралельно проектувалися очисні споруди відповідної потужності.

Щоб мати можливість застосовувати певні заходи для усунення тих чи інших джерел забруднення біосфери, потрібно, насамперед, віднайти їх і встановити зв'язок між забрудненням і його наслідками.

Методи охорони навколишнього середовища від забруднення відходами виробництва за своєю сутністю становлять сукупність технічних і організаційних заходів, що дозволяють звести до мінімуму або цілком виключити викиди в біосферу як матеріальних, так і енергетичних забруднень.

Проте певних універсальних рецептів, що радикально вирішують проблему боротьби із забрудненнями, поки що, на жаль, не існує. Метод, що дає непогані результати у випадку одного забруднення певної концентрації чи рівня, може виявитися безрезультатним або малоефективним в інших умовах. Найбільш ефективним зазвичай виявляється поєднання декількох методів, раціонально підібраних стосовно до даного конкретного випадку.

Класифікацію методів охорони навколишнього середовища від промислових забруднень наведено на рис. 7.6.

Пасивні (захисні) методи – їх використання не пов'язане з безпосереднім впливом на джерело забруднення. Це традиційно застосовувані методи очищення й утилізації. На нинішньому рівні розвитку технологій застосування цих методів – основний засіб боротьби із забрудненням навколишнього середовища.

Активні методи – удосконалення існуючих і розробка нових технологічних процесів, устаткування й оснащення з метою максимального зниження маси, концентрації матеріальних або рівня енергетичних забруднень усякого роду. За такого підходу проблема вирішується радикально. Тому цим прогресивним методам приділяється дедалі більша увага, проте існують труднощі, пов'язані зі зміною (часто корінною) існуючої технології виробництва.

Питання про **раціональне розміщення джерел забруднення** (захисту відстанню) вирішується на різних рівнях (загальнодержавному, регіональному, місцевому) залежно від їх масштабу (розташування територіально-промислових комплексів на території країни; виробничих об'єднань та окремих підприємств у державі, області, місті; цехів усередині підприємства; устаткування всередині цеху), зокрема, враховується велика кількість чинників (рівень виробничої шкоди, рельєф місцевості, метеоумови, водопостачання, каналізація, населеність, планування ви-

робничих будинків і кварталів житлової забудови, особливості технології виробництва тощо).

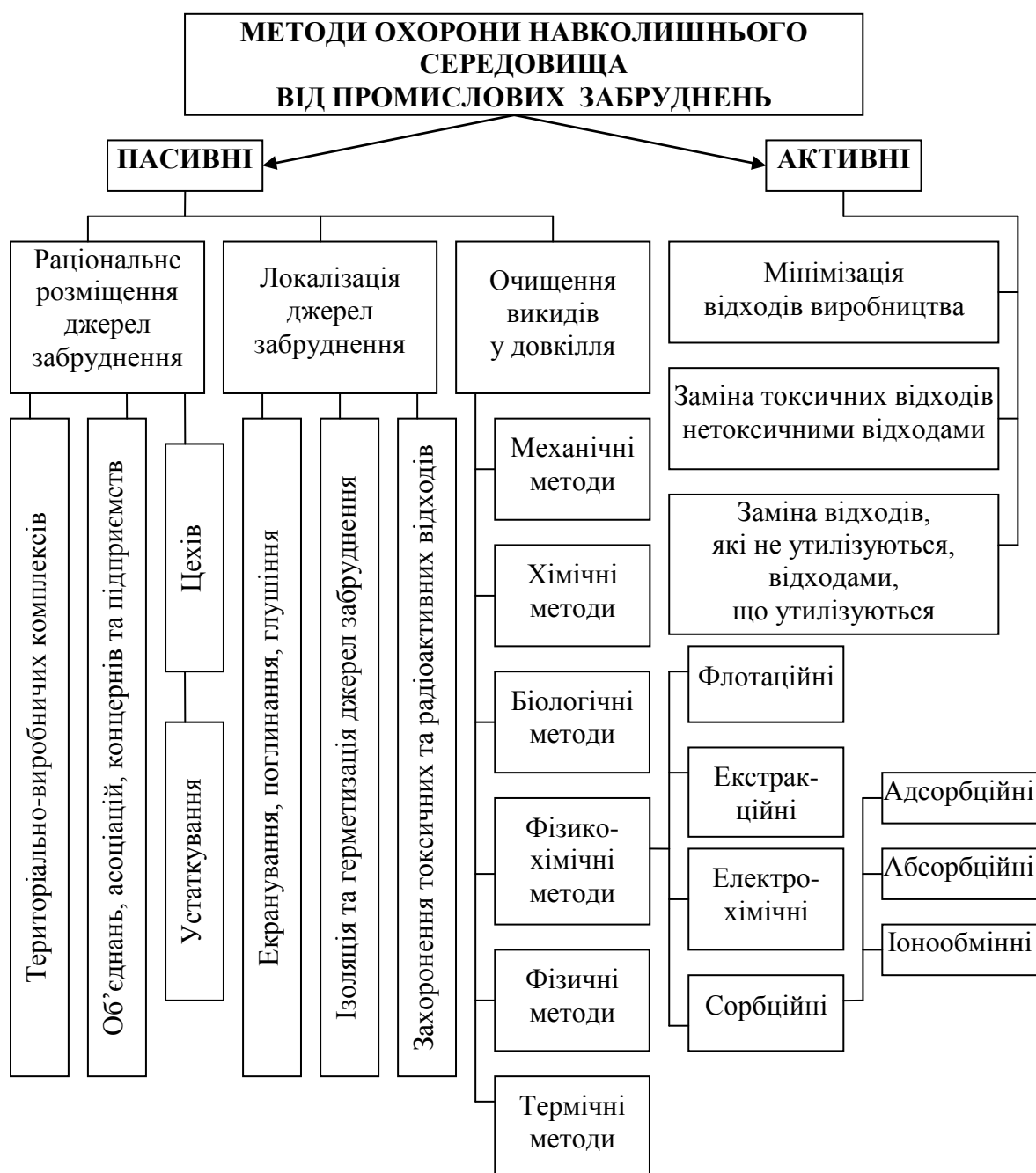


Рисунок 7.6 – Класифікація методів охорони навколишнього середовища від промислових забруднень

Принциповим напрямом охорони довкілля від промислових викидів є *створення безвідходних чи маловідходних технологічних процесів*, за яких викиди відсутні або відносно невеликі. Будь-який викид речовин у навколишнє середовище є незворотною втратою. Проте, у промисловості не повинно бути відходів: будь-які відходи – це речовини, що рано чи пізно повинні стати сировиною для отримання інших продуктів, а не викидатися. І якщо не завжди і не скрізь віднайдені шляхи

створення безвідходних процесів, не розроблені способи корисного використання відходів, то необхідно очищати викиди, щоб не порушити санітарні норми.

Очищення викидів у повітряний басейн і скидів у водойми здійснюється шляхом звільнення від шкідливих речовин, що містяться в них, з метою зниження концентрації забруднювачів до рівня, за якого біосфера не буде зазнавати шкоди. Виділені у процесі очищення тверді чи рідкі домішки утилізуються або вивозяться на звалище. Токсичні домішки або підлягають похованню, або знешкоджуються відповідним способом.

Вибір методу очищення залежить від низки чинників:

- кількості відходів;
- їх фізико-хімічних властивостей;
- концентрації шкідливих речовин у викидах або стоках;
- необхідного ступеня очищення тощо.

Механічні методи використовуються у випадках застосування спеціальних пристроїв гравітаційного, відцентрового й інерційного типів (осадних камер, пасток, відстійників, циклонів і т.п.), а також контактних фільтрів. Вони застосовуються в основному для попереднього очищення від грубодисперсних домішок (перший ступінь очищення).

У випадках застосування **хімічних методів** до відходів додаються різні реагенти, що вступають у взаємодію зі шкідливими речовинами (домішками). У результаті хімічних реакцій утворюються нові сполуки, які вже не завдають шкідливого впливу навколишньому середовищу, або відбуваються структурні зміни (наприклад, коагуляція), які інтенсифікують процес очищення.

Біохімічні методи застосовують для очищення стічних вод, що містять незначну кількість органічних і мінеральних речовин (близько 1 г/л). Вони полягають у руйнуванні органічних продуктів у результаті життєдіяльності мікроорганізмів. Ці способи надійні й ефективні для очищення не лише побутових (господарсько-фекальних) стічних вод, але і виробничих стоків для їх доочищення після обробки іншими способами.

Фізико-хімічні методи у свою чергу поділяються на:

- **флотаційні**, які базуються на дії молекулярних сил, що сприяють злипанню дрібних частинок суспензій та емульсій (наприклад, нафтопродуктів) з пухирцями диспергованого у стічних водах повітря і подальшого їх спливання на поверхню;

- **екстракційні**, які базуються на послідовно проведених процесах змішування вихідної стічної води з розчинником (екстрагентом) і наступного розділення рідких фаз, які практично не змішуються (рідина екстракція); застосовуються для вилучення зі стічних вод фенолів, жирних кислот, інших органічних речовин;

- **електрохімічні**, які базуються на використанні електроструму для здійснення окислювання і відновлення речовин; в умовах машино-

будування застосовуються для знешкодження ціаномістких стоків гальванічних цехів;

- *абсорбційні*, що дозволяють повертати у виробництво цінні компоненти, які містяться у стоках (абсорбційні, адсорбційні та іонообмінні).

Абсорбційний метод базується на дифузійному і хімічному поглинанні рідкими реагентами (абсорбентами) токсичних газів та сумішей їх випарів з повітря і застосовується для очищення, зокрема, викидів в атмосферу.

Адсорбційний метод застосовується для очищення як повітряних викидів, так і стічних вод. Він базується на поглинанні газів і пари з повітря або розчинених речовин зі стічних вод поверхнею твердих тіл (адсорбентів) з високою пористістю і великою питомою поверхнею шляхом пропускання газу чи рідини через шар адсорбента (активованого вугілля, цеолітів та ін.). Застосовується для рекуперації пари органічних розчинників, усунення неприємних запахів (в очищенні викидів) і для видалення зі стоків поверхнево-активних речовин, барвників.

Іонообмінний метод базується на використанні іонітів твердих природних або штучних матеріалів, практично не розчинних у воді й органічних розчинниках. Іоніти здатні до іонного обміну, тобто вилучення з розчинів позитивно або негативно заряджених іонів (катионів чи аніонів) і поділяються відповідно на катионіти й іоніти. У практиці очищення стічних вод використовуються лише синтетичні іонообмінні смоли, які мають максимальну ефективність і можливість багаторазового використання іонітів з утилізацією цінних речовин, що містяться в стоках. Застосовується, зокрема, для очищення стоків гальванічних цехів.

Фізичні методи полягають у впливі на газ чи рідину випромінюваннями (ультразвуком, ультрафіолетовими променями та ін.) або полями (електричним чи магнітним).

Ультразвукове опромінення газу інтенсифікує процес очищення за рахунок укрупнення завислих у ньому частинок. **Електричне поле** високої напруги використовується в електрофільтрах тонкого очищення. Застосування **магнітних коагуляторів і фільтрів** дозволяє зробити більш ефективними процеси очищення стічних вод від феромагнітних частинок, що виносяться з металургійних агрегатів, а також утилізацію залізовмісних шламів.

До фізичних методів також слід віднести **випарювання**, яке застосовується у випадках малого об'єму стоків і високої концентрації забруднень у них.

Термічні методи очищення усіх відходів (газоподібних, рідких і твердих) полягають в окислюванні органічних речовин, що містяться в них, киснем повітря за високої температури до нетоксичних сполук, тобто шляхом спалювання цих відходів, у т.ч. з використанням каталіза-

торів. Застосовуються у випадках, коли повернення домішок (в газах чи стоках) у виробництво неможливе або недоцільне.

Для зниження рівнів енергетичних та інших забруднень застосовуються засоби захисту, які забезпечують їх часткову локалізацію. Більш високий ступінь локалізації забруднень може бути досягнутий шляхом **ізоляції і герметизації їх джерел**. Це здійснюється за допомогою спеціальних камер, кожухів, боксів і т.п., в яких розташовується технологічне устаткування, що виділяє полутанти – матеріальні чи енергетичні, які забруднюють навколишнє середовище.

Основними напрямками ліквідації і переробки твердих промислових відходів (крім металовідходів) є **вивезення і поховання на полігонах, спалювання, складування і зберігання** на території промислового підприємства до виникнення нової технології їх переробки на корисні продукти (сировину).

Поховання токсичних відходів здійснюється у тих випадках, коли їх неможливо або не вигідно утилізувати чи знешкоджувати. Радіоактивні відходи захороняються в землі у спеціальних довговічних контейнерах.

У більшості випадків жоден з розглянутих методів очищення самотійно не забезпечує необхідного ступеня очищення - його можна досягти, лише послідовно застосовуючи комбінацію раціонально підібраних методів.

Активні (технологічні і технічні) методи боротьби із забрудненнями навколишнього середовища **можуть здійснюватися за наступними основними напрямками**, поданими далі у порядку зростання ефективності й одночасно складності завдань, які необхідно вирішити:

- мінімізація шкідливих відходів виробництва (можлива завдяки удосконаленню технологічних процесів і устаткування). Завжди існують технологічні процеси, які необхідно екологізувати, тобто зробити менш шкідливими для навколишнього середовища. Завдання даного типу активної екологізації виробництва тісно переплітаються із завданнями, які вирішуються у напрямі охорони праці;

- заміна токсичних відходів нетоксичними (зазвичай досягається впровадженням нового технологічного процесу (процес травлення з токсичними стоками замінюється на голкофрезерування та ін.));

- заміна відходів, які не піддаються утилізації, такими, що утилізуються.

7.3. Нові типи фізико-хімічних процесів охорони довкілля від промислових забруднень

Для вирішення сучасних екологічних проблем також розробляються методи очищення на основі останніх досягнень плазмохімії, фотохімії, електрохімії, радіаційної хімії й ін. Серед розроблених нових типів фізико-хімічних процесів знешкодження газів, що викидаються, і промислових стоків є **радіаційне очищення за впливу прискорених**

електронів. Під дією прискорених електронів у стоках або газах відбувається радіоліз токсичних компонентів і перетворення їх на нетоксичні.

Термін «радіоліз» застосовують для позначення хімічних перетворень під дією іонізуючого випромінювання, подібно до того, як електроліз означає хімічні перетворення під дією електричного струму, фотоліз - під дією світла, піроліз - під дією тепла і т.п.

У результаті процесів радіолізу на першій стадії утворюються іони і нейтральні частинки, що мають неспарений електрон і називаються вільними радикалами. Вільні радикали, як правило, мають коротку тривалість існування, тому що швидко вступають у хімічні реакції. У газовій фазі радикали мають найбільш коротку тривалість існування; у твердому тілі їх рухливість ускладнена, і в окремих випадках вони можуть зберігатись тривалий час.

Особливість хімічних реакцій під дією випромінювання:

- хімічна взаємодія замінюється взаємодією молекул з валентно насиченими частинками (атомами, радикалами, іонами) і даними частинками між собою. Це істотно прискорює протікання хімічних реакцій, які зумовлюють процеси очищення від забруднень;

- характерні високі швидкості;

- можуть відбуватися за більш низьких температур, коли аналогічні звичайні реакції не відбуваються;

- універсальність впливу іонізуючого випромінювання практично на будь-які компоненти, яких у реальних викидах досить багато.

Радіаційне знешкодження токсичних домішок у розведених водних розчинах або газах, що містять пару води, полягає в непрямій дії іонізуючого випромінювання на водні системи. Спочатку в результаті опромінення і розпаду молекул води утворюються активні вільні радикали й іони (ОН, Н, гідратовані електрони й ін.). Потім ці активні частинки взаємодіють з токсичними домішками і перетворюють їх на нешкідливі продукти. Проміжні продукти радіолізу води володіють як сильними окисними, так і сильними відновними властивостями. Тому радіаційний метод для знешкодження багатьох забруднюючих компонентів є ефективним і універсальним.

Важливим є той факт, що системи радіаційної безпеки досить добре відпрацьовані і дозволяють експлуатувати радіаційні установки без будь-якої шкоди для обслуговуючого персоналу.

Іншим фізико-хімічним методом, що реалізує високоінтенсивні енергетичні впливи на забруднення, є **плазмотехнічна переробка відходів**. Цей метод заснований на використанні низькотемпературної плазми ($T < 105 \text{ K}$), тобто іонізованого газу, в якому концентрації позитивних і негативних зарядів однакові (наявна квазінейтральність). Плазма утворюється в результаті впливу на речовину інтенсивних електричних розрядів, надвисокочастотного, лазерного випромінювання й інших впливів.

Для проведення технологічних процесів у плазмі створюються спеціальні пристрої - *плазмотрони або плазмові генератори*, в яких реалізуються умови високих температур і іонізується речовина, що подається. Значного поширення набули високочастотні й електродугові плазмотрони. У високочастотних плазмотронах (їх потужність до 1 МВт) речовина-плазмоутворювач нагрівається в розрядній камері (зазвичай вихровими струмами), у дугових (їх потужність 100 Вт - 10 МВт) - проходячи через стиснуту електричну дугу з високою концентрацією енергії.

Після подачі в низькотемпературну плазму відходів відбуваються плазмохімічні реакції і токсичні речовини знешкоджуються до нетоксичних низькомолекулярних продуктів. Завдяки високій температурі в плазмі, відходи, які подаються в будь-якому агрегатному стані (газоподібному, рідкому і дрібнодисперсному твердому стані) випаровуються, іонізуються й у момент проходження реакційної зони в плазмотроні знешкоджуються.

У плазмохімічному процесі знешкодження відходів відбуваються складні фізико-хімічні явища, складовими яких є турбулентний рух потоку газу або плазми; масоперенесення; теплоперенесення; хімічні перетворення.

За високотемпературного впливу плазми на забруднення розпад токсичних компонентів відбувається досить інтенсивно (термодинамічно неврівноважені системи характеризуються і неврівноваженою кінетикою), тому плазмохімічні реактори можуть бути використані для знешкодження практично будь-яких викидів. Тут слід правильно обрати потужність плазмотрона, витрату й агрегатний стан знешкоджуваних викидів.

І радіаційно-хімічний, і плазмохімічний метод знешкодження забруднень вирізняються однією загальною характерною рисою - *це процеси хімії високих енергій*.

У багатьох технологічних процесах виробництва необхідно розділяти рідкі і газові суміші. Процеси поділу, які базуються на традиційних технологіях й апаратурі, є джерелами забруднення навколишнього середовища. Разом з тим існує можливість здійснювати багато процесів поділу сумішей, а також процеси очищення газових і рідинних потоків **на мембранах**. Оскільки нейтральні або забруднені компоненти, що входять до складу таких сумішей, відрізняються коефіцієнтами дифузії і рівноважними параметрами розчинності в різних матеріалах, виникає фізико-хімічна основа для ефективного поділу компонентів у процесі дифузійного перенесення сумішей через тонкі перегородки (мембрани) з достатньо проникних матеріалів (полімерних, неорганічних і ін.).

Подальший розвиток мембранної технології пов'язаний з реалізацією інтенсивних режимів масо- і електромасоперенесення через мембрани. Лише за цих умов можливе створення мембранних установок для

великотоннажних виробництв електролітичного отримання каустичної соди і хлору (із заміною екологічно небезпечних процесів ртутного і діфрагментарного електролізу), рекуперації водню у виробництві аміаку і метанолу, електродіалізного знесолення і концентрування стоків. У процесах водопідготовки досить широке застосування знаходить **явище зворотноосмотичного знесолення води**, за якого мембрани проникні для молекул води (розчинника) і практично непроникні для гідратованих іонів солі. Накладення тиску (великого осмотичного) дозволяє одержувати в таких системах чисту воду при застосуванні простих технологічних схем.

Експерименти і теоретичні оцінки свідчать про перспективність мембранного газорозділення за високих (більше 10 МПа) і надвисоких (більше 100 МПа) тисків. Такі процеси мембранного транспорту відбуваються за сильно нерівноважних і інтенсивних режимів, їх опис виходить за межі термодинаміки необоротних процесів і вимагає мікроскопічних моделей для розуміння механізму трансмембранного перенесення і перенесення в області мембранних границь.

З розвитком технології мембранного поділу й очищення сумішей найважливіше значення мають досконалі *мембранні матеріали*. Найбільш характерна властивість подібних мембран - неоднорідність на субмікроскопічному рівні розподілу іоногенних груп.

Результати досліджень щодо **використання ультразвукових коливань** для очищення стічних вод, які містять феноли, поверхнево-активні речовини, ціаніди й інші речовини, які важко окислюються, свідчать про ефективність цих методів очищення.

На основі досягнень науково-технічного прогресу для удосконалення технології охорони навколишнього середовища сформульовано **правила добору нових фізико-хімічних процесів**:

Правило 1. Для знешкодження забруднюючих речовин різних класів з метою підвищення універсальності методів слід прагнути до використання високоінтенсивних впливів і термодинамічно нерівноважних систем.

Правило 2. У створенні пристроїв очищення і поділу сумішей слід прагнути використовувати нові синтетичні і композиційні матеріали, що дозволяють здійснювати процеси з високими коефіцієнтами поділу за мінімальних енергетичних витрат і в агресивних середовищах.

Правило 3. У процесі вибору нових шляхів використання досягнень науково-технічного прогресу у справі охорони навколишнього середовища слід комбінувати кілька відомих фізико-хімічних процесів у єдиний технологічний цикл.

Правило 4. Для підвищення ефективності знешкодження забруднень з низькими концентраціями слід прагнути до вибору комплексних процесів, об'єднаних у єдиний технологічний цикл.

Нові типи фізико-хімічних процесів поряд із системами очищення і знешкодження застосовують також і в самій технології одержання тих чи інших продуктів, що дозволяє переходити на маловідходні чи навіть безвідходні виробництва. Проте різноманіття видів і типів хімічних підприємств дозволяє сформулювати принципи і правила добору нових процесів для таких виробництв лише за досить вузькими напрямками хімічної технології [15].

Висновок. На сучасному етапі розвитку промисловості вимоги до якості та ступеня очищення викидів досить високі. Традиційні методи знешкодження промислових викидів і апарати для їх здійснення не завжди можуть задовольняти вимоги екологічно безпечних технологій і не дозволяють, у ряді випадків, вирішувати нові завдання, які постійно виникають. Тому триває пошук процесів і прийомів, що дають можливість більш ефективно організувати охорону навколишнього середовища.

Вищою формою активного удосконалення технологій виробництва є створення безвідходної технології на базі замкнених технологічних процесів, за яких відходи кожного попереднього процесу є сировиною для наступного. Такий метод здатний радикально вирішити проблему забруднення навколишнього середовища і дозволяє перевести виробництво на новий, якісно інший рівень.

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте методи очищення викидів від газо- і пароподібних домішок.
2. Поясніть сутність процесів сорбції, десорбції, хемосорбції.
3. Розкрийте сутність каталітичного методу очищення викидів.
4. Охарактеризуйте класифікацію методів охорони навколишнього середовища від промислових забруднень.
5. Проаналізуйте фактори, що впливають на вибір методів очищення викидів у повітря.
6. Охарактеризуйте новітні напрями знешкодження промислових викидів та апарати для їх здійснення (радіаційний метод знешкодження стічних вод, плазмотехнічна переробка відходів, мембранні технології).
7. Поясніть значення комбінування кількох фізико-хімічних процесів у єдиний технологічний цикл для удосконалення технології охорони навколишнього середовища.

МОДУЛЬ 2

ЗАХИСТ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ВІД ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Зростання чисельності населення, бурхливий розвиток промисловості і транспорту спричинює збільшення водоспоживання й одночасно призводить до прогресуючого забруднення води, що спостерігається не лише в ріках і озерах, але навіть у морях і океанах. Проблема захисту вод Світового океану сьогодні є однією з найактуальніших. З розвитком промисловості водні об'єкти дедалі більше забруднюються викидами недостатньо очищених стічних вод, промисловими відходами і термічними водами об'єктів енергетики. Щороку забруднення зростає внаслідок змивання добрив, пестицидів і гербіцидів з сільськогосподарських угідь, а також кислотних дощів. Дуже небезпечними є синтетичні миючі засоби, які, потрапляючи у водоймища, викликають неприємний смак, запах води та утворюють піну і плівку на поверхні, що утруднює доступ кисню та призводить до загибелі водних організмів. До особливих видів забруднення належить заростання водойм водоростями, гниття яких викликає захворювання і загибель риби. Небезпечним для здоров'я людини є забруднення вод важкими металами. В умовах сучасності постає реальна загроза всій гідросистемі Землі та існуванню людини, оскільки вода є однією з найбільш поширеніших і найнеобхідніших речовин для життя. У зв'язку із забрудненням поверхневих вод життєвоважливими стають підземні води.

Різноманітний характер і склад стічних вод зумовлюють особливості методів їх очищення від забруднень.

ЛЕКЦІЯ 8

ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМИЩ. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

ПЛАН

1. Джерела забруднення гідросфери.
2. Забруднення природних вод України.
3. Основні види стічних вод.
4. Загальна характеристика способів очищення стічних вод.

8.1. Джерела забруднення гідросфери

Гідросфера – водна сфера планети Земля, сукупність океанів, морів, вод континентів, льодовикових покривів. Наша планета містить близько 16 млрд. м³ води, що становить 0,25% її маси. Основна частина цієї води (понад 80%) перебуває у глибинних зонах Землі – в її мантії. Підземна частина гідросфери охоплює ґрунтові, підґрунтові, міжпласто-

ві безнапірні й напірні води, тріщинні води і води карстових порожнин у легкорозчинних гірських породах (вапняках, гіпсах тощо).

Уся вода, за невеликим винятком, що існує в даний час на поверхні Землі, утворилася в результаті процесу кристалізації гранітної магми, виверженої при вулканічній діяльності в докембрійський період. Для величезної кількості живих організмів, особливо на ранніх етапах розвитку біосфери, вода була середовищем зародження та розвитку. Вода у біосфері перебуває у безперервному русі, бере початок у геологічному та біологічному колообігах речовин. Вода є основою існування життя на Землі. Без води не може існувати людська цивілізація, бо вода використовується людьми не тільки для пиття, а й для забезпечення санітарно-гігієнічних та господарсько-побутових потреб [15].

Усі водні ресурси поділяють на підземні, поверхневі та атмосферні. Водною вкрито близько 70% земної кулі. Основна маса води на Землі - солоня, лише 4% - прісна, з них 2% - доступна.

За останні десятиліття стан вод Світового океану значно погіршився. Його поверхня вкрита нафтою, пластиковим пакувальним матеріалом, іграшками, пляшками та іншим сміттям, яке багато років не розкладається у воді. Таких твердих відходів нагромадилося вже понад 20 млн. тонн. Найінтенсивнішими забруднювачами поверхневих вод є великі целюлозно-паперові, хімічні, нафтопереробні, харчові та текстильні підприємства, гірничорудні і металургійні комбінати, а також сільськогосподарське виробництво.

Одним з основних видів забруднення людиною гідросфери є забруднення континентальних і океанічних вод **вуглеводнями**. Вуглеводневе забруднення виникає в результаті багатьох чинників, пов'язаних із видобутком нафти, її транспортуванням танкерами, переробкою і використанням нафтопродуктів. На шельфі видобувається майже 30 % всієї нафти, сотні мільйонів тонн її перевозиться морськими шляхами, на яких щорічно втрачається не менше як 1 % нафти (5-10 млн. т). Особливу тривогу викликають випадки транспортних аварій великих танкерів. У 1968 р. із «Горріканйону» в Ла-Манші вилилося 119 тис. т нафти, відомі катастрофи на морських промислах поблизу Каліфорнії, в Північному морі, у Мексиканській та Персидській затоках, в Азовському та Чорному морях. Значна частина вуглеводнів скидається в океан більш-менш свідомо в результаті практики скидання промивальних і баластних вод нафтоналивних суден. Крім того, води всіх річок у промислово розвинених країнах містять вуглеводень. Зокрема, Рейн у своїй нижній течії переносить близько 12 тис. т нафтопродуктів на день.

Забруднення океану вуглеводнями є основною причиною масової загибелі птахів та морських звірів, що особливо наочно виявляється при аваріях танкерів. Від контактів з вуглеводнями різко зменшується кількість планктону і гинуть мальки багатьох видів риби, а крупна риба із-за неприємного присмаку стає непридатною до їжі. Нафтова плівка зустрі-

часться навіть в антарктичних водах, де від неї гинуть тюлені та пінгвіни. Нафта пошкодила багато європейських курортів світового значення. Нині діє міжнародна конвенція - щодо запобігання забруднення морських просторів нафтою, яку підписали найбільші морські держави. Згідно з конвенцією, всі морські райони в межах 50 миль від берега є забороненими зонами, де не дозволяється вилив нафти у море.

Нафта, що потрапила у воду, після випаровування легких фракцій піддається біологічному розкладанню під дією аеробних бактерій і грибів. Процес бактеріальної дії триває протягом багатьох тижнів або місяців, після чого залишкові продукти розкладання, багато з яких токсичні, накопичуються і утворюють частинки бітуму неправильної форми діаметром 0,1-10 см, що дрейфують по поверхні океану. У наші дні практично у всіх районах Світового океану можна знайти сліди біологічного розкладання нафти. Середня кількість частинок бітуму в Атлантичному океані складає 1 мг/м², а в Середземному морі - 20 мг/м².

Застосування миючих засобів для емульгування нафти і її осадження на дно океанів є безглуздим з екологічної точки зору, оскільки воно різко уповільнює процес біологічного розкладання і часто призводить до синергічного ефекту, що збільшує токсичність нафти для морських організмів.

Приблизно 40 % нафти, що потрапила у водоймище, осідає на дно у вигляді донних відкладень, причому нафтопродукти, що осіли на дно, окислюються у 10 разів повільніше, ніж води, що знаходяться на поверхні. Шар нафтопродуктів на воді при певній товщині і продукт, що вбрався у берег, можуть спалахувати і викликати пожежі.

Трагічними прикладами небезпеки аварій у водоймах є:

- **події 11 листопада 2007 року в районі Керченської затоки**, коли через сильний шторм, сила якого склала 6-7 балів, зазнали катастрофи сім суден. Місцем найбільшого нещастя став російський порт «Кавказ». Затонули п'ять суден, загинули люди; з танкера «Волгоневфть-139», що розломився, у воду потрапили близько 2 тис. тонн мазуту і кілька тисяч тонн сірки. Судна одержали різні пошкодження та були викинуті штормом на берег.

Під час катастрофічних подій екологи одразу закликали до найшвидшого початку своєчасних заходів щодо локалізації, збору і ліквідації нафтопродуктів, оскільки більша частина вуглеводню могла осісти на дно, продукти випару могли викликати отруєння морського середовища і гострий дефіцит кисню, що в результаті призвело б до масової загибелі морської флори і фауни. За прогнозами асоціації «Екологія і Світ», із прогріванням морської води понад 10 °C могло б початися спливання мазуту з дна Чорного моря. При прогріванні води до 15 °C підйом активізувався б, а при 18-20 °C - усі легкі фракції плавали б і викидалися на берег. Чорне море могло перетворитись на резервуар, переповнений мазутними плямами, що бродять.

Майже щодня на узбережжя Керченської протоки збиралось від 4 до 17,1 тонн суміші нафтопродуктів з піском і водоростями, які зберігались у морпорту та могли бути утилізованими за ініціативи переробників із Миколаївської області.

Поряд із цим Керченський порт поніс багатомільйонні збитки через те, що мішками з мазутом було зайнято територію складу, а для складування усіх зібраних відходів могло не вистачити території всього порту. За підрахунками фахівців, 30 тисяч птахів, в основному чайок, загинуло і стільки ж залишилося живими, але вже забрудненими мазутом - через що вони не могли злетіти і гинули від холоду. Від розливів мазуту на дні моря постраждали Керченські рибколгоспи. Мережі рибаків місцевих артілей були зіпсовані мазутом, велика кількість риболовних сітей стала не придатною для використання.

Відсутність своєчасного скоординованого плану дій щодо моніторингу узбережжя й ліквідації загрози забруднення суші та моря створила особливу небезпеку у вигляді як безлічі мішків у Керченському порту, так і сотень тонн мазутної суміші на дні Керченської затоки, що з настанням весняних штормів усе ж таки розповсюдилася вздовж усього східного й південно-східного узбережжя. Туристичні фірми у 2008 році відмітили падіння інтересу до Керчі як до курортного регіону.

Колосальні масштаби та наслідки збитків, завданих природі Керченської затоки, оцінені по-різному. Рескомприроди Криму визначив збиток, нанесений береговій частині суші, у 88 млн. грн. Загальна сума збитку, яка включає компенсацію за забруднення морського середовища і відшкодування витрат на його очищення, за даними Мінприроди, склала близько \$1,5 млрд.

- **Наприкінці квітня 2010 року у Мексиканській затоці** за 80 кілометрів від берегів Луїзіани сталася аварія на нафтовій платформі *Deerwater Horizon*. Вибух, у результаті якого платформа затонула, спричинив 36-годинну пожежу; загинули 11 осіб. Зі свердловини, пошкодженої внаслідок аварії, у відкрите море почала витікати нафта. Спеціалісти змогли зупинити це тільки через три місяці. Витік нафти склав 4,9 млн. барелів (1 барель=163,66 л - прим. авт.).

Аварія призвела до масштабної техногенної та екологічної катастрофи. Сотні кілометрів прибережних зон Мексиканської затоки досі є надзвичайно забрудненими. Через рік після аварії на пляжах Мексиканської затоки продовжують знаходити загиблих тварин і сліди нафти. Екологи продовжують брати тести води та ґрунту, але їхні висновки невтішні. Прямими наслідками катастрофи стало зменшення популяції морських черепах та загибель птахів (постраждали понад 120 різновидів). Непереливки і морським мешканцям. Серед популяції дельфінів вчені виявили стрімке зростання смертності. Шкоди завдано і морським коралам.

Економічні збитки від аварії сягають десятки мільярдів доларів.

- Подія у Мексиканській затоці стала найбільшим аварійним розливом нафти в США, масштаби якого перевищили наслідки від **аварії танкера *Еххон Valdez* біля узбережжя Аляски у 1989 році**. Тоді із судна вилилося близько 260 тис. барелів нафти [за матеріалами: <http://www.greenparty.ua>].

Дуже небезпечним забруднювачем вод є **фенол**, який міститься в стічних водах нафтохімічних і хімічних підприємств, особливо багато його в стоках коксохімічних заводів - 0,4-0,75 г/л, а за добу скидається до 4-10 т фенолу. Вода водоймища набуває забарвлення, специфічного запаху карболу, покривається флуоресцентуючою плівкою, що заважає природ-

ному перебігу біологічних процесів у водоймищі. Процес самоочищення водоймищ від фенолу протікає повільно, його залишки відносяться течією річки на великі відстані, а феноли є сильними отрутами для риб.

Велику небезпеку становить забруднення Світового океану **радіоактивними речовинами** внаслідок випробування термоядерної зброї, захоронення радіоактивних відходів, роботи ядерних реакторів на військових підводних човнах і криголамах. Радіоактивність планктону може бути у 1000 разів вищою, ніж радіоактивність води, а деяких риб - вищою навіть у 50 тис. разів, ніж у ланцюгу живлення.

Щороку у Світовий океан з різних джерел потрапляє понад 4 млн. т **летких органічних сполук** (дихлоретан, фреон та ін.), близько 120 тис. т **хлорованих вуглеводнів** (ДДТ, альдрин, бензилгексахлорид, поліхлоровані біфеніли та ін.), понад 300 тис. т **свинцю**, понад 5 тис. т **ртуті**, понад 10 тис. т **кадмію**. Крім повітряного перенесення і забруднення внаслідок судноплавства та робіт на шельфі, велика кількість забруднюючих речовин виноситься річковим стоком, куди скидається близько *600 млрд. т промислових і побутових стоків*. За даними досліджень, промислові стоки додають до природного виносу річок ще подвоєну кількість ртуті, у 12-13 разів більшу кількість свинцю, міді, цинку, у 30 разів більшу кількість сурми. За даними ЮНЕСКО, щороку з водами річок у море потрапляє понад 320 млн. т **заліза**, 6,5 млн. т **фосфору**.

Забруднення вод **важкими металами** призводить до страшних наслідків. В Японії масове забруднення вод морської затоки поблизу міста Мінамато викликало хворобу «мінамато», при якій ртуттю отруювалась риба, що є основним джерелом білкової їжі населення даного міста. У хворих порушувалася мова, послаблювався зір, параліч сковував м'язи рук, ніг. Інша хвороба – «ітай-ітай» - викликана хронічним отруєнням кадмієм, що знаходиться в рисі. А рис накопичував цю речовину через забруднення відходами гірничодобувної промисловості, розміщеної навколо полів. Смертність серед хворих досягла 50%.

Особливим видом забруднення гідросфери є **теплове забруднення**, яке спричинене спуском у водойми теплих вод від енергетичних установок. Величезна кількість тепла, що надходить з нагрітими водами в річки й озера, істотно змінює їх термічний і біологічний режими. Серед теплових забруднювачів гідросфери перше місце посідають атомні електростанції.

Як свідчать спостереження, у річках, розташованих нижче від діючих ТЕС та АЕС, порушуються умови нересту риб, гине зоопланктон, риби уражаються хворобами й паразитами. Врешті-решт, розвиток життя в теплій воді виявляється несприятливим для продуктивності водоймища, оскільки накопичені органічні речовини розкладаються із споживанням кисню - утворюється замор.

Великий збиток річкам наносить молевий **лісосплав**, що змінює гідрологічний режим річок, засмічує їх відходами деревини і затонули-

ми деревами, які, загниваючи на дні, призводять до підвищення смертності живих організмів водного середовища. Небезпечною є й обробка деревини сильнодіючими отрутохімікатами - антисептиками, що застосовуються в лісовій промисловості. Вода від цього стає непридатною для споживання і для життя водних організмів.

Сільське господарство - один з найбільших споживачів і, одночасно, забруднювачів природних вод внаслідок використання міндобрив, пестицидів та інших хімікатів, функціонування великих тваринницьких комплексів, зрошування земель.

Тваринництво є постачальником значної кількості мертвої органіки - гною, підстилки, сечовини, які потрапляють у водойми. Повсюдно відбувається забруднення вод добривами і пестицидами, небезпечними своєю токсичністю. Щорічно лише азотних добрив вноситься в ґрунт понад 50 млн. т. У багатьох сільських районах з інтенсивним застосуванням азотних добрив вже сьогодні у 50 % колодязів вода містить нітрати, а нітритів - уже понад норму - 20 мг/л; у переважній більшості випадків їх вміст сягає 100-1500, а подекуди - більше 2000 мг/л. Відомі випадки тяжких захворювань, навіть смертності дітей, особливо немовлят. Сполуки азоту і нітратні іони належать до мутагенних речовин, які призводять до генетичних захворювань. За даними ВООЗ, за період 1986-2009 років кількість людей, що народилися зі спадковими хворобами, збільшилася з 10 до 40 %.

За останні двадцять років виробництво і використання мінеральних добрив в Україні зросло в 10 разів; виросло і виробництво засобів захисту *рослин*. Велика частина цих речовин змивається у водоймища, а їх розчини - просочуються у водоносні шари ґрунту, що пролягають нижче, і теж потрапляють у водоймища. Для запобігання цим забрудненням необхідно суворо витримувати норми, терміни і методи їх застосування, удосконалювати системи дренажу стоків, боротися з ерозією ґрунтів, обвальними явищами, що руйнують береги.

Одним із серйозних наслідків забруднень водоймищ мінеральними солями, головним чином з'єднаннями фосфору й азоту, є їх **евтрофікація** - різке збільшення біопродуктивності водоймищ у зв'язку із збільшенням кількості живильних речовин. Зовні це виявляється, як правило, у «цвітінні» водоймищ - утворенні великої кількості водоростей, які потім відмирають і загнивають. У результаті зменшується кількість розчиненого у воді кисню і гине риба. Особливо небезпечна евтрофікація озер. Озера при цьому зменшуються, затягуються мулом і поступово зникають. Процес збагачення озерних (або морських) вод мінеральними солями також називається евтрофікацією. У природних умовах евтрофікація відбувається повільно, у масштабі геологічних епох. Людина прискорює евтрофікацію, скидаючи в озера і закриті моря значну кількість органічних речовин, здатних до бродіння, а також стічних вод, багатих фосфатами (миючі засоби, хімічні добрива) і нітратами.

Ознаки евтрофікації водоймищ спостерігаються, якщо концентрація фосфору у воді перевищує 0,3 мг/л, а азоту - 15 мг/л. *Біологічно чисті води* містять лише соті і тисячні долі мг/л фосфору. Сьогодні усі великі альпійські озера в Європі і Великі озера у Північній Америці перебувають під загрозою або на шляху до прискореної евтрофікації.

Зважені у воді мінеральні частинки, особливо з гострими краями, наносять пошкодження зябрам риб; деякі водні організми обволікаються цими частинками, втрачають здібність до пересування і гинуть. Зважені речовини, смоли, важкі фракції нафтопродуктів утворюють донні осідання, дуже стійкі до процесів самоочищення, а іноді і зовсім йому неспіддатливі. Донна рослинність покривається ними і не може розвиватися. У водоймищах з малою витратою води бентос гине, при масовому відмиранні водоростей утворюються різні продукти їх розпаду, у тому числі й токсичні. Це викликає, так зване, **вторинне забруднення водоймища**.

Останнім часом великої шкоди завдають природним водам **кислотні дощі**. Чим частіше випадають кислотні дощі й чим більшу концентрацію кислоти вони містять, тим швидше зменшується кількість і видовий склад живих істот, у водоймах гинуть ікринки земноводних, равлики, прісноводні креветки, вимирають бактерії, а отруєні листки і стебла накопичуються на дні, зникає планктон. З донних залишків починається вилуговування отруйних металів: алюмінію, ртуті, свинцю, кадмію, олова, берилію, нікелю та ін. Внаслідок цього багато риб гине від пошкодження зябер, викликаного отруйною дією алюмінію. Далі розвиваються кислотнолюбиві мохи, гриби, нитчасті водорості, які пригнічують решту рослинності. Гине риба, в першу чергу щука й окунь. Вимирають жаби, комахи. Проте вода здається чистою, оскільки в ній відсутні майже всі мікроорганізми. Найвні лише анаеробні бактерії, котрі виділяють вуглекислий газ, метан, сірководень.

Отже, водоймища містять величезну кількість нафтопродуктів, пестицидів, синтетичних миючих засобів та інших забруднюючих речовин. На розчинення стічних вод витрачається 40 % об'єму світових ресурсів річкового стоку. Об'єм цих стічних вод обчислюється багатьма тисячами кубічних кілометрів і становить для різних морів від 0,1 до 20 % і більше об'єму річкового стоку, що в них впадає. Спостереження за забрудненням води деяких річок індустріальних районів показують, що процеси самоочищення забезпечують руйнування і нейтралізацію лише третини забруднювачів. Решта потрапляє в прибережну зону моря. За глобальними оцінками, внаслідок забруднення за останні тридцять років інтенсивність життя в морях і океанах знизилась на 30 %, а щорічна продукція нектону (плаваючого життя), в тому числі промислових риб, – не менш як на 20 млн. т.

Ураховуючи забруднення поверхневих вод, у деяких країнах для міського водопроводу і господарських потреб використовують переважно ґрунтові води. Хоча надмірне їх викачування може призвести до

осідання земної кори, раціональне використання підземних водосховищ має велике значення для господарства.

Сьогодні проблема захисту вод Світового океану стала однією із найактуальніших, бо стосується всіх країн світу. Через це в ООН розроблено і прийнято кілька важливих угод, що регулюють рибальство, судноплавство, добування корисних копалин з морських родовищ тощо. У 1982 році була підписана більшістю країн світу відома угода «Хартія морів». Також створена міжнародна служба моніторингу для постійного спостереження за станом Світового океану.

Отже, основними джерелами забруднення і засмічення водоймищ є:

- стічні води промислових та комунальних підприємств;
- відходи від розробок рудних і нерудних копалин;
- води рудників, шахт, нафтопромислів;
- відходи деревини при заготівлі, обробці, сплаві лісових матеріалів (кора, тирса, тріски, колоди, хмиз та ін.);
- викиди водного, залізничного та автомобільного транспорту;
- первинна переробка льону, конопель та інших технічних культур [6].

8.2. Забруднення природних вод України

Ріки Дніпро та Дністер є найбільшими прісноводними водоймами країни, в басейнах яких проживає близько 80 % населення. Ці ріки впродовж тривалого часу мали велику біологічну продуктивність, а їх природні ресурси споживали мільйони людей. З інтенсивним розвитком промисловості, сільського й житлово-комунального господарства було побудовано понад 800 водосховищ, у тому числі 13 з об'ємом понад 100 млн. м³, значно зросло споживання прісної води та скидання забруднених стічних вод. Для потреб промисловості й сільського господарства з Дніпра щороку відбирають близько 15 млрд. м³ води і скидають у нього близько 10 млрд. м³ неочищених стічних вод. В атмосферу басейну щороку викидається понад 10 млн. т газопилових забруднень з промислових об'єктів. У басейні Дніпра працюють 4 атомні електростанції. У стічних водах містяться в надлишковій кількості амонійний та нітритний азот, нафтопродукти, фенол, солі важких металів та хлорорганічні пестициди. З дощовими й талими водами в Дніпро та його водосховища потрапляє близько 500 тис. т сполук нітрогену, 1 тис. т заліза, 40 тис. т фосфорних і 20 тис. т калійних добрив, 40 т нікелю, 2 т міді, 0,5 т хрому. У результаті води Дніпра містять 3-38 ГДК амонійного азоту, 5-29 ГДК цинку, 2-25 ГДК мангану та ін.

Значної шкоди Придніпров'ю завдало будівництво шістьох ТЕС та водосховищ, що затопили майже 700 тис. га родючих заплачних земель (близько 2,1 % загальної площі України). У результаті такого будівництва режим Дніпра наблизився до застійного озерного. Різко змен-

шився водообмін і створилися застійні зони. Ріка втратила здатність самоочищатися. Піднявся рівень ґрунтових вод далеко від берегів. Почастішала евтрофікація вод і посилюється засолення ґрунтів. Майже удесятеро збільшився об'єм підземного стоку вод. У нижній частині басейну іригації змінився водно-сольовий режим ґрунтів, зменшився вміст гумусу в ґрунтах та посилилася їх ерозія в прибережній зоні. Внаслідок затоплення водою садів та городів щороку втрачається 3-4 млн. т фруктів і овочів та близько 1 млн. т зерна. Екологічна, енергетична та рибогосподарська вигода від створення водосховищ незначна, а нині вони перетворилися на гігантські накопичувачі промислового й побутового бруду. Майже половина річкового стоку Дніпра забруднена [7].

Наша країна вважається найменш забезпеченою водними ресурсами в Європі. У малодощові роки на одного жителя припадає 1000 м³ води, що у 10 разів менше, ніж у багатих водою країнах. Для збалансування водних ресурсів в Україні будувались сотні водосховищ, тисячі озер.

На межі 50-60 років ХХ століття, коли, наприклад, бурхливо розвивалася промисловість Львівщини, вирішено було побудувати Буське море, потім - Львівське море. Сьогодні побудовано 80-гектарне озеро для технічних потреб Львівської ТЕЦ-2. У 80-і роки минулого століття почали реалізовувати проект водосховища Стрийського, так званого Карпатського моря. У нереалізовані проекти було вкладено десятки мільйонів умовних одиниць. Із-за варварського водогосподарства в Україні знищено 3 % територій (втрачено, затоплено, пересушено і т.д.). З 71 тисячі річок України за останні 10 років пропало 8 тисяч.

Ураховуючи невеликі запаси поверхневих вод, фахівці змушені впритул займатися проблемами *експлуатації підземних родовищ води*. В Україні щорічно видобувається 5,15 км³ підземних вод (77 % - для потреб питного і технічного постачання, 23% - водовідлив на виробництвах добувної промисловості). Найбільший водозабір артезіанських вод здійснюється в Луганській, Донецькій і Львівській областях. Оскільки має місце тотальне забруднення підземних вод, деякі водозабори закривають, а гідрогеологи розривають інші. Фахівці знають, що *інтенсивна експлуатація підземних родовищ може призвести до необоротних негативних екологічних процесів*: зневоднення річок, осушення колодязів, пересушування ґрунтів і, відповідно, погіршення росту флори і фауни, просідання земної поверхні і т.д.

Аналіз ситуації показав, що малі річки України забруднені більше, ніж великі. Це пояснюється не тільки їх малою водністю, але й недостатньою охороною. Найбільш забруднені Південний Буг, річки Донецької і Луганської областей, Чорноморське узбережжя півдня України.

Щороку до водоймищ України потрапляє 5 млн. т солей і значна частина стоків від тваринницьких комплексів. Майже половина мінеральних добрив і отрутохімікатів змивається з полів у ріки. Рівень очищення води надзвичайно низький. Наявні очисні споруди навіть при бі-

ологічному очищенні вилучають лише 10-40 % неорганічних речовин (40 % азоту, 30 % фосфору, 20 % калію) і практично не вилучають солі важких металів.

У басейні Дніпра - найбільшої водної артерії країни - крім Чорнобильської атомної електростанції, діють також Запорізька, Південно-Українська, Хмельницька, Рівненська, Курська і Смоленська АЕС. Через греблі косяки осетрових риб не можуть піднятися на свої природні нерестилища.

У Дніпро щорічно скидається 370 млн. м³ забруднених стоків, або 14 % від їх обсягу по всій країні. Значна частина річного стоку Дніпра використовується промисловими підприємствами при гранично допустимих 20 %. Це дуже знижує якість води, а також рибопродуктивність і може призвести до втрати Дніпра як постачальника питної води. 30 млн. жителів України, що споживають води Дніпра, можуть залишитися без питної води вже у XXI столітті.

Наслідки забруднення водного середовища можуть бути дуже різноманітними для здоров'я людини. Шкоди можуть завдати такі поширені забруднювачі, як *фторо-, хлоро- і фосфороорганічні забруднювачі*, нітрати, нітроти, нітросполуки, пестициди, гербіциди тощо. Дуже небезпечними є *синтетичні миючі засоби, заростання водойм водоростями*. Ці гострі проблеми характерні для водоймищ басейну Дніпра.

Зазначені та інші негативні явища відбуваються на тлі низьких запасів води в Україні, які складають 97,3 км³ (у маловодні роки - 66 км³). Дефіцит води в Україні вже зараз складає 4 млрд. м³. Деградація, висихання малих річок невідворотно призведе до деградації великих рік, тому проблема їх збереження й оздоровлення є однією з найгостріших для держави [6].

Водомірні пости України свідчать про переважання помірно забруднених вод (умовно чистих). Екологічно чиста вода виявлена в Закарпатській, у південній частині Вінницької, на південному сході Харківської та заході Одеської областей, а також у південно-західній частині АР Крим. Підвищена забрудненість води відмічена у Львівській, Одеській, Запорізькій, Дніпропетровській та Донецькій областях. Висока забрудненість води - на півночі Донецької області і дуже висока - на значній території Херсонської області.

Забруднення поверхневих вод значною мірою впливає на якість підземних вод. Найбільш незадовільний якісний стан підземних вод на Півдні України: в Одеській, Миколаївській, Херсонській і Запорізькій областях та АР Крим. Понаднормове забруднення пестицидами спостерігається у Вінницькій, Житомирській, Луганській та Миколаївській областях та Криму. Нітратне забруднення, що перевищує ГДК, відмічається практично на всій території України, за винятком її західних областей [7].

8.3. Основні види стічних вод

Стічні води - води, які відходять після використання в побутовій, промисловій та сільськогосподарській діяльності людини або які пройшли через будь-яку забруднену територію чи об'єкт.

Стічні води умовно поділяються на 3 види:

- **виробничі** - використані в технологічному процесі виробництва або утворені при видобутку корисних копалин (вугілля, нафти, руди і т.п.);
- **побутові** - від санітарних вузлів виробничих і невиробничих корпусів і будівель, а також від душових установок;
- **атмосферні** - дощові і від танення снігу [15; 6].

У різних технологічних процесах у промисловості використовують воду, внаслідок чого утворюються такі відпрацьовані стічні води:

- **реакційні води**, що виділяються під час реакцій (забруднені домішками сировини і продуктів реакції);
- **промивні води** - після промивання сировини, продуктів, обладнання, тари, маточні водні розчини;
- **води, що надходять із сировиною** у вигляді вільної та зв'язаної води;
- **водні екстрагенти і абсорбенти**;
- **охолодні води**, що не стикаються з сировиною і продуктами; а також:
- **побутові води** з їдалень, душових, після миття приміщень, пралень, туалетів та ін.;
- **атмосферні опади**, що стікають з території промислових підприємств та інших господарських об'єктів [7].

Залежно від характеристики **стічні води поділяють** на умовно чисті (оборотні) і брудні. **Умовно чистими (оборотними) стічними водами** вважають води після охолодження технологічного обладнання, компресорів та іншого устаткування. Після використання в технологічних процесах їх охолоджують у градирнях і заводських ставках, у деяких випадках звільняють від зависей і знову повертають на охолодження. **Брудні стічні води** різняться за складом забруднювачів, який визначається технологією виробництва.

Забруднені виробничі стічні води містять різні домішки і підрозділяються на три групи:

- забруднені переважно мінеральними домішками (стоки заводів, що виготовляють мінеральні добрива, кислоти, будівельні вироби і матеріали й ін.);
- забруднені переважно органічними домішками (стоки підприємств хімічної і нафтохімічної промисловості, що виготовляють полімерні плівки, пластмаси, каучук та ін.);
- забруднені мінеральними й органічними домішками (стоки підприємств нафтовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної промисловості, що виготовляють продукти органічного синтезу й ін.).

До першої групи відносяться стічні води содових, сірчаноокислотних заводів, збагачувальних фабрик, свинцевих, цинкових, нікелевих руд, шахт, копалень та інших галузей промисловості. У цих водах містяться кислоти, луги, солі, сірчисті з'єднання, тонни важких металів, зважені мінеральні речовини й інші речовини, що несприятливо змінюють властивості води у водоймищах - її прозорість, колір, смак, рН, жорсткість. Іноді вони вносять до її складу отруйні речовини і, що особливо небезпечно, часто відкладають на дні водоймищ осідання, що перешкоджають розвитку бентоса.

До другої групи відносяться стічні води хімічної і нафтохімічної промисловості, що виготовляють пластмаси, каучук і т.д. У цих стоках містяться аміак, вуглеводні, спирти, альдегіди, кетон, феноли, смоли, сірководень і т.п. Їх шкідлива дія виявляється, в основному, в окислювальних процесах, що знижують у воді вміст кисню, збільшують її окислюваність і біологічну потребу в кисні, погіршуються й органолептичні показники води.

Речовини третьої групи - нафтопродукти, які, потрапляючи у водоймища, створюють плаваючі плівки; розчинені або такі, що емульсують у воді, нафтопродукти; важкі фракції, що осіли на дно; продукти адсорбції ґрунтом дна або берегів водоймища.

За концентрацією забруднюючих речовин виробничі стічні води розділяються на чотири групи:

- I - 50 мг/л;
- II - 500...5000 мг/л;
- III - 5000...30000 мг/л;
- IV - більше 30000 мг/л;

За ступенем агресивності стічні води поділяють на:

- неагресивні - рН=6,5-8,0;
- малоагресивні - рН=8-9;
- сильноагресивні - рН > 9 [15].

Особливості забруднення побутовими стічними водами. Особливо небезпечним для здоров'я людини є забруднення природних вод **побутовими стоками**. Така забруднена вода зовсім непридатна для постачання населенню.

Забруднення побутовими стічними водами довгий час вважалось менш небезпечним, оскільки забруднюючі водоймища речовини були малостійкими. Проте останніми роками були синтезовані і стали широко застосовуватися **миючі речовини**, які стійкі й отруйні для мешканців водоймищ (у т.ч. й морів). Водні розчини миючих засобів мають неприємний смак і запах, дають стійку піну, яка перешкоджає аерації, погіршуючи тим самим біохімічну очисну здатність водоймища. Крім того, в піні концентруються інші органічні забруднювачі і різні мікроорганізми в такій кількості, що вміст їх у піні може перевищувати їх концентрацію у воді у сотні разів. Вони здатні емульгувати інші забруднювачі і роби-

ти їх стійкішими до окислення; припиняють зростання водоростей та іншої водної рослинності.

Значним джерелом забруднення водоймищ можуть бути побутові стічні води, які несуть із собою фізіологічні виділення людини, забруднення від купання, умивання, прання білизни, миття приміщень, а також папір, обривки тканин, сміття. У цих стоках 60 % складають органічні речовини. Відмінною рисою побутових стічних вод є їх **бактеріальне зараження**: в 1 мм³ води можуть міститись десятки мільйонів бактерій, у тому числі і хвороботворні, а також яйця гельмінтів. Підраховано, що на нашій планеті майже 500 млн. людей щорічно хворіє через користування забрудненою водою, оскільки вона містить збудники різноманітних **інфекційних захворювань** (паратиф, дизентерія, інфекційний вірусний гепатит, туляремія та ін.).

Зливові стоки змивають у водоймища забруднення з поверхні землі: при сильних зливах і затяжних дощах їх кількість може перевищувати побутові стоки, а концентрація забруднюючих речовин у них може бути високою.

Слід зазначити, що **основна маса побутових відходів піддається очищенню і знезараженню перед скиданням у водоймища**. Спочатку для видалення щільних зважених частинок проводиться **механічне очищення** стоків, потім вони піддаються **біологічному очищенню** шляхом окислення мікроорганізмами в полях фільтрації або в полях зрошування, а частіше в спеціальних очисних пристроях (біофільтри, аеротенки й ін.), що імітують і прискорюють процес природного очищення.

Поле фільтрації і поле зрошування є земельні ділянки, на які подається стічна вода. Проходячи крізь шари ґрунту, що містить багато мікроорганізмів, вода очищається від органічних речовин, що піддаються під їх дією окисленню і мінералізації. Очищена вода по каналах і дренажній мережі потрапляє у водоймища.

Крім очищення від забруднень, побутові стоки повинні бути звільнені від мікробів і яєць гельмінтів, що і досягається на полях зрошування (до 98%); для інших способів очищення необхідне **додаткове знезараження хлором або іншими дезинфікуючими речовинами**.

В Україні діє понад 2,8 тис. очисних споруд із самостійним випусканням стічних вод у водні об'єкти. Серед них: споруд біологічного очищення - 60 %, механічного - 35 % і фізико-хімічного - 5%. Понад 300 міст мають споруди повного біологічного очищення.

Отже, особливо сильно забруднюють природні поверхневі води промислові стічні води *хімічних, нафтопереробних, металургійних, шкіряних заводів, текстильних і целюлозно-паперових фабрик, м'ясокомбінатів* та інших підприємств.

Усі **види забруднень** можна розподілити на хімічні, фізичні, біологічні й теплові.

Залежно від виду виробництва стічні води містять різні **шкідливі сполуки неорганічної** (луги, кислоти, мінеральні солі) **та органічної** (ор-

ганічні сполуки, поверхнево-активні речовини, мийні засоби, пестициди, нафтопродукти тощо) *природи*. Більшість з них отруйні для біоти водойм. Ці сполуки поглинаються фітопланктоном і передаються ланцюгами живлення більш високоорганізованим організмам. У результаті вміст шкідливих речовин у м'ясі хижої риби (щука, судак, окунь) може в тисячі разів перевищувати їх вміст у воді. Це дуже небезпечно для людей, птахів і тварин, що споживають цю рибу.

Біологічне забруднення води відбувається за рахунок надходження зі стічними водами різних мікроорганізмів, рослин і тварин (найпростіші, гриби, черви, бактерії, віруси та ін.). Найбільшими біологічними забруднювачами є комунально-побутові стічні води. Промисловими біологічними забруднювачами є підприємства шкірообробної промисловості, м'ясокомбінати й цукрові заводи.

Фізичне забруднення води пов'язане зі зміною її фізичних властивостей: прозорості, вмісту зависей та інших нерозчинних домішок, температури й радіоактивності.

Теплове забруднення спричиняє спускання у водоймища теплих вод з різних енергетичних установок. Надходження нагрітих вод у ріки й озера істотно змінює їх термічний і біологічний режими [7].

8.4. Загальна характеристика способів очищення стічних вод

Проблема забезпечення належної кількості та якості води є однією з найбільш важливих і має глобальне значення. Система заходів, спрямованих на запобігання та усунення наслідків забруднення, засмічування і виснаження вод, визначається як *охорона вод*. Охорона водного середовища передбачає встановлення видів та значень показників водоспоживання та водовідведення, а також якості води; розробку методів і засобів очищення стоків, контроль якості води та стоків.

Попередження забруднення водних об'єктів стічними водами може бути забезпечене організаційними та технічними заходами.

Організаційні заходи зводяться до попередження скидання стічних вод у водойми без їх очищення. **Технічні заходи** передбачають очищення стічних вод різними методами, повторне використання стічних вод для технічних потреб та поливу, створення оборотних та замкнених систем водокористування, удосконалення технологічних процесів на підприємствах у напрямі скорочення надходження забруднень у стоки, перехід на безвідходні технології, скорочення забруднення територій нафтопродуктами, які зі зливовими стоками можуть потрапляти до водойм.

Очищення стічних вод на підприємствах може здійснюватися за однією з наступних схем:

- очищення стічних вод на заводських очисних спорудах;
- очищення стічних вод після їх забруднення на заводських, а потім на міських очисних спорудах з подальшим спуском у водойми;

- безперервне очищення промислових вод та розчинів на локальних очисних спорудах протягом певного часу, після чого вони передаються на регенерацію, після регенерації повертаються в оборот і лише після з'ясування неможливості регенерації усереднюються і передаються на заводські очисні споруди та утилізуються.

Воду, яка використовується в системах виробничого водозабезпечення, за призначенням поділяють на 4 категорії:

- **вода I категорії** – для охолодження рідких і конденсації газоподібних продуктів у теплообмінних апаратах, де вона не контактує з продуктом, лише нагрівається і практично не забруднюється;

- **вода II категорії** – служить середовищем, що поглинає різні нерозчинні (механічні) і розчинні домішки; вода не нагрівається, але забруднюється механічними і розчинними домішками;

- **вода III категорії** – використовується так, як і вода II категорії, але з нагрівом (уловлення й очищення газів у скруберах, гасіння коксу, вапна тощо);

- **вода IV категорії** – використовується як екстрагент і розчинник реагентів (наприклад, при поглинанні оксидів азоту у виробництві слабої азотної кислоти тощо).

Характер і склад стічних вод, які скидаються промисловими підприємствами, досить різноманітні, тому і методи очищення стічних вод від забруднень теж різноманітні. Способи очищення забруднених промислових вод об'єднані у наступні групи: механічні, фізичні, фізико-механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, комплексні (рис. 8.1) [15].



Рисунок 8.1 – Класифікація способів очищення стічних вод

Вибір методу очищення залежить від багатьох чинників і на-самперед - від фізичного стану забруднень, що містяться в стоках. Так, для виділення *грубодисперсних завислих частинок* достатньо застосовувати механічне очищення – відстоювання, проціджування. Для *відділення дрібнодисперсних домішок* уже не достатньо відстоювання, а необхідне застосування фізико-механічних методів, наприклад, коагуляції. Для *очищення від розчинених речовин* часто необхідним є хімічне очищення.

Вибір методу очищення залежить від концентрації забруднюючої речовини і необхідного ступеня очищення. За великих концентрацій можливе випарювання води зі стоку і повернення її у виробництво, що неприйнятно для малоконцентрованих розчинів.

Необхідний ступінь очищення стічних вод встановлюють:

1. За нормативним показником вмісту шкідливих домішок у проточній водоймі.

2. За нормативним показником вмісту шкідливих домішок у не-проточному водоймищі.

Концентрація забруднень у стічних водах повинна дорівнювати або бути меншою за відтворення кратності розбавлення на ГДК, тобто кратність розбавлення має бути такою, щоб концентрація забруднень у проточному водоймищі не перевищувала ГДК.

3. За кількістю зважених речовин (%).

4. За допустимою величиною БСК у суміші води водойми і стічних вод.

Біохімічне споживання кисню (БСК) - показник, який відображає кількість кисню, що споживається у певний інтервал часу і за певних умов для життєдіяльності мікроорганізмів, які здійснюють біохімічне розкладання органічних речовин, що містяться у воді.

Хімічне споживання кисню (ХСК) - кількість кисню, яка споживається при хімічному окисленні органічних і неорганічних речовин, що містяться у стічних водах, під впливом різних окислювачів (*прим. авт.*).

5. За використанням стічними водами розчиненого кисню – встановлюють дослідним шляхом.

6. За зміною реакції рН води водоймища – вона не повинна перевищувати 6,5-8,5.

7. За допустимим вмістом кислот або лугів у стічних водах, що спускаються у водоймища.

8. За допустимою величиною температури, кольором, запахом і сольовим складом стічної води, що випускається, – встановлюють дослідним шляхом.

Вибір методу також залежить від того, в якому стані знаходиться розчинена речовина – у молекулярно-розчиненому або в дисоційованому на іони. У першому випадку можуть бути використані сорбенти, оброблення води окисниками й ін., у другому випадку – застосовують методи, спрямовані на утворення нерозчинних сполук з наступним їх видаленням зі стоків механічним способом [6].

Висновок. Забруднення промисловими відходами, скидання недостатньо очищених стічних вод, термічні води, змивання сільськогосподарських добрив і пестицидів, а також кислотні дощі стали реальною загрозою всій гідрографічній системі Землі та існуванню людини.

Різноманітний характер і склад стічних вод, які скидаються промисловими підприємствами, зумовлюють особливості методів очищення стічних вод від забруднень.

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте основні джерела забруднення гідросфери.
2. Поясніть небезпеку забруднення водоймищ нафтою, сільським господарством.
3. Розкрийте наслідки забруднення водоймищ важкими металами, радіоактивними речовинами.
4. Поясніть небезпеку мінеральних частинок у природних водоймищах, скидання промислово відпрацьованої теплої води у водоймища.
5. Поясніть сутність процесу самоочищення водних об'єктів.
6. Дайте визначення стічних вод. Охарактеризуйте їх види.
7. Розкрийте загальну характеристику способів очищення стічних вод.

ЛЕКЦІЯ 9 МЕХАНІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

ПЛАН

1. Проціджування та відстоювання.
2. Нафтовловлення, усереднення.
3. Виділення механічних домішок у полі дії відцентрових сил та фільтрування.

Механічне очищення застосовують для вилучення зі стічних вод (СВ) нерозчинених грубодисперсних домішок методами *проціджування, відстоювання, фільтрування*. Для уловлювання крупних забруднювачів воду проціджують через ґрати. Частинки, які мають більшу щільність, ніж щільність води, видаляють відстоюванням у відстійниках. Речовини, легші за воду (нафтопродукти, смоли, жири), – у пастках, смоловловниках, олієвловниках, в яких речовини-забруднювачі спливають на поверхню води, звідки видаляються. Частинки мінерального походження (частіше пісок) виділяють осадженням у пісковловниках. Для звільнення від дрібних частинок застосовують фільтри, найчастіше, з шару зернистого матеріалу. Очищення механічними способами зазвичай *застосовують як першу стадію в загальній системі очищення стічних вод*.

Основними процесами механічного очищення є:

- проціджування стічної води на решітках і сітках для вилучення великих шматків домішок і сторонніх предметів;

- уловлювання в пісковловниках важких домішок, які проходять через ґрати і сітки;
- відстоювання для видалення нерозчинних, тих, що тонуть і плавають, органічних і неорганічних речовин, які не затримані решітками і пісковловниками;
- видалення твердих завислих частинок у гідроциклонах;
- фільтрування через різні фільтри для затримування тонкодисперсних суспензій.

Той або інший процес механічного очищення, або їх комбінацію застосовують залежно від властивостей домішок і необхідного ступеня їх вилучення [15].

9.1. Проціджування та відстоювання

Проціджування. Для попереднього видалення плаваючих великих або волокнистих забруднювачів (шматки дерева, ганчірки), частинок, що плавають, застосовується проціджування стоків через решітки і сита. За значного вмісту в стічних водах грубодисперсних суспензій першою стадією очищення повинне бути відділення частинок у піскових фільтрах різних конструкцій (пісковловниках).

Проціджування як різновид механічного очищення призначене в основному для вилучення із стічних вод великих твердих нерозчинених частинок розміром до 25 мм, а також дрібних волокнистих частинок, які при подальшій обробці стоків є перешкодою для нормальної роботи очисного обладнання. Решітки, через які проціджують стічні води, виготовлені з металевих прутів (стрижнів) із проміжком 5-25 мм, встановлюють у колекторах очисних споруд вертикально або під кутом 60-75° до горизонту (рис. 9.1). Їх розраховують на максимальний притік стічних вод або на пропускну здатність очисної станції.

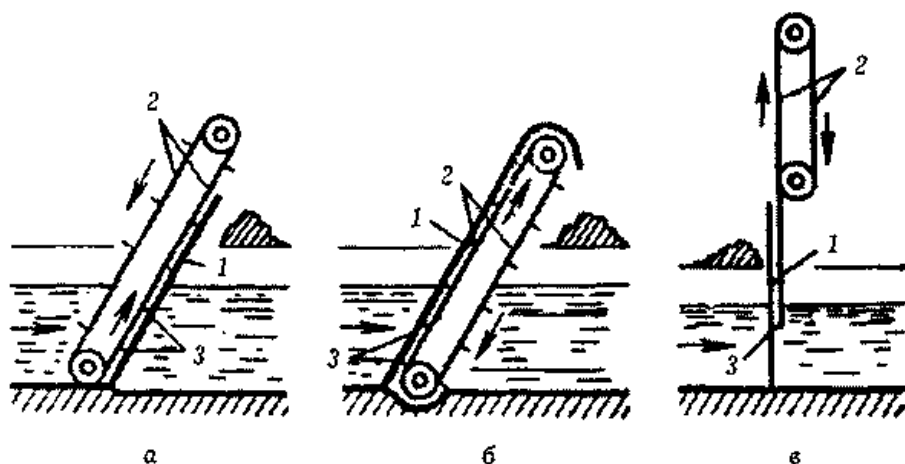


Рисунок 9.1 – Основні види решіток з різними способами їх закріплення відносно потоку води:

- а) заднє закріплення; б) переднє закріплення; в) вертикальне закріплення;
1 – решітка; 2 – скребковий ланцюг; 3 – граблі

Швидкість стічної води на решітці не повинна перевищувати 0,8-1,0 м/с при максимальному потоці стічних вод.

Під час роботи решітки повинні постійно очищатися механічним способом за допомогою вертикальних чи поворотних граблів. Зняті з решітки домішки подрібнюють у спеціальних дробарках і скидають у потік стічної води за решіткою або спрямовують на переробку.

Широке застосування на практиці мають **решітки таких типів:**

- механічні уніфіковані решітки типу РМУ;
- решітки з механічними граблями типу МГ;

комбіновані решітки – дробарки типу РД і КРД.

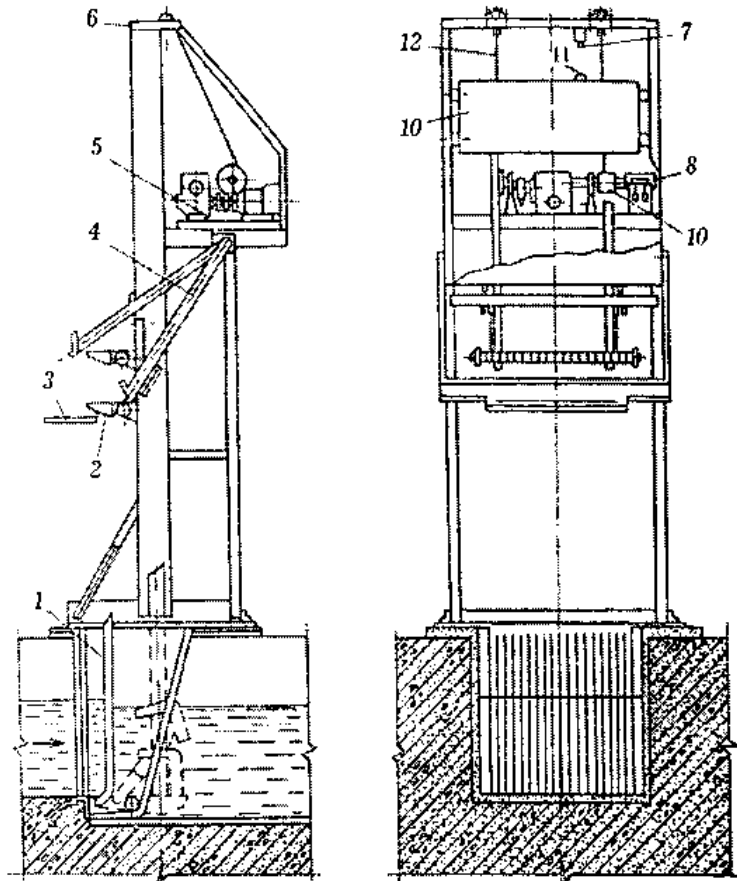


Рисунок 9.2 – Схема механічної уніфікованої решітки типу РМУ:

- 1 – решітка; 2 – граблі; 3 – жолоб відкидний; 4 – скидач; 5 – електропривід; 6 – верхня траверса; 7 – кінцевий вимикач; 8 – блок перемикач; 9 – барабан вантажний; 10 – каретка; 11 – упор каретки; 12 – металевий канат

На рис. 9.2. наведена схема *решітки типу РМУ*, з якої відходи твердих частинок забираються граблями (2), які шарнірно з'єднані з кареткою (10). Зворотно-поступовий рух граблів забезпечується двома сталевими канатами (12), що намотуються на барабан (9). Для скидання відходів передбачений скидач (4). Відходи скидаються у відкидний жолоб (3). Забруднена стічна вода підводиться до механічних решіток по прямокутних каналах.

Для видалення більш дрібних зважених частинок застосовують *сита*, які бувають двох типів: *барабанні й дискові*. Перші являють собою сітчасті барабани з отворами 0,5-1,0 мм.

При обертанні барабана стічна вода фільтрується через його зовнішню або внутрішню поверхню в залежності від подачі води. Затримані домішки змиваються з сітки водою і відводяться в жолоб. Продуктивність сита залежить від діаметра барабана, його довжини і властивостей домішок. Сита широко застосовують у целюлозно-паперовій промисловості, а також у виробництві деревинно-волокнистих плит.

Витрати рідини, що подається до проціджувача, визначаються з розрахунку 40 м^3 на одну тонну викидів.

За невеликого об'єму уловлених твердих відходів їх збирають у контейнери і видаляють, а за значного – розмелюють на дробарках.

У разі наявності в стічних водах значної кількості грубодисперсних суспензій першою стадією очищення повинно бути відділення частинок у **пісковловниках**, які розраховують на максимальну витрату стічних вод і перевіряють розрахунок за мінімального притоку.

Основне призначення пісковловників – затримання мінеральних частинок розміром, більшим за $0,2 \text{ мм}$ (пісок).

Пісковловники бувають **горизонтальні з коловим рухом стічної води** і **горизонтальні з прямолінійним рухом стічної води**, а також пісковловники, що **аеруються**.

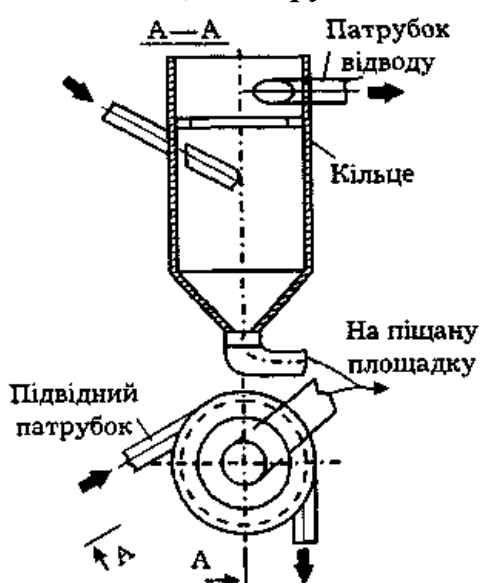


Рисунок 9.3 – Пісковловник тангентального типу

ності очищення вод більше $100 \text{ м}^3/\text{добу}$.

При проектуванні пісковловників приймається:

а) для **горизонтальних пісковловників**:

- швидкість руху стічних вод при максимальному притоці – $0,3 \text{ м/с}$, при мінімальному притоці – $0,15 \text{ м/с}$;
- гідравлічний розмір піску, який необхідно видалити, – $U_0=18-24 \text{ мм/с}$;
- тривалість протікання стічних вод за максимального притоку – не $<30 \text{ с}$;
- розрахункова глибина пісковловників – $H_p=0,25-1 \text{ м}$.

б) для **аерованих пісковловників**:

- гідравлічний розмір піску – $U_0=18 \text{ мм/с}$;
- інтенсивність аерації – $3-5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$;
- поперечний нахил дна – $0,2-0,4$;
- загальна глибина пісковловників – $H=0,7-3,5 \text{ м}$;
- аератори – з труб з отворами, діаметром $3-5 \text{ мм}$, встановлюються на глибину $0,7-0,75 \text{ Н}$;

На рис. 9.3 наведено **пісковий фільтр тангентального типу**.

Стічна вода подається до піскового фільтра по дотичній однією або двома діаметрально протилежними трубами ($V=1-1,2 \text{ м/с}$). Рухаючись по спіралі, частинки суспензії опускаються в конічну частину фільтра, а очищена від піску вода через кільце піднімається у верхню половину циліндричної частини і видаляється з неї через відвідну трубу. Розмір частинок піску та домішок, які уловлюються в такому апараті, складає $0,2-25 \text{ мм}$. Пісковловники передбачаються за продуктив-

- швидкість руху стічних вод при максимальному притоці – $V=0,08-0,12$ м/с;
 - відношення ширини пісковловника до глибини – $B:H – 1:1,5$.
- в) для *тангентальних пісковловників*:
- гідравлічний розмір піску – 18-24 мм/с;
 - навантаження $110 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ – за максимального притоку;
 - глибина дорівнює половині діаметра.

Для підтримання в горизонтальних пісковловниках постійної швидкості руху стічних вод на виході з них необхідно встановлювати водозлив з широким порогом.

Стічна вода підводиться до пісковловників і відводиться від них по лотках. Після заповнення пісковловників осад видаляють по гідроелеваторах. Для великогабаритних пісковловників розроблено пристрій, який збирає нафтопродукти.

Пісковловники можна встановлювати після нейтралізаторів сірчано-кислих стічних вод в тому випадку, коли випадання нерозчинних домішок вапняного молока (або меленого вапняку) і валиків кристалів гіпсу призводять до появи важких зважених частинок, які були відсутні у водах до нейтралізації. Аеровані пісковловники у вигляді горизонтальних резервуарів застосовуються для виділення мінеральних частинок з одночасною аерацією стічних вод повітрям, що подається від насосно-повітряної станції [15].

Відстоювання. Для видалення зі стічних вод високодисперсних мінеральних домішок і легких органічних суспензій зазвичай застосовують *відстійники і нафтофільтри (маслофільтри)* різних типів. Відомо, що домішки, які знаходяться у спокійній воді, більш-менш швидко осаджуються. Швидкість седиментації суспензії у воді залежить від розміру і форми частинок, їх щільності, шорсткості, а також від в'язкості рідини.

Спливання частинок відбувається за тими самими законами, що й осадження важких частинок. Завислі домішки, що містяться у стічних водах, і мінеральні олії – полідисперсні, тобто розміри і маса частинок, а отже, їх гідравлічна крупність, можуть коливатися в широкому діапазоні. Видалити завислі забруднення методом відстоювання, коли розміри частинок знаходяться нижче визначеної межі, практично неможливо внаслідок неприпустимого збільшення необхідного часу перебування стічних вод в очисних спорудах. Так, у нерухомій воді за висоти відстійника 2 м і тривалості відстоювання 1,5 години осядуть частинки розміром 16 мкм, за 4 годин відстоювання – 10 мкм, а для частинок розміром 6 мкм - час їх відстоювання становить кілька діб за прийнятною ефективності уловлювання 50-60 % (для нафтопродуктів 50-70 %).

Конструкції застосовуваних відстійників залежать від витрати стічних вод, складу і т.д. Найбільш поширені *горизонтальні відстійники*, в яких частинки суспензії, осідаючи на дно або спливаючи, рухаються

горизонтально разом з очищеною водою. Затримуються частинки, які встигають осісти на дно або піднятися на поверхню води в межах робочої довжини.

На рис. 9.4 зображений типовий горизонтальний відстійник. Швидкість руху шкребків (шкребки згрібають шлам до приямка, а речовини, які випливають на поверхню, – до лотка А або труби для їх видалення), в залежності від характеру шламу, становить 20-30 м/год й ефективність їх роботи складає 85% щодо завислих частинок і 50-80% щодо нафтопродуктів.

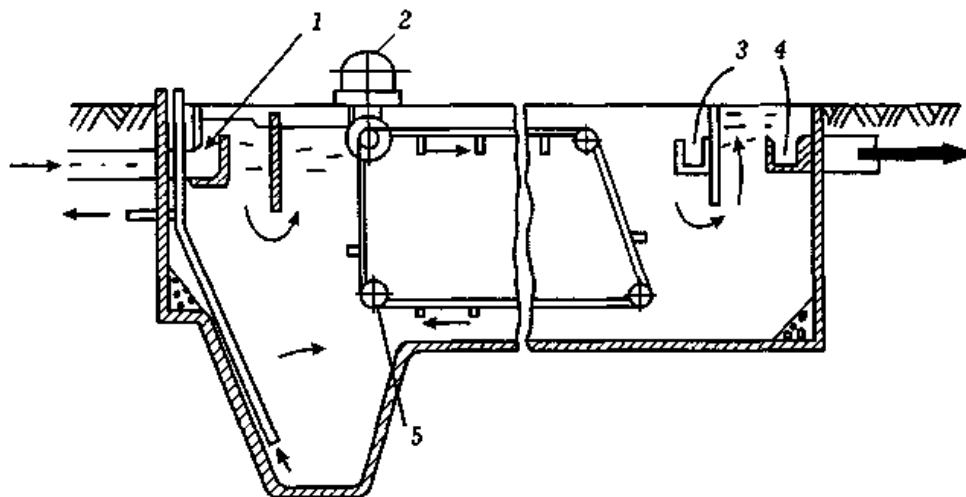


Рисунок 9.4 – Горизонтальний відстійник:

1 – лоток для рівномірного розподілу стічних вод по перерізу; 2 – привід; 3 – лоток А; 4 – лоток для освітленої води; 5 – шкребковий механізм

За великих кількостей стічних вод застосовують **радіальні відстійники** – це конструктивний різновид горизонтальних. Застосовують також **тонкошарові відстійники** для очищення низькоконцентрованих стічних вод, які містять дрібнодисперсні нерозчинні домішки. Утворений у відстійнику або гідроциклоні шлам, що являє собою суміш піску й олії, перед вивезенням у відвал зневоднюється на фільтрпресах або вакуум-фільтрах.

Ефективність відстоювання стічних вод можна підвищити, здійснюючи його двічі – у **первинних і вторинних відстійниках** (у випадку застосування біохімічного очищення вторинне відстоювання зазвичай виконується після нього). З іншого боку, ефект очищення оліємістких стічних вод може бути зведений нанівець несвоєчасним очищенням відстійників і відсутністю систем збирання олії.

Таким чином, **відстоювання**, будучи основним і часто єдиним методом очищення стоків від механічних домішок і нафтопродуктів, має низку істотних недоліків:

- громіздкість, велика площа;
- видалення тонких суспензій вимагає тривалого перебування стічних вод у відстійнику, що знижує продуктивність;
- ступінь очищення відносно низький.

9.2. Нафтовловлення та усереднення

Нафтовловлення. Поллютанти з густиною, нижчою за густину води, необхідно видаляти, змушуючи їх спливати на поверхню води. Це – нафтопродукти, олії, смоли й інші речовини, які вловлюють у пастках, олієвловниках, смоловідстійниках.

Нафтовловник – прямокутний, витягнутий уздовж залізобетонний відстійник, що розділений на декілька секцій, щоб можна було періодично виключити одну з них для очищення або ремонту (рис. 9.5).

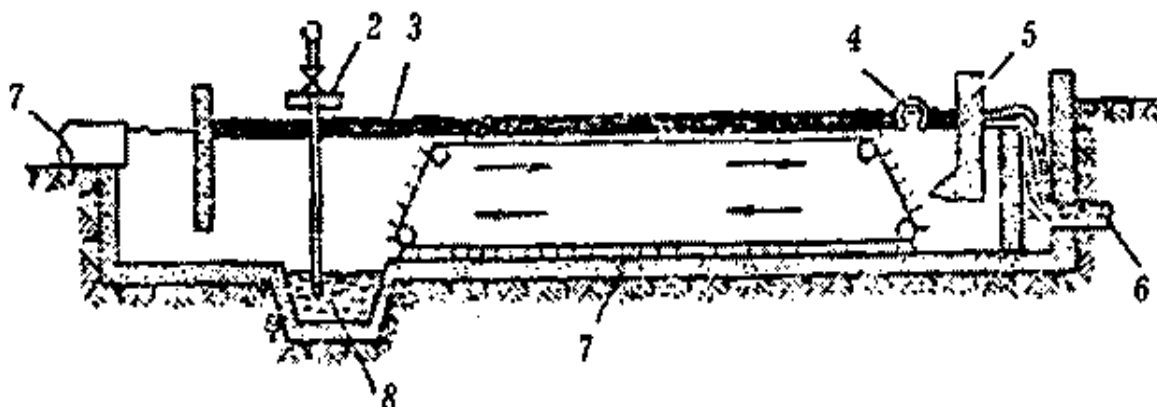


Рисунок 9.5 – Схема нафтовловника:

1 – вхід забрудненої води; 2 – пристрій для видалення осаду; 3 – шар нафтопродукту на поверхні води; 4 – нафтозбірна труба; 5 – нафтовтримувальна перегородка; 6 – злив очищеної води; 7 – шкребковий механізм; 8 – приямок для осаду

Переважно глибина нафтовловника складає 2 м, довжина визначається з розрахунку, щоб середня тривалість відстоювання складала близько 2 годин. Забруднена вода через горизонтальний водозлив (1) потрапляє у відстійну камеру пастки. Внаслідок різниці питомої ваги води, нафтопродуктів і твердих механічних домішок, що залишилися у стоці, відбувається їх розділення: нафтопродукти спливають на поверхню, домішки – осідають на дно, вода – виходить з пастки.

Нафтопродукти, що скупчилися на поверхні води, вловлюються горизонтальною нафтозбірною трубкою (4), яка обертається, і спрямовуються в резервуари для відділення від води і використання за призначенням.

Швидкість спливання частинок нафти залежить від багатьох факторів: вона прискорюється зі збільшенням розмірів частинок нафти і гальмується у разі утворення емульсії. Переважно у нафтовловниках затримується 60-70% нафти, що міститься у стоках у воді і після виходу води, залишається нафти близько 100 мг/л.

До недоліків нафтовловників відносять:

- вони займають багато місця;
- забруднюють атмосферу виділеннями;

- потік води в них розподіляється нерівномірно;
- шкребковий механізм ненадійний у роботі;
- низький ступінь очищення;
- правильна експлуатація є складною.

Необхідно передбачити пристрої для збирання нафтопродуктів, які спливли, і вилучення осаду.

За таким самим принципом працюють *олієвловники*.

Усереднення. Якщо необхідно усереднити вміст і витрати виробничих стічних вод, передбачаються *усередники*, об'єм яких визначається за графіками притоку стічних вод і коливань концентрацій забруднень у них.

У *проектванні усередників* з перемішуванням стічних вод повітрям приймається:

- у ролі барботерів – перфоровані труби з отворами $d=5$ мм у нижній частині на відстані 3-6 см одна від іншої;
- інтенсивність барботування, що забезпечує перемішування: для пристінних барботерів – 2-3 м³/год на один погонний метр, для проміжних барботерів – 4-5 м³/год на один погонний метр;
- інтенсивність барботування, яка запобігає випадінню в осад зважених частинок;
- відстань від барботерів до стінки $L=1,6H$, між барботерами – $(2-3)H$, до протяжної стіни – $1,5H$;
- діаметр барботерів – 50 мм за інтенсивності барботування менше 8 м³/год на 1 погонний м і 75 мм – у разі більшої інтенсивності.

9.3. Виділення механічних домішок у полі дії відцентрових сил та фільтрування

Виділення механічних домішок у полі дії відцентрових сил здійснюється у *гідроциклонах і центрифугах*, де зважені частинки виділяються з рідини під дією відцентрових сил, які виникають від того, що рідина, яка очищується, уводиться у пристрій тангенційно. Це викликає її обертовий рух і прояв відцентрових сил.

Швидкість відбору зі стічної води завислих твердих частинок може бути збільшена дією відцентрових сил у *гідроциклонах*, що бувають *напірні і безнапірні (відкриті)*.

У *напірній гідроциклонній конструкції (закриті гідроциклони)* стічна вода подається під тиском тангентально. Основний потік її рухається у білястінковому просторі по спіралі донизу. У кінцевій частині потік повертає до центру апарата і рухається нагору до вихідного патрубку. Завислі частинки переміщуються у білястінковий шар, сповзають до вершини конуса і видаляються через розвантажувальний отвір. Напірні гідроциклони затримують частинки суспензії величиною 0,1-0,5 мм і більше. У випадку очищення стічних вод, що містять абразивні домішки, застосовуються напірні гідроциклони з внутрішньою поверхнею,

футерованою зносостійким литтям. Напірні гідроциклони застосовують для видалення зі стічних вод механічних частинок зі швидкістю осадження менше 0,02 м/с.

Очищувана вода подається по патрубку в циліндричну частину гідроциклона зі швидкістю до 20 м/с і рухається вздовж стінок по спіралі донизу; в конічній частині – вона повертається до вертикальної осі апарата і по внутрішній спіралі піднімається вгору до вихідного патрубка. Під дією відцентрової сили зважені частини випадають з потоку і через спуск для шламів виводяться із системи.

Для збільшення пропускної здатності і ступеня очищення встановлюють групу з паралельно включених гідроциклонів.

Істотним *недоліком напірних гідроциклонів* є їх відносно велика енергоємність і складність видалення речовин, які спливають.

Недоліків напірних гідроциклонів не мають відкриті (безнапірні) гідроциклони, що працюють за порівняно невеликих швидкостей потоку, унаслідок чого завислі частинки видаляються, в основному, внаслідок дії гравітаційних, а не відцентрових сил. Проте вони затримують лише великі частинки (10 мм і більше).

Відкриті гідроциклони застосовуються для виділення зі стічних вод великих механічних частинок зі швидкістю осадження більше 0,02 м/с. *Переваги відкритих гідроциклонів* – велика продуктивність і незначні втрати тиску (не більше 0,5 Па). Ефективність очищення в них залежить від характеристик забруднень (виду матеріалу, розміру і форми частинок тощо), а також від конструктивних і геометричних характеристик самого гідроциклона.

Застосовуються *відкриті гідроциклони трьох типів*:

– *гідроциклони без внутрішніх пристроїв* для виділення домішок, а також скоагульованих зважених частинок нафтопродуктів;

– *гідроциклони з діафрагмою і циліндричною перегородкою* за витрати стічних вод на один апарат до 220 м³/год – для частинок розміром 0,2 мм і більше, а також зважених нафтопродуктів;

– *багатоярусні* – за витрати стічних вод на один апарат більше 200 м³/год – для виділення частинок розміром 0,2 мм/с і більше і нафтопродуктів.

На рис. 9.6 наведена *схема відкритого гідроциклона*, який складається з вхідного патрубка, кільцевого водозливу, труби для відводу очищеної води і шламівідвідної труби.

Допускається для стічних вод, які містять 0,2-4 г/л зважених частинок з питомою вагою 2-2,5 г/см³.

Оскільки відцентрові сили в багато разів перевищують сили тяжіння, гідроциклони в десятки разів менші за об'ємом або площею за відстійники, в них значно збільшується швидкість осадження зважених частинок і зменшується площа, яку вони займають. Їх дуже зручно використовувати для замкнених зворотних циклів. *До недоліків відносять*

значні витрати електроенергії для створення необхідного тиску і швидке зношування апаратів.



Рисунок 9.6 – Відкритий гідроциклон

Фільтрування. У наведених вище апаратах залишковий вміст зважених частинок становить не менше 10-15 мг/л, а для скидання у водоймища і для деяких об'єктів оборотного водопостачання такого ступеня очищення недостатньо, і в цих випадках єдиним методом подальшого очищення є **фільтрування через шар зернистого або пористого матеріалу**. Фільтри можна застосовувати або як самостійні очисні споруди, або як другий ступінь очищення після відстійників, вловників, гідроциклонів.

Фільтрування застосовується також після застосування фізико-хімічних і біологічних методів очищення, тому що деякі з цих методів супроводжуються видаленням у воду, яка очищається, механічних домішок.

Процес **фільтрування** полягає у тому, що стічна вода проходить (фільтрується)

через пористе середовище, яке знаходиться у спеціальних установках-фільтрах. При цьому зважені частинки затримуються на поверхні і у тілі фільтрувальних речовин. Найчастіше для фільтрування застосовують кварцовий пісок із зерном діаметром 0,5-2,0 мм. Чим дрібніший пісок, тим вищий ступінь очищення, але тим скоріше забруднюється фільтрувальний матеріал і виникає необхідність його регенерації.

Робота фільтра характеризується швидкістю фільтрування, яка визначається у м³/год на 1 м² площі поверхні фільтрувального шару. Розрізняють **швидкісні фільтри** зі швидкістю 6-10 м³/год і **надшвидкісні**, які працюють з початковою швидкістю 50-100 м³/год і кінцевою швидкістю – 20 м³/год. Перші – виготовляються відкритими (**безтискові**), другі – закритими (**тискові**), причому тиск в них створюється водою або подачею стисненого повітря.

На рис. 9.7 наведена конструкція **безтискового відкритого фільтра**, в якому фільтрувальним матеріалом є кварцовий пісок.

Вода, що очищується, уводиться у фільтр по лотку (1) на фільтрувальний матеріал (5), що розташований на дренажній основі (9) з отворами для проходження води. Проходячи через фільтрувальний шар, вода очищається, поступає у підфільтровий простір (8) і виводиться з фільтра

по трубі (7). Після відповідного періоду роботи, визначеного регламентом, фільтрувальний матеріал регенерують, промиваючи його зворотним потоком води. Для цього фільтр відключають шиберами (2) (включаючи одночасно другий резервний фільтр), по входу промивальної води (6) подають воду, часто гарячу, іноді разом зі стисненим повітрям. Вода і повітря, проходячи через фільтрувальний матеріал, промивають його, виносячи бруд через отвір (3) в очисні споруди.

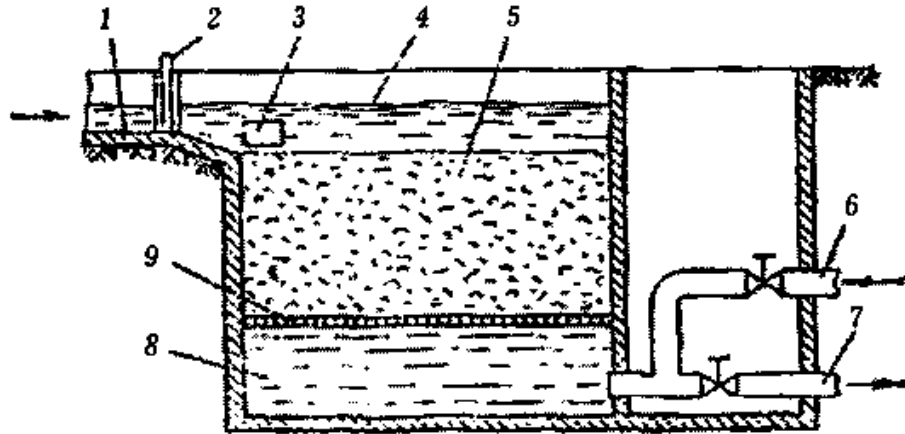


Рисунок 9.7 – Схема безтискового відкритого фільтра:

1 – вхід води, що очищається; 2 – регулювальний шибера; 3 – вивід промивної води; 4 – рівень води, яка очищається; 5 – фільтрувальний матеріал; 6 – введення води для промивання; 7 – труба для відведення очищеної води; 8 – підфільтровий простір; 9 – дренажна основа, що підтримує фільтрувальний матеріал

Найкращі характеристики мають комбіновані фільтри, в яких процес фільтрування поєднаний з іншими методами очищення стічної води.

На рис. 9.8 показана *схема комбінованого фільтра* для очищення стічних вод від механічних домішок з розміром частинок 0,01-10 мм. Вода, що очищується, подається через трубу (1) тангентально в ємність (2), в якій завдяки обертанню потоку виділяються більш великі частинки. Шлам з ємності видаляється по трубопроводу (4). Частково очищена вода переливається через верхній рівень ємності (2) і поступає в зернистий фільтр (6), в якому відбувається тонке очищення. Дренажний пристрій (5) служить для збору шламу при промиванні фільтра. Комбінований фільтр можна використати і для очищення олій, які видаляються потім через трубу (3).

Залежно від кількості шарів фільтрувального матеріалу застосовуються **фільтри двох типів: одношарові і двошарові.**

Вибір типу фільтра здійснюють на основі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням якості води, що обробляється, а також наявності фільтрувального матеріалу.

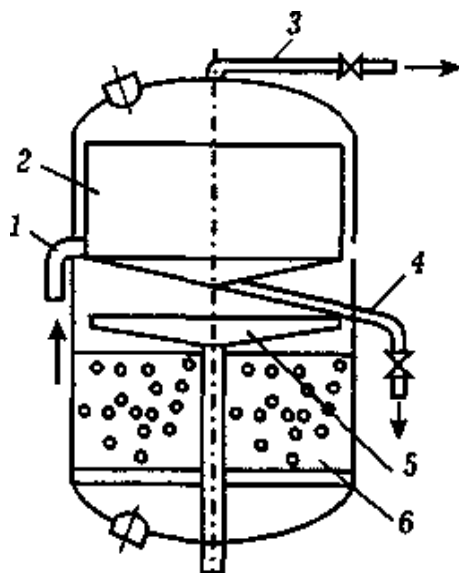


Рисунок 9.8 – Схема комбінованого фільтра

У проектуванні фільтрів необхідно:

- застосовувати водяне або повітряне промивання;

- водяне промивання фільтра передбачати фільтрувальною водою з інтенсивністю $16-18 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ для одношарового фільтра і $14-16 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ для двошарових; тривалістю 6-8 хв. – для одношарових і 10-12 хв. – для двошарових;

- повітряне продування для одношарових фільтрів проводити 1-2 хв. інтенсивністю $18-20 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$;

- водоповітряне продування проводити тривалістю 8-10 хв. з інтенсивністю подачі води – $3-4 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$;

- фільтроцикл приймати: 12 годин – для одношарових фільтрів з подачею води зверху за вихідної концентрації зважених частинок 15-20 мг/л; 24 години – для фільтрів з подачею води знизу у двошарових фільтрах за вихідної концентрації 15-20 мг/л;

- коливання швидкості допускати не більше 15% [15].

Висновок. Загалом механічне очищення застосовують для вилучення зі стічних вод нерозчинених мінеральних та органічних домішок з метою підготовки до біологічного, фізико-хімічного або іншого методу очищення. Механічне очищення є попереднім, рідше – кінцевим етапом очищення стічних вод, і забезпечує виділення зважених речовин до 90-95 % і зниження органічних поллютантів до 20-25 % (за БСК).

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте основні процеси механічного очищення стічних вод.

2. Розкрийте особливості проціджування як різновиду механічного очищення стоків.

3. Поясніть призначення відстійників і нафтофільтрів (маслофільтрів).

4. Назвіть недоліки відстоювання як методу очищення стічних вод.

5. Поясніть сутність процесу усереднення.

6. Розкрийте особливості роботи та переваги гідроциклонів і центрифуг.

7. Поясніть сутність процесу фільтрування та його місце серед інших методів очищення стічних вод.

ЛЕКЦІЯ 10

ХІМІЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

ПЛАН

1. Хімічні методи очищення стічних вод.
2. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод.

10.1. Хімічні методи очищення стічних вод

Хімічне очищення застосовують у тих випадках, коли вилучення забруднювачів можливе лише в результаті хімічних реакцій між полію-тантами і реагентами, що вводяться, з утворенням нових речовин, які легко видалити зі стічних вод.

Під час хімічного очищення відбуваються реакції конденсації, окислювання, нейтралізації, в результаті яких утворюються:

- нетоксичні або менш токсичні речовини;
- розчинні у воді сполуки перетворюються на нерозчинні і легко відокремлюються;
- кислі і лужні стоки – нейтралізуються.

Цей метод очищення вимагає великої витрати *реагентів*. Крім того, нові сполуки, що утворилися, хоча і нетоксичні, однак забруднюють водойми, тому потрібне додаткове очищення стоків іншими способами.

Інколи можна знайти кілька *хімічних реакцій*, критеріями у виборі яких є:

- ефективність процесу очищення;
- швидкість реакції;
- вартість реактивів;
- зручність наступного вилучення після реакції речовин;
- інші фактори.

Оскільки після реакції необхідно видалити зі стоку речовини, що утворилися, методи хімічного очищення зазвичай поєднують з механічним або фізико-хімічним очищенням.

Методи хімічного очищення найбільш прийнятні в системах локального очищення стоків, де обсяги води, що очищається, відносно невеликі, а концентрації забруднюючих речовин значні.

Відстоюванням, флотацією і фільтруванням зі стічних вод можуть бути вилучені суспензії з діаметром частинок $d_p=5$ мкм. Для видалення більш дрібних частинок і для інтенсифікації осадження частинок $d>5$ мкм застосовується *реагентна обробка*, яка полягає в коагуляції забруднень за допомогою реагентів-коагулянтів і флокулянтів (від лат. *coagulatio* – згортання, згущення, *flocculi* – пластівці).

Неорганічні коагулянти (сірчаноокислий алюміній $Al_2(SO_4)_3$, залізний купорос $FeSO_4 \cdot H_2O$, хлорне залізо $FeCl_3$, бентоніт та ін.) гідролізуються у воді з утворенням пластівців гідроокисів, які у процесі осаджен-

ня сорбують тонкодисперсні забруднення, включаючи колоїдні, завдяки чому прискорюється процес очищення. На машинобудівних заводах як коагулянт використовують оброблені травильні розчини, що містять сульфат заліза $FeSO_4$. Таким чином, **коагулянти** – речовини, уведення яких у рідину спричиняє злипання і випадання в осад дрібних частинок.

Флокулянти (поліакриламід, активована кремнієва кислота) сприяють утворенню більш великих і міцних пластівців або інтенсифікують процес *самокоагуляції частинок* (об'єднання колоїдних частинок у пухкі пластівчасті агрегати). Застосування реагентної обробки дозволяє досягти ефективності уловлювання $\eta=99,5\%$. Проте така обробка істотно ускладнює експлуатацію очисних споруд і тому доцільна лише у тих випадках, коли до очищення ставляться підвищені вимоги – у разі скидання очищених стоків у водойми або їх спрямування у системи чистої охолоджувальної води.

Пил, що викидається зі сталеплавильних печей та інших агрегатів металургійного циклу і забруднює стічні води при мокрому очищенні газів, містить до 60 % заліза і його окислів. Використовується **безреагентна коагуляція** феромагнітних дрібнодисперсних суспензій, яка здійснюється шляхом впливу на стічні води магнітними полями (за допомогою електромагнітного коагулятора, що встановлюється на трубопроводі, які подають стічні води у відстійник).

Стоки гальванічних і травильних цехів – це порівняно концентровані відпрацьовані розчини переважно кислот, лугів, солей і промислових вод. Такі стоки підлягають нейтралізації (доведення реакції до нейтральної $pH=6,5-8,5$).

Для виконання операцій **нейтралізації** в стічні води додаються реагенти, під впливом яких кислоти або луги, що містяться в стоках, нейтралізуються, а інші забруднення, в основному іони важких металів, випадають в осад.

Обраний спосіб нейтралізації повинен забезпечити видалення зі стічних вод усіх забруднень, що можуть негативно впливати на водойму, а також виділятися у трубопроводах. Застосовувані реагенти повинні сприяти утворенню осадів, які легко фільтруються. Нейтралізаційні установки є обов'язковими для всіх підприємств, у стічних водах яких містяться амінокислоти та їх солі. Основним реагентом для нейтралізації кислот у стічних водах є *гашене вапно* у вигляді вапняного молока – $Ca(OH)_2$. Коли активна реакція кислих стоків досягає $pH=8-9$, настає нейтралізація кислот, що містяться в них, і відбувається виділення їх у вигляді нерозчинних гідроокисів.

Можуть використовуватися й інші реагенти – *луги, сода, вода* – у випадках, коли вони містяться у твердих або рідких відходах виробництва (тобто вирішуються два завдання – нейтралізація стічних вод й утилізація відходів – *комплексний підхід*). За нейтралізації сірчанокислотних стічних вод вапном утворюється гіпс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, який відкла-

дається на стінках трубопроводів і арматури. Для боротьби із цим використовується регулярне промивання трубопроводів, застосування вінілпластових або поліетиленових труб замість металевих, тобто таких, що мають *антиадгезійні властивості*. У кожному конкретному випадку слід обирати такий метод нейтралізації, який обумовлений такими чинниками, як хімізм процесу, склад стоків та ін.

Вибір методу нейтралізації залежить від обсягу і концентрації стічних вод, від режиму їх надходження, наявності і вартості реагентів. У процесі нейтралізації може утворюватися осад, кількість якого залежить від концентрації і складу стічних вод, а також від виду і витрати використовуваних реагентів.

Реагенти вибирають залежно від складу і концентрації кислої стічної води. При цьому враховують, чи буде у процесі утворюватися осад, чи ні.

Розрізняють **три види кислотовмісних стічних вод**:

1. Води, що містять слабкі кислоти (H_2CO_3 , CH_3COOH).
2. Води, що містять сильні кислоти (HCl , HNO_3). Для їх нейтралізації може бути використаний будь-який названий вище реагент. Солі цих кислот добре розчинні у воді.
3. Води, що містять сірчану H_2SO_4 і сірчисту H_2SO_3 кислоти. Кальцієві солі цих кислот погано розчинні у воді і випадають в осад.

Нейтралізацію можна проводити:

- *змішуванням* – для очищення кислих і лужних вод, які не забруднені іншими компонентами.
- *додаванням реагентів* – для очищення кислих вод $NaOH$, Na_2O_3 , KOH , $CaCO_3$, $MgCO_3$, соди тощо.
- *фільтруванням через нейтралізуючі матеріали* (магнезит, доломіт, вапняк, шлак, золу).
- *кислими газами* – для лужних стічних вод – газами з CO_n , SO_n , NO_n (димовими газами).

Метод **етерифікації** полягає у перетворенні низькомолекулярних кислот (масляна, оцтова і т.д.) на ефіри з низькою температурою кипіння, які видаляються зі стічних вод відгоном. Для прискорення реакції етерифікації застосовуються *каталізатори* – мінеральні кислоти. Процес очищення виконують в апаратах періодичної або безперервної дії з використанням цінних вилучених складних ефірів. Застосування етерифікації для очищення стічних вод можливе у виробництвах синтетичних жирних кислот, оцтового ангідриду, триацетату целюлози й ін. Можлива переробка розчинних забруднювачів стічних вод у малорозчинний стан.

Так, у виробництві полівінілацетатних полімерів у стічних водах міститься полівініловий спирт і його похідні, які важко піддаються переробці. Використовуючи реакцію взаємодії цього забруднення з розчинними у воді карбоксилостіткими полімерами та їх солями в присутності сірчаної кислоти, одержують пластівці нерозчинного у воді продукту ре-

акції, що осаджуються методом коагуляції, і виходить маса, придатна для застосування як клей.

Домішки фенолу і формальдегіду, що містяться у стічних водах, можна виділити у вигляді резольної смоли методом *поліконденсації* за присутності каталізатора. Резольну смолу після вилучення з води використовують для склеювання фанери і виготовлення деревинно-стружкових плит. Цей продукт очищення застосовують і у виробництві фенолформальдегідних смол та інших полімерів.

Окислювання забруднювачів застосовується тоді, коли їх неможна вилучити або видозмінити іншими способами. Високу окисну здатність хлору, наприклад, використовують для очищення стічних вод від сірководню, гідросульфїду, метилсірчаних сполук, фенолу. Особливо слід зазначити можливість застосування *хлорування* для руйнування канцерогенних речовин (спричиняють онкологічні захворювання) таких, як 1,2-бензапірен.

Окислювання можна проводити:

- *перекисом водню, змішаним з водою* – використовується для окислення нітритів, альдегідів, фенолів, барвників тощо. Для активізації процесу додають каталізатори – іони металів змінної валентності;

- *киснем повітря* – для очищення води від заліза, сульфїтних стоків тощо;

- *нітромозитом*.

Озонування забезпечує знебарвлення води, усунення присмаків і запахів, знезараження, очищення стічних вод від фенолів, нафтопродуктів, сірководню, миш'яку, ПАР, ціанїдів, пестицидів тощо. Застосування озону для глибокого очищення стічних вод обумовлено його високою реакційною здатністю і сильною окисною дією. Даний метод не призводить до збільшення сольового складу очищеної води, не забруднює воду продуктами реакції і реактивами. Проте цей метод достатньо *коштовний*.

Очищення відновленням застосовується за необхідності видалення зі стічних вод речовин, які легко розчиняються (сполуки ртуті, миш'яку, хрому тощо). Для відновлення *сполук ртуті* застосовується сульфїд заліза, гідросульфїд натрію, залізний порошок, сірководень, гідросульфїд тощо. Для відновлення *хрому* використовується активоване вугілля, бісульфат натрію, діоксид сірки, сульфат заліза тощо. Як відновник використовується гідросульфїт цинку, сполуки, які містять фосфор, природний газ, аміак, деревне вугілля, водень тощо.

Для видалення *іонів важких металів* застосовують **реагентні методи очищення**, суть яких полягає у переведенні розчинених у воді речовин у нерозчинні і наступним виділенням їх з води у вигляді осаду. У ролі реагентів використовуються гідроксиди натрію та кальцію, сульфїди натрію, різні відходи тощо.

На рис. 10.1 зображено основні види обладнання для хїмічного очищення стічних вод [15]. Інколи методи, які базуються на викорис-

танні камери електролітичного знешкодження (рис. 10.1, в), відносять до фізико-хімічних, оскільки тут відбувається електрохімічне окислення й електроліз стічних вод.

Основу *електролізу виробничих стічних вод* складають два процеси: *анодне окислення і катодне відновлення*.

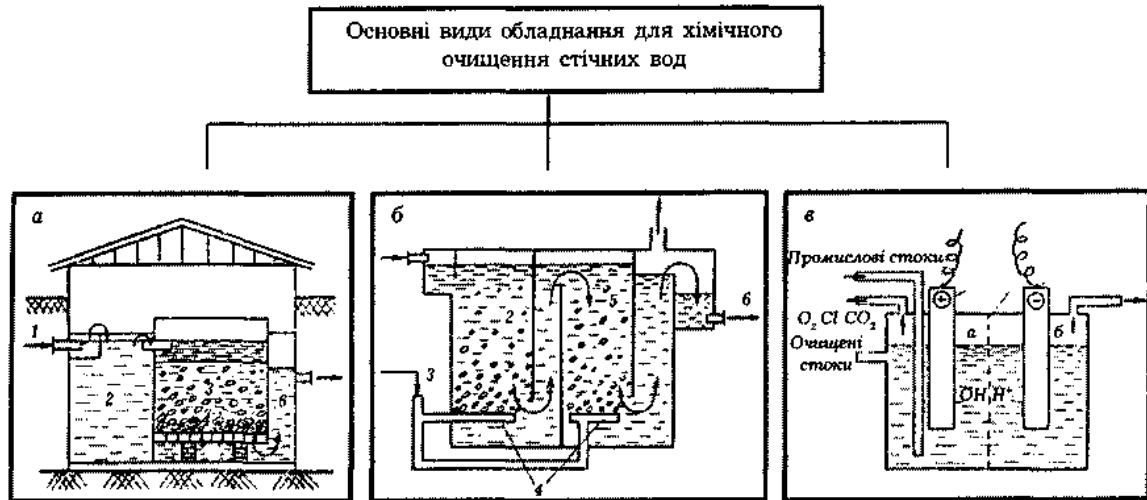


Рисунок 10.1 – Основні види обладнання для хімічного очищення стічних вод:
 а) вертикальний доломітовий фільтр-нейтралізатор: 1 – подача кислих стічних вод; 2 – приймальна камера; 3 – доломітовий фільтр; 4 – гравій; 5 – дренаж; 6 – випуск нейтралізованих стічних вод;
 б) контактна камера озонування стічних вод: 1 – подача стічних вод; 2, 5 – камери озонування; 3 – введення озону; 4 – металокерамічні розпилювальні труби; 6 – вивід стічних вод;
 в) камера електролітичного знешкодження (анодного окислення): 1 – напівпроникна перегородка; 2 – анод; 3 – катод

10.2. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод

Фізико-хімічні методи вимагають застосування реагента і базуються на зміні фізичного стану політантів, що спрощує їх видалення зі стоків.

До них відносяться:

- **коагуляція**, яка збільшує розмір частинок забруднюючих речовин і полегшує їх осадження;
- **флотація**, за якої домішкам надають велику плавучість і вони спливають на поверхню води;
- **сорбція**;
- **адсорбція**;
- **дезодорація**;
- **екстракція**.

Політанти поглинаються твердими або рідкими сорбентами і видаляються з ними, а із застосуванням методу *евапорації* – відганяються

з розчину при нагріванні як більш легкої, ніж вода. Останніми роками широкого застосування набув **іонний обмін** – вилучення з водних ресурсів різноманітних катіонів і аніонів за допомогою твердих речовин-іонітів, з наступною регенерацією і використанням забруднювача.

Методи фізико-хімічного очищення потребують використання дорогих реактивів, проте завдяки їх ефективності, а іноді неможливості вирішити завдання очищення іншим способом, дані методи широко застосовують у промисловості, особливо для очищення багатоконпонентних стічних вод з малою концентрацією поллютантів.

Електрохімічні методи очищення, в основі яких лежить використання електричного струму для здійснення процесів окислювання і відновлення речовин, що знаходяться в стічних водах, застосовуються в основному для *знешкодження хромо- і ціаномістких стоків гальванічних цехів*. У порівнянні зі звичайними реагентними методами ці методи значно скорочують уведення в стоки сульфатів і хлоридів, знижують капітальні витрати на будівництво очисних споруд і дещо спрощують їх експлуатацію. Проте їх широке впровадження стримується конструктивними труднощами і значною витратою листового металу на виготовлення розчинних електродів.

Останнім часом широко застосовується **метод флоатації** для очищення стічних вод, забруднених легкими і високодисперсними суспензіями. Ефект флоатації полягає в тому, що дисперговані в тонкій суспензії пухирці повітря прилипають до частинок суспензії і спливають разом з ними на поверхню рідини, утворюючи над нею піну (флоатаційний шлам). У процесі флоатації у пінний шар, крім твердих речовин, переходять багато емульсій, у тому числі емульсії нафтопродуктів і жирів, а також розчинені у стічних водах поверхнево-активні речовини.

За досить малих розмірів повітряних пухирців поверхня їх виявляється дуже великою, і в результаті їх спливання на межі поділу рідина-повітря накопичуються тверді і рідкі частинки. Концентрація частинок у пінному шарі вища, ніж у вихідній рідині. У такий спосіб відбувається очищення.

Переваги флоатації:

- високий ступінь очищення (до 90-98%);
- порівняно незначний час перебування стічних вод (20-40 хв.) у флоатаційних установках;
- очищення одночасно супроводжується аерацією, зниженням вмісту бактерій і мікроорганізмів, що поліпшує загальний санітарний стан стічних вод;
- флоатаційний шлам має більш низьку вологість (90-95%), ніж вологість шламу, отриманого в результаті відстоювання (95-99,8%);
- флоатація є універсальним методом очищення стосовно різних видів забруднень.

ванням. Установа для видування летких компонентів – *скруббер*, через який за допомогою вентилятора продувається повітря, попередньо нагріте у калорифері (можливе застосування інертних газів – N_2 , CO_2 та ін.).

Видування допускає утилізацію летких речовин, які вилучаються зі стічних вод (сорбційними та ін. методами), або спрямування їх на *установки каталітичного спалювання*.

Для вирівнювання кількісної й якісної неоднорідності загальних стоків у схемах очищення передбачаються спеціальні ємкості – *усереднювачі*. Усереднення загального стоку необхідне в тих випадках, коли в результаті залпових скидань (наприклад, у разі періодичних скидань відпрацьованих кислих і лужних розчинів) різко змінюється рН.

Завдяки коагуляції за допомогою реагентів зміцнюють і ущільнюють завислі частинки речовини, щоб вони осіли на дно очисного пристрою; із застосуванням флоатації – навпаки, завданням є зменшення маси завислих частинок, щоб спонукати їх спливати на поверхню води і потім видалити зі стоку. Для прискорення спливання частинок у рідину, що очищається, подають повітря, дрібні пухирці якого, спливаючи на поверхню води, захоплюють частинки забруднювача й утворюють на поверхні води піноподібний шар, насичений флотованою речовиною. Флоатація в десятки разів підвищує швидкість спливання частинок і тому її застосування ефективне.

Найбільше поширення одержав *спосіб напірної флоатації*; рідше застосовують *флоатацію турбінкою насосного типу*.

Принцип дії *напірної флоатації* проілюстрований на рис. 10.3, а. Зі зростанням тиску розчинність повітря у воді підвищується. Тому в напірний резервуар (4) під тиском, який створюється насосом (3), подають воду, що очищається, і повітря по вводах (1, 2). У напірному резервуарі (4) при тиску близько 0,4 МПа ($4 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$) протягом близько 5-7 хв. відбувається розчинення повітря у воді, після чого вона проходить через редуктор (5), який знижує тиск у флотовідстійнику (6) до атмосферного, внаслідок чого повітря знову виділяється і спінений ним частинки забруднюючої речовини спливають. Очищену воду з флотовідстійника видаляють через патрубок (7).

Схема дії самого *флотовідстійника* наведена на рис. 10.3, б. Суміш стічної води і повітря надходить у приймальну камеру (2) через розподільну трубу (1) (показана в розрізі) і перевалюється через струменегасну перегородку (3) у відстійну частину флотовідстійника. Пухирці повітря, видалені з води внаслідок зниження тиску, спливають, захоплюючи за собою забруднення, й утворюють на поверхні води піну. Скребковий механізм (4) зганяє піну через перегородку (5) у пінну камеру (6), звідки її видаляють разом із забрудненнями через патрубок (7). Прочищену воду через перфоровану трубу (8) (показана в розрізі) виводять із флотовідстійника.

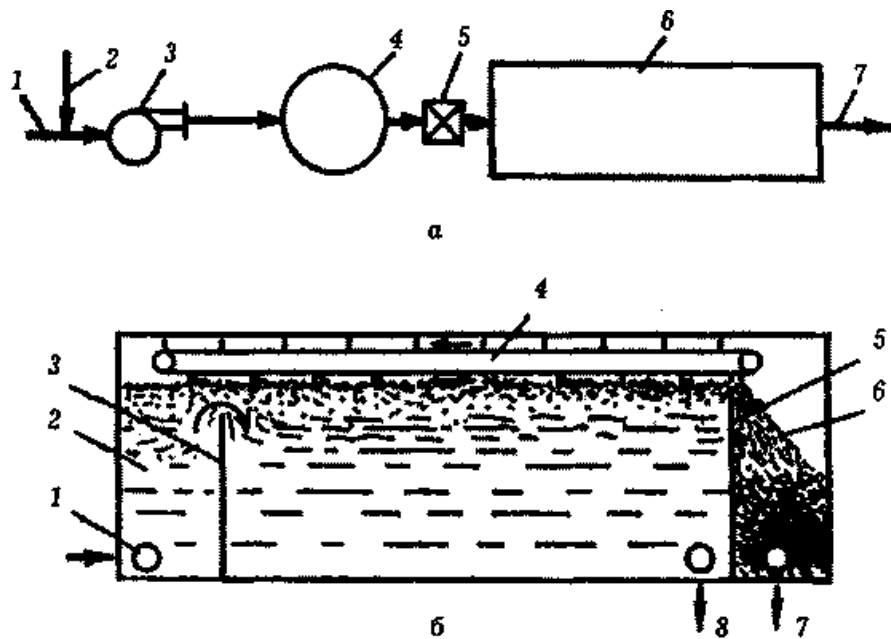


Рисунок 10.3 – Напірна флотація:

а) схема напірної флотаційної установки; б) схема флотовідстійника

Описана *схема флотації має наступні недоліки*: у результаті очищення стічних вод, що містять нафтопродукти, відбувається утворення емульсії в процесі перекачування води відцентровим насосом, крім того, доводиться прокачувати через систему весь обсяг води, яка очищається. Існують схеми, в яких насиченню повітрям підлягає лише частина води, яка береться з флотовідстійника і подається насосом у напірний резервуар; тоді зменшується емульгування, але виникає необхідність збільшення об'єму флотовідстійника. Ефективність флотації може бути збільшена введенням у процес очищення коагулянтів і флокулянтів.

Напірну флотацію застосовують для очищення стічних вод нафтопереробних заводів, виробництва віскозних волокон, целюлози та ін.

Флотаційна установка з використанням турбіни складається з корпусу, на дні якого встановлені одна або декілька турбін. Вони засмоктують атмосферне повітря і розпилюють його в стічній воді. Вода, яка очищається, рухається згори донизу, очищена іде знизу, піну, що утворюється на поверхні, спеціальний пристрій зганяє в збірний лоток.

Сутність **способу екстракції** полягає в тому, що стічну воду змішують з екстрагентом, тобто з такою рідиною, в якій речовина-забруднювач розчиняється краще, ніж у воді, а сам екстрагент не змішується з водою. При цьому речовина, яка забруднює стічну воду (її називають екстрагованою речовиною), певною мірою, іноді значною, переходить в екстрагент. Відокремлюючи екстрагент від води і разом з ним частину екстрагованої речовини, можна досягти значного зменшення концентрації полютанта у стічній воді. А екстрагент із розчищеною у ньому забруднюючою речовиною можна регенерувати: вилучити з нього екстраговану речовину, а екстрагент знову застосувати для процесу

екстракції. Завдання полягає в тому, щоб підібрати потрібний екстрагент для конкретної речовини, що забруднює стічну воду.

Екстрагент повинен відповідати наступним вимогам:

- мати кращу здатність до розчинення екстрагованої речовини, ніж вода;
- володіти селективністю до екстрагованої речовини, тобто вилучати з різноманітних речовин, що знаходяться в стічній воді, саме цю і тільки цю забруднюючу речовину;
- не розчинятися у воді (і вода не повинна в ньому розчинятися);
- помітно відрізнятися густиною від густини води, щоб потім легко було відокремити екстрагент від води;
- мати температуру кипіння, яка значно відрізняється від температури кипіння екстрагованої речовини, щоб їх можна було легко розділити відгоном;
- не взаємодіяти з екстраговою речовиною і матеріалом апарата;
- мати якомога нижчу вогнебезпечність і токсичність;
- бути недорогим.

Отже, підібрати такий екстрагент не просто, тому і перелік речовин, які можна вилучати зі стічних вод екстракцією, обмежений. Ширше та успішніше цей спосіб використовують для екстракції зі стічних вод *фенолу*.

Стічні води, що містять фенол, після механічного очищення надходять в екстрактор, що являє собою механічний резервуар з перегородками або мішалками. Згори подають стічну воду, знизу – екстрагент, який має меншу щільність, ніж вода, внаслідок чого він піднімається догори, а вода опускається донизу, утворюючи протипотік (рис. 10.4). Шари води, безупинно проходячи через екстрагент, віддають йому фенол і стічна вода поступово звільняється від нього. Екстрагент, що захопив фенол, подають на регенерацію, найчастіше – це відгін екстрагента із суміші у насадочній колоні. Відігнаний екстрагент знову спрямовують на екстракцію, а вилучений фенол використовують у промисловості. Для більшого ступеня очищення іноді встановлюють послідовно кілька екстракторів. Як екстрагент застосовують бутилацетат, іноді в суміші з бутиловим спиртом, рідше – бензол; використовують і інші органічні розчинники.

Очищення екстракцією стічних вод від фенолу ефективні, наприклад, у процесах термічної переробки горючих сланців при вмісті фенолу у стоках 10-12 г/л. Після очищення екстракцією вміст фенолу знижується до 600-800 мг/л, тобто до концентрацій, за яких можливе додаткове очищення від забруднювача біохімічними способами; в даному випадку утилізація уловленого фенолу для виробництва смол, дубильних засобів і т.п. не лише покриває видатки на очищення, але і виявляється прибутковою.

Принцип *адсорбції* застосовують для очищення стічних вод від найрізноманітніших *органічних сполук*, у тому числі багатокomпонентних і

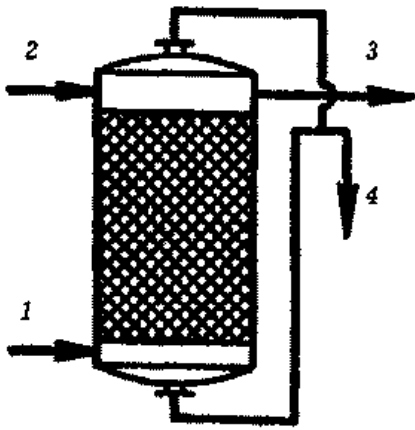


Рисунок 10.4 – Схема безперервної екстракції:

- 1 – уведення чистого екстрагента;
- 2 – уведення неочищеної стічної води;
- 3 – виведення екстрагента, ненасиченого забрудненнями;
- 4 – виведення очищеної води

У випадку деструктивного очищення стоків від багатоконпонентних речовин вилучена їх суміш зазвичай не має технічної цінності і, якщо адсорбент був теж малоцінним (наприклад, буре вугілля, торф, коксовий дріб'язок, тирса й ін.), їх знищують спільним спалюванням або вивозять у місця зберігання відходів. Якщо адсорбентом було активоване вугілля, яке є цінним продуктом, то його вивільняють від поглиненого забруднення продуванням сумішшю продуктів горіння горючих газів з перегрітою водяною парою при $t=700-800\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому полютанти випалюються, а сорбційна активність адсорбента навіть підвищується і його знову можна використовувати для процесу очищення.

Існує багато конструкцій адсорберів. Найбільш простим за апаратним оформленням є *адсорбер у вигляді колони*, завантаженої нерухомим шаром адсорбента. Воду, яка очищується, переважно подають знизу догори, тому що в цьому випадку вона краще заповнює об'єми колони. В очисному блоці є три адсорбційні колони: через дві послідовно пропускають воду, що очищається, третя знаходиться на регенерації. Цей вид адсорберів використовують у випадках утилізації вилучених продуктів.

Іншим видом адсорберів є *установка з рухомих адсорбентом*. У них стічна вода змішується з адсорбентом, причому, процес очищення організований так, що насичений полютантом адсорбент відводять із системи, а замість нього в адсорбційну колону подається така сама кількість свіжого активного адсорбента і процес відбувається неперервно, без зупинок на регенерацію. Найчастіше такі очисні установки призна-

настільки низькоконцентрованих, що застосування інших способів очищення є малоефективним.

Адсорбційне очищення стічних вод може бути *регенеративним*, тобто з вилученням з адсорбента уловлених ним речовин і подальшим їх використанням, або *деструктивним*, при якому вилучені зі стічних вод забруднення знищують як такі, що не мають технічної цінності, іноді разом з адсорбентом.

Цінні, поглинуті адсорбентом речовини, можуть бути вилучені з нього *екстракцією органічними розчинниками, відгоном адсорбованої речовини з водяною парою, випаруванням цієї речовини потоком нагрітого інертного газу й іншими способами*.

лучених речовин токсичні для водних організмів і людини. Часто очищення від цих речовин іншими способами малоефективне або в результаті утворюються значні обсяги сильно заводнених осадів, чого не відбувається із застосуванням іонного обміну. Крім того, солі кольорових металів мають технічну цінність і їх утилізацією знижують витрати на очищення. Тому іонообмінне очищення все ширше застосовують у промисловості.

З метою очищення використовують синтетичні іонообмінні смоли різних марок, а саме очищення виконують в апаратах періодичної і безперервної дії. *Апарати періодичної дії* завантажують шаром іонообмінної смоли висотою 1,5-2,5 м і процес очищення складається зі стадій сорбції, які чергуються між собою, регенерації і промивання від регенеруючого реагента за аналогією до регенеративних адсорберів. В *апаратах безперервної дії* іонообмінна смола рухається по замкненому контуру, послідовно проходячи стадії сорбції, регенерації і промивання.

Для регенерації застосовують, у залежності від виду іоніта і характеру стоків, які очищаються, різні реагенти: для очищення стічних вод виробництва віскозних волокон від окису цинку – 2-5% розчин кальцинованої соди, в інших випадках – соляну кислоту, розчин хлористого натрію й ін.

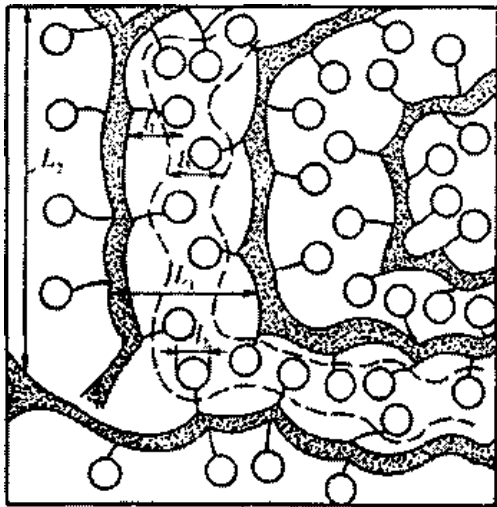


Рисунок 10.6 – Схема фторвуглецевої іонообмінної мембрани:

L_1 – ширина мікропори між двома основними фторвуглецевими полімерними ланцюгами; L_2 – довжина прямолінійної ділянки мікропори; l_1 – віддаль гідратованої іонообмінної групи від основного полімерного ланцюга; l_2, l_3 – ширина заповнення водою мікропори за високого вологовмісту в мембрані

- очищення води від неорганічних і бактеріальних забруднень;

Вищеописані основні фізико-хімічні методи очищення стічних вод застосовуються в різних модифікаціях і в різних поєднаннях у промисловості. Але розроблені і частково використовуються у виробництві й інші перспективні способи очищення, зокрема *магнітним полем, електрохімічним способом*. Поширення набуває очищення методом *зворотного осмосу (гіперфільтрування)* (рис. 10.6), при якому стоки, що очищаються, безупинно фільтруються під тиском через напівпроникні мембрани різних видів, які затримують частково або повністю молекули або іони розчиненої речовини.

Переваги способу гіперфільтрування:

- простота апаратури;
- можливість роботи при звичайній температурі;

- мала залежність ефективності очищення від концентрації забруднень;

- можливість отримання і використання цінних продуктів.

Недоліками є висока вартість мембран і їх швидка зношуваність [15].

Висновок. На етапі проектування очисних споруд часто досить складно здійснити правильний вибір методів і схем очищення, а також вирішити питання про ефективне поєднання локального і загального очищення. Оптимальним рішенням є таке поєднання локальних і загальних методів, яке дозволило б вилучати з локальних стоків цінні компоненти, що підлягають утилізації, а також речовини, які утруднюють загальне очищення, а потім у загальному стоці використовувати нейтралізуючі і коагулювальні властивості компонентів локальних стоків підприємства.

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте хімічні методи очищення стічних вод.
2. Поясніть сутність реагентної обробки та безреагентної коагуляції стоків.
3. Наведіть способи нейтралізації стічних вод.
4. Поясніть сутність окислювання, озонування, очищення стічних вод відновленням.
5. Розкрийте особливості фізико-хімічного очищення стоків від забруднювачів.
6. Поясніть сутність процесу флотації та її переваги в очищенні стічних вод від забруднюючих речовин.
7. Назвіть перспективні методи фізико-хімічного очищення стоків.

ЛЕКЦІЯ 11 БІОЛОГІЧНЕ ТА ТЕРМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

ПЛАН

1. Біологічне очищення стічних вод.
2. Термічне очищення стічних вод.

11.1. Біологічне очищення стічних вод

Біологічне очищення – метод очищення стічних вод від органічних і деяких неорганічних домішок, що здійснюється спільнотою мікроорганізмів (біоценозом), яка включає велику кількість різних бактерій, простіших і ряд більш високоорганізованих організмів – водоростей, грибків тощо, пов'язаних між собою в єдиний комплекс складними взаємовідносинами (метабіоз, симбіоз і антагонізм). Головна роль у цих

процесах відводиться бактеріям, кількість яких 10^6 - 10^{14} клітин на один грам сухої біологічної маси (біомаси). Кількість родів бактерій може сягати 5-10, кількість видів – десятки і навіть сотні. Така велика кількість бактерій обумовлена наявністю у стічній воді органічних речовин різних типів.

У процесі очищення стічних вод беруть участь **бактерії гетеротрофи і автотрофи**, причому перевагу отримує та чи інша група в залежності від умов роботи системи (відносно джерела вуглецевого живлення).

Біохімічне очищення стічних вод базується на здатності певних мікроорганізмів руйнувати органічні і деякі неорганічні сполуки (наприклад, сульфідів і солі амонію), перетворюючи їх на нешкідливі продукти окислювання: H_2O , CO_2 , нітрат- і сульфатіони та ін. Вважається, що всі органічні речовини, за винятком штучно синтезованих (для яких у природі немає мікроорганізмів, здатних їх руйнувати), можуть певною мірою руйнуватися мікроорганізмами навіть за невеликої їх концентрації. У процесі споживання цих речовин відбувається їх окислювання киснем, розчиненим у воді. Частина речовини, що окисляється мікроорганізмами, використовується ними для збільшення біомаси і для розмноження, а інша – перетворюється на нешкідливі продукти окислювання – H_2O , CO_2 , NO_2 та ін.

Для створення нових клітин біомаси мікроорганізми витрачають біогенні елементи: вуглець, водень, кисень, сірку і мікроелементи, які вони беруть з органічних речовин, що руйнуються. Відсутні для побудови біомаси елементи, найчастіше азот, фосфор, калій, доводиться додавати в стоки, що очищаються, у вигляді солей або уводити разом з побутовими стічними водами.

Існує багато видів бактерій, кожен з яких здатний окисляти певні речовини. Наприклад, бактерії типу *псевдомонади* – окислюють метан, жирні кислоти, спирти; типу *мікробактеріум* – нафтопродукти і т.п.

Під дією мікроорганізмів можуть відбуватись окислювальний (*аеробний*) чи відновлювальний (*анаеробний*) процеси.

Аеробний метод здійснюється бактеріями за наявності у воді кисню. Аеробний процес може нормально протікати, якщо концентрація органічної речовини у воді, що очищується, виражена у біохімічній потребі в кисні (БСК), не буде перевищувати певної величини. Тому в біологічному очищенні концентровані стічні води розбавляють низькоконцентрованими побутовими стічними водами, а в окремих випадках - чистою водою.

Мікроорганізми, що беруть участь у процесі біологічного очищення, формуються у вигляді *активного мулу* або *біоплівки*.

Активний мул – буро-жовті дрібні пластівці розміром 3-150 мкм, які зважені у воді і являють собою колонії живих мікроорганізмів, в тому числі бактерій, які утворюють слизові капсули – *зооглеї*.

Біоплівка – слизові обростання товщиною 1-3 мм живими організмами фільтрувального матеріалу очисних споруд.

Ефективність процесів біологічного очищення залежить від:

- температури, яка перебуває в межах 20-30 °С;
- активної реакції середовища (рН середовища), яка є оптимальною в межах 6,5-7,5;
- біогенних елементів – органічного вуглецю (БСК), азоту, фосфору. Необхідна кількість поживних елементів для бактерій в стічних водах визначається співвідношенням: БСК:N:P 100:5:1, а для побутових стічних вод – БСК:N:P 100:20:25;
- рівня живлення мікроорганізмів, який визначається за кількістю забруднень, що припадає на одиницю об'єму очисної споруди, на один грам сухої біомаси або на один грам беззольної частки біомаси;
- кисневого режиму, який має бути не нижчий за 2 мг/л;
- токсичних речовин, для яких встановлені ГДК, тобто межі, в яких вони не впливають негативно на роботу очисних споруд.

Анаеробний метод здійснюється бактеріями, які не потребують кисню і полягає у збродженні сильно зневоднених органічних забруднювачів у закритих апаратах без доступу кисню – *метантенках*. Його застосовують обмежено, в основному – для попередньої підготовки стоків, що дозволяє знизити концентрацію органічних забруднювачів у 10-20 разів і проводити подальшу очистку вже аеробним методом.

Усі споруди біологічного очищення поділяються на три групи за розташуванням в них активної біомаси:

- 1) біомаса закріплена нерухомо, а стічна вода – рухається;
- 2) біомаса знаходиться у стічній воді у вільному (зваженому) стані;
- 3) суміщаються обидва варіанти.

До першої групи споруд відносяться *фільтри*;

- до другої – *аеротенки, циркуляційні окислювальні канали, окситенки*;
- до третьої – *занурювальні біофільтри, біотенки, аеротенки з наповнювачами*.

Біофільтри – очисні споруди, в яких стічну воду пропускають через шар крупнозернистого матеріалу, покритого біоплівкою, заселеною аеробними бактеріями і простішими організмами, що адсорбують і окислюють органічні речовини.

Біофільтр - це прямокутний або круглий резервуар з цегли або бетону, завантажений фільтрувальною масою. *Основна частина біофільтра* – змінний матеріал для підтримання активної біомаси. *Пропускна здатність біофільтра* визначається площею поверхні, що зайнята біомасою, і вільним доступом кисню повітря до неї. Чим більша площа і чим легший доступ кисню, тим вища пропускна здатність.

Як кускові насадки (завантаження) у *біофільтрі використовують*: щєбінь; гравій; шлак; керамзит; керамічні пластмасові кільця; куби; кульки; циліндри; тканинні і пластмасові сітки, скручені в рулони. На рис. 11.1

наведені види завантажувальних елементів біофільтрів, які забезпечують необхідну поверхню контакту забруднюючих речовин з активним мулом.

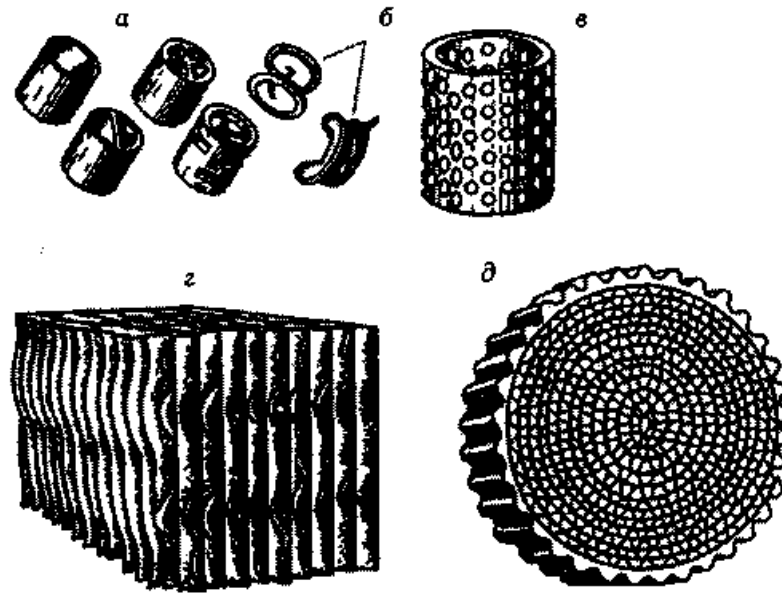


Рисунок 11.1 – Основні види завантажувальних елементів біофільтрів:
 а) кільця; б) сидіння; в) пустотілі циліндри з отворами; г) жорстке блочне завантаження; д) м'яке завантаження

У табл. 11.1 наведена характеристика біофільтрів для різних виробництв, яка свідчить, що пропускна їх здатність дуже залежить від складу стічних вод.

Таблиця 11.1 – Характеристика біофільтрів для різних виробництв

| Біофільтр | Виробництва | Глибина очищення БСК, мг/л | | Продуктивність, м ³ /добу |
|--|----------------------------------|----------------------------|-------|--------------------------------------|
| | | До | Після | |
| Крапельне завантаження висотою 1,5 м | Диметилтерефталату | 320-580 | 10-25 | 400 |
| | Натрійбутадієнового каучуку | | | 400 |
| | Оксиду фтилена | | | 175 |
| | Полівінілацетату | | | 500 |
| | Хлоропренового каучуку | | | 400 |
| Високонапірний, висота шару 3 м, витрата повітря 20 м ³ /м ³ | Нафтопереробний завод | 400-600 | 20-25 | 300 |
| Високонапірний, висота шару 4 м, витрата повітря 60 м ³ /м ³ | Бутадієн-стирольного каучуку | 400-600 | 20-25 | 250 |
| 3 пласким навантаженням, висота шару 4 м | Підприємство органічного синтезу | 250 | 25 | 7-9 |

Крапельні біологічні фільтри застосовуються на станціях очищення стічних вод продуктивністю не більше 1000 м³/добу, а **високонапірні** – до 50000 м³/добу.

Крапельні біологічні фільтри встановлюються:

- в опалювальних приміщеннях за середньорічної температури повітря до 3 °С будь-якої продуктивності, а за температури 3-6°С – продуктивністю до 500 м³/добу;
- у неопалювальних приміщеннях за середньорічної температури повітря 3-6°С – продуктивністю до 500 м³/добу;
- БСК стічних вод має бути не більшим за 220 мг/л; для вихідної стічної води з БСК більшим за 220 мг/л необхідно передбачати рециркуляцію; за БСК=220 мг/л і менше необхідність рециркуляції встановлюється розрахунком.

Для крапельних біофільтрів приймають:

- робочу висоту Н=1,5-2 м;
- гідравлічне навантаження q=1-3 м³/(м² добу);
- БСК очищеної води L_t=15 мг/л;
- коефіцієнт К визначається за формулою:

$$K=L_0/L_t, \quad (11.1)$$

де L₀ – БСК вихідної стічної води;

L_t – БСК очищеної стічної води, приймається 15 мг/л;

- параметри крапельних біофільтрів: навантаження q приймається з табл. 11.2 залежно від заданої температури стічної води t і розрахованого значення коефіцієнта К;

- загальну площу біофільтрів – за добовою кількістю стічних вод, які очищаються, і гідравлічним навантаженням.

Таблиця 11.2 – Параметри крапельних біофільтрів

| Температура стічної води, t, °С | 8 | | 10 | | 12 | | 14 | |
|--|------------------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Висота біофільтра, Н, м | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 |
| Гідравлічне навантаження, q, м ³ /(м ² доба) | Значення коефіцієнта К | | | | | | | |
| 1 | 8,0 | 11,6 | 9,8 | 12,6 | 10,7 | 13,8 | 11,4 | 15,1 |
| 1,5 | 5,9 | 10,2 | 7,0 | 10,9 | 8,2 | 11,7 | 10,0 | 12,8 |
| 2 | 4,9 | 8,2 | 5,7 | 10,0 | 6,6 | 10,7 | 8,0 | 11,5 |
| 2,5 | 4,3 | 6,9 | 4,9 | 8,3 | 5,6 | 10,1 | 6,7 | 10,7 |
| 3 | 3,8 | 6,0 | 4,4 | 7,1 | 6,0 | 8,6 | 5,9 | 10,2 |

Аеробні методи очищення здійснюються в **аеротенках, біологічних фільтрах і біологічних ставках.**

В **аеротенках** активний мул перебуває у зваженому стані в усьому об'ємі стічної води, яка очищається. На рис. 11.2 наведені принципові схеми аеротенків.

Принцип побудови аеротенків: суміш води й активного мулу повільно рухається по прямокутних резервуарах аеротенка і безупинно насичується повітрям, яке подається у воду через фільтроси, укладені на дні резервуара уздовж його довгої сторони або іншим способом.

Пухирці повітря, піднімаючись, перемішують активний мул зі стічними водами і не дають пластівцям мулу осідати на дно аеротенка; зовні це виглядає так, начебто вода кипить.

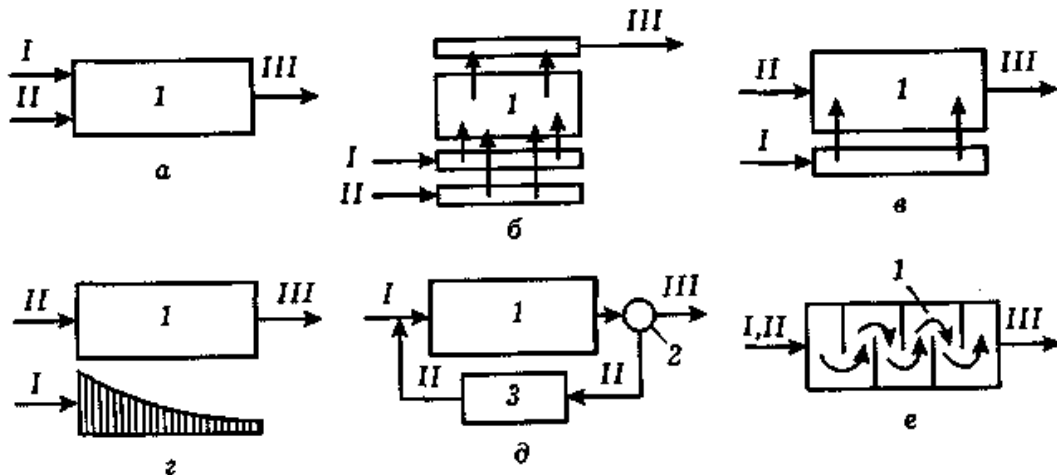


Рисунок 11.2 – Аеротенки:

а) витиснювачі; б) змішувачі; в) з розосередженою подачею води і мулу; г) з нерівномірно розподіленою подачею рідини; д) з регенератором; е) коміркового типу;

I – стічна вода; II – активний мул; III – мулова суміш;

1 – аеротенк; 2 – вторинний відстійник; 3 – регенератор.

На рис. 11.3 наведена схема *установки для біологічного очищення стічних вод*, в якій використовуються аеротенки.

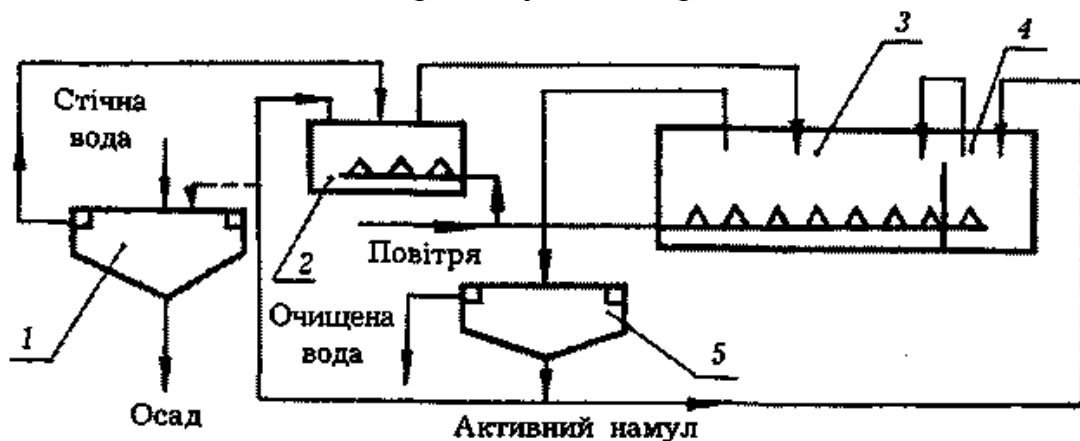


Рисунок 11.3 – Схема установки для біологічного очищення стічних вод із використанням аеротенків:

1 – первинний відстійник; 2 – переаератор; 3 – аеротенк; 4 – регенератор; 5 – відстійник

Принцип роботи установки полягає в тому, що стічну воду подають у первинний відстійник води, де виводяться збурені частинки забруднюючої речовини. Для покращення осаду сюди подається частина надлишкового намулу. Після освітлення вода поступає в переаератор (2). Туди ж спрямовують частину надлишкового намулу із вторинного відстійника, де стічні води попередньо аеруються повітрям протягом 15-20 хв. За необхідності у переаератор можуть вводитись нейтралізуючі добавки і живильні речовини. Із переаератора стічна вода подається в аеротенк, через який циркулює й активний намул. Після контактування стічна вода з намулом потрапляє у вторинний відстійник, де відбувається відокремлення намулу від води. Більша частина намулу повертається в аеротенк, а надлишок його спрямовується в переаератор.

Установлено, що **біохімічне окислювання органічних речовин відбувається у дві стадії**: на першій стадії мікроорганізми адсорбують забруднюючі речовини; на другій – завершують їх окислювання і відновлюють свою початкову здатність до окислювання; обидві стадії починаються одночасно, але друга триває довше.

За високої вихідної концентрації забруднень, а також за наявності в ній речовин, здатність до окислювання яких різко відрізняється, застосовують **двоступінчасте очищення**, за якого стоки, що очищаються, проходять послідовно через два аеротенки. *Перший ступінь* – анаеробне бродіння в метантенках або аеробне окислення в аеротенках; *другий ступінь* – біологічне очищення.

Анаеробне бродіння застосовується за БСК стічної води, що поступає, від 6000 до 20000 мг/л і концентрації мінеральних солей не більше 30000 мг/л.

Анаеробне окислення застосовується за БСК стічної води, що поступає, від 1000 до 6000 мг/л.

Для першого ступеня необхідно передбачити:

- рівномірну, протягом доби, подачу стічних вод в обидва ступені метантенків;
- рівень стічних вод у метантенках нижче горловини на 0,5 м;
- повернення активного анаеробного мулу з другого ступеня метантенків у перший в кількості 30% від кількості стічних вод, що подаються;
- об'єм метантенків другого ступеня таким, що дорівнює 50% об'єму першого ступеня;
- подачу стічних вод і зворотного мулу: у перший ступінь – у верхню частину, у другий ступінь – у нижню частину;
- перемішування стічної води внаслідок рециркуляції газу, що утворюється, з інтенсивністю $6 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год.}$;
- аеротенки-змішувачі з регенераторами об'ємом, що дорівнює 30% об'єму аеротенків;
- відстійники з тривалістю відстоювання 1,5 години.

Для другого ступеня очищення необхідно передбачати аеротенки-витиснювачі, відстійники з тривалістю відстоювання 2 години.

Ефект очищення за анаеробного збродження приймається 90 %; вихід газу – 0,5-0,6 м³ на 1 кг зниження БСК; склад: метану – 65-73 %, вуглекислого газу – 20-23 %.

Ефект очищення при аеробному окисленні – 95-98%.

Метантенки. У результаті обробки промислових стічних вод утворюються осади – водні суспензії мінеральних або органічних речовин, що відрізняються за фізичними і хімічними якостями.

Сучасна техніка обробки осадів спрямована на доведення їх до стану, за якого виключається забруднення навколишнього середовища і можлива утилізація корисних компонентів, що в них є.

Надлишковий активний мул, частинки відмираючої біоплівки, а також деякі органічні осади погано віддають воду, мають неприємний запах, легко загнивають. Тому їх стабілізують, зброджуючи без доступу кисню анаеробними бактеріями в спеціальних апаратах – метантенках.

Метантенки являють собою залізобетонні герметично закриті резервуари з конічним дном (рис. 11.4).

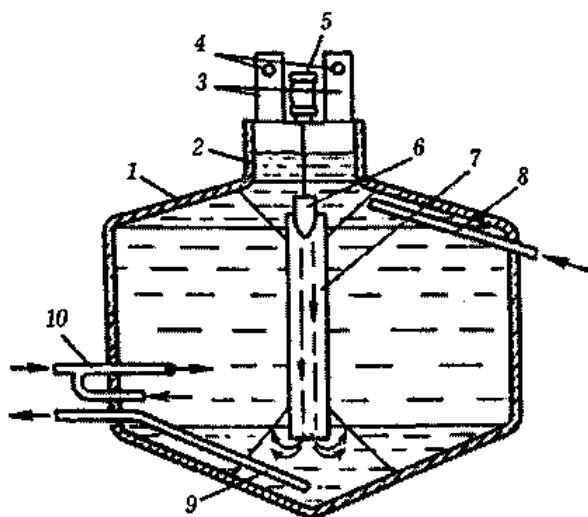


Рисунок 11.4 – Схема метантенка:

1 – корпус; 2 – горловина; 3 – збірник газу; 4 – виводи газу в газгольдер; 5 – електродвигун, що приводить до руху пропелерну мішалку; 6 – пропелерна мішалка; 7 – напірна труба для покращення процесу перемішування; 8 – труба для подачі сирого осаду; 9 – труба, яка відводить осад, що збродив; 10 – подовий ежектор

Забігаючи як робочу речовину осад з метантенка і подаючи суміш цієї рідини і пару знову в нього, паровий ежектор забезпечує не лише нагрівання осаду, але і часткове переміщення маси, що бродить.

Осад, що підлягає збродженню, подають у верхню частину метантенка по трубі (8), зброджений осад видаляють по трубі (9); максимальне віддалення один від одного трубопроводів завантаження і вивантаження запобігає потраплянню незбродженого осаду у масу, яка вивантажується. Рідина, що зброджується, перемішується мішалкою (6), яка приводиться у дію електродвигуном. Газ, який виділяється, пробивається через поверхню рідини в горловині (2), розбиваючи кірку, що на ній утворилась, і збирається у збірниках газу (3), звідки по виводах (4) поступає у газгольдер. Для нагрівання маси, що зброджується, існує паровий ежектор (10). Забираючи як робочу речовину осад з метантенка і подаючи суміш цієї рідини і пару знову в нього, паровий ежектор забезпечує не лише нагрівання осаду, але і часткове переміщення маси, що бродить.

У процесі зброджування утворюється суміш газів, яка складається з метану (до 65-70 %) і двоокису вуглецю (до 30 %). Газ подається в газгольдери, які є накопичувачами і регуляторами рівномірної подачі його на опалювання для отримання пари, що йде на нагрівання процесу бродіння.

Для бродіння осадів у метантенках приймають мезофільний (температура бродіння становить 33°C) і термофільний (температура бродіння 53°C) процеси.

Визначення ємності метантенків здійснюється в залежності від фактичної вологості осаду при добовій дозі його завантаження за табл. 11.3.

Таблиця 11.3 – Добова доза осаду, %, в залежності від фактичної вологості осаду

| Режим бродіння | Вологість осаду, що завантажується, % | | | | |
|----------------|---------------------------------------|----|----|----|----|
| | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 |
| Мезофільний | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Термофільний | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 |

На сьогодні здійснюється також очищення стічних вод в *окситенках* з використанням замість повітря чистого кисню.

Біологічні ставки – система земляних резервуарів глибиною 1,0-1,5 м, по яких протікає вода і відбувається її очищення від забруднень в умовах, близьких до самоочищення в природних водоймах [15].

11.2. Термічне очищення стічних вод

Термічне очищення полягає у повному окислюванні за високої температури (згоряння) забруднюючих речовин з одержанням нетоксичних продуктів згоряння і твердого залишку. Термічний метод економічно недоцільний за великих об'ємів стічних вод і малих концентрацій забруднювачів, тому що вимагає великих витрат тепла. Проте часто він незамінний, наприклад, за наявності високомінералізованих вод і тих, що містять органічні токсичні речовини.

Значно мінералізовані стічні води неможливо очищати механічними і біологічними методами; хоча деякі методи фізико-хімічного очищення і дозволяють знесолювати воду, проте концентрація залишкових солей все-таки висока, а розбавлення їх чистою водою нераціональне внаслідок її дефіциту. Проте у даному випадку може зарадити дорогий, але радикальний метод очищення - термічний.

Можливі **два напрями в застосуванні методу термічного очищення** значно мінералізованих стічних вод:

1) істотне зменшення обсягу стоків випарюванням з доведенням домішок до гранично можливих концентрацій і збереження розчинів у природних і штучних відвалах. Таке очищення можливе лише за невеликого обсягу стічних вод і його слід розглядати як тимчасове вирішення питання, поки не буде знайдений спосіб використання відходів;

2) виділення зі стоків солей та інших цінних речовин з наступним їх використанням.

Це найбільш перспективний напрям термічного очищення стоків.

Процес розділення мінеральних речовин і води здійснюють зазвичай у дві стадії:

- *перша стадія* - концентрування (випарювання) стоку, який очищається, у так званих випарних апаратах,

- *друга* - виділення з концентрованого розчину сухого залишку в апаратах для одержання твердого продукту.

Якщо здійснюється лише одна перша стадія, то концентрований розчин спрямовується у відвал, а відокремлена вода повертається в систему водопостачання.

Іноді зі стічної води, минаючи стадію концентрації, безпосередньо виділяють сухі речовини. Це можливо, якщо апарати для одержання твердого продукту здатні працювати не лише з концентрованими розчинами, але і безпосередньо зі стічною водою (наприклад, розпильні сушарки).

Найбільш проста **схема випарного апарата** наведена на рис. 11.5.

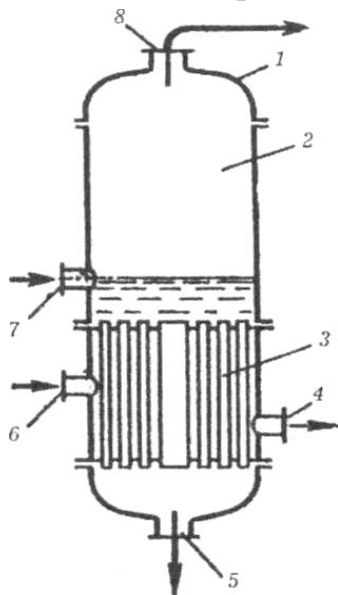


Рис. 11.5 – Схема випарного апарата:

- 1 - корпус, 2 - сепаратор;
3 - нагрівна частина;
4, 5, 6, 7, 8 - штуцери

Стічна вода подається в апарат через штуцер (7) і циркулює по кип'ятильних вертикальних трубах, розташованих у нагрівній частині апарата (3); у міжтрубний простір через штуцер (6) подають первинну водяну пару. Стічна вода нагрівається і кипить з виділенням вторинної пари. Відділення вторинної пари від рідини відбувається в сепараторі (2) і пара виходить через штуцер для виведення вторинної пари (8) у теплообмінники і конденсатори (на рисунку не вказані) для використання в системі водопостачання. Випарений, більш щільний, розчин відводять через штуцер (5), а конденсат первинної пари через штуцер (4). Зазвичай застосовують багатокорпусні випарні установки, що складаються з ряду послідовно розташованих випарних апаратів (до 6 апаратів).

Процес упарювання можна виконувати також в **апаратах із зануреними пальниками**, в яких стічні води нагріваються від безпосереднього контакту з димовими газами, що утворюються від спалювання газоподібного або рідкого палива в пальниках, занурених у воду. На рис. 11.6 наведена схема апарата із зануреними пальниками.

Стічна вода надходить в апарат (11) через регулятор витрати (2), що підтримує постійний рівень води в апараті. Горючий газ і повітря підводяться у занурений пальник (4); нагріті до високої температури про-

дукти горіння, які утворюються, барботують через воду і спричиняють її кипіння. Впарений розчин безупинно подається завдяки перепаду тиску за допомогою ерліфта (3) у відстійник (7), де вивільняється від шламу і спрямовується за призначенням. Парогазову суміш після відділення від неї продуктів згоряння і конденсації можна використовувати в системі водопостачання.

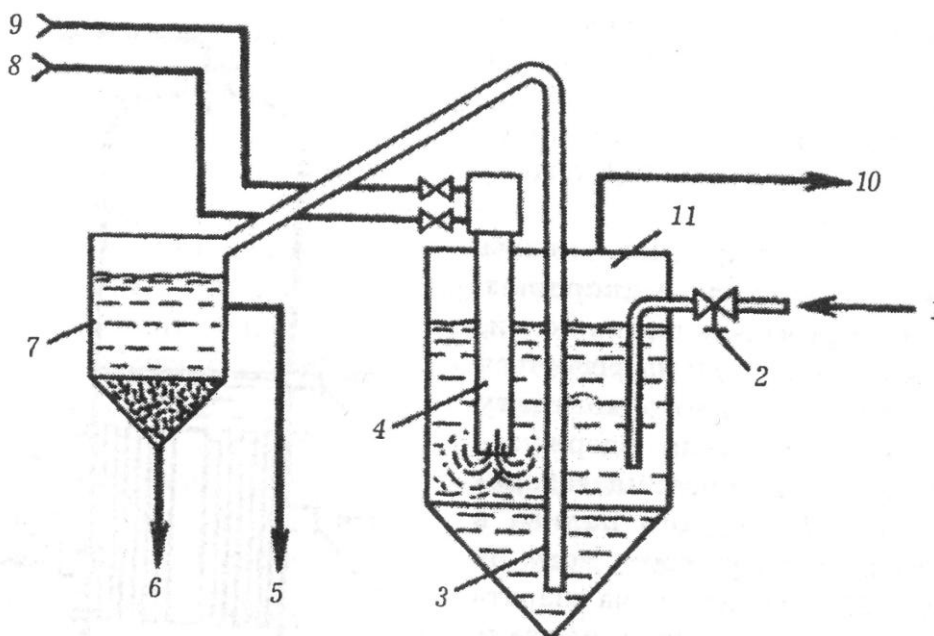


Рисунок 11.6 – Схема влаштування випарного апарата із зануреними пальниками:

1 - стічна вода; 2 - регулятор витрати; 3 - пристрій для подачі впареного розчину (ерліфт); 4 - занурений пальник; 5 - впарений розчин; 6 - шлам; 7 - відстійник для звільнення розчину від шламу; 8 - повітря; 9 - горючий газ; 10 - парогазова суміш; 11 – апарат

Випарні апарати із зануреними пальниками використовуються для упарювання стічних вод у виробництвах синтетичних смол і лакофарбових матеріалів, хімічних реактивів, епоксидних смол і ін. Результати їх експлуатації доводять, що може бути досягнутий тридцятикратний ступінь впарювання стоків, що відповідає вмісту сухої речовини 300-400 г/л.

Як уже зазначалося, впарена рідина зазвичай проходить другу стадію - стадію утворення твердого продукту, для чого використовують *розпильні сушарки й апарати з киплячим шаром*.

У **розпильних сушарках** впарена рідина (або стічні води високої мінералізації) надходить зверху сушильної камери через форсунку і зверху також паралельним потоком подають нагріте повітря або димові гази. Унаслідок тонкого розпилення води досягається інтенсивне її випаровування, дрібні (розміром у кілька мікрон) частинки поллютанта опускаються на дно камери і відводяться шнеком. Відпрацьований сушиль-

ний агент після очищення від пилу в циклонах викидається в атмосферу. Питома кількість води, що випаровується у цих сушарках, невелика - 10-14 кг/(м³·год), тому розпилювальні сушарки громіздкі, що обмежує їх застосування.

Більш компактним є *апарат з киплячим (псевдозрідженим) шаром*, до складу якого входять піч та циклон для очищення димових газів від пилу. Вертикальний корпус печі, футерований вогнетривкою цеглою, має в нижній частині газорозподільну решітку, під яку подають псевдозріджувальний газ - гаряче повітря або димові гази. Він переводить у зважений стан суміш, яка подається зверху і складається з впареної рідини (або стічної води) і вже зневоднених частинок забруднювача. Зважений шар складається з декількох фаз: у верхній фазі починається процес сушіння, у нижній - знаходиться відносно щільний шар сухих частинок, які видаляються із системи шнеком. Можна також виділити середню фазу, яка є перехідною. Псевдозріджувальний газ, пройшовши через зважений шар, потрапляє до циклону і у вигляді димових газів викидається в атмосферу. Існують й інші конструкції апаратів для сушіння в киплячому шарі.

Метод термічного очищення стічних вод дедалі ширше застосовується для очищення значно мінералізованих стоків нафтопереробних заводів.

У проектуванні нових нафтопереробних заводів, які повинні працювати без скидання стічних вод у водойми, передбачають термічне очищення стоків, що спрямовується у так звану другу систему каналізації. У цю каналізацію скидають води від продування систем оборотного водопостачання, води, що виділяються із сирової нафти (із вмістом солей до 8500 мг/л), нейтралізовані сірчано-лужні води, солевмісні води з ТЕЦ та інші стоки, очищення яких неможливе будь-яким іншим способом, крім термічного.

Очищення здійснюють на *установках термічного знешкодження і знесолення, які складаються з трьох відділень*:

- у першому здійснюється содово-вапняне зм'якшення стоків;
- у другому - розпарювання стічних вод у багатокорпусних випарних установках з десятикратним ступенем розпарювання (водний конденсат, який утворюється, повертається в оборотну систему водопостачання);
- у третьому - одержання твердого продукту - сухих солей.

Масштаби цих процесів: на заводі, що переробляє за рік 12 млн. тонн нафти, щодня на установках термічного знешкодження і знесолення отримують понад 80 т сухих солей. Завдання полягає в тому, щоб зменшити вартість очищення, використовуючи вихідне тепло для інших процесів і знайшовши спосіб утилізації сухих солей, які утворюються в результаті [15].

Висновок. Методи біохімічного та термічного очищення є ефективними і виступають невід'ємною складовою системи очищення стічних вод будь-якого підприємства.

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте окислювальний (аеробний) та відновлювальний (анаеробний) процеси очищення стічних вод.
2. Поясніть, від чого залежить ефективність процесів біологічного очищення стоків.
3. Проаналізуйте вимоги до апаратів, що застосовуються при біологічному очищенні стічних вод.
4. Розкрийте особливості дії окситенків та біологічних ставків.
5. Поясніть сутність методу термічного очищення стічних вод.
6. Розкрийте конструктивні особливості та принцип дії апаратів термічного очищення стічних вод.
7. Охарактеризуйте сферу застосування апаратів термічного очищення стічних вод.

ЛЕКЦІЯ 12

ПІДЗЕМНІ ВОДИ, ЇХ ОХОРОНА ВІД ЗАБРУДНЕННЯ І ВИСНАЖЕННЯ

ПЛАН

1. Водні ресурси Землі і коловорот води в природі.
2. Проблеми забруднення підземних вод.

12.1. Водні ресурси Землі і коловорот води в природі

Найважливішою особливістю Землі є глобальний коловорот води, що у глобальному, регіональному і місцевому масштабах здійснює обмін речовиною та енергією, є основою єдності природи, забезпечує поновлення частини природних ресурсів і виконує вирішальну екологічну функцію.

Розподіл суші і води на земній кулі. Площа поверхні Землі близько 510 млн. км². З цієї площі водами Світового океану вкрито близько 361 млн. км² (71 %), а площа суші складає 149 млн. км² (29 %). У Північній півкулі співвідношення (%) води і суші 61:39, у Південній - 81:19. Таким чином, більш 1/3 поверхні нашої планети - водна оболонка, причому найбільш істотно вода переважає над сушею у Південній півкулі.

Загальна площа водних об'єктів на поверхні суші (льодовиків, озер, водоймищ, рік, боліт) складає близько 20 млн. км², або 15 % площі суші. Якщо не враховувати льодовики, то на інші водяні об'єкти суші залишиться всього 5,9 млн. км² (4 % площі суші).

Загальний обсяг води у водних об'єктах земної кулі близько 1600 млн. км³, при цьому на долю Світового океану припадає 96,4 % (табл. 12.1). З водяних об'єктів суші найбільшу кількість води містять льодовики - 25,8 млн. км³ (1,86 % усіх вод Землі). З цієї кількості частка льодовиків Антарктиди, Гренландії й островів Арктики становить відповідно 89,8; 9,7 і 0,3 %. На гірські льодовики залишається 0,2 %.

Таблиця 12.1 – Запаси води на земній кулі

| Види природної води | Площа | | Об'єм, тис. км ³ | Доля у світових запасах, % | | Середній період поновлення запасів |
|--|-------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| | млн. км ² | % площі суходолу | | від загальних запасів води | від запасів прісної води | |
| Вода на поверхні Землі | | | | | | |
| Світовий океан | 61 | - | 1 338 000 | 96,4 | - | 2650 років |
| Льодовики | 16,3 | - | 25 800 | 1,86 | 70,3 | 9700 років |
| Озера | 2,1 | 1,4 | 176 | 0,013 | - | 17 років |
| в тому числі прісні | 1,2 | 0,8 | 91 | 0,007 | 0,25 | - |
| Водосховища | 0,4 | 0,3 | 6 | 0,0004 | 0,016 | 52 дні |
| Річки | - | - | 2 | 0,0002 | 0,005 | 19 днів |
| Болота | 2,7 | 1,8 | 11 | 0,0008 | 0,003 | 5 років |
| Вода в літосфері | | | | | | |
| Підземні води | | - | 234 000 | 1,68 | - | 1400 років |
| в тому числі прісні | | - | 10 530 | 0,76 | - | - |
| Підземна крига | 21 | 14 | 300 | 0,022 | 0,82 | 10 000 ро- ків |
| Вода в атмосфері і живих організмах | | | | | | |
| Вода в атмосфері | - | - | 13 | 0,001 | 0,04 | 8 днів |
| Вода в живих орга- нізмах | - | - | 1 | 0,0001 | 0,003 | декілька годин |
| Загальні запаси води | | | | | | |
| Загальні запаси води | - | - | 1 598 309 | 100 | - | - |
| в тому числі пріс- ної | - | - | 36 700 | 2,64 | 100 | - |

Великі труднощі являє **оцінка вмісту води в земній корі (літосфері)**. Частина підземних вод (ПВ), представлена капілярними і гравітаційними водами, що знаходяться на глибинах до 2 км і беруть участь у коловороті води, повинна бути віднесена до гідросфери. Вона оцінюється гідрологами в 23,4 млн. км³, чи 1,68 % загального обсягу вод Землі (табл. 12.1). Деякі дослідники наводять досить великі величини: М.І. Львович - 60 млн. км³, А.Ф. Макаренко - 86,4 млн. км³. До вод, що наявні в літосфері, відносять також підземні льоди зони багаторічної (вічної) мерзлоти обсягом 300 тис. км³ (0,022 % обсягу усіх вод) (табл. 12.1).

Певний обсяг води знаходиться **в живих організмах біосфери**. Вважають, що маса живої речовини на Землі $2,4-3,6 \cdot 10^{12}$ т. Якщо прийняти вміст води в живих організмах у середньому 80 %, то загальна маса води в організмах близько $1,92-2,88 \cdot 10^{12}$ т, що дає обсяг «біологічної води» не набагато більше 1,5 тис. км³.

В атмосфері в середньому постійно наявні близько 13 тис. км³ вологи у вигляді водяної пари, краплин води, кристаликів льоду. При цьому 90 % води знаходиться у найнижчому шарі атмосфери - на висотах 0-5 км. Обсяг атмосферної вологи міг би дати шар води на поверхні Землі, рівний 25 мм.

Важливе значення має оцінка **кількості прісної води** - найцінніших для людини природних ресурсів. Усього на планеті 36,7 млн. км³ прісних вод (2,64 % загального обсягу вод) (табл. 12.1). Головні акумулятори прісної води - льодовики, прісні підземні води, підземні льоди в зоні багаторічної мерзлоти, прісні озера. Із загальної кількості прісних вод на Землі на тверду фазу (лід) припадає 71 %, на рідку - 29 %.

За всю історію Землі, на думку геологів, **у результаті дегазації мантії** виділялося в середньому не більш 0,5-1 км³ води на рік. Вважається, що і у даний час з надр Землі надходить приблизно стільки ж води.

З метеоритами і космічним пилом на Землю щорічно потрапляє близько 0,5 км³ води - величина в порівнянні з повним обсягом води на планеті незначна. Приблизно стільки ж води розсіюється з поверхні Землі в космічний простір. Вважають також, що деяка кількість води витрачається в процесі фотосинтезу: рослини розкладають близько 225 км³ води на рік.

Зазначені обсяги втрат і додаткового надходження води дуже невеликі і тому вважають, що протягом досить тривалого, з геологічної точки зору, періоду часу (мільйони років) кількість води на земній кулі залишалася практично незмінною.

Очевидно, однак, що періодично **відбувається перерозподіл води в гідросфері**, причому головними елементами зміни системи виявляються Світовий океан і льодовики. У міжльодовикові періоди льодовики тануть і збільшують обсяг води у Світовому океані, у льодовикові періоди відбувається зворотний процес - волога у вигляді льоду акумулюється в льодовиках, зменшуючи обсяг Світового океану.

За 18 тис. років рівень Світового океану підвищився приблизно на 100 м, що відповідає збільшенню обсягу вод на 37,5 млн. км³, чи на 2,8 %. Однак останні 5-6 тис. років рівень Світового океану в цілому стабілізувався при невеликій тенденції до підвищення. Стабілізувався в цілому й обсяг води у водяних об'єктах суші, однак невеликий перерозподіл води між водяними об'єктами різних типів усе-таки відбувається.

За ХХ століття материкові запаси вод скоротилися приблизно на 50 тис. км³, відповідно збільшився обсяг води Світового океану. Це призвело до підвищення його рівня приблизно на 11,4 см, чи в середньому на 1,5 мм/рік.

Кругообіг води на земній кулі. Кругообіг води - основна особливість природних умов нашої планети. Кругообіг води створює основний механізм перерозподілу на Землі речовини й енергії, поєднує в єдине ціле не тільки водяні об'єкти, але й різні частини планети. У кругообігу

води на земній кулі виявляється єдність природних вод Землі, їх зв'язок з атмосферою, літосферою, біосферою.

Фізичні причини кругообігу води на земній кулі - сонячна енергія і сила ваги. *Сонячна енергія* - причина нагрівання і подальшого випаровування води. Нерівномірний розподіл по Землі сонячної енергії призводить до нерівномірного розподілу атмосферного тиску, створюючи повітряні потоки - *вітри*, які переносять вологу, що випаровується (водяна пара), і *вітрові потоки* в океані. Нерівномірний розподіл сонячної енергії призводить також до нерівномірного розподілу щільності води в океані і, як наслідок, до виникнення щільнісних потоків.

Сила ваги змушує сконденсовану в атмосфері при сприятливих умовах вологу випадати у вигляді опадів, а всі поверхневі і підземні води стікати спочатку в дренавальну місцевість річки, а потім в океан. Природно, що стікання вод під дією сили ваги зумовлюється нахилом поверхні Землі і шарів у земній корі, що створюється тектонічними і геоморфологічними процесами.

У коловороті води на земній кулі виявляються закономірності збереження речовини і водяного балансу. У рівняннях водяного балансу Землі в цілому й океану і суші зокрема не враховуються незначні обсяги водообміну Землі з космічним простором, а також витрата води в процесі фотосинтезу і надходження внаслідок дегазації мантиї. Ці величини в багато разів менші можливих помилок розрахунку інших складових водяного балансу. Найбільшу точність мають дані про атмосферні опади на території суші і про річковий стік, що підтверджуються прямими спостереженнями. Найменшу точність мають дані про випар і опади у Світовому океані.

У глобальному кругообігу води виділяють наступні ланки (рис. 12.1):

○ *океанічна ланка* (малий кругообіг) - багаторазово повторюваний цикл: випар з поверхні океану → перенесення водяної пари над океаном → опади на поверхню океану → океанічні потоки → випар і т.д.;

○ *материкова ланка* (внутрішній кругообіг) - багаторазово повторюваний цикл: випар з поверхні суші → перенесення водяної пари → опади на поверхню суші → поверхневий і підземний стік → випар і т.д.;

глобальний кругообіг - поєднує дві вищезгаданих ланки, пов'язані між собою перенесенням водяної пари з океану на сушу і поверхневим і підземним стоком із суші в океан.

Вплив гідрогеологічних процесів на природні умови.

Вигляд планети. Завдяки специфічним фізичним властивостям води (висока питома теплота плавлення і випаровування), вона на Землі широко поширена й у твердому, і в рідкому, і в газоподібному станах, утворюючи льодовики, океани, водяні об'єкти суші, підземні води, вологу в атмосфері, що багато в чому і визначає вигляд земної кулі в цілому.

Кліматичні умови. Завдяки великій масі води на поверхні Землі й особливостям її теплових властивостей, гідросфера Землі регулює теп-

лові процеси, поглинаючи в середньому 77 % сонячної енергії, що надходить до земної поверхні, передаючи її потім в атмосферу в результаті випаровування і наступної конденсації водяної пари (84 % усього радіаційного балансу Землі), а також шляхом турбулентного теплообміну. Гідросфера таким чином виступає як могутній нагрівач атмосфери і всієї Землі.

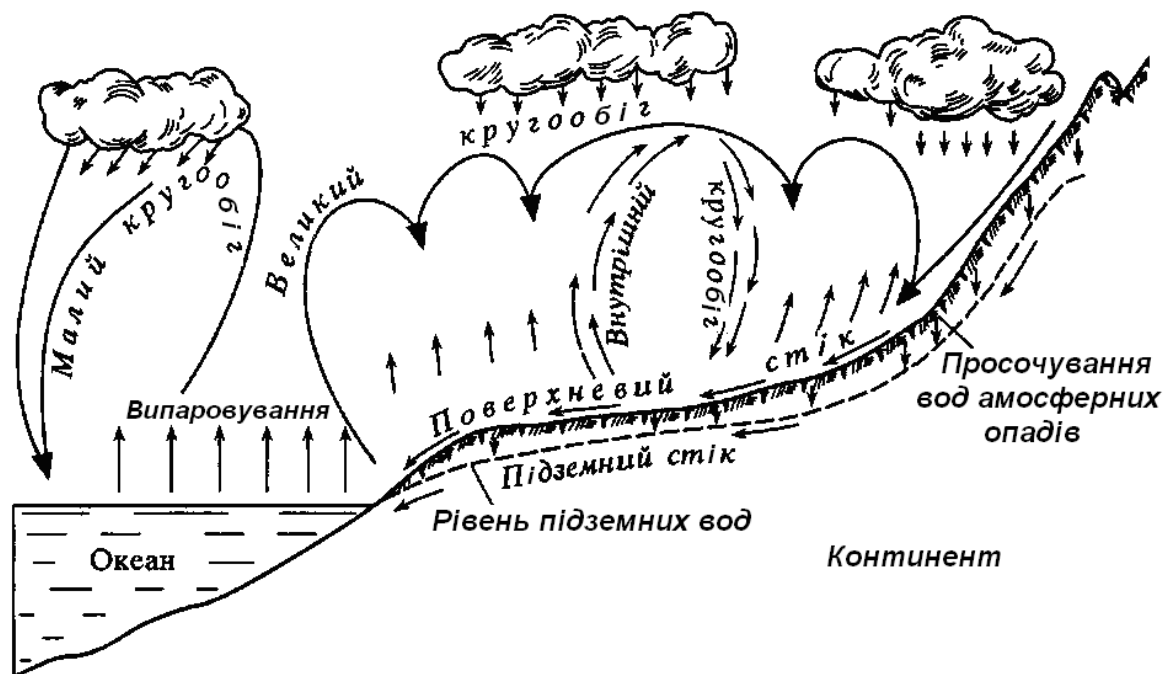


Рисунок 12.1 – Кругообіг води в природі

Широтна кліматична зональність земної кулі - в основному наслідок нерівномірного надходження сонячної радіації, обумовленого сферичністю Землі і нахилом земної осі.

Хоча погодні умови на планеті і їх мінливість визначаються атмосферою циркуляцією, роль у цьому природних вод також дуже велика. Багато основних властивостей самої атмосфери - результат впливу на неї гідросфери. Загальні закономірності розподілу атмосферного тиску, пасатні і мусонні вітри, хмарність та інші фактори залежать від розподілу суші і води на земній кулі і розходження в їх нагріванні. Основне джерело опадів на Землі - Світовий океан.

Великі зміни кліматичних умов, зокрема загальне похолодання, що почалося з крейдового періоду, і періодичні заledenіння, що істотно вплинули і на вигляд планети, і на розвиток життя, учені намагаються пояснити багатьма причинами:

- астрономічними (зміни параметрів земної орбіти, швидкості обертання Землі, нахилу земної осі);
- геологічними (тектонічні процеси, катастрофічні вулканічні виверження, що призводять до зменшення прозорості атмосфери);

- *радіаційними* (зміна сонячної активності, альbedo земної поверхні) та ін.

Однак у деяких гіпотезах не використовуються ці «зовнішні» причини зміни клімату, а здійснюється спроба вивести зміни із закономірностей «внутрішніх» процесів взаємодії гідросфери й атмосфери.

На даний час *відзначається деяке потепління клімату*. Обсяг материкових льодовиків повільно зменшується, про що свідчить підвищення рівня Світового океану. Очевидно, цей процес буде продовжуватися і далі. Однак не виключене посилення впливу діяльності людини на клімат, про інтенсивність і спрямованість якого у дослідників єдиної точки зору немає.

Ерозійно-акумулятивні процеси. Геоморфологічний вигляд сучасної суші і досить великої прибережної зони океанів, сформувався під величезним і в ряді випадків вирішальним впливом гідрологічних процесів. Крім, мабуть, вітрової ерозії, у всіх інших проявах екзогенних природних процесів безпосередня чи непряма роль води очевидна: фізико-хімічне вивітрювання гірських порід немислимо без участі води; ерозійно-акумулятивні процеси на суші, абразія морських берегів, формування дельтових рівнин і шельфу, підводних каньйонів і глибоководних конусів виносу - усе це результат могутнього впливу гідрологічних процесів. Ерозійно-акумулятивні процеси в річкових басейнах змінюють гірські системи, що сформувалися в результаті ендегенних процесів (тектоніка, вулканізм та ін.).

У сучасному рельєфі суші численні форми зобов'язані своїм походженням ерозійній, транспортуючій ролі поточної води, що акумулює (яри, річкові долини, русла рік і їх заплави, дельтові рівнини і т.д.). Льодовики також створюють при своєму русі специфічні форми рельєфу [6; 7; 9].

12.2. Проблеми забруднення підземних вод

Господарська діяльність людини призвела до того, що на поверхні Землі накопичилась велика кількість відходів, що забруднюють навколишнє середовище. Найбільша кількість відходів виробляється в промисловості, сільському господарстві, транспорті, енергетиці, при видобутку корисних копалин, у комунальному господарстві. Забруднюючі речовини, що містяться у відходах, складованих на поверхні Землі, інфільтруються зі стічними водами, атмосферними опадами і частиною поверхневого стоку і попадають у підземні води, погіршуючи їх якість.

До *погіршення якості підземних вод* веде їх використання для цілей водопостачання і меліорації, а також процес експлуатації родовищ корисних копалин. Ці види діяльності зумовлюють потрапляння забруднюючих речовин у водоносні обрії безпосередньо через негерметичні шари, підтягування до водозабірних шарів некондиційних забруднених чи мінералізованих підземних вод, морських вод і розсолів.

Забруднення підземних вод також може бути обумовлено і *впливом природних факторів*: вмістом у воді підвищених концентрацій природного стронцію, заліза, результатом природних катастроф (виверження вулканів, землетрусів та ін.).

Найбільш піддаються забрудненню підземні води, що належать до зони активного водообміну; це переважно прісні води з мінералізацією до 1 г/л. Найбільш піддається забрудненню прошарок ґрунтових вод, що залягає першим від поверхні.

Забруднення підземних вод визначається як викликані господарською діяльністю зміни якості води (фізичних, хімічних, біологічних властивостей) у порівнянні з природним станом і нормами якості води за видами водокористування, що роблять цю воду частково чи цілком непридатною для використання за цільовим призначенням (В.М. Гольдберг).

Норми якості води включають чотири групи показників: бактеріологічні, органолептичні, хімічні і радіаційні.

Безпека питної води в **бактеріологічному** (епідеміологічному) відношенні визначається відповідністю її складу нормативам за мікробіологічними і паразитологічними показниками: кількістю термотолерантних коліформних бактерій, загальних коліформних бактерій, коліфагів, цист лямблій, величиною загального мікробного числа.

Сприятливі **органолептичні властивості** води визначаються її відповідністю нормативам за наступними показниками: запах, присмак, кольоровість, мутність.

Вміст шкідливих **хімічних речовин**, а також речовин антропогенного походження, що набули глобального поширення, контролюється за наступними показниками: водневим показником (рН), загальною мінералізацією (сухим залишком), жорсткістю, загальним окисненням, перманганатною кількістю нафтопродуктів (сумарно), поверхнево-активними речовинами (ПАР), фенольним індексом, вмістом алюмінію, барію, берилію, бору, заліза, кадмію, марганцю, міді, молібдену, миш'яку, нікелю, нітратів, ртуті, свинцю, селену, стронцію, хрому, цинку, сульфатів, фторидів, хлоридів, ціанідів, ДДТ та ін. Лімітуються також шкідливі хімічні речовини, що надходять і утворюються у воді у процесі її обробки в системі водопостачання: хлор (залишковий і вільний), хлороформ, озон залишковий, формальдегід, поліакриламід, активована кремнієва кислота, поліфосфати, залишкові кількості алюміній- і залізовмісних коагулянтів.

Радіаційна безпека питної води визначається її відповідністю нормативам за показниками загальної альфа- і бета-активності.

За ступенем небезпеки забруднюючі речовини поділяються на наступні класи:

- 1 - надзвичайно небезпечні;
- 2 – високонебезпечні;

3 – помірно небезпечні;

4 - малонебезпечні хімічні речовини.

У різних країнах вимоги до якості питної води різні. Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) прийняті міжнародні норми якості питних вод. Ці норми носять рекомендаційний характер.

Основні види забруднення підземних вод. Шкідливі речовини, що містяться у відходах, утворених у результаті діяльності людини, проникаючи у підземні води, викликають хімічне, бактеріальне, радіоактивне і теплове забруднення.

Хімічне забруднення підземних вод найбільш поширене, оскільки його зумовлює найбільша кількість забруднюючих речовин. Виняток складають бактерії, радіоактивні речовини, тверді речовини і теплове забруднення. Хімічне забруднення виявляється у вигляді збільшення, у порівнянні з фоновою, мінералізації підземних вод, концентрацій різних компонентів хімічного складу підземних вод (макро- і мікрокомпонентів), появи хімічних елементів і синтетичних речовин, не характерних для природного складу цієї частини гідросфери. У підземних водах при цьому не тільки збільшується мінералізація (у випадках появи мікрокомпонентів мінералізація може не збільшуватися, а забруднення бути присутнім), але можуть з'явитися інтенсивне забарвлення, запах, підвищитися температура.

Хімічне забруднення є стійким, зберігається протягом тривалого часу і поширюється на великі відстані по водоносних шарах. За складом забруднюючих речовин забруднення підземних вод може мати різний ступінь токсичності. Забруднюючі речовини у підземних водах перебувають у постійній взаємодії з породами й іншими забруднюючими речовинами.

Найбільш розповсюдженими типами хімічного забруднення підземних вод є забруднення макрокомпонентами, нафтопродуктами, важкими металами, нітратами і пестицидами.

Забруднення підземних вод макрокомпонентами викликається різними відходами промисловості, природними некондиційними водами, рудничними і шахтними водами, високомінералізованими водами глибоких шарів, що витягаються на поверхню.

Стічні води промислових і сільськогосподарських підприємств і високомінералізовані природні води (розсоли і морські води) мають зазвичай більшу щільність, ніж прісні води. Потрапляючи у водоносні шари, вони опускаються до підшови шару, змінюючи тим самим природну геохімічну зональність водоносних прошарків.

Макрокомпоненти практично не сорбуються або слабо сорбуються породами і тому переносяться з потоком підземних вод на великі відстані по водоносних шарах, утворюючи великі площі забруднення ПВ.

Забруднення підземних вод нафтою і нафтопродуктами відбувається в результаті усіх видів виробничої діяльності людини. Нафта значно відрізняється за своїми властивостями від води. Більшість наф-

тових вуглеводнів має меншу щільність, ніж вода. Сама нафта і нафтопродукти являють собою суміш вуглеводнів, що відрізняються різною розчинністю у воді, у цілому - слабкою. Тому нафта і вода розглядаються як взаємно нерозчинні рідини, що не змішуються, нафтопродукти зазвичай розташовуються у верхній частині водоносних прошарків.

У випадку забруднення підземних вод нафтопродуктами на їх поверхні формуються *лінзи*, що складаються з однофазної рідини - вуглеводнів, потужність яких залежить від кількості нафтопродуктів, що потрапили у водоносний шар, і може коливатись від декількох сантиметрів до декількох метрів. Нижче однофазного шару залягає шар, що містить двофазну суміш у вигляді емульсії. А найбільш розчинні вуглеводні (в основному ароматичні) утворюють з водою розчин. У результаті нафтового забруднення підземних вод утворюється стратифікований розріз водоносного прошарку, у верхніх шарах якого залягає власне нафта, у середніх - двофазна суміш, а в нижніх - розчин нафтопродуктів у воді. Площі, зайняті емульгованими і розчиненими у воді вуглеводнями, у кілька разів більші за площу, яку займає нафтова лінза.

З рухом двофазної системи пов'язане поняття *фазової проникності пористого середовища*. Якщо порода містить до 80-85 % нафти, вона буде практично непроникна для води; рухатися буде тільки нафта, а при вмісті у породі 15-20 % нафти - порода буде проникна тільки для води.

Характерною ознакою нафтового забруднення підземних вод є специфічний запах нафти і нафтопродуктів, а також наявність на поверхні води нафтової плівки. У водоносних прошарках відбувається руйнування нафти і нафтопродуктів під впливом біогенного розкладання і хімічного окислювання, при цьому утворюються нафтеніві кислоти, феноли, ефіри, карбонільні з'єднання, які мають високу розчинність, що сприяє зміні складу розчинної частини нафтопродуктів у часі.

Забруднення підземних вод важкими металами. Метали потрапляють у водні об'єкти у вигляді аерозолів унаслідок діяльності вулканів і вивітрювання з поверхні суші й океанів, а також унаслідок водяної ерозії і різноманітних форм антропогенної діяльності. У відходах різних промислових виробництв, викидах автотранспорту, використовуваних у сільському господарстві отрутохімікатах і інших продуктах, містяться різноманітні метали. Значне місце серед них посідають важкі метали, до яких відносяться кольорові метали з щільністю, більшою, ніж у заліза ($7,874 \text{ г/см}^3$): свинець, мідь, цинк, нікель, кадмій, кобальт, сурма, олово, вісмут, ртуть. Особливо багато важких металів міститься у відходах підприємств кольорової металургії; тут їх вміст може перевищувати фонові концентрації у сотні і тисячі разів.

Сьогодні важкі метали вийшли на одне з перших місць серед забруднюючих навколишнє середовище речовин, причому антропогенна складова за деякими з них набагато перевищує природну (табл. 12.2).

Завдяки високій фізико-хімічній і біохімічній активності важкі метали присутні в природних водних об'єктах у формі вільних і гідратованих іонів, колоїдів, зважених часток, розчинених чи сорбуючих комплексів з органічною чи неорганічною речовиною. Вони, як правило, легко змінюють форму при зміні фізико-хімічних умов у системі порода-вода.

Важкі метали, що містяться у підземних водах у катіонній формі, зазвичай добре сорбуються, тому площі їх поширення притаманні переважно локальним джерелам забруднення і мають обмежене поширення.

Таблиця 12.2 – Оцінка глобального надходження важких металів в атмосферу, 10^3 т/рік

| Елементи | Джерела | |
|----------|----------|--------------|
| | Природні | Антропогенні |
| Кобальт | 5,4-7,8 | 3,1-4,4 |
| Хром | 54-130 | 26-94 |
| Мідь | 18,6-135 | 56-263 |
| Свинець | 4,2-45 | 360-440 |
| Нікель | 8,5-54,5 | 43-98 |
| Кадмій | 0,3-9 | 7-11 |
| Цинк | 36-144 | 315-84 |
| Ртуть | 0,8-170 | 5-10 |

Забруднення підземних вод нітратами пов'язане переважно із сільськогосподарською діяльністю. Основними джерелами забруднення підземних вод є добрива і відходи великих тваринницьких комплексів. Дещо менше впливають нітратами на підземні води промислові і комунальні відходи. Нітратне забруднення підземних вод зустрічається в основному у трьох формах - амонійне, нітритне і нітратне. Процес нітрифікації азоту (послідовного переходу форм азоту) триває 1-1,5 місяці. У залежності від гідрогеохімічної обстановки і температури водоносного прошарку він може сповільнюватися чи прискорюватися. Для азоту характерні і зворотні процеси - денітрифікації, у результаті яких нітратний азот відновлюється до нітритного й амонійного. Нітратами добре розчиняються у воді, практично не сорбуються водовмісними породами, що сприяє їх міграції на великі відстані по водоносних шарах, а також поширенню у водоносні шари, що залягають більш глибоко.

Забруднення підземних вод пестицидами. За назвою «пестициди» об'єднані всі хімічні засоби захисту рослин. У залежності від призначення розрізняють *гербіциди* (для боротьби з бур'янистими рослинами), *інсектициди* (для боротьби з комахами), *фунгіциди* (для боротьби з грибками).

За хімічним складом пестициди розділяються на:

- *хлороорганічні* (ДДТ, ГХЦГ, ліндан, альдрин, гептахлор, дихлоретан, хлорпикрин та ін.);
- *фосфорорганічні* (дихлофос, метафос, карбофос, фосфамід, хлорофос, фталфос та ін.);

- *ртутьорганічні* (гранозан, меркуран, родосан та ін.);
- *миш'яквісні* (арсенат натрію, арсенат кальцію);
- *карбамати* (цирам, цинеб, ацилат, севин, ялан, карбин та ін.);
- *похідні сечовини* (монурон, линурон, которан, диурон).

Пестициди є біологічно активними токсичними речовинами, багато з них перетворюються на проміжні з'єднання (метаболіти), у деяких випадках навіть у більш токсичні, ніж вихідні речовини. Пестициди погано розчинні у воді. Для практичних цілей їх використовують у вигляді розчинів і емульсій, порошків та аерозолів. Вони вносяться в ґрунт, розпорошуються з літаків, ними обприскують рослини.

Бактеріальне забруднення підземних вод. У комунальних і сільськогосподарських відходах містяться різні мікроорганізми, які при потраплянні до водоносних шарів змінюють біологічні властивості і погіршують санітарний стан вод. Показником бактеріального чи мікробного забруднення підземних вод є наявність підвищених концентрацій у порівнянні із природними фоновими концентраціями патогенних і санітарно-показових мікроорганізмів. До *санітарно-показових мікроорганізмів* відносяться бактерії групи кишкової палички, ентерококи. *Патогенними* чи *хвороботворними мікроорганізмами* називаються бактерії, що викликають прояви інфекційних захворювань. До патогенних мікроорганізмів відносяться ентеробактерії (сальмонели), бактеріофаг Е, ентеровіруси (вірус поліомієліту) та ін. Особливе значення для характеристики мікробіологічного стану води мають бактерії групи кишкової палички.

Безпека питної води в епідемічному відношенні визначається її відповідністю нормативам за мікробіологічними і паразитологічними показниками.

Радіоактивне забруднення підземних вод є наслідком викидів в атмосферу і на поверхню Землі радіонуклідів у результаті ядерних вибухів, а також позаштатної роботи атомних станцій чи станцій зі стічними водами підприємств, що добувають чи використовують радіоактивні речовини у наукових, лікувальних і виробничих цілях, а також у результаті аварій на об'єктах атомної промисловості й енергетики.

Підземні води відносяться до забруднених, якщо концентрації в них радіонуклідів перевищують їх фонове значення (сформовані після перших іспитів ядерної зброї), а ступінь їх забруднення визначається за співвідношенням фонових концентрацій і концентрацій, що спостерігаються.

Аварія на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) показала, що підземні води чутливі до радіоактивного забруднення. У Білорусії й Україні на забруднених територіях радіонукліди виявлені не тільки у ґрунтових, але й у напірних підземних водах, що глибоко залягають. У 70-кілометровій зоні в результаті водяної міграції поступово забруднюються підземні води. Радіонукліди у поверхневих і підземних водах утворюють концентрації, які у 3-5 разів перевищують середній рівень фонових.

Теплове забруднення підземних вод виявляється у вигляді підвищення їх температури у порівнянні із фовою. Теплове забруднення фо-

рмується зазвичай у районах розташування великих промислових підприємств, головним чином підприємств енергетичного комплексу (теплові, атомні електростанції), а також на територіях міст за рахунок скидання на поверхню землі нагрітих промислових і комунальних стічних вод.

За характером впливу забруднення підземних вод може бути *локальним* чи *регіональним*. Перше може мати місце на обмеженій площі навколо джерела стічних вод чи місць збереження твердих відходів (шламо- і хвостохранилищ, золівдвалів та ін.). Друге спостерігається на великих площах. Зазвичай джерелами регіонального теплового забруднення підземних вод є гірничодобувні підприємства й урбанізовані агломерації (промислове і комунально-побутове забруднення).

Теплове забруднення підземних вод найбільш часто зустрічається за рахунок інфільтрації з поверхні землі стічних вод, а в глибоких водоносних шарах - унаслідок накачування в них теплих стічних вод з різних приймачів відходів. Як правило, теплове забруднення характеризується підвищенням температури підземних вод на 5-10°C і більше. Підвищення температури викликає зміну газового і хімічного складу підземних вод або розчинення осаждення різних хімічних речовин, порушення гідрогеохімічної рівноваги в системі «порода-вода», розвиток мікрофлори і мікрофауни, що призводить до «цвітіння» води. Зі збільшенням температури води збільшується і її розчинююча здатність, що приводить до інтенсифікації карстово-суфозійних процесів. Зміна температури впливає на посилення токсичності забруднюючих речовин, що містяться у підземних водах. Теплове забруднення у поєднанні з хімічним викликає найбільш негативні зміни хімічного складу підземних вод.

Захищеність підземних вод від забруднення. На сьогодні вітчизняними і закордонними фахівцями розроблений *ряд методик оцінки умов захищеності підземних вод і тісно пов'язаних з ними схем складання відповідних карт*, які широко використовується у багатьох країнах.

Окремо розглядається *захищеність ґрунтових і напірних вод*.

Умови захищеності напірних вод оцінюються від поверхні експлуатованого напірного прошарку, в який забруднюючі речовини проникають через поділяючий верхній водоупор з водоносного шару, що лежить зверху. У загальному випадку умови захищеності напірних вод повинні оцінюватися з *урахуванням наступних показників*: потужності поділяючого водоупора; його літології; фільтраційних і міграційних властивостей водоупора; співвідношення рівнів досліджуваного і верхнього водоносних прошарків.

Оскільки *захисна зона (ЗЗ)* - це зона, що відокремлює підземні води від поверхневого забруднення та має дворівневу будову - ґрунту і породи зони аерації, *захищеність підземних вод від забруднення* - це здатність захисної зони перешкоджати проникненню поверхневого забруднення у підземні води, що характеризується часом досягання забруднюючими речовинами рівня підземних вод.

Беручи це визначення захищеності за основу оцінок, слід зазначити можливість фіксування досягання забруднюючими речовинами рівня підземних вод.

Речовина вважається забруднюючою, якщо її концентрація перевищує фонові значення. Отже, при оцінці захищеності підземних вод враховують особливості будови захисної зони, що відокремлює підземні води від поверхневого забруднення, і процеси, що відбуваються в ній під впливом забруднення.

Водні об'єкти у межах міста служать містоутворюючим фактором. Уздовж них і навколо формуються житлові квартали, будується орієнтація вулиць і проїздів. Міські водоймища і водотоки мають естетичне значення і використовуються для рекреації. На судноплавних річках і каналах, у приморських містах у межах місцевої лінії розташовуються порти.

Джерела підземних вод, розташовані як у приміській зоні, так і у межах місцевої території, придатні за якістю і захищеністю для питних цілей, використовуються для централізованого водопостачання міста.

Самовиливні джерела підземних вод - *струмки* - використовуються населенням для нецентралізованого водопостачання. Вони обладнуються у відповідності із санітарно-гігієнічними та естетичними вимогами.

Приблизні класифікаційні ознаки підземних вод наведені у табл. 12.3 і 12.4.

Таблиця 12.3 – Класифікація підземних вод за водністю

| Категорія родовища підземних вод | Площа басейну, м ² | Потужність водоносного горизонту, м | Підземний стік, м ³ /с |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Велике | більше 1000 | більше 100 | більше 100 |
| Середнє | від 1000 до 100 | від 100 до 10 | від 10 до 100 |
| Маленьке | до 100 | до 10 | до 10 |

Таблиця 12.4 – Класифікація підземних вод за характером водообміну і захищеності

| Глибина залягання рівня води від денної поверхні, м | Характер залягання вод | Характер циркуляції вод | Гідравлічний зв'язок водоносних горизонтів | Характер водообміну | Захищеність підземних вод водоносних горизонтів |
|---|---------------------------------|-------------------------|--|---------------------|---|
| до 50 | відкритий | тріщинно-карстовий | явний | активний | слабка |
| від 50 до 300 | наявність «гідрологічних вікон» | тріщинний | неявний | повільний | середня |
| понад 300 | ізолюваний | поровий | відсутній | досить повільний | надійна |

Струмки у місцевій частині. У природних умовах виходи підземних вод на поверхню виявляються у вигляді *джерел, що спускаються*

(характерні зазвичай схилам гірських височин, долин, ярів, балок, річок, що живляться за рахунок безнапірних вод і джерел) й *що піднімаються* (утворюючись за рахунок напірних вод, прийом яких здійснюється відповідно до їх руху знизу вгору, крізь дно каптажного пристрою).

Переважна кількість *струмків* належить до тих, *що спускаються*. Формування виливних вод відбувається у верхній частині зони активного водообміну, що обмежена знизу глибиною зрізу ерозійної межі. Зоною живлення підземних вод, що формують струмки, є водороздільні ділянки, а зоною розвантаження – долини місцевих річок і балок. Таким чином для струмків, розташованих у місцевій частині, зони живлення розташовані також у межах міста.

Струмкові, чи джерельні, води за своєю якістю відповідають воді того пласта, з якого вони виливаються.

Поверхня й використовуваний підземний простір міст вкрай негативно впливають на якість ґрунтових вод. Напірні *джерела, що піднімаються*, виявляються більш захищеними від забруднення і їм надається перевага при використанні населенням.

За витратами води джерела бувають:

- малі – з витратами менше 1 л/с,
- середні – 1–10 л/с;
- великі – більше 10 л/с.

Найбільший інтерес являють струмки із значними витратами. Вони зазвичай розташовуються у тріщинах скельних порід і зонах їх дроблення. До цього типу не відносяться карстові струмки, що інколи мають вигляд підземної річки, а також гейзери. Середні і великі струмки, вода яких відповідає питній якості, можуть бути використані як джерела водопостачання. Однак, використовуючи струмок для постійного водопостачання якогось об'єкта, слід мати гарантію тривалості функціонування і достатності витрати для покриття усіх потреб об'єкта у воді.

Струмки міста місцеві мешканці широко використовують як *джерело питної води*. Вони можуть бути також *альтернативним джерелом питного водопостачання у період надзвичайних ситуацій*. Однак, із-за прогресуючого негативного впливу міського середовища на якість підземних вод, лише окремі джерела після ретельних гідрогеохімічних, мікробіологічних і радіологічних досліджень можуть бути рекомендовані для використання населенням. У зв'язку з існуючим традиційним позитивним ставленням до струмків дуже важливо своєчасно інформувати населення про якість води конкретних джерел.

Для джерел, розташованих у міській частині, в яких збереглась природна якість води, необхідно передбачати спеціальні **охоронні заходи: влаштування каптажів і організацію зон санітарної охорони**.

Такі зони призначені для попередження забруднення підземних вод у місці їх виходу. Вони складаються з трьох поясів.

Оскільки джерельні води за ступенем природної захищеності можуть бути прирівняні до ґрунтових вод, то **перший пояс** – зона суворого режиму – повинен мати радіус не менше 50 м.

Розміри і конфігурація **другого поясу** – зони обмежень, призначених для захисту від бактеріального забруднення, – визначаються розрахунком. Розміри цього поясу у залежності від фільтраційних властивостей водонесучих і перекриваючих порід, а також від дебіту джерела можуть варіюватися від десятків до кількох сотень метрів.

Третій пояс, що відноситься також до зони обмежень і призначений для захисту від хімічного забруднення, також визначається розрахунковим шляхом. Розміри його залежать від терміну експлуатації і при достатньо тривалому терміні досягають меж зони живлення водоносного горизонту.

Каптаж джерел - комплекс споруд, інженерно-технічних та інших заходів з виведення підземних вод, нафти, газу на поверхню і забезпечення їх подальшої обробки. Стосовно до огорожі промислових, питних, мінеральних та вод іншого призначення (наприклад геотермальних) використовується більш уживаний термін **водозабірні споруди**.

Приклади **конструкцій залізобетонної і глиняно-кам'яної камер для каптажів струмків** наведено на рис. 12.2 та 12.3.

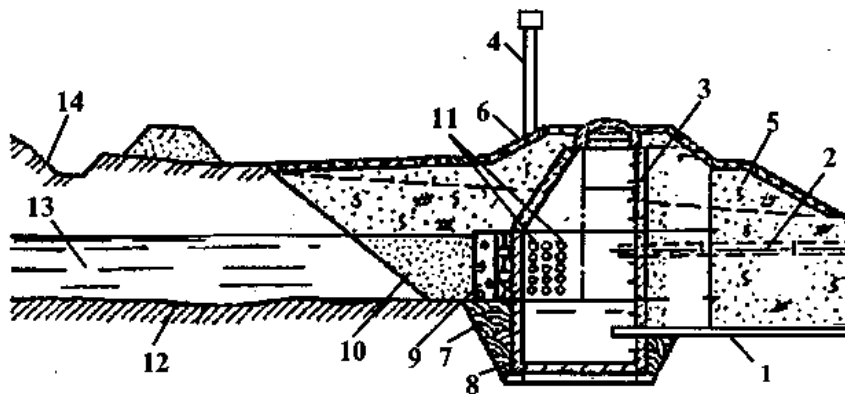


Рисунок 12.2 – Залізобетонна каптажна камера:

1 – витратна труба; 2 – переливна труба; 3 – кільця; 4 – вентиляційна труба; 5 – рослинний прошарок; 6 – глиняно-щебнева відмостка; 7 – міцно втрамбований глинястий ґрунт; 8 – залізобетонна плита днища; 9 – фільтр з гравію і гальки; 10 – засипка піском; 11 – водоприймальні отвори; 12 – водоупорний пласт або нижня межа каптованої частини водоносного пласта; 13 – водоносний пласт; 14 – нагірна канава

Конструкція каптажних споруд обирається залежно від гідрогеологічних умов виходу підземних вод на поверхню землі, морфології місця виходу джерела, потужності відкладень, що вкривають водоносний пласт, і витрати джерела.

Контроль складу вод струмків міста необхідно вести постійно. У випадку необхідності можлива очистка води струмків від небажаних

домішок, що з'явилися безпосередньо у місці водозабору. Територія в районі джерела і підходи до нього повинні бути обладнані.

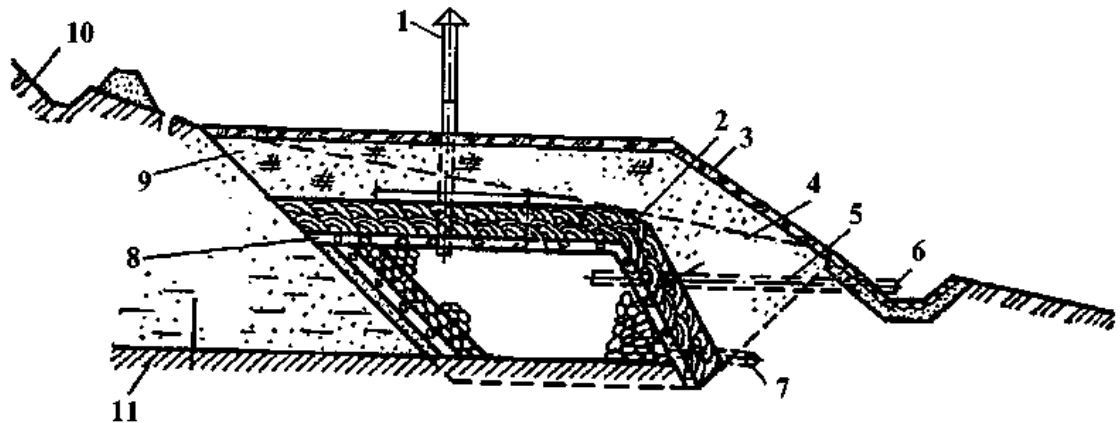


Рисунок 12.3 – Глиняно-кам'яна каптажна камера:

1 – вентиляційна труба; 2 – утрамбований глиняний ґрунт; 3 – кріплення рослинним ґрунтом; 4 – кам'яна накидка; 5 – переливна труба; 6 – латунна сітка; 7 – витратна труба; 8 – гравійний захисний прошарок; 9 – насипний ґрунт; 10 – нагірна канава; 11 – водоупорний пласт

Останнім часом у містах спостерігається *підвищення рівня підземних вод*. Головним у процесі підтоплення є антропогенний чинник: забудова території, втрати води з водопровідної мережі, захаращення деяких річок. Підйом рівня підземних вод призводить до появи води у підвалах, перезволоження нижньої частини стін будинків і навіть їх деформації. У таких будинках збільшується захворюваність населення; унеможлиблюється зберігання архівів, музейних цінностей і т.п.

Отже, підземні води - найбільш захищені водні об'єкти, які є останнім екологічним резервом водозабезпечення людини. Зростання використання захищених підземних вод для питно-господарчих потреб сприяє значному зниженню водно-екологічного ризику, зумовленого використанням забруднених поверхневих вод. Проте порушення режиму експлуатації та охорони підземних вод призводить до їх вичерпання і забруднення [6; 7; 9; 13].

Висновок. Сучасний стан підземних вод є задовільним на більшості площ України з локальним проявом техногенних змін під впливом господарської діяльності людини. Але тенденція до забруднення ландшафтів, поверхневих і підземних вод в зонах впливу ряду промислових, гірничих та аграрних об'єктів свідчить про надмірне техногенне навантаження на довкілля. При цьому погіршується стан найбільш захищених водних об'єктів - водоносних горизонтів, які є останнім екологічним резервом водозабезпечення людини.

Питання для самоконтролю:

1. Охарактеризуйте розподіл води і суші на Землі, перерозподіл води в гідросфері.

2. Поясніть особливості (причини та ланки) кругообігу води в природі та впливу гідрогеологічних процесів на вигляд планети і кліматичні умови.

3. Поясніть сутність хімічного забруднення підземних вод.

4. Поясніть сутність забруднення підземних вод макрокомпонентами, нафтопродуктами, важкими металами, нітратами і пестицидами.

5. Поясніть сутність бактеріального, теплового, радіоактивного забруднення підземних вод.

6. Розкрийте поняття «захищеність підземних вод».

7. Охарактеризуйте охоронні заходи, необхідні для джерел, розташованих у міській частині, в яких збереглась природна якість води.

ЛІТЕРАТУРА

1. Батлук В.А. Основы экологии и охраны окружающей среды: Учебное пособие / В.А. Батлук. – Львів: Афіша, 2001. – 333 с.
2. Білявський Г.О. Основы екології: теорія та практикум: Навчальний посібник / Г.О. Білявський, Л.І. Бутченко Л.І. – К.: Лібра, 2004. – 368 с.
3. Буравлев Ю.М. Промислова екологія і технології основних виробництв: Підручник / Ю.М. Буравлев, О.Б. Ступін, О.Г. Милославський. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – 568 с.
4. ГОСТ 17.2.1.01-76: Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://tehstandart.com>.
5. Даценко І.І. Гігієна і екологія людини: Навчальний посібник / І.І. Даценко. – Львів.: Афіша, 2000. – 248 с.
6. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: Навчальний посібник / В.С. Джигирей. – К.: Т-во «Знання», 2002. – 203 с.
7. Запольський А.К. Основы екології: Підручник / А.К. Запольський, А.І. Салюк; за ред. К.М. Ситника. – 3-те вид., стер. – К.: Вища школа, 2005. – 285 с.
8. Корабльова А.І. Екологія: Взаємовідносини людини і середовища / А.І. Корабльова. – Дніпропетровськ: «Центр екологічної освіти», 2001. – 291 с.
9. Корсак К.В. Основы екології: Навчальний посібник / К.В. Корсак, О.В. Плахотнік. – 2-вид., стер. – К.: МАУП, 2000. – 240 с.
10. Мусієнко М.М. Екологія. Охорона природи: Словник-довідник / М.М. Мусієнко, В.В. Серебряков, О.В. Брайон. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2002. – 550 с.
11. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua>.
12. Національні доповіді України про стан навколишнього природного середовища [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua>.
13. Промислова екологія: Навчальний посібник / С.О. Апостолюк, В.С. Джигирей, А.С. Апостолюк та ін. – К.: Знання, 2005. – 474 с.
14. Солошенко О.В. Основы екології: Підручник / О.В. Солошенко, А.М. Фесенко, С.І. Кочетова та ін. – Харків: Парустм, 2008. – 371 с.
15. Сторожук В.М. Промислова екологія: Підручник / В.М. Сторожук, Батлук В.А., Назарук М.М. – Львів: Українська академія друкарства, 2006. – 547 с.

16. Челноков А.А. Основы промышленной экологии: Учебное пособие / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. – Мн.: Высшая школа, 2001. – 343 с.

17. <http://www.lurgi.com>.

18. <http://www.niogas.com.ua>.

ЗМІСТ

| | |
|--|----------|
| ВСТУП..... | 3 |
| Модуль 1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ. ЗАХИСТ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ..... | 6 |
| ЛЕКЦІЯ 1. ВСТУП. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКОЛОГІЇ..... | 6 |
| 1.1. Промислова екологія як прикладна галузь екології | 6 |
| 1.2. Структура базових понять та основні завдання промислової екології..... | 10 |
| Питання для самоконтролю..... | 14 |
| ЛЕКЦІЯ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАБРУДНЕНЬ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ. ДЖЕРЕЛА ВИКИДІВ..... | 15 |
| 2.1. Забруднення біосфери як наслідок неадекватності принципів і методів втручання людини у природу. | 15 |
| 2.2. Класифікація промислових забруднень біосфери..... | 17 |
| 2.3. Основні види енергетичного забруднення довкілля..... | 23 |
| Питання для самоконтролю..... | 28 |
| ЛЕКЦІЯ 3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ..... | 28 |
| 3.1. Групи антропогенних викидів в атмосферу. | 28 |
| 3.2. Зниження ступеня забруднення повітряного середовища населених пунктів..... | 32 |
| 3.3. Системи очищення викидів в атмосферу..... | 38 |
| Питання для самоконтролю..... | 40 |
| ЛЕКЦІЯ 4. АПАРАТИ СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ ВІД ПИЛУ | 40 |
| 4.1. Пилоосадні (гравітаційні) камери..... | 40 |
| 4.2. Інерційні пиловловники..... | 44 |
| 4.3. Відцентрові пиловловники (циклони)..... | 46 |
| 4.4. Відцентрово-інерційні пиловловники | 53 |
| Питання для самоконтролю..... | 59 |
| ЛЕКЦІЯ 5. УСТАНОВКИ МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗІВ | 60 |
| 5.1. Загальна характеристика мокрих пиловловників..... | 60 |
| 5.2. Конструкції мокрих пиловловників | 62 |
| Питання для самоконтролю..... | 73 |
| ЛЕКЦІЯ 6. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ АПАРАТІВ | 74 |
| 6.1. Характеристика фільтрувальних апаратів | 74 |
| 6.2. Конструкції фільтрувальних апаратів | 77 |
| Питання для самоконтролю..... | 95 |
| ЛЕКЦІЯ 7. ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ ВІД ГАЗО- І ПАРОПОДІБНИХ ДОМІШОК. МЕТОДИ ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ ВІД ПРОМИСЛОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ..... | 96 |

| | |
|---|------------|
| 7.1. Методи очищення промислових викидів від газоподібних домішок | 96 |
| 7.2. Класифікація методів охорони навколишнього середовища (НС) від промислових забруднень..... | 103 |
| 7.3. Нові типи фізико-хімічних процесів охорони довкілля від промислових забруднень..... | 108 |
| Питання для самоконтролю | 112 |
| Модуль 2 ЗАХИСТ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ВІД ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ | 113 |
| ЛЕКЦІЯ 8. ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМИЩ. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД..... | 113 |
| 8.1. Джерела забруднення гідросфери | 113 |
| 8.2. Забруднення природних вод України | 120 |
| 8.3. Основні види стічних вод..... | 123 |
| 8.4. Загальна характеристика способів очищення стічних вод | 126 |
| Питання для самоконтролю | 129 |
| ЛЕКЦІЯ 9. МЕХАНІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД..... | 129 |
| 9.1. Проціджування та відстоювання | 130 |
| 9.2. Нафтовловлення та усереднення | 135 |
| 9.3. Виділення механічних домішок у полі дії відцентрових сил та фільтрування | 136 |
| Питання для самоконтролю | 140 |
| ЛЕКЦІЯ 10. ХІМІЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД..... | 141 |
| 10.1. Хімічні методи очищення стічних вод | 141 |
| 10.2. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод..... | 145 |
| Питання для самоконтролю | 154 |
| ЛЕКЦІЯ 11. БІОЛОГІЧНЕ ТА ТЕРМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД..... | 154 |
| 11.1. Біологічне очищення стічних вод | 154 |
| 11.2. Термічне очищення стічних вод..... | 162 |
| Питання для самоконтролю | 166 |
| ЛЕКЦІЯ 12. ПІДЗЕМНІ ВОДИ, ЇХ ОХОРОНА ВІД ЗАБРУДНЕННЯ І ВИСНАЖЕННЯ | 166 |
| 12.1. Водні ресурси Землі і коловорот води в природі | 166 |
| 12.2. Проблеми забруднення підземних вод | 171 |
| Питання для самоконтролю | 181 |
| ЛІТЕРАТУРА | 183 |

Навчальне видання

Автори:

Андронов Володимир Анатолійович
Шароватова Олена Павлівна

ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ

Курс лекцій
Частина I

Підписано до друку 18.01.12 . Формат 60x84/16.
Папір 80 г/м². Друк ризограф. Ум.друк. арк. 11,6.
Тираж прим. Вид. № 73/11. Зам.№ 549/12.
Відділення редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94

