

Державний вищий навчальний заклад
«Український державний хіміко-технологічний університет»



І.А. Василенко, М.І. Скиба, О.А. Півоваров, В.І. Воробйова

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Підручник

*для студентів спеціалізованих коледжів та вищих навчальних закладів
III-IV рівнів акредитації*

Дніпро
Акцент ПП
2017

*Рекомендовано до друку Вченою Радою ДВНЗ УДХТУ
Протокол № 7 від 29.06.17 р.*

Рецензенти:

Професор кафедри переробки пластмас та фото-, нано- і поліграфічних матеріалів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», д.т.н., професор – **Сухий К.М.**

Завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», д.т.н., професор – **Гомеля М.Д.**

Завідувач кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», д.т.н., професор – **Чигиринець О.Е.**

Автори:

кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
Василенко Інна Анатоліївна;

кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
Скиба Маргарита Іванівна;

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
Піваров Олександр Андрійович;

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Воробйова Вікторія Іванівна

Василенко І.А., Скиба М.І., Піваров О.А., Воробйова В.І.

Теоретичні основи охорони навколишнього середовища / І.А. Василенко, М.І. Скиба, О.А. Піваров, В.І. Воробйова. – Дніпро: Акцент ПП, 2017. – 204 с.

ISBN 978-966-921-160-6

У підручнику надано матеріали для ознайомлення студентів-екологів з методами очищення промислових викидів, що широко використовуються на підприємствах країни і світу; запропоновано практичні та тестові завдання для закріплення теоретичного матеріалу. Підручник призначений для студентів спеціалізованих коледжів та вищих навчальних закладів III-IV рівня акредитації спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища» та інших спеціальностей, які вивчають загальноосвітню дисципліну «Екологія».

УДК 502.1:658.567.5(075.8)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	8
1.1 Основні поняття	8
1.1.1 Агрегатні стани речовин	8
1.1.2 Властивості твердих тіл	8
1.1.3 Об'єднаний газовий закон	10
1.1.4 Закони термодинаміки	11
1.1.5 Змочування та капілярні явища	14
1.1.6 Колоїдні системи	15
1.1.7 Поверхневі явища	17
1.1.8 Розчинений стан речовин	18
1.1.9 Кінетика хімічних процесів	19
1.1.10 Властивості перенесення у багатокомпонентних системах	22
1.1.11 Кінетика гетерогенних процесів	25
1.1.12 Склад багатокомпонентних систем	25
1.1.13 Структурно-геометричні характеристики пористих середовищ	28
1.2 Класифікація промислових відходів	29
1.3 Показники якості навколишнього середовища	31
1.4 Джерела забруднення атмосфери	33
1.4.1 Аерозолі	34
1.4.2 Гази і пара	36
1.5 Властивості водних систем	36
1.6 Енергетичне забруднення навколишнього середовища	38
1.7 Методи захисту навколишнього середовища від промислових забруднень	39
1.7.1 Методи очищення пилоповітряних викидів	40
1.7.2 Способи очищення газових викидів	41
1.7.3 Способи очищення стічних вод	43
1.7.4 Методи оброблення відходів	43
1.7.5 Методи захисту від енергетичних впливів	44
1.7.6 Принципи інтенсифікації процесів захисту навколишнього середовища	44
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ	46
2.1 Очищення від аерозольних домішок	46
2.1.1 Гравітаційне осадження часток	46
2.1.2 Відцентрове осадження часток	47
2.1.3 Інерційне осадження часток	49
2.1.4 Фільтрування аерозолів	50
2.1.5 Мокре газоочищення	52
2.1.6 Осадження часток у електричному полі	54
2.2 Вилучення газових домішок	56

2.2.1 Абсорбція газових домішок	56
2.2.2 Адсорбція газових домішок	63
2.2.3 Десорбція поглинених домішок	68
2.2.4 Термохімічне знешкодження газових домішок	68
2.2.5 Каталітичні методи очищення газових викидів	70
2.2.6 Конденсація газових домішок	73
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД	75
3.1 Гідромеханічні способи очищення стічних вод	75
3.1.1 Відстоювання домішок	75
3.1.2 Відцентрове осадження домішок	76
3.1.3 Фільтрування домішок	77
3.2 Фізико-хімічні методи очищення стічних вод	78
3.2.1 Коагуляція і флокуляція забруднень	78
3.2.2 Флотажне очищення стічних вод	81
3.2.3 Адсорбція домішок стічних вод	82
3.2.4 Іонний обмін у розчинах стічних вод	84
3.2.5 Екстракція забруднень стічних вод	86
3.2.6 Зворотній осмос і ультрафільтрування	87
3.2.7 Десорбція, дезодорування і дегазація розчинених домішок	88
3.2.8 Електрохімічні методи очищення стічних вод	89
3.3 Плазмохімічне очищення стічних вод	90
3.3.1 Плазмохімічне оброблення питної води	92
3.3.2 Плазмохімічне знезараження питної води	95
3.3.3 Плазмохімічне очищення стічних вод різного складу	99
3.4 Хімічні методи очищення стічних вод	102
3.4.1 Нейтралізація стічних вод	102
3.4.2 Окиснення забруднень стічних вод	103
3.4.3 Очищення стічних вод методом відновлення	105
3.4.4 Очищення стічних вод від іонів важких металів	106
3.5 Біохімічне очищення стічних вод	107
3.5.1 Аеробний метод	107
3.5.2 Анаеробний	110
3.5.3 Оброблення осадів стічних вод після біологічного очищення	111
3.6 Термічні методи очищення стічних вод	113
3.6.1 Концентрування стічних вод	113
3.6.2 Кристалізація речовин з розчинів стічних вод	115
3.6.3 Термоокиснювальні методи очищення стічних вод	117
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ	119
4.1 Механічне оброблення твердих відходів	119
4.2 Фізико-хімічні методи оброблення відходів	121
4.3 Термічні методи оброблення відходів	126

РОЗДІЛ 5. МЕТОДИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВПЛИВУ	131
5.1 Механічні та акустичні коливання	133
5.2 Іонізуюче випромінювання	137
5.3 Електромагнітні поля і випромінювання	140
РОЗДІЛ 6. ПРАКТИЧНА РОБОТА СТУДЕНТІВ	143
6.1 Практичні роботи	143
6.1.1 Аналізування промислового забруднення водних об'єктів	143
6.1.2 Розрахунок викидів в атмосферу при спалюванні різного палива	144
6.1.3 Аналізування сумарних викидів в атмосферу, розрахунок їх розсіяння та приземних концентрацій	148
6.1.4 Електрохімічне забруднення навколишнього середовища	154
6.1.5 Розрахунок шумових характеристик потягу, що рухається	156
6.1.6 Матеріальний баланс	159
6.1.7 Тепловий баланс	162
6.2 Контрольні тести	165
6.2.1 Перелік тестових завдань	165
6.2.2 Відповіді на тестові завдання	190
6.3 Теми доповідей	191
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК	192
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	199
ДОДАТКИ	202
Додаток 1. Грецький алфавіт	202
Додаток 2. Десяткові приставки	202
Додаток 3. Переведення деяких величин у одиниці системи СІ	202
Додаток 4. Міжнародна система одиниць (СІ)	203

ВСТУП

Природокористування – галузь матеріального виробництва і наука, що вирішує та досліджує проблеми задоволення матеріальних потреб людського суспільства, необхідних для його нормального відтворення, інтелектуально-духовного розвитку протягом необмежено тривалого часу на базі обмежених природних ресурсів без деградації навколишнього середовища.

Складовою частиною природокористування є перероблення і відтворення природних ресурсів, їх охорона і захист навколишнього середовища у цілому, який здійснюється на основі *інженерної екології* – науки про взаємодію технічних і природних систем.

Теоретичні основи охорони навколишнього середовища – комплексна науково-технічна дисципліна інженерної екології, що вивчає основи створення ресурсозберігаючих технологій, екологічно безпечних промислових виробництв, реалізації інженерно-екологічних рішень щодо раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища.

Розвиток світового суспільного виробництва відбувається прискореними темпами, і розміри збитку, що наносяться навколишньому середовищу, збільшуються при цьому так, що їх вже неможливо, як раніше, подолати природним шляхом, без використання глибоко продуманого комплексу законодавчих і технологічних заходів, які торкаються усіх сфер виробничої діяльності людини.

У зв'язку з цим необхідно впровадження технологічних процесів, що дають мінімальні викиди, при яких самоочисна здатність природи достатньою мірою буде перешкоджати виникненню необоротних екологічних змін.

При створенні і реалізації маловідходної і безвідходної технології природокористування використовуються різні методи і технологічні процеси інженерної екології, включаючи механічні, фізико-хімічні, хімічні, термічні та біологічні процеси: осадження та розділення гетерогенних систем, коагуляція та електрокоагуляція, флокуляція, сорбція, каталіз, конденсація, флотація та електрофлотація, рідинна екстракція, іонний обмін, хімічне та електрохімічне окиснення і відновлення, біохімічне окиснення і розкладання, піроліз, вогневе знешкодження та ін.

Метою курсу «Теоретичні основи охорони навколишнього середовища» є отримання необхідних базових знань про основні методи і закономірності фізико-хімічних процесів захисту навколишнього середовища, основи технологій очищення пилогазових викидів, рідких скидів, утилізації і перероблення твердих відходів, про фізичні принципи захисту навколишнього середовища від енергетичних впливів.

Предмет навчальної дисципліни «Теоретичні основи охорони навколишнього середовища» охоплює наступні об'єкти: основні закони термодинаміки, газові закони ідеальних та реальних газів, рівновагу і процеси очищення промислових газів та стічних вод, термохімічні процеси і розрахунок теплових ефектів, термодинаміку розчинів, кінетику процесів, гетерогенні процеси, каталіз, основи процесів екстракції, коагуляції, флотації.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Теоретичні основи охорони навколишнього середовища» є формування чіткого і правильного розуміння процесів захисту навколишнього середовища, формування здібностей студентів до творчого мислення та самостійної роботи при вирішенні екологічних задач.

Викладання дисципліни «Теоретичні основи охорони навколишнього середовища» передусе вивченню дисциплін професійного спрямування.

У підручнику надано матеріали для ознайомлення студентів-екологів з методами очищення промислових викидів, що широко використовуються на підприємствах країни і світу. Запропоновано практичні та тестові завдання для закріплення теоретичного матеріалу.

Підручник призначений для студентів спеціалізованих коледжів та вищих навчальних закладів III–IV рівня акредитації спеціальності «Екологія та охорона навколишнього середовища» та інших спеціальностей, які вивчають загальноосвітню дисципліну «Екологія».

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1 Основні поняття

1.1.1 Агрегатні стани речовин

У більшості випадків кожна речовина у залежності від зовнішніх умов (температури і тиску) може знаходитися у газоподібному, рідкому і твердому станах, які отримали назву *«агрегатні стани»*.

Перехід речовини з рідкого стану у газоподібний називається *пароутворенням*. У разі, коли пароутворення відбувається лише на поверхні рідини, процес називається *випаровуванням*. Зворотний перехід газу у рідкий стан є *скрапленням*.

Перехід з твердого стану у газоподібний визначається як *сублімація*. Зворотний перехід з газоподібного стану у твердий називається *десублімація*.

Перехід газоподібної речовини у рідкий або твердий стан (зрідження і десублімація) об'єднується загальним поняттям – *конденсація пари*. У зв'язку з цим тверде і рідина розглядаються як конденсований стан.

Перехід з твердого стану у рідкий називається *плавленням*, а зворотний процес – *твердінням* (або замерзанням, якщо процес має місце при невисокій температурі). Перехід з однієї модифікації твердого стану в інший називається *поліморфним перетворенням* або просто *переходом*.

Перехід речовини з одного агрегатного стану в інший або поліморфне перетворення супроводжуються виділенням або поглинанням теплоти (пароутворення або випаровування, сублімація, плавлення, поліморфне перетворення тощо).

Згідно характеру теплового явища (поглинання або виділення тепла) можна робити висновки про те, у яких температурних умовах той чи інший агрегатний стан і поліморфні форми речовини стійкіші. При більш високих температурах стійкіші ті стани і форми, перехід у які перебігає з поглинанням тепла, а при більш низьких – ті, перехід у які обумовлений виділенням тепла.

1.1.2 Властивості твердих тіл

Під твердими тілами у фізиці розуміють лише такі, у яких є кристалічна будова.

Кристали – це тверді тіла, атоми або молекули яких займають певні, впорядковані положення у просторі. Тому кристали мають плоскі грані. Такі частини тіла називають монокристалами.

Частки у кристалах (атоми, молекули, іони) утворюють кристалічні (просторові) решітки. У кристалічній решітці точки, відповідні найбільш стійкому (рівноважному) стану часток, складають вузли решітки. Вони мають правильне розташування, що періодично повторюється всередині кристала. Дане розташування частинок у вузлах решітки кристалів називають *долимним порядком*.

За характером сил, що діють між частками, які знаходяться у вузлах решітки кристала, розрізняють такі типові кристалічні структури:

1. *Іонна структура* характеризується наявністю позитивних і негативних іонів у вузлах решітки. Утримують іони у вузлах решітки сили взаємного електричного притягання і відштовхування. Наприклад, хлорид натрію.

2. *Атомна структура* характеризується наявністю нейтральних атомів у вузлах решітки, між якими діє ковалентний зв'язок – зв'язок при якому кожні два сусідні атоми утримуються поруч силами притягання, що виникають при взаємному обміні двома валентними електронами між цими атомами. Ковалентний зв'язок створює міцні кристали, тому такі речовини володіють високою механічною міцністю та високими температурами плавлення. Наприклад, алмаз, германій, кремній.

3. *Молекулярна кристалічна структура* характеризується просторовою сіткою, у вузлах якої знаходяться нейтральні молекули речовини. В середині самих молекул зв'язки є ковалентними, тобто насиченими. Тому взаємне притягання молекул у кристалічній решітці здійснюється слабкими силами міжмолекулярної взаємодії (силами Ван-дер-Ваальса). Оскільки сили міжмолекулярної взаємодії слабкі, то тверді речовини з таким типом кристалічної решітки легко руйнуються при механічному впливі, мають низьку температуру плавлення і значну леткість. Наприклад, лід, нафталін, твердий азот, більшість органічних речовин.

4. *Металічна кристалічна структура* відрізняється наявністю у вузлах решітки позитивно заряджених іонів металів. У металів всі валентні електрони, тобто ті, що знаходяться на зовнішніх електронних орбітах, дуже слабо зв'язані з атомами. У кристалах вони відносно легко переходять від одного атома до іншого. Електронні металеві структури внаслідок їх рухливості одержали назву *електронного газу*. Здебільшого такий зв'язок буває досить міцним, що надає більшості металів твердість, високі температури плавлення і кипіння, низьку леткість. Разом з тим наявність електронного газу у металі пояснює їх високу електропровідність і теплопровідність.

Поряд з кристалами, що мають типові форми зв'язку, існують кристали з різними перехідними і змішаними формами. Особливо це характерно для речовин, що складаються з трьох і більше елементів.

Тверді речовини, що не мають кристалічної будови, називаються *аморфними*, або склоподібними, оскільки типовим представником є скло. Перехід зі склоподібного стану у кристалічний супроводжується виділенням теплоти. Інтенсивність його невисока, так як процес кристалізації скла дуже тривалий. Наприклад, пластик, скло, каніфоль, смола, бурштин, пластична сірка.

При охолодженні аморфні речовини поступово густішають, а при нагріванні поступово набувають в'язкості. Виявити різку межу між твердим і рідким станом, наприклад, при температурі плавлення, у аморфних тіл неможливо.

Здатність однієї і тієї самої речовини у залежності від умов (нагрівання або охолодження) перебувати в аморфному або кристалічному стані широко

використовується у сучасній технології, так як ряд властивостей при цьому може суттєво відрізнятись. Наприклад, сірка.

1.1.3 Об'єднаний газовий закон

Характерною особливістю газоподібного стану є те, що практично відсутні сили взаємного притягання між молекулами речовини, і вони не здатні утримуватися одна біля одної. Тому гази можуть необмежено розширюватися, займаючи весь наданий їм об'єм. Незначність сил молекулярної взаємодії між частками газу дозволяє ввести поняття «ідеальний газ».

Ідеальний газ – це такий гіпотетичний газ, молекули якого не взаємодіють одна з одною і займають нульовий об'єм. Співвідношення між тиском, об'ємом і температурою газів встановлюють закони ідеальних газів: об'єднаний газовий закон, закони для ізобарного, ізохорного та ізотермічного процесів. Реальні гази зазвичай підкоряються законам ідеальних газів під тиском, що нижче або несуттєво перевищує атмосферний, і при температурі, близької до температури навколишнього середовища або більш високій.

Тому закони ідеальних газів знаходять широке застосування у природокористуванні, зокрема при розрахунках кількості, складу газів, що виділяються при горінні, і у інших технологічних процесах, які супроводжуються їх утворенням.

Об'єднаний газовий закон, або рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва-Клапейрона), що встановлює співвідношення між трьома основними термодинамічними параметрами газу: тиском, об'ємом і абсолютною температурою (при довільній кількості молей речовини) виражається у наступному вигляді

$$pV = nRT,$$

де p – тиск газу, Па; V – об'єм газу, м^3 ; n – кількість речовини, моль; T – абсолютна температура, К; R – коефіцієнт пропорційності, або універсальна газова постійна, $8,413 \text{ Дж}/(\text{моль К})$.

Випадком рівняння стану ідеального газу є закони, що описують його поведінку в умовах, коли один з термодинамічних параметрів залишається постійним, тобто має місце *ізопроцес* (*ізо* – рівний, однаковий). Розрізняють:

1. *Ізохорний процес* підкоряється закону французького фізика Шарля – для даної маси газу при постійному об'ємі ($V = \text{const}$) тиск газу прямопропорційний його абсолютній температурі

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2};$$

2. *Ізобарний процес* підкоряється закону французького фізика Гей-Люссака – для даної маси газу при постійному тиску ($p = \text{const}$) об'єм газу прямопропорційний його абсолютній температурі

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2};$$

3. *Изотермічний процес* у газі вперше був вивчений англійським вченим Р. Бойлем і дещо пізніше, незалежно від нього, французьким ученим Е. Маріотто. Відкритий ними закон Бойля-Маріотта формулюється – добуток тиску даної маси газу на його об'єм постійний, якщо температура газу не змінюється ($T = \text{const}$)

$$p \cdot V = \text{const.}$$

Відхилення поведінки реальних газів від законів ідеальних газів пояснюється тим, що при високих тисках молекули реального газу зближуються настільки, що між ними виникають помітні сили тяжіння. Істотний вплив починає чинити і власний об'єм молекул. Зазначене відноситься і до реальних газів при низьких температурах.

Для описання поведінки реальних газів було розроблено та запропоновано декілька рівнянь, що більш точно описують їх стан, ніж закони ідеальних газів. Одним з найбільш відомих є *рівняння Ван-дер-Ваальса*. У його основі лежить рівняння стану ідеальних газів, що містить поправки на власний об'єм молекул (b) і на їх взаємне тяжіння (a/V). Для одного моля речовини це рівняння записують наступним чином

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right) \cdot (V - b) = R \cdot T.$$

Величини a , b приймають постійними. Значення їх для різних газів наводяться у довідниках.

1.1.4 Закони термодинаміки

Термодинаміка – один з розділів фізики і фізичної хімії, предметом вивчення якого є:

1) основні співвідношення, що дозволяють розрахувати кількість виділеного або поглиненого тепла у фізичних і хімічних перетвореннях, а також виконану при цьому роботу;

2) виявлення можливого самовільного перебігу процесів у певному напрямку, їх рівновага.

До цього слід додати, що термодинаміка досліджує також переходи енергії з однієї форми у іншу. Термодинаміка побудована на двох основних законах, що мають назву перший і другий початок, і на постулаті Планка, який часто розглядають як третій закон термодинаміки.

Термодинаміка у класичній формі дає відповідь лише про напрям перебігання процесів, умови рівноваги системи, нічого не повідомляючи про швидкість процесу і час досягнення рівноваги. Одне з основних понять термодинаміки пов'язане з визначенням «система».

Система – тіло або група тіл, що знаходяться у взаємодії і є відокремленими від навколишнього середовища.

За ступенем однорідності системи поділяють на *гомогенні та гетерогенні*. В останньому випадку вони включають кілька фаз. За ступенем взаємодії з навколишнім середовищем розрізняють системи *ізолювані і неізолювані, закриті і відкриті*.

Ізолювані системи – це системи, що мають постійний об'єм, через межі яких не відбувається обміну речовиною або енергією з навколишнім середовищем. У іншому випадку ми маємо справу з *неізолюваною* системою.

Закриті системи не обмінюються речовиною з іншими системами. Їх взаємодія з ними обмежується лише передачею теплоти і роботи.

Предметом термодинамічного вивчення є лише закриті системи.

Стан системи визначається її властивостями (термодинамічними параметрами). Властивості системи залежать від початкового і кінцевого стану і не залежать від шляху переходу з одного стану в інший.

Розрізняють інтенсивні та екстенсивні властивості. *Екстенсивні властивості* пропорційні кількості речовини, до них відносяться маса і об'єм системи. *Інтенсивні властивості* не залежать від кількості речовини, не адитивні, до них відносяться температура, тиск, густина.

Найбільш важливими і часто використовуваними властивостями системи є тиск, об'єм, температура і склад системи.

Перехід системи з одного стану в інший називають *процесом*. Якщо при його проведенні змінюється склад, то такий процес називають *хімічною реакцією*.

Важливими поняттями у термодинаміці є поняття теплоти і роботи. Вони не є функціями стану і проявляються лише при проведенні процесу, служать формами передачі енергії (загальної міри всіх видів руху) від системи до навколишнього середовища і у зворотному напрямку. Не будучи функцією стану, робота і теплота залежать від шляху проведення процесу. У відповідності з сучасними термодинамічними уявленнями *робота* є упорядкована форма передавання енергії, а *теплота* є невпорядкованою формою її передавання.

Одним з найбільш фундаментальних термодинамічних понять є *внутрішня енергія* U . Вона відноситься до параметрів стану і у фізичному сенсі характеризує загальний запас енергії системи, включаючи енергію: поступального та обертового руху молекул; внутрішньомолекулярного коливального руху атомів і атомних груп, що складають молекули; обертання електронів у атомі; ядер атомів та ін., але без урахування кінетичної енергії тіла у цілому та його потенційної енергії положення.

Термодинаміка не може визначати абсолютну величину внутрішньої енергії системи, але може вимірювати *зміну внутрішньої енергії* ΔU у тому чи іншому процесі. Цього достатньо для успішного застосування поняття внутрішньої енергії, що є термодинамічним параметром системи.

Перший закон термодинаміки встановлює зв'язок між кількістю одержаної або виділеної теплоти, кількістю виробленої або одержаної роботи і зміною внутрішньої енергії системи при проведенні термодинамічного процесу.

В усіх випадках закритої термодинамічної системи відношення поглиненого тепла Q до виконаної роботи A є величина постійна ($Q/A = \text{const}$). Це відношення не залежить від властивостей системи та шляху її переходу з одного стану в інший, тобто є термодинамічним параметром, і становить 427 кГм/ккал (кілограмометр на кілокалорію). При вимірюванні Q і A в однакових одиницях $Q/A = 1$, у тому числі і у круговому процесі.

Є також інші, рівноцінні, формулювання першого закону. Одне з них – формулювання закону збереження енергії: якщо у будь-якому процесі енергія одного виду зникає, то замість неї у еквівалентній кількості виникає енергія іншого виду. Математичний вираз першого закону термодинаміки може бути наданий у різних формах. Найбільш загальна наступна

$$\Delta U = Q - A.$$

Іншими словами, у будь-якому процесі приріст внутрішньої енергії будь-якої системи дорівнює теплоті, що повідомляється системі, за виключенням роботи, чиненої системою. Для процесів, пов'язаних з нескінченно малими змінами, наведене рівняння приймає вигляд

$$dU = \delta Q - \delta A,$$

де dU – повний диференціал внутрішньої енергії системи; δQ і δA – нескінченно малі кількості теплоти і роботи.

Другий закон термодинаміки показує, у якому напрямку в заданих умовах (температура, тиск, концентрація тощо) процес може перебігати мимовільно, тобто без витрати роботи ззовні. По-друге, закон визначає межу можливого самовільного перебігу процесів, тобто його рівноважний, у даних умовах, стан.

У загальному випадку мимовільний розвиток взаємодії між різними частинами системи можливий лише у напрямку вирівнювання інтенсивних властивостей (температури, тиску, електричного потенціалу та ін.) всіх її частин. Досягнення цього стану є межею самовільного перебігу процесу, тобто умовою рівноваги.

Для ізольованих систем критерієм, який визначає мимовільний перебіг процесу, служить термодинамічний параметр, що отримав назву *ентронії* S . У цих системах при перебігу необоротних процесів ентронія зростає і сягає максимальних значень у разі рівноваги процесу

$$S_2 - S_1 > 0.$$

Ентронія є мірою безладу в ізольованій системі, мірою її термодинамічної ймовірності, зростаючої у мимовільному процесі.

У неізольованих системах про напрям процесу судять згідно зміни термодинамічних потенціалів, що також є функціями стану. Так, для процесів, що перебігають при постійних значеннях температури і тиску, напрям і межа мимовільного перебігу процесу визначаються за допомогою ізобарно-

ізотермічного потенціалу (скорочено – *ізобарного потенціалу*) або, як прийнято у сучасній фізичній хімії, *енергії Гіббса* G : $\Delta G \leq 0$.

Іншими словами, у системі з постійними температурою і тиском можуть перебігати мимовільно лише процеси, що супроводжуються зменшенням енергії Гіббса, а умовою рівноваги служить досягнення деякого мінімального для даних умов значення цієї функції. Реакції, які супроводжуються збільшенням G , як мимовільні у принципі неможливі.

Для термодинамічних процесів, що відбуваються при постійній температурі і об'ємі, роль аналогічну енергії Гіббса виконує *енергія Гельмгольца*, або ізохорно-ізотермічний потенціал (*ізохорний потенціал*).

Другий закон термодинаміки вказує напрям можливого процесу, але нічого не повідомляє про його швидкості. Між тим термодинамічно нестійкі (метастабільні) системи можуть існувати необмежено довгий час.

Третій закон зводиться до твердження, що при абсолютному нулі температури ентропія правильно утвореного кристала будь-якої сполуки у чистому стані дорівнює нулю. При будь-якому іншому стані речовини його ентропія більше нуля.

1.1.5 Змочування та капілярні явища

Рідини – це речовини, які зберігають свій об'єм, але не мають постійної форми, приймаючи форму ємності, у якій знаходяться. З явищ, пов'язаних з властивостями рідини, найбільш часто у технологічних процесах мають справу зі змочуванням і капілярними явищами.

Якщо молекули рідини притягаються одна до одної слабше, ніж до молекул твердої речовини, то рідина називається *такою, що змочує цю речовину*.

У цілому при контакті рідини з поверхнею твердого тіла можна виділити два граничних випадки: поверхня твердого тіла горизонтальна, і поверхня твердого тіла вертикальна.

При нанесенні краплини на тверду горизонтальну поверхню в атмосфері повітря виникає периметр зіткнення краплі з поверхнею (*периметр змочування*), у кожній точці якого сходяться сили поверхневого натягу на межі тверде тіло–газ, тверде тіло–рідина та рідина–газ. Сили поверхневого натягу діють уздовж поверхні. Довільна точка периметра змочування стане точкою трьох зазначених сил (рис. 1.1). При цьому сила поверхневого натягу $\sigma_{\text{тг}}$, діюча на межі поділу тверде тіло–газ, може бути більше, дорівнювати або менше сили поверхневого натягу $\sigma_{\text{тр}}$ на межі тверде тіло–рідина. У разі, коли $\sigma_{\text{тр}}$ менше, ніж $\sigma_{\text{тг}}$ крапля почне розтікатися по твердій поверхні, змочувати її (рис.1.1, а). Протилежна картина складеться, якщо $\sigma_{\text{тг}}$ менше $\sigma_{\text{тр}}$ (рис. 1.1, б).

При досягненні рівноваги отримаємо співвідношення, що називається рівнянням Юнга

$$\sigma_{\text{тг}} = \sigma_{\text{тр}} + \sigma_{\text{тг}} \cos\theta,$$

де θ – кут змочування, утворений краплею на поверхні твердого тіла (вимірюється з боку рідини).

Рис 1.1 свідчить, що при $\theta < 90^\circ$ рідина змочує, а при $\theta > 90^\circ$ не змочує поверхню твердого тіла (підкладку). При повному змочуванні $\cos \theta = 1$, і рідина розтікається по поверхні твердого тіла.

При вертикальному розташуванні твердої поверхні крайовий кут θ також зберігається (рис. 1.2). У варіанті змочування емоності краї рідини піднімаються, а при незмочуванні – опускаються. У вузьких трубках викривляється вся вільна поверхня рідини. У змочуваній поверхні рідиною утворюється увігнутий меніск, а у незмочуваній – опуклий. Явища, обумовлені втягуванням або виштовхуванням рідини у капілярах (трубки, діаметр яких дорівнює діаметру волоса), називаються капілярними явищами.

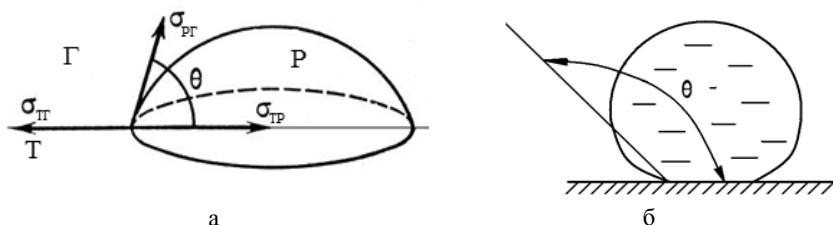


Рисунок 1.1 – Крайові кути для змочуваної (а) і незмочуваної (б) рідиною поверхні

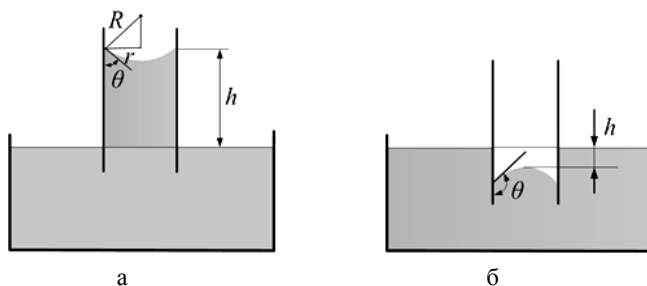


Рисунок 1.2 – Форма поверхні змочуваної (а) і незмочуваної (б) рідиною і капілярні явища у трубках

Рівноважна висота h підйому (опускання) рідини у капілярі з радіусом r визначається за формулою

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r},$$

де σ – поверхневий натяг рідини; ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння.

1.1.6 Колоїдні системи

Колоїдні системи представляють собою дисперсії, у яких поверхневі властивості речовини, що відрізняються від властивостей в об'ємі, відіграють значну роль.

Дисперсні системи – це такі системи, у яких одна речовина розподілена у середовищі іншої у вигляді дуже дрібних часток. Вони складаються з двох або більше фаз, тобто є гетерогенними. Розміри часток колоїдної фази знаходяться у межах 10^{-7} – 10^{-5} см.

У зазначеному діапазоні розмірів колоїдні частки *полідисперсні*, тобто істотно розрізняються. *Монодисперсні*, можна отримати лише штучно, користуючись спеціальними технологіями. У цілому згідно розмірів часток колоїдні та мікрогетерогенні системи займають проміжне положення між молекулярно-дисперсними системами (розчинами) і системами з більш крупними (грубодисперсними) частками.

Колоїдні системи досить різноманітні, відрізняються за складом дисперсної фази і дисперсійного середовища, розміром, властивостями, що ускладнює їх єдину класифікацію. Найбільш визнаною є класифікація колоїдних систем у залежності від агрегатного стану дисперсної фази і дисперсійного середовища, розроблена В.О. Оствальдом. Вона полягає у тому, що кожна з фаз колоїдної системи може існувати у будь-якому з трьох агрегатних станів (твердому, рідкому або газоподібному), тобто теоретично можливі дев'ять комбінацій дисперсної фази і дисперсійного середовища. Практично їх вісім, система газ у газі є гомогенною і у ній відсутня межа поділу. У науці і техніці кожна з можливих комбінацій дисперсної фази і дисперсійного середовища отримала свою назву (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Класифікація дисперсних систем за агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища

Дисперсна фаза	Дисперсійне середовище	Система	Назва системи
Рідина	Газ	Р–Г	Тумани
Тверде тіло	Газ	Т–Г	Дим, пил
Газ	Рідина	Г–Р	Піна, газові емульсії
Рідина	Рідина	Р–Р	Емульсії
Тверде тіло	Рідина	Т–Р	Колоїдні розчини, суспензії
Газ	Тверде тіло	Г–Т	Тверді піни, пористі тіла
Рідина	Тверде тіло	Р–Т	Тверді емульсії
Тверде тіло	Тверде тіло	Т–Т	Тверді золі, сплави

У колоїдній хімії всі системи, що відповідають колоїдному ступеню дисперсності, називають золями. Золі з газовим дисперсійним середовищем відомі як *аерозолі* (системи Р–Г і Т–Р), а з рідким – як *ліозолі* або *гідрозолі*, якщо дисперсійне середовище представлене водою. Колоїдні системи внаслідок їх значної питомої поверхні термодинамічно нерівноважні і агрегативно нестійкі. Саме тому проблема їх стійкості є центральною у колоїдній хімії. Існує два види процесів, що призводять до руйнування колоїдних систем і здатні перебігати мимовільно:

1. *Седиментація* полягає у тому, що частки дисперсної фази, відрізняючись згідно густини від дисперсійного середовища, виділяються з неї за рахунок осідання або спливання.

2. *Коагуляція* полягає в укрупненні (агрегації) часток дисперсної фази у результаті їх злипання або злиття.

З процесами седиментації та коагуляції тісно пов'язані поняття кінетичної і агрегативної стійкості колоїдних систем.

Кінетична стійкість обумовлена тим, що у колоїдній системі седиментації протистоїть тепловий (броунівський) рух часток дисперсної фази. Завдяки якому частки зберігаються у зваженому стані навіть при значному розходженні густини дисперсійного середовища і дисперсної фази.

Агрегативна стійкість полягає у здатності колоїдної системи зберігати свою дисперсність. Агрегативна стійкість (щодо коагуляції) зумовлена наявністю у часток дисперсної фази електричних зарядів одного знака і сольватної (гідратної) оболонки.

Швидкість коагуляції залежить від ряду фізичних факторів: старіння системи, концентрації дисперсної фази, температури, механічного впливу, світла та ін. Основними силами, які утримують частки у коагуляційній структурі, є сили Ван-дер-Ваальса.

Колоїдні частки, відрізняючись максимально розвинутою поверхнею і разом з тим максимальним енергетичним пересиченням, є найбільш активними каталізаторами (колоїдна платина, паладій, іридій, осмій, порошки заліза). Колоїдні каталізатори згідно активності у багато разів перевищують гетерогенні каталізатори і активні вже при кімнатній температурі (колоїдна платина, осмій, паладій та інші благородні метали VIII групи).

1.1.7 Поверхневі явища

З поверхневих явищ найбільше практичне значення має поверхневий натяг. Для збільшення поверхні конденсованих речовин потрібно розірвати зв'язки, що існують між їх частками, тобто виконати певну роботу. Величина цієї роботи, віднесена до одиниці площі, отримала назву *поверхневого натягу* (Дж/м²). Визначено, що з підвищенням температури поверхневий натяг рідини лінійно зменшується. Д.І. Менделєєв встановив існування такої температури, при якій поверхневий натяг дорівнює нулю, тобто зникає різниця між рідиною і парою. Вище цієї температури речовина вже не може знаходитися у рідкому стані (критична температура).

На межі розділу двох рідин, що не змішуються, також є надлишкова енергія, яка називається *міжфазовим натягом*. У найпростішому випадку, коли одна рідина повністю розтікається по поверхні іншої, дотримується правило Антонова

$$\sigma_{1,2} = \sigma_1 - \sigma_2,$$

де $\sigma_{1,2}$ – міжфазовий натяг на межі фаз 1–2; σ_1 і σ_2 – поверхневий натяг цих фаз.

Відхилення від правила Антонова, пов'язані з неповною взаємною змочуваністю рідини, зазвичай складають 3–5%. При відриві однієї фази від іншої, наприклад рідини від твердого тіла, виконується робота W , що називається *адгезією*

$$W_{\text{адг}} = \sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_{1,2}$$

Відрив одного шару речовини від іншого шару цієї ж речовини потребує роботи, що називається *когезією*

$$W_{\text{ког}} = 2\sigma.$$

1.1.8 Розчинений стан речовин

Розчин – це однорідна суміш, що складається з двох або більше речовин і продуктів їх взаємодії, склад якої у певних межах може безперервно змінюватися. Частки, що становлять розчин, дуже малі і мають молекулярні, атомні або іонні розміри. Згідно розчинності у воді всі речовини поділяються на: *добре розчинні, малорозчинні і практично нерозчинні.*

Навіть при розчиненні добре розчинних речовин може наступити рівновага між масою речовини, що переходить у розчин і випадає з нього, тобто досягається насичення розчину.

Насичений розчин – це розчин, що знаходиться у динамічній рівновазі з надлишком розчиненої речовини.

Пересичені розчини досить нестійкі і утворюються у спеціальних умовах, наприклад при повільному і обережному охолодженні розчинів при відсутності часток домішок, які стали б центрами кристалізації, *зародками*. Простий струс посудини або введення у розчин кришталіка (зародка) викликає випадання в осад надлишку розчиненої речовини. Наприклад, ацетат натрію з незначним додаванням води нагрівають на водяній бані у закритій колбі до повного розчинення. При кімнатній температурі цей розчин може зберігатися до тих пір поки до нього не потрапить зародок – невеликий кришталік ацетату натрію, що відразу спровокує кристалізацію.

Кількісно *розчинність* виражається концентрацією насиченого розчину, тобто максимальним числом грамів речовини, яку при даній температурі можна розчинити у 100 г розчинника. Розчинність твердих речовин зі збільшенням температури зазвичай зростає. При зниженні температури розвиваються зворотні процеси, тобто розчинена речовина, як правило, випадає в осад з розчину. Цей процес називається *кристалізацією*. Якщо у розчині, крім розчиненої речовини, містяться інші (домішки), то по відношенню до них розчин буде залишатися ненасиченим, і вони не випадають в осад. На цьому оснований метод очищення речовин, що називають *перекристалізацією*.

Залежність властивостей ідеального розчину від його складу і концентрації найбільш проста. Зокрема, тиск p_i насиченої пари розчиненої речовини над ідеальним розчином підкоряється закону Рауля

$$p_i = P_i^0 \cdot N_i,$$

де P_i^0 – тиск насиченої пари над чистим i -м компонентом; N_i – мольна частка i -ї речовини в розчині.

У відповідності з *теорією електролітичної дисоціації*, основні положення якої розробив шведський вчений С. Арреніус, речовини при розчиненні у воді або плавленні частково або повністю розпадаються (дисоціюють) на іони. При значному ступені дисоціації розчинів (розплавів) вони є ефективними

провідниками електричного струму (електролітами). У загальному випадку рівновага між вихідними і кінцевими продуктами хімічної взаємодії характеризується константою рівноваги. Стосовно до дисоціації розчину константа рівноваги називається *константою дисоціації* K_D , яка виражається через активність a

$$K_D = \frac{a_{\text{H}^+} \cdot a_{\text{OH}^-}}{a_{\text{H}_2\text{O}}}.$$

Константа дисоціації (рівноваги) при даній температурі є величина постійна. Для розбавлених розчинів або для чистої води активність можна замінити концентраціями.

Датський хімік Соренсен ввів поняття *водневого показника рН* (potenz – математична ступінь; Н – хімічний символ водню).

Водневий показник – це десятковий логарифм концентрації водневих іонів, взятий з протилежним знаком: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$. Поняття рН середовища широко застосовують у різних галузях науки і технології (у аналітичній хімії, ґрунтознавстві, екології, гідрометалургії, очищення стічних вод, медицині тощо).

Законам ідеальних розчинів підпорядковуються також нескінченно розведені розчини. *Нескінченно розведені розчини* – це розчини, у яких концентрація розчиненої речовини менше будь-якої малої наперед заданої величини. У таких розчинах молекули розчиненої речовини оточені значною кількістю молекул розчинника. Тому взаємодія між молекулами розчиненої речовини відсутня. Властивості розведених розчинів залежать головним чином від концентрації розчинених речовин, а не від їх природи.

1.1.9 Кінетика хімічних процесів

Кінетика хімічних реакцій – це вчення про швидкості їх перебігання залежно від різних факторів (концентрації реагуючих речовин, температури, наявності каталізаторів тощо).

Швидкість хімічної реакції – це зміна концентрацій реагуючих речовин в одиницю часу. За ступенем однорідності середовища, в якому здійснюються хімічні процеси, розрізняють реакції у гомогенних і гетерогенних системах.

Гомогенна система – це система, термодинамічні властивості якої у всіх точках однакові.

Гетерогенна система складається з ряду гомогенних систем, які у цьому випадку називаються фазами. Фази відокремлені одна від одної реальними, мимовільними фізичними поверхнями розділу фаз, на межах яких деякі властивості змінюються стрибкоподібно.

Гетерогенними називаються реакції, що перебігають на поверхні розділу фаз або в об'ємі однієї фази гетерогенної системи.

Простими називають реакції, у яких взаємодія вихідних часток здійснюється в одну стадію при їх безпосередньому зіткненні одна з одною. При цьому реакція, не обмежена у часі, закінчується повною витратою принаймні однієї з вихідних речовин. Таким чином, до простих реакцій

відносять необоротні реакції типу $A+B = C+D$, що перебігають в одному напрямі до кінця (при видаленні газоподібних продуктів реакції, при випаданні кінцевих продуктів у вигляді осадів, при утворенні малодисоційованих сполук (наприклад: $HCl + NaOH = NaCl\downarrow + H_2O$)).

Встановлено, що швидкість взаємодії у простих реакціях при постійній температурі прямо пропорційна добутку концентрацій реагуючих речовин у ступені, що дорівнює стехіометричному коефіцієнту даних речовин у рівнянні реакції. Згідно з визначенням швидкість реакції V речовин A і B : $2A+B=A_2B$ при концентраціях C складе

$$V = kC_A^2C_B.$$

Коефіцієнт пропорційності k при постійній температурі є величиною постійною і називається *константою швидкості реакції*. Вона чисельно дорівнює швидкості реакції при концентрації кожної з вихідних речовин рівній одиниці. Сума показників ступенів при концентраціях у рівнянні називається *порядком реакції*. У простих реакціях він збігається з поняттям їх *молекулярності*. Розрізняють одно-, дво- і тримолекулярні реакції. Реакції більш високого порядку практично неможливі.

У тих випадках, коли сума стехіометричних коефіцієнтів у рівнянні хімічної гомогенної реакції більше трьох – хімічний процес не належить до типу простої реакції. Він здійснюється більш складним шляхом – через дві або більшу кількість стадій послідовно або паралельно перебігаючих реакцій, у кожній з яких взаємодія здійснюється при зіткненні двох або, рідко, трьох молекул. Таким чином, будь-яку *складну реакцію* можна розглядати як певну сукупність простих реакцій. У загальному випадку швидкість складних хімічних реакцій вихідних речовин A і B дорівнює

$$V = k a_A^n \cdot a_B^m,$$

де a – термодинамічна активність речовин; n , m – порядок реакції згідно реагуючих речовин.

Термодинамічна активність – це такі чисельні значення, підстановка яких у закон діючих мас замість концентрацій реагуючих речовин дозволяє використовувати його для розрахунків швидкостей і констант рівноваги хімічних реакцій, коли поведінка речовин у них відрізняється від поведінки ідеальних газів і нескінченно розведених розчинів. Термодинамічна активність довільної речовини A дорівнює

$$a_A = \gamma_A \cdot C_A,$$

де γ_A – коефіцієнт активності; C_A – концентрація речовини A .

Коефіцієнт активності враховує ступінь відхилення поведінки реальної речовини від ідеальної. Поняття активності і коефіцієнта активності стосовно до різних агрегатних станів речовини мають деякі особливості. Так, активність газів називається *фугитивністю* f , а їх коефіцієнт активності – *коефіцієнтом*

фугитивності. У випадку ідеальних газів активність кожного з них співпадає з їх тисками у суміші (з парціальними тисками). Коефіцієнти активності ідеальних газів дорівнюють одиниці. В ідеальних розчинах активності речовин збігаються з їх *мольною концентрацією*, а коефіцієнти їх активності дорівнюють одиниці. У реальних рідких системах це виконується для випадку нескінченно розведених розчинів.

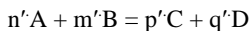
Порядок реакції за реагуючою речовиною у загальному випадку може не збігатися з її стехіометричним коефіцієнтом у рівнянні реакції. У реальних хімічних процесах порядок реакції дорівнює сумі показників ступенів рівняння, що виражає залежність швидкості реакції від концентрації реагуючих речовин. Відомі реакції нульового, першого, другого і третього порядків. Однак частіше їх порядок виражається дробовим числом. Як правило, порядок реакції за речовиною нижче, ніж стехіометричний коефіцієнт цієї речовини, і завжди визначається експериментально.

У першому наближенні залежність швидкості реакції від температури визначається правилом Вант-Гоффа. Згідно з ним: при підвищенні температури на кожні 10°C швидкість більшості хімічних реакцій збільшується у 2–4 рази. Правило Вант-Гоффа застосовують лише для орієнтовного оцінювання впливу температури на швидкість реакції. Температура впливає на швидкість реакції через зміну її константи швидкості. Залежність останньої від температури виражається рівнянням Арреніуса

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right),$$

де k_0 – передекспоненційний множник; E – енергія активації реакції, кДж/моль; R – універсальна газова постійна, Дж/(моль·К).

Оборотні реакції є одним з типів складних реакцій, у яких швидкості прямого і зворотного процесів близькі ($A+B \leftrightarrow C+D$). Швидкість оборотної реакції дорівнює різниці швидкостей прямої і зворотної реакції. Очевидно, що з часом, по мірі зменшення концентрацій вихідних речовин A і B , швидкість їх взаємодії буде знижуватися. Одночасно зростуть концентрації продуктів C і D реакції, і швидкість їх взаємодії почне збільшуватися. Настане момент, коли швидкості прямої і зворотної реакцій зрівняються, тобто буде досягнута їх рівновага. Для загального випадку складних реакцій отримаємо



$$V_1 = k_1 a_A^n \cdot a_B^m = V_2 = k_2 a_C^p \cdot a_D^q$$

Тоді

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{a_C^p \cdot a_D^q}{a_A^n \cdot a_B^m} = k_p,$$

де k_p – константа рівноваги реакції, яка дорівнює відношенню констант швидкостей прямої та зворотної реакцій; m , n , p , q – порядок реакції за речовиною.

Отже, зміна активності та пов'язаних з нею концентрацій однієї або декількох речовин, що беруть участь у реакції, змінює рівноважні концентрації інших взаємодіючих речовин.

Перехід реакційної системи від одних до інших рівноважних концентрацій називається *зміщенням хімічної рівноваги*. Зміщення рівноваги і зміна швидкості реакції з температурою підкоряється *принципу Ле-Шательє*. Згідно з ним, якщо на систему, яка знаходиться у рівновазі, чинять будь-який вплив ззовні (змінюється концентрація, температура, тиск), то він сприяє перебіганню тієї з двох протилежних реакцій, яка послаблює цей вплив. Знання констант хімічної рівноваги дозволяє обчислити рівноважний, тобто максимальний вихід кінцевих технологічних продуктів залежно від зовнішніх умов (концентрації реагуючих речовин, тиску і температури).

1.1.10 Властивості перенесення у багатокомпонентних системах

Процеси перенесення теплоти, імпульсу і маси, обумовлені мимовільними переміщеннями молекул, радикалів, атомів, іонів, що мають у газах і рідинах характер броунівського, а у твердих тілах – коливального руху, перебігають у напрямку вирівнювання температур, тисків і концентрацій.

Згідно поглядам молекулярно-кінетичної теорії інтенсивність процесів перенесення у газах і рідинах визначається довжиною вільного пробігу часток та їх фізико-хімічними характеристиками і параметрами стану.

Процес поширення теплоти у спокійному середовищі описується рівнянням Фур'є

$$\frac{q}{\tau f} = -\lambda \frac{dT}{dn},$$

де λ – коефіцієнт пропорційності (теплопровідності) між густиною теплового потоку $q/(\tau f)$ і градієнтом температур dT/dn у напрямку, нормальному до поверхні, через яку проходить тепловий потік, Вт/(мК).

Величина коефіцієнту теплопровідності газів і газових сумішей зменшується зі зростанням їх молекулярної маси і збільшується з підвищенням температури.

Густину конвективного теплового потоку при контакті рухомої рідини або газоподібного середовища з непроникною поверхнею обчислюють за рівнянням Ньютона-Ріхмана

$$\frac{q}{\tau f} = \alpha \Delta t,$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·°C); Δt – різниця температур між поверхнею та потоком.

Значення коефіцієнтів тепловіддачі для конкретних випадків конвективного теплообміну визначаються дослідним шляхом і узагальнюються у формі критеріальних залежностей.

Між частками, що рухаються, і шарами реальних газів або рідин завжди виникає сила тертя, що обумовлена тертям часток одна об одну або об обмежуючі поверхні, за законом Ньютона пропорційна градієнту швидкості у напрямку нормалі до площини, орієнтованої за течією

$$\frac{S}{f} = -\eta \frac{dw}{dn},$$

де S/f – сила, віднесена до одиниці площі, Н/м^2 (або Па); w – швидкість потоку, м/с ; η – коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт динамічної в'язкості середовища).

Одиниця динамічної в'язкості дорівнює 1 Нс/м^2 , або $\text{Па}\cdot\text{с}$, тобто в'язкості такої рідини, в якій 1 м^2 шару відчуває силу 1 Н при градієнті швидкості 1 м/с .

Розрізняють два види руху рідкого середовища:

1. При ламінарному (шаруватому) русі швидкість течії рідини у кожній точці простору не змінюється з часом. У разі течії у циліндричній трубці вся рідина розбивається на циліндричні шари, швидкість яких вздовж труби закономірно зменшується у напрямку від центру труби до її стінок. Для ламінарного потоку середня швидкість $W_{\text{сер}}$ руху рідини дорівнює половині максимальної $W_{\text{макс}}$ швидкості (у центрі труби), тобто $W_{\text{сер}} = 0,5W_{\text{макс}}$.

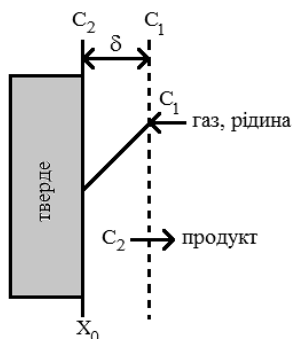
2. При турбулентному русі переміщення рідини носить вихороподібний характер, а швидкість її течії у довільній точці постійно змінюється. Крива розподілу швидкостей руху в турбулентному ядрі потоку має більш плавний хід. Для турбулентного потоку виконується рівність $W_{\text{сер}} = 0,726W_{\text{макс}}$.

Дифузія – процес мимовільного переміщення речовини у просторі, що призводить до рівномірного заповнення всього наявного об'єму молекулами даної речовини і вирівнювання її концентрації. Дифузія може здійснюватися лише тоді, коли у різних точках простору концентрація речовини неоднакова.

Рушійною силою дифузії є градієнт концентрацій, тобто його зміна на сусідніх ділянках фази. На рис. 1.3 представлена одна зі схем дифузії (газу, рідини до поверхні твердої фази), що часто зустрічається у технологічних процесах.

До поверхні твердого тіла прилягає шар δ рідкого або газоподібного реагенту, у якому вирівнювання концентрацій в усіх випадках відбувається лише за рахунок процесу молекулярної дифузії.

В іншому об'ємі розчину їх вирівнювання може бути здійснене конвективною дифузією (макро-дифузією), наприклад перемішуванням. Чим інтенсивніше перемішування, тим менше товщина δ дифузійного шару.



δ – дифузійний шар; X_0 – поверхня розділу; C_1, C_2 – концентрація реагенту на межі дифузійного шару.

Рисунок 1.3 – Дифузія реагенту до поверхні розділу фаз

Коефіцієнт дифузії у меншій мірі, ніж константа швидкості хімічної реакції, залежить від температури. Він збільшується у 1,1–1,5 рази при підвищенні температури на 10°C. Енергія активації дифузії не перевищує 30 кДж/моль, що значно менше, ніж енергія активації гомогенних хімічних реакцій.

Процес поширення молекул одного з компонентів газової суміші у нерухомості описують рівнянням Фіка, аналогічним рівнянню перенесення теплоти та імпульсу

$$\frac{m}{\tau f} = -D \cdot \frac{dc}{dn},$$

де D – коефіцієнт пропорційності між густиною потоку маси $m/(\tau f)$, кг/(м²·с) і градієнтом концентрації dc/dn у напрямку, нормальному до поверхні постійної концентрації, кг/(м³·м), що називається коефіцієнтом дифузії. У системі СІ він вимірюється у м²/с.

У рухомому багатокомпонентному газовому середовищі густина конвективного потоку маси визначається згідно співвідношення, аналогічного рівнянню Ньютона-Ріхмана

$$\frac{m}{\tau f} = \beta \Delta C,$$

де β – коефіцієнт масовіддачі, м/с; ΔC – різниця концентрацій дифузійної речовини у потоці, кг/м³.

У нерухомих аерозолях може відбуватися дифузійне поширення зважених часток розміром менше 1 мкм. Такі частки здійснюють хаотичні переміщення на зразок броунівського руху молекул, але з меншою інтенсивністю. Дифузія часток є наслідком їх зіткнень з молекулами, але відбувається значно повільніше, ніж дифузія молекул у газі.

При проектуванні пилогазоочисних пристроїв розміри часток забруднювачів характеризують також числом (параметром) Стокса, який розраховують як відношення діаметра частки або відстані між частками до характерного розміру l каналу, у якому переміщується аерозоль

$$Stk = d_p/l.$$

Зміна напрямку і швидкості потоку аерозолю при обтіканні перешкод часто використовується для відділення зважених часток від газаносія. Молекули газу, огинаючи перешкоду, утворюють лінії струмені, що розходяться перед перешкодою і поєднуються за нею. Параметри обтікання визначаються гідродинамічним режимом потоку і геометричними характеристиками перешкоди. Характер переміщення зважених часток у значній мірі залежить і від їх розмірів.

1.1.11 Кінетика гетерогенних процесів

Як показують дослідження, будь-який гетерогенний процес у загальному випадку складається з декількох стадій:

- дифузія реагенту до поверхні розділу фаз (у зону реакції);
- адсорбція реагенту на реакційній поверхні;
- хімічний акт взаємодії вихідних речовин;
- десорбція продуктів реакції з межі розділу фаз;
- дифузія продуктів взаємодії з зони реакції.

Загальна швидкість гетерогенного процесу визначається звичай швидкістю найбільш повільної (*лімітуючої*) стадії. Якщо найбільш повільною є дифузійна стадія, то це вказує на дифузійний характер процесу, отже він лімітується дифузією, перебігає у дифузійній області. Якщо найбільш повільними є адсорбційно-десорбційно-хімічні стадії, то це вказує на кінетичний характер процесу, його перебіг у кінетичній області. При рівності швидкостей дифузійної та хімічної взаємодії процес знаходиться у перехідній області. До гетерогенних реакцій у кінетичній області можуть бути застосовані рівняння гомогенних реакцій з тією відмінністю, що діюча концентрація є не об'ємною, а поверхневою. Поведінка гетерогенних реакцій у дифузійній області підкоряється основним закономірностям дифузійних процесів.

Дифузійну і кінетичну області реакцій можна відрізнити по ряду ознак:

- а) величина енергії активації у дифузійній області не перевищує 30 кДж/моль, а у кінетичній складає не менше 40 кДж/моль;
- б) перемішування, турбулізація та ін. впливають на швидкість реакції дифузійної області і не позначаються на ній при кінетичному характері процесу;
- в) температура істотніше впливає на швидкість реакції у кінетичній області (змінюється у 2–4 рази на кожні 10°C);
- г) завжди перший порядок реакції у дифузійній області і довільний (від 0 до 2) у кінетичній.

Знання режиму, у якому перебігає реакція, має важливе практичне значення. Це дозволяє грамотно визначити параметри, які найбільш ефективно впливають на швидкість гетерогенного процесу в цілому (прискорюють або уповільнюють його).

1.1.12 Склад багатокомпонентних систем

Найбільш важливою характеристикою розчину є його склад. Він відображає якісну (з яких компонентів розчин складається) і кількісну (у яких концентраціях компонент міститься у розчині) сторони розчину. *Концентрацією розчину* називається відношення кількості (мас, об'ємів) розчиненої речовини і розчину або розчинника.

Відомі наступні способи вираження їх концентрацій: відсоткова, дольна, молярна, моляльна, нормальна, титр. Більш поширена масова процентна концентрація.

Масова частка i -го компонента у розчині, що містить k компонентів, визначається згідно формули

$$C_i = \frac{g_i}{g_1 + g_2 + \dots + g_k},$$

де $g_{1,2,\dots,k}$ – кількість компоненту, виражена у грамах, кілограмах або інших одиницях маси.

Масова процентна концентрація використовується при визначенні хімічного складу рідких і твердих речовин, при складанні матеріальних балансів технологічних процесів, у технологічних розрахунках у ряді основних галузей промисловості (гірничодобувної, металургійної, хімічної).

Об'ємні співвідношення компонентів розчину виражають у об'ємних відсотках або в об'ємних частках. Об'ємна частка ϕ i -го компонента визначається за формулою

$$\phi = \frac{V_i}{V_1 + V_2 + \dots + V_k},$$

де $V_{1,2,\dots,k}$ – об'єми компонентів.

Для переведення масових концентрацій до об'ємних і навпаки необхідно використовувати співвідношення

$$g_i = \rho_i V_i,$$

де ρ_i – густина i -го компонента.

В екології та інших науках концентрації виражають як кількість маси розчиненої речовини в одиниці об'єму (г/л, г/м³ та ін.) або в одиниці маси розчину або розчинника (мг/кг, г/т та ін.).

Молярна частка i -го компонента дорівнює відношенню кількості молей n до суми молей ($n_1 + n_2 + \dots + n_k$) всіх k компонентів розчину. Вона визначається за формулою

$$N_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}; n_i = \frac{g_i}{M_i}$$

де M_i – молекулярна маса i -ї речовини.

Молярна частка для ідеальних газів може бути виражена також через їх тиск p_i і загальний тиск суміші P

$$N_i = \frac{p_i}{p_1 + p_2 + \dots + p_k} = \frac{p_i}{P}.$$

Молярна концентрація (молярність) виражається кількістю молів розчиненої речовини у 1 л розчину. Молярна концентрація залежить від температури, так як об'єм розчину змінюється внаслідок термічного розширення. Тому часто використовують *молярні концентрації*, значення яких від температури не залежить.

Моляльність – концентрація розчину, виражена кількістю молей розчиненої речовини у 1000 г розчинника.

Нормальна концентрація, або нормальність розчину, виражається кількістю хімічних еквівалентів E речовини, що містяться у 1 л розчину.

Титр розчину – це кількість грамів речовини, що міститься у 1 мл розчину. Отже

$$T = \frac{nE}{1000}.$$

Однозначно визначити склад багатокомпонентної системи можна лише у тому випадку, якщо вона знаходиться у стані рівноваги, тобто перебуває у такому стані, коли у будь-якій її частині параметри стану постійні і однакові. Щоб забезпечити можливість застосування математичного апарату до розрахунків реальних систем, їх значно спрощують, замінюють ідеальними моделями. Гомогенну газову суміш подають у вигляді суміші ідеальних газів, вважаючи можливим застосовувати до неї і до кожного її компоненту закони ідеальних газів. Існує кілька загальноприйнятих способів вираження складу такої суміші. Для розрахунків процесів, пов'язаних зі зміною тиску у системі, склад суміші зазвичай виражають в одиницях тиску. Згідно з законом Дальтона тиск газової суміші P можна підрахувати, складаючи парціальні тиски її компонентів

$$P = \sum_{i=1}^N p_i$$

Парціальним тиском i -того компонента називають тиск, який він чинив би при температурі суміші і у тій самій кількості, якщо б один займав весь об'єм суміші. Часто склад сумішей задають відносними величинами, використовуючи для цього об'ємні, молярні і масові частки або відсотки.

Об'ємна частка i -того компонента r_i виражається відношенням його парціального об'єму до об'єму суміші, *молярна частка* x_i – кількістю речовини (молей) i -того компонента, віднесеною до кількості речовини (молей) суміші, *масова частка* g_i – відношенням маси i -того компонента до маси суміші

$$r_i = \frac{V_i}{V}; x_i = \frac{n_i}{n}; g_i = \frac{m_i}{m}.$$

Гетерогенні викиди неможливо навіть наближено розглядати як рівноважні системи. Тому властивості газового середовища (дисперсійної фази) і зважених часток (дисперсної фази) розглядають окремо. Склад зважених часток характеризують концентрацією і дисперсністю. Концентрацію дисперсної фази найчастіше представляють як масу часток в одиниці об'єму дисперсійної фази.

У розрахунках параметрів процесів, що перебігають зі зміною температури, зручно виражати концентрації моляльність, мольними або

масовими частками (відсотками), оскільки їх значення не залежать від температури. Вираження концентрацій складових їх нормальністю полегшує розрахунки процесів у системах з хімічними перетвореннями.

Розбавлені розчини досить точно підпорядковуються законам міжфазової рівноваги Рауля і Генрі. За законом Рауля у рівноважному стані двофазової системи парціальний тиск пари i -того компонента рідкої суміші над розчином пропорційний його мольній частці x_i у розчині

$$p_i = x_i p_{i \text{ нас}},$$

де $p_{i \text{ нас}}$ – тиск насиченої пари i -того компонента у чистому вигляді при температурі суміші.

Згідно з законом Генрі, мольна частка i -того компонента пари у розчині при рівноважному стані двофазової системи пропорційна його парціальному тиску в цій системі

$$x_i = \psi p_i,$$

де ψ – коефіцієнт Генрі.

Коефіцієнт Генрі залежить від фізико-хімічних властивостей газу, що розчиняється, розчинника, температури системи і встановлюється дослідним шляхом.

1.1.13 Структурно-геометричні характеристики пористих середовищ

Важливими характеристиками пористого середовища є пористість і питома поверхня.

Пористість залежить від структури пористого середовища і пов'язана з розміром зерен, їх формою і укладанням. Якщо позначимо пористість через ϵ , а об'єм, що займає тіло через V , то одержуємо формулу

$$\epsilon = 1 - V.$$

При $\epsilon=0$ пористе середовище перетворюється у суцільне тіло, а при $\epsilon=1$ – у максимально пористе тіло, коли розміри стінок твердої речовини знехтувано малі.

Питома поверхня шару визначається не лише пористістю окремих зерен, а також залежить від їх форми. Коефіцієнт форми істотно впливає на ємність фільтруючого пористого шару і коефіцієнт гідравлічного опору. Питома об'ємну поверхню a ($\text{м}^2/\text{м}^3$) пористого (зернистого) шару обчислюють за формулою

$$a = \frac{F_{\text{ш}}}{V_{\text{ш}}},$$

де $F_{\text{ш}}$ – загальна площа поверхні зерен шару, м^2 ; $V_{\text{ш}}$ – об'єм зерен шару, м^3 .

Гідродинаміка розглядає рух усередині каналів, утворених порожнечами і порами між елементами шару, та пропонує вираз, за зовнішнім виглядом аналогічний рівнянню для визначення втрати тиску на тертя у трубопроводах

$$\Delta P_c = \frac{\lambda N a \cdot \rho \cdot w_0^2}{8 \varepsilon^3},$$

де λ – загальний коефіцієнт опору, що відображає вплив опору тертя і місцевих опорів, які виникають у разі руху рідини (газу) у каналах шару і обтіканні окремих елементів шару; N – висота шару, м; a – питома поверхня, що представляє поверхню часток матеріалу, які знаходяться в одиниці об'єму, зайнятого шаром, $\text{м}^2/\text{м}^3$; ρ – густина рідини або газу; w_0 – приведена швидкість рідини або газу, що розраховується як відношення об'ємної витрати рухомого середовища до всієї площі поперечного перерізу шару, м/с; ε – пористість, або частка вільного об'єму.

1.2 Класифікація промислових відходів

Методи регулювання взаємодії у системі «промислове підприємство – навколишнє середовище» спочатку знайшли застосування у найбільш розвинених країнах, так як саме там негативні наслідки промисловості виявились у першу чергу, що було пов'язано з потужним розвитком промисловості та її концентрацією (Західна Європа). Взаємовідносини у системі «промислове підприємство – навколишнє середовище» відбуваються наступним чином. Підприємство забирає з навколишнього середовища природні ресурси, переробляючи які, виготовляє необхідний суспільству кінцевий продукт. У навколишнє середовище при цьому потрапляють продукти технологічного перероблення – різного виду відходи. Взаємодію промислового підприємства з навколишнім середовищем можна представити у вигляді схеми (рис. 1.4).

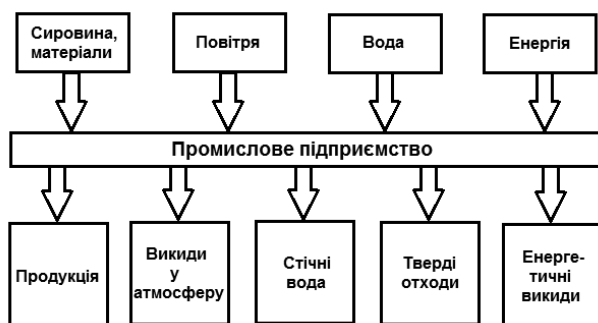


Рисунок 1.4 – Взаємодія промислового підприємства з навколишнім середовищем

Схема свідчить, що вплив на природне середовище залежить від процесів, які відбуваються у блоці «промислове підприємство». Управляючи ними,

можна зменшити вплив на навколишнє середовище. До важливіх екологічних управлінь відносять: зміну технологій, застосування сучасних методів очищення, економічне, адміністративне регулювання, освіта та виховання персоналу в області охорони навколишнього середовища.

Ще одним елементом, який регулює відношення у системі «промислове підприємство – навколишнє середовище» є економічний вплив. Для стимулювання природоохоронної діяльності були випробувані різні економічні моделі. Так, у США була поставлена задача збалансувати витрати та прибуток. Беручи до уваги позаекономічний характер екологічних цінностей, заборонялось урахування економічних інтересів при визначенні технологій очищення забруднень, первинних стандартів якості повітря та ін. Передбачалась обов'язкова компенсація витрат на впровадження державних заходів регулювання природоохоронної діяльності. Використовувався також диференційний підхід до організації боротьби з забрудненням навколишнього середовища, який дозволяв відмовитись від єдиних технологічних нормативів та допускав вибір ефективної технології очищення.

Звичайно, ступінь забруднення навколишнього середовища залежить від профілю промислового підприємства. Вважають, що найбільш негативний вплив на природу чинить хімічна промисловість. Однак основне забруднення, наприклад атмосфери, створюють п'ять галузей промисловості: теплоенергетика, чорна і кольорова металургія, нафтодобування і нафтохімія, виробництво будматеріалів. Класифікація видів забруднень навколишнього середовища надана у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Класифікація видів забруднень навколишнього середовища

Забруднення	Визначення
1. Механічне	Забруднення середовища агентами, що чинять лише механічну дію без хіміко-фізичних наслідків (наприклад: сміття).
2. Хімічне	Зміна хімічних властивостей середовища, що чинять негативний вплив на екосистеми і технологічне обладнання.
3. Фізичне	Зміна фізичних параметрів середовища: температурно-енергетичних (теплових і термальних), хвильових (світлових, шумових, електромагнітних), радіаційних (радіаційних і радіоактивних).
3.1. Теплове (термальне)	Підвищення температури середовища у зв'язку з промисловими викидами нагрітого повітря, відхідних газів і води. Може виникати і як вторинний результат зміни хімічного складу середовища.
3.2. Світлове	Порушення природного освітлення місцевості у результаті дії штучних джерел світла. Може призводити до аномалій у житті рослин і тварин.
3.3. Шумове	Збільшення інтенсивності шуму вище природного рівня. Призводить до підвищеної втомлюваності, зниження розумової активності і втрати слуху.
3.4. Електромагнітне	Зміна електромагнітних властивостей середовища (від ліній електропередач, радіо, телебачення, роботи деяких промислових установок), призводить до глобальних і місцевих географічних аномалій і зміни у тонких біологічних структурах.
3.5. Радіаційне	Підвищення природного рівня радіоактивних речовин.
4. Біологічне	Проникнення у екосистеми і технологічне обладнання видів рослин і тварин, що є не властивими даним співтовариствам і обладнанню.

4.1. Біотичне	Розповсюдження певних, як правило, не бажаних біогенних речовин на території, де вони раніше не спостерігались.
4.2. Мікробіологічне	Виникнення незвичайно великої кількості мікроорганізмів, що пов'язане з їх масовим розмноженням на антропогенних субстратах або у середовищах, що були змінені у ході господарської діяльності людини. Придбання раніше не шкідливою формою мікроорганізмів патогенних властивостей або властивості пригнічувати інші організми.

Класифікація промислових відходів (ПВ), що утворюються у результаті виробничої діяльності людини, необхідна як засіб встановлення певних зв'язків між ними з метою визначення оптимальних шляхів використання або знешкодження відходів. Класифікація відходів можлива згідно різних показників, але найголовнішим з них є ступінь небезпеки для людського здоров'я. Шкідливими відходами, наприклад, вважаються інфекційні, токсичні та радіоактивні. Їх збір і ліквідація регламентуються спеціальними санітарними правилами. Всі ПВ поділяються на чотири класи небезпеки (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Класифікація промислових відходів згідно їх небезпеки для здоров'я

Клас безпеки	Характеристика відходів
Перший (I)	Надзвичайно небезпечні (наявність у відходах ртуті, хромовокисного калію, трихлористої сурми, бензпірену, оксиду миш'яку та ін.)
Другий (II)	Небезпечні (наявність у відходах хлористої міді, хлористого нікелю, трихлористої сурми, азотнокисного свинцю та ін.)
Третій (III)	Помірно небезпечні (наявність у відходах сірчанокисної міді, шавелевокисної міді, хлористого нікелю, оксиду свинцю, чотирихлористого вуглецю та ін.)
Четвертий (IV)	Малонебезпечні (наявність у відходах сірчанокисного марганцю, фосфатів, сірчанокисного цинку, хлористого цинку та ін.)

Приналежність до класу небезпеки інших за хімічним складом відходів можна визначити розрахунковим методом згідно ГДК для цих хімічних речовин, користуючись математичними формулами, довідковою літературою (фізико-хімічні константи, їх токсичність і гігієнічні нормативи для хімічних речовин у ґрунті).

1.3 Показники якості навколишнього середовища

Існують верхня і нижня критичні межі параметрів навколишнього середовища, досягнення яких загрожує необоротними зрушеннями у біологічній системі та у її окремих ланках.

Нормативи у галузі охорони навколишнього середовища – встановлені нормативи якості навколишнього середовища і нормативи допустимого впливу на нього, при дотриманні яких забезпечується стійке функціонування природних екологічних систем і зберігається біологічне різноманіття.

Нормативи якості навколишнього середовища – нормативи, які встановлені відповідно з фізичними, хімічними, біологічними та іншими показниками для оцінювання стану навколишнього середовища і при дотриманні яких забезпечується сприятливий стан навколишнього середовища.

Для оцінювання забруднення навколишнього середовища використовуються такі нормативи:

– нормативи *гранично допустимих концентрацій* (ГДК) хімічних речовин, зокрема радіоактивних, інших речовин і мікроорганізмів у навколишньому середовищі і недотримання яких може призвести до забруднення навколишнього середовища, деградації природних екологічних систем;

– нормативи *допустимих фізичних впливів* – нормативи, які встановлені у відповідності з рівнями допустимого впливу фізичних факторів на навколишнє середовище і при дотриманні яких забезпечуються нормативи якості навколишнього середовища.

Критеріями якості навколишнього середовища у наш час слугують гранично допустимі концентрації (ГДК), які є гігієнічними нормами.

Гранично допустима концентрація (ГДК) – мінімальне значення концентрації шкідливих речовин у воді або у повітрі, яке при щоденному впливі на організм протягом необмежено тривалого часу не викликає будь-яких патологічних змін або захворювань, що виявляються сучасними засобами досліджень.

Для більшості забруднюючих речовин встановлюють два значення ГДК:

1. Максимально разова ГДК (ГДК_{мр}) – гранично допустима концентрація, яка встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, зміна біоелектричної активності головного мозку, світлової чуттєвості та ін.) при короткотривалому впливі атмосферних забруднень (до 20 хв.).

2. Середньодобова ГДК (ГДК_{сд}) – гранично допустима концентрація, яка встановлюється з метою попередження загально токсичного, канцерогенного і мутагенного впливу на організм людини. Це основний норматив оцінювання стану атмосферного повітря з санітарно-гігієнічної точки зору.

Одним з факторів, що визначають якість природного середовища, є *гранично допустимий викид в атмосферу (ГДВ)* – науково-технічний норматив, який встановлюється для контролювання вмісту забруднюючих речовин у приземному шарі повітря від джерела або сукупності джерел, які не повинні перевищувати рівня забруднення, визначеного нормативами якості повітря для населення, а також для тваринного і рослинного світів.

Сутність ГДВ полягає у нормуванні викидів, так як при існуючих методах скорочення відходів виробництва практично неможливо повністю уникнути проникнення в атмосферу шкідливих речовин. Разом з тим можна зменшити промислові викиди до встановленої межі або послабити їх дію до рівнів, обумовлених ГДК. Для виявлення зв'язку між ГДВ і ГДК досліджують закономірності поширення домішок від їх джерел до зони впливу, обумовленої турбулентною дифузією в атмосфері.

Гранично допустимий скид (ГДС) речовини – показник максимально допустимої, в одиницю часу, кількості (маси) речовини, що відводиться зі зворотними водами у поверхневій та морській воді, який з урахуванням встановлених обмежень на скид цієї речовини від інших джерел забруднення гарантує дотримання норм її вмісту у заданих контрольних створах (пунктах) водного об'єкта. Таким чином, величини ГДС речовин визначаються і

встановлюються для кожного з сукупності випусків зворотних вод, пов'язаних єдністю водного об'єкта (тобто за басейновим принципом), з урахуванням оптимального розподілу його асимілюючої спроможності (спроможність водного об'єкта приймати певну масу речовини в одиницю часу без порушення норм якості води у контрольних створах (пунктах) водокористування).

Величини ГДС розробляються і затверджуються для підприємств-водокористувачів. При цьому, незалежно від асимілюючої здатності водного об'єкта, ГДС повинні задовольняти рівню очищення, що може бути досягнуто при застосуванні типового способу очищення стічних вод для розглянутої категорії стічних вод.

1.4 Джерела забруднення атмосфери

В атмосферу Землі щорічно надходить 150 млн. тон різних аерозолів. На рік на кожного жителя Землі припадає у середньому 300 кг викидів в атмосферу. Основними джерелами забруднення зовнішнього повітряного середовища є:

- промислові підприємства, у першу чергу, хімічні, нафтохімічні і металургійні заводи;
- теплогенеруючі установки (теплові електростанції, опалювальні і виробничі котельні);
- транспорт, насамперед автомобільний.

На викиди енергетичних об'єктів припадає близько 60%, транспорт – 20–25%, промисловість – 15–20%. Надходження у повітряне середовище виробничих приміщень і викидання в атмосферу пари, газів, аерозолів та інших шкідливих речовин – прямий результат недосконалості технологічного і транспортного обладнання (негерметичність, недостатня ефективність пиловловлюючих і локалізуючих пристроїв та систем).

У зв'язку зі значним збільшенням автомобільного парку постійно зростає його роль у забрудненні атмосферного повітря. Легковий автомобіль викидає оксиду вуглецю до 3 м³/год, вантажний – до 6 м³/год (3–6 кг/год). Оксид вуглецю у підвищених концентраціях виявлений на значній висоті, а також у робочих і житлових приміщеннях висотних будинків, на вулицях з інтенсивним автомобільним рухом. Забруднення повітря у результаті надходження до нього різного роду шкідливих речовин має ряд несприятливих наслідків:

1. *Санітарно-гігієнічні наслідки.* Оскільки повітря є середовищем, у якому людина знаходиться протягом всього життя і від якого залежить її здоров'я, самопочуття та працездатність, наявність у повітряному середовищі навіть незначних концентрацій шкідливих речовин може несприятливо відобразитися на здоров'ї людини, призвести до незворотних наслідків і до смерті.

2. *Екологічні наслідки.* Повітря є найважливішим елементом навколишнього середовища, і знаходиться у безперервному контакті з усіма іншими елементами живої та неживої природи. Погіршення якості повітря внаслідок присутності у ньому різних забруднювачів призводить до загибелі лісів, посівів сільськогосподарських культур, трав'яного покриття, тварин,

забруднення водою, а також до пошкодження пам'яток культури, будівельних конструкцій, різного роду споруд та ін.

3. *Економічні наслідки.* Забруднення повітря викликає значні економічні втрати. Запилення і загазованість повітря у виробничих приміщеннях призводить до зниження продуктивності праці та підвищення захворюваності. На багатьох виробництвах наявність пилу у повітряному середовищі погіршує якість продукції і прискорює знос обладнання. У процесі виробництва, видобутку, транспортування багатьох видів матеріалів, сировини, готової продукції частина цих речовин переходить у пилоподібний стан і втрачається (вугілля, руда, цемент та ін.), забруднюючи навколишнє середовище.

На підприємствах мають місце *організовані* (через труби, вентиляційні шахти тощо) і *неорганізовані* викиди (через ліхтарі та отвори у цехах, від місць навантаження і розвантаження транспорту, через витоки у комунікаціях та ін.). Неорганізовані викиди на думку фахівців складають від 10 до 26% від загальної кількості викидів в атмосферу.

1.4.1 Аерозолі

До аерозолів відносять пил, тумани і дим.

Пилом називають дисперсійні аерозолі з твердими частками, не залежно від дисперсності.

Під *туманами* розуміють газоподібне середовище з рідкими частками як конденсаційними, так і дисперсійними, незалежно від їх дисперсності.

Димом називають конденсаційні аерозолі з твердою дисперсною фазою або ті, що включають частки тверді та рідкі.

Залежно від походження розрізняють пил:

– *природного походження.* Він утворюється у результаті процесів, не пов'язаних безпосередньо з процесом виробництва. З пилом природного походження доводиться стикатися при вирішенні питань очищення повітря перед надходженням його у вентилявані приміщення;

– *промислового походження.* Промисловий пил виникає у процесі виробництва. Майже кожному виду виробництва, кожному матеріалу або виду сировини властивий певний вид пилу.

Залежно від матеріалу, з якого пил утворений, він може бути:

– *органічним.* У свою чергу органічний пил буває рослинного (деревний, бавовняний, борошняний, тютюновий, чайний та ін.) і тваринного (вовняний, кістковий та ін.) походження;

– *неорганічним.* Неорганічний пил поділяється на мінеральний (кварцовий, цементний та ін.) і металевий (сталевий, чавунний, мідний, алюмінієвий та ін.).

Дисперсність – ступінь подрібнення речовини. Під дисперсним (зерновим, гранулометричним) складом розуміють розподіл часток аерозолів за розмірами. Дисперсність у значній мірі визначає властивості аерозолів.

У результаті різкого збільшення сумарної поверхні речовини підвищується поверхнева енергія, що сприяє збільшенню фізичної і хімічної активності. Дуже швидко та інтенсивно перебігають реакції окиснення цих речовин. Про підвищення фізичної активності свідчить те, що подрібнені речовини розчиняються у багato разів швидше, ніж вихідний матеріал.

Властивості пилу:

1. *Густина* – маса одиниці об'єму, $\text{кг}/\text{м}^3$. Розрізняють власну, уявну і насипну густину часток пилу.

Власна густина являє собою масу одиниці об'єму речовини, з якого утворений пил. *Уявна густина* – це маса одиниці об'єму часток, включаючи об'єм закритих пор. Уявна густина монолітної частки дорівнює істинній густині даної частки. *Насипна густина* – маса одиниці об'єму вловленого пилу, вільно насипаного у ємність. В об'єм, що займає пил, входять внутрішні пори часток і проміжний простір між ними.

2. *Питома поверхня аерозолі* – відношення поверхні всіх часток до їх маси або об'єму. Значення питомої поверхні дозволяє отримати дані про дисперсності пилу.

3. *Злипання пилу*. Схильність до зчеплення часток одна з одною визначається аутогезійними (когезійними) властивостями. Воно обумовлене силами електричного, молекулярного і капілярного походження. Стійка робота пиловловлюючого обладнання багато у чому залежить від злипання пилу. У якості показника злипання приймають міцність пилового шару на розрив.

4. *Сипучість пилу* характеризує рухливість часток пилу відносно одна одної та їх здатність переміщатися під дією зовнішньої сили. Сипучість залежить від розміру часток, їх вологості і ступеня ущільнення. Характеристики сипучості використовуються при визначенні кута нахилу стінок бункерів та інших пристроїв, пов'язаних з накопиченням і переміщенням пилу і пилоподібних матеріалів.

5. *Вологовміст* – відношення кількості вологи пилу до кількості абсолютно сухого пилу. Гігроскопічна волога пилу, тобто волога, яка утримується на його поверхні, у порах і капілярах, може бути визначена при висушуванні проби пилу до постійної маси у сушильній шафі.

6. *Змочуваність пилу*. На змочуванні пилу розпиленою водою основане мокре пиловловлення. Змочуваність пилу визначає можливість її гідровидалення, застосування мокрого пилоприбирання виробничих приміщень.

7. *Електричні властивості* пилу чинять значний вплив на поведінку пилових часток. Електричні сили багато у чому визначають процес коагуляції, стійкість пилових агрегатів, вибухонебезпечність пилу, його вплив на живі організми. Електричні властивості пилу повинні бути враховані при вирішенні питань, пов'язаних з очищенням газів (повітря) від пилу, з роботою електрофільтрів.

8. *Питомий електричний опір (ПЕО)* характеризує електричну провідність шару пилу. ПЕО дорівнює проходженню електричного струму через 1 м^3 пилу зі стороною 1 м (Ом·м).

9. *Електричний заряд пилу*. Аерозольна система може мати у своєму складі частки, заряджені позитивно, негативно і нейтральні. Співвідношення цих часток визначає сумарний заряд системи. Пилові частки отримують електричний заряд як у процесі утворення, так і після утворення, знаходячись у зваженому стані, у результаті вибуху, диспергування, взаємного тертя, тертя об повітря, а також внаслідок адсорбції іонів при іонізації середовища.

10. *Горючість та вибуховість пилу.* Здатність утворювати з повітрям вибухонебезпечну суміш і здатність до займання є найважливішими негативними властивостями багатьох видів пилу.

1.4.2 Гази і пара

Багато технологічних процесів на підприємствах металургійної, хімічної, нафтохімічної промисловості, ряд цехів машинобудівних заводів, та багато інших виробництв супроводжуються надходженням шкідливих газів і пари в атмосферне повітря.

При очищенні викидів від газових забруднень доводиться вирішувати одночасно ряд проблем:

- вони містять не лише шкідливі пару і газу, а також аерозолі – пил, сажа;
- у ряді випадків вони нагріті до високих температур;
- забруднення, що містяться у них, багатоконпонентні, та їх необхідно піддавати різним методам очищення;
- витрата викидів за часом непостійна;
- змінюється концентрація різних шкідливих речовин та ін.

Методи очищення приймають у залежності від фізико-хімічних властивостей забруднюючої речовини, її агрегатного стану, концентрації та ін. Радикальним рішенням для захисту атмосферного повітря є створення і впровадження безвідходних технологічних процесів, тобто таких, при яких відходи виробництва не викидаються у навколишнє середовище, а використовуються для виготовлення продукції.

Іншим важливим заходом є герметизація обладнання. Під герметизацією слід розуміти непроникність зовнішніх конструкцій (стінок) та інших конструкцій апаратів і комунікацій, у яких знаходяться або за якими переміщуються рідини і газу. При недостатній герметизації з апаратів і комунікацій рідини і газу проникають у навколишнє середовище. Шкода від цього полягає як у втраті продукту, сировини, матеріалу, так і у забрудненні навколишнього середовища, ґрунту, атмосфери, водоймищ.

1.5 Властивості водних систем

У промисловості воду використовують як сировину і джерело енергії, як холодоагент, розчинник, екстрагент, для транспортування сировини і матеріалів.

Вода – слабкий провідник електричного струму: питома електрична провідність при 18°C дорівнює $4,41 \cdot 10^{-8}$ Ом·см. Природна вода, що піддається антропогенному забрудненню, називається *денатуруючою або природно-антропогенною*. Воду, що використовується у промисловості, підрозділяють на:

1. *Охолоджуючу.* У промисловості 65–80% витрати води споживається для охолодження рідких і газоподібних продуктів у теплообмінних апаратах. У цих випадках вода не стикається з матеріальними потоками і не забруднюється, а лише нагрівається.

2. *Технологічну*. Технологічну воду поділяють на середовищеутворюючу, промивну і реакційну. *Середовищеутворюючу воду* використовують для розчинення і утворення пульп, при збагаченні та переробленні руд, гідротранспортуванні продуктів і відходів виробництва; *промивну* – для промивання газоподібних (абсорбція), рідких (екстракція) і твердих продуктів та виробів; *реакційну* – у складі реагентів, а також при відгонці та інших процесах. Технологічна вода безпосередньо контактує з середовищем.

3. *Енергетичну*. Енергетична вода споживається для отримання пари і нагрівання обладнання, приміщень, продуктів.

Для зменшення споживання свіжої води створюють оборотні системи водопостачання.

При *оборотному водопостачанні* передбачають необхідну очистку стічної води, охолодження оборотної води, оброблення і повторне використання стічної води. Застосування оборотного водопостачання дозволяє у 10–15 разів зменшити споживання природної води. Оборотна вода повинна відповідати певним значенням показників: карбонатної жорсткості, рН, вмісту завислих речовин та біогенних елементів, значення ХСК (хімічне споживання кисню). Оборотну воду використовують у теплообмінній апаратурі для відведення надлишкового тепла. Вона багаторазово нагрівається до температури 40–45°C і охолоджується у градирнях або в бризкальних басейнах. Значна частина її втрачається у результаті розбризкування і випаровування. Для запобігання корозії, інкрустації та біологічного обростання частину оборотної води виводять з системи (продувна вода), додаючи свіжу воду з джерела або очищені стічні води. Основною вимогою до води, що витрачається на підживлення оборотних систем, є обмеження карбонатної і сульфатної жорсткості. Обмежується також вміст зважених речовин.

Стічна вода – це вода, що була у побутовому, виробничому або сільськогосподарському використанні, а також пройшла через забруднену територію. Залежно від умов утворення стічні води поділяють на:

1. *Господарсько-побутові води* – це стоки душових, пралень, їдалень, туалетів, від миття підлог та ін. Вони містять домішки, з яких близько 58% органічних речовин і 42% мінеральних.

2. *Атмосферні води* утворюються у результаті випадання атмосферних опадів і стікають з територій підприємств. Вони забруднюються органічними і мінеральними речовинами.

3. *Промислові стічні води* – це рідкі відходи, які виникають при видобутку і переробленні органічної та неорганічної сировини.

Стічні води забруднені різними речовинами:

- біологічно нестійкі органічні сполуки;
- малотоксичні неорганічні солі;
- нафтопродукти;
- біогенні сполуки;
- речовини зі специфічними токсичними властивостями (важкі метали, біологічно жорсткі органічні синтетичні сполуки).

Стічні води багатьох виробництв містять колоїдні домішки, а також зважені грубодисперсні і дрібнодисперсні домішки, густина яких може бути вище або нижче густини води.

Класифікація домішок за їх фазово-дисперсним станом наступна:

а) *гетерогенні системи:*

– суспензії, розмір часток 10^{-1} мкм (суспензії, емульсії, мікроорганізми і планктон);

– колоїдні розчини, розмір часток 10^{-1} – 10^{-2} мкм (золі і розчини високомолекулярних сполук).

б) *гомогенні системи:*

– молекулярні розчини, розмір часток 10^{-2} – 10^{-3} мкм (гази, розчинні у воді органічні речовини);

– іонні розчини, розмір часток 10^{-3} мкм (солі, луги, кислоти).

У залежності від фізичного стану фаз розрізняють такі рідкі неоднорідні системи:

1. *Суспензія* складається з рідини і зважених у ній твердих часток. У залежності від розмірів часток розрізняють грубі суспензії з частками > 100 мкм, тонкі (0,5–100 мкм) і муті (0,1–0,5 мкм).

2. *Емульсія* складається з двох незмішуваних або частково змішуваних рідин, одна з яких розподілена в іншій у вигляді рідких крапель. Величина часток дисперсної фази у емульсіях коливається у досить широких межах.

3. *Піна* – система, що складається з рідини і розподілених у ній бульбашок газу.

Властивості стічних вод відрізняються від властивостей чистої води. Вони мають більш високу густину і в'язкість. Середня густина суспензій і емульсій визначається об'ємним співвідношенням фаз

$$\rho_c = \rho_d \cdot \phi + \rho_0 (1 - \phi)$$

де ρ_c , ρ_d – густина стічної води, дисперсної фази (твердої або рідкої), кг/м^3 ; ρ_0 – густина чистої води; ϕ – об'ємна частка дисперсної фази.

В'язкість суспензій залежить від об'ємної концентрації (об'ємної частки) твердої фази ($\phi \leq 10\%$) визначається відповідно залежності

$$\mu_c = \mu_0 (1 + 2,5\phi)$$

де μ_0 – динамічна в'язкість чистої води, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Властивості стічних вод визначають вибір методів їх очищення та напрями їх подальшого використання.

1.6 Енергетичне забруднення навколишнього середовища

Промислові підприємства, об'єкти енергетики, зв'язку та транспорт є основними джерелами енергетичного забруднення промислових регіонів, міського середовища, житла і природних зон. До енергетичних забруднень

відносять вібраційні та акустичні впливи, електромагнітні поля і випромінювання, впливи радіонуклідів та іонізуючого випромінювання.

Вібрації, джерелом яких є технологічне обладнання, рейковий транспорт, будівельні машини і важкий автотранспорт, поширюються у ґрунті. Протяжність зони впливу вібрації визначається величиною їх загасання у ґрунті, яка становить 1 дБ/м.

Основними джерелами *електромагнітних полів* (ЕМП) різних частот є радіотехнічні об'єкти, телевізійні радіолокаційні станції, термічні цехи і ділянки. Вплив ЕМП промислової частоти пов'язаний з високовольними лініями електропередач, джерелами постійних магнітних полів, що застосовуються на промислових підприємствах. Зони з підвищеними рівнями радіочастот ЕМП мають радіус до 100–150 м.

Вплив *іонізуючого випромінювання* на людину може відбуватися у результаті зовнішнього і внутрішнього опромінення. Зовнішнє опромінення викликають джерела рентгенівського і γ -випромінювання, потоки протонів і нейтронів. Внутрішнє опромінення викликають α - і β -частки, які потрапляють до організму людини через органи дихання, травний тракт.

1.7 Методи захисту навколишнього середовища від промислових забруднень

Активні методи захисту навколишнього середовища являють собою технологічні рішення щодо створення ресурсозберігаючих і маловідходних технологій. *Пасивні методи захисту* навколишнього середовища поділяються на дві підгрупи:

- 1) раціональне розміщення джерел забруднення;
- 2) локалізація джерел забруднення.

В основі багатьох середовищезахисних технологій знаходяться фізичні і хімічні перетворення.

У *фізичних процесах* змінюються лише форма, розміри, агрегатний стан та інші фізичні властивості речовин. Їх будова і хімічний склад зберігаються.

Хімічні процеси змінюють фізичні властивості вихідної сировини та її хімічний склад. Хімічні процеси є основою виробництва у металургії, хімічній промисловості, промисловості будівельних матеріалів, целюлозно-паперовій промисловості та у безлічі інших галузей народного господарства. Хімічні явища у технологічних процесах часто отримують розвиток під впливом зовнішніх умов (тиск, об'єм, температура та ін.), у яких реалізується процес. При цьому мають місце нестехіометричні перетворення одних речовин у інші, зміна їх поверхневих, міжфазових властивостей і ряд інших явищ змішаного (фізичного та хімічного) характеру.

Фізико-хімічні процеси широко застосовуються у збагаченні корисних копалин, металургії, технологіях основних хімічних виробництв, органічному синтезі, енергетиці, але особливо у природоохоронних технологіях (пилло- і газозуловлення, очищення стічних вод та ін.).

Специфічну групу складають *біохімічні процеси* – хімічні перетворення, що перебігають з залученням суб'єктів живої природи.

У залежності від основних закономірностей, що характеризують перебіг середовищезахисних процесів, останні поділяють на такі групи:

– *механічні* – механічний вплив на тверді і аморфні матеріали, до них відносять подрібнення, сортування, пресування і змішування сипких матеріалів. Рушійною силою цих процесів є сили механічного тиску або відцентрова сила;

– *гідромеханічні* – гідростатичний або гідромеханічний вплив на довкілля та матеріали, до них відносять перемішування, відстоювання, фільтрування, відцентрове осадження. Рушійною силою цих процесів є гідростатичний тиск або відцентрова сила;

– *масообмінні* – перехід речовини з однієї фази у іншу за рахунок дифузії, до них відносять абсорбцію, адсорбцію, десорбцію, екстрагування, ректифікацію, сушіння і кристалізацію. Рушійною силою цих процесів є різниця концентрацій речовин, що переходять, у взаємодіючих фазах;

– *хімічні* – перебігають зі зміною фізичних властивостей і хімічного складу вихідних речовин, характеризуються перетворенням одних речовин у інші, зміною їх поверхневих і міжфазових властивостей. До них можна віднести процеси нейтралізації, окиснення і відновлення. Рушійною силою хімічних процесів є різниця хімічних (термодинамічних) потенціалів;

– *фізико-хімічні* – характеризуються взаємопов'язаною сукупністю хімічних і фізичних процесів, основою яких є фізико-хімічні перетворення речовин, до них можна віднести коагуляцію і флокуляцію, флотацію, іонний обмін, зворотний осмос і ультрафільтрацію, дезодорування і дегазацію, електрохімічні методи, електричне очищення газів. Рушійною силою цих процесів є різниця фізичних і термодинамічних потенціалів компонентів на межі розділу фаз;

– *теплові процеси* – зміна теплового стану взаємодіючих середовищ, до них відносять нагрівання, охолодження, випаровування і конденсацію. Рушійною силою цих процесів є різниця температур (термічних потенціалів) середовищ, що взаємодіють;

– *біохімічні* – каталітичні ферментативні реакції біохімічного перетворення речовин у процесі життєдіяльності мікроорганізмів, які характеризуються перебігом біохімічних реакцій і синтезом речовин на рівні живої клітини. Рушійною силою цих процесів є енергетичний рівень (потенціал) живих організмів;

– *Захист від енергетичних впливів* базуються на принципах відбиття і поглинання надлишкової енергії основних технологічних процесів природокористування.

1.7.1 Методи очищення пилоповітряних викидів

Під *знешкодженням газових викидів* розуміють відділення від газу-носія або перетворення у нешкідливий стан забруднюючих домішок.

Обидва принципи можуть бути реалізовані через різні фізичні і хімічні процеси, для здійснення яких потрібні певні умови. Розрахунки процесів і апаратів пилогазоочищення при їх проектуванні повинні бути спрямовані на створення умов, що забезпечують максимально повне знешкодження викидів.

Для *знешкодження аерозолів* (пилу і туманів) використовують сухі, мокрі і електричні методи. В основі сухих методів лежать гравітаційні, інерційні, відцентрові механізми осадження або фільтраційні механізми. При використанні мокрих методів очищення газових викидів здійснюється шляхом тісної взаємодії між рідиною і запиленним газом на поверхні газових бульбашок, крапель або рідкої плівки. Електричне очищення газів ґрунтується на іонізації молекул газу електричним розрядом і електризації зважених у газі частинок.

Оброблення викидів, що містять тверді аерозольні забруднювачі, низького ступеня проскокування (1–2% і менше) можна успішно здійснювати лише двоступеневим очищенням. Для попереднього очищення можуть бути застосовані жалюзійні решітки та циклонні апарати (іноді для незначних викидів – пилоосаджувальні камери), а для остаточного – пористі фільтри, електрофільтри або мокрі пилоосаджувачі.

Рідкі аерозолі (тумани) можуть бути зкоагульовані за допомогою зміни параметрів стану (охолодження і підвищення тиску) з метою осадження у подальшому з використанням мокрих способів уловлення у мокрих скруберах, пористих і електричних фільтрах, в абсорберах.

Мокрі способи очищення твердих і рідких аерозолів мають істотний недолік – необхідність відділення уловленого забруднювача від рідини. З цієї причини мокрі способи слід застосовувати лише при відсутності інших методів очищення, віддаючи перевагу способам з мінімальною витратою рідини.

Найбільш складними для очищення є викиди, забруднювачі яких представляють собою *багатофазову систему*. Оскільки більшість сучасних очисних апаратів не пристосована для одночасного знешкодження дисперсних і гомогенних забруднювачів, то у загальному випадку подібні викиди повинні пройти послідовно 4 стадії оброблення: попереднє і тонке очищення від аерозолу; попереднє і остаточне знешкодження газоподібного забруднювача. Зокрема, якщо газоподібний забруднювач добре розчиняється у воді, може бути організоване попереднє оброблення викидів мокрими способами, яке дозволить знизити концентрації як дисперсних, так і гомогенних забруднювачів.

Якщо тверді або рідкі аерозолі не містять інших елементів, крім вуглецю, водню і кисню, то вони можуть бути знешкоджені в одну стадію – безпосереднім спалюванням у топках котлів і печей.

1.7.2 Способи очищення газових викидів

Для реалізації принципу знешкодження (перетворення) забруднювачів у нешкідливі речовини необхідне поєднання хімічних і фізичних процесів. З цією метою найчастіше використовуються процеси термічної деструкції і термічного окиснення. Вони застосовуються для забруднювачів усіх агрегатних станів, але обмежені складом оброблюваної речовини. Термічному обробленню можна піддавати лише речовини, молекули яких складаються з атомів вуглецю, водню і кисню. У іншому випадку термознешкодження переходить у забруднення атмосфери, що є небезпечним.

В основному для газоочищення використовуються методи хімічної технології. Тому класифікація способів знешкодження викидів практично

збігається з класифікацією процесів і апаратів хімічної промисловості, що виробляють шкідливі викиди як відходи основного виробництва.

Для знешкодження відхідних газів від газо- і пароподібних токсичних речовин застосовують *абсорбційні* (основані на поглинанні газів та пари рідкими поглиначами), *адсорбційні* (основані на поглинанні домішок пористими твердими тілами), *каталітичні* (основані на хімічних перетвореннях токсичних домішок у нетоксичні на поверхні твердих каталізаторів.), *термічні* (основані на спалюванні горючих шкідливих домішок) і *конденсаційні методи* (в основі явище зменшення тиску насиченої пари розчинника при зниженні температури.).

Якщо температура кипіння забруднювачів при атмосферному тиску невисока (нижче 100°C), глибоке очищення за допомогою охолодження і підвищення тиску потребує надмірно високих витрат енергії, і конденсаційне очищення можна використовувати лише як попереднє.

Абсорбційному обробленню можна піддавати викиди, забруднювачі яких мають високу розчинність в абсорбенті. Якщо при цьому концентрація забруднювача у викидах перевищує $(1-2) \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, то технічно можливо досягти ступеня очищення понад 90%. У якості абсорбенту найчастіше використовуються вода або органічні рідини, що киплять при високій температурі. В апаратах з органічними абсорбентами можна обробляти викиди, що не містять твердих домішок, які практично не піддаються відділенню від поглинальної рідини. Для деяких газових забруднювачів можна успішно застосувати хімічну абсорбцію (хемосорбцію) – процес, у якому забруднювач, що підлягає видаленню, вступає у хімічну реакцію з поглиначем і утворює сполуку, що є нейтральною або легко видаляється з процесу. Такі процеси розробляються конкретно для кожного виду викидів та забруднювачів.

Самим універсальним способом очищення викидів від газоподібних забруднювачів на даний час залишається адсорбція, а найбільш універсальним адсорбентом – активоване вугілля. За допомогою адсорбції можливо видалити з викидів будь-який забруднювач у широкому діапазоні концентрацій. Однак висококонцентровані забруднювачі (з концентраціями більш $5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) зручніше піддавати попередньому обробленню (конденсацією, абсорбцією) для зниження їх концентрацій. Необхідне також попереднє оброблення (сушіння) надмірно зволжених газів.

Перспективними способами оброблення газів є процеси, що основані на переведенні пароподібних забруднювачів у конденсований стан з подальшим фільтруванням утвореного аерозолю. Якщо забруднювачі мають невисокий тиск насиченої пари, то може бути застосована конденсація за допомогою підвищення тиску і зниження температури викидів. Пара забруднювачів легкокиплячих речовин може бути оброблена хімічними реагентами таким чином, щоб продукти реакції мали низькі тиски насиченої пари. При цьому способи хімічного оброблення необхідно підбирати так, щоб була можлива утилізація уловленого продукту.

1.7.3 Способи очищення стічних вод

Для створення оборотних систем водопостачання промислові стічні води піддають очищенню до необхідної якості механічними, хімічними, фізико-хімічними, біологічними та термічними методами. Методи очищення поділяються на:

1. *Рекупераційні методи* передбачають вилучення зі стічних вод і подальше перероблення усіх цінних речовин.

2. *Деструктивні методи* – забруднюючі речовини піддаються руйнуванню шляхом окиснення або відновлення, а продукти руйнування видаляються з води у вигляді газів або осадів.

Основні методи очищення різної природи використовуються для:

1. Очищення стічної води від суспендованих і емульгованих домішок. У свою чергу, очищення гетерогенних систем підрозділяється на:

– методи очищення від грубодисперсних домішок, куди входять способи відстоювання, проціджування і фільтрації, флоатації, відцентрового осадження;

– методи очищення від дрібнодисперсних домішок шляхом коагуляції, флокуляції і електрофлоатації. У першу групу також можна віднести методи усунення і знищення домішок шляхом закачування у свердловини, захоронення і термічного знищення.

2. Очищення від розчинених домішок. Включає:

– методи очищення води від мінеральних домішок шляхом дистиляції, іонного обміну, зворотного осмосу, електролізу;

– методи очищення від органічних домішок, що включають регенеративні способи екстракції, ректифікації, адсорбції, зворотного осмосу і ультрафільтрації, і деструктивні способи: біохімічного, рідинного та парофазового окиснення, радіаційного та електрохімічного окиснення;

– методи очищення від розчинених газів, включаючи способи віддування, нагрівання та реагентні.

Вибір методу очищення проводиться з урахуванням санітарних і технологічних вимог до якості очищених вод, кількості стічних вод, наявності необхідних енергетичних і матеріальних ресурсів, ефективності процесу знешкодження.

1.7.4 Методи оброблення відходів

Оброблення відходів включає не лише їх утилізацію шляхом їх розміщення на полігонах і звалищах, але і перероблення рідких і твердих відходів з використанням різних методів.

Механічне зневоднення осадів промислових стоків може здійснюватись екстенсивними та інтенсивними методами. *Екстенсивні методи* здійснюються у різного роду ущільнювачах, *інтенсивне зневоднення* і згущення здійснюється за допомогою фільтрування, відцентрового осадження, гідроциклонування та ін.

На практиці для оброблення осадів промислових стічних вод найчастіше застосовуються *хімічні (реагентні) методи оброблення*. При використанні термоокиснювального методу всі органічні речовини, що забруднюють стічні води, повністю окиснюються киснем повітря при високих температурах до

нетоксичних сполук. До цих методів відносять метод рідкофазового окиснення, метод парофазового каталітичного окиснення і полум'яний метод.

Поширення в області оброблення осадів міських стічних вод отримало *сушіння* (барабанні сушарки, сушіння у зустрічних струменях). На практиці рекуператії твердих відходів промисловості використовують методи збагачення перероблюваних матеріалів (гравітаційні, магнітні, електричні, флотаційні, і спеціальні).

При утилізації та переробленні твердих відходів використовують різні методи *термічного оброблення* вихідних твердих матеріалів і отриманих продуктів. Це різні прийоми піролізу, переплавлення, випалювання та вогневого знешкодження (спалювання) багатьох видів твердих відходів на органічній основі.

1.7.5 Методи захисту від енергетичних впливів

Вибір методів і засобів захисту від впливу електромагнітних полів та випромінювань багато у чому визначається характеристиками джерел згідно частоти. До методів захисту від ЕМП у довкіллі відноситься захист відстанню, екрануванням, частковим поглинанням потужності випромінювання, зниженням рівня енергетичного впливу шляхом розсіювання та відведення частини енергії від місця її локалізації у навколишнє середовище.

Захист від іонізуючого випромінювання досягається в основному методом захисту відстанню, методами захисту і обмеження надходження радіонуклідів у навколишнє середовище, проведенням комплексу організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів.

Для обмеження шкідливого впливу на людину до технічної енергетичної осистеми пред'являються вимоги за величиною енергетичних забруднень у вигляді гранично допустимих випромінювань. Величини граничних випромінювань знаходять, виходячи з гранично допустимих рівнів (ГДР) впливу енергетичного забруднення і відстані між джерелом випромінювання і зоною перебування людини. У тих випадках, коли можливості екобіозахисної техніки колективного користування обмежені і не забезпечують значення ГДР у зонах перебування людей, для захисту використовують засоби індивідуального захисту.

Захист від вібрації здійснюється шляхом зниження вібрації на шляху її поширення, застосуванням відповідної організації праці, використанням засобів індивідуального захисту, проведенням лікувально-профілактичних заходів.

1.7.6 Принципи інтенсифікації процесів захисту навколишнього середовища

Загальні принципи інтенсифікації технологічних процесів захисту навколишнього середовища зводяться до використання кінетичних та термодинамічних факторів, які ефективно впливають на швидкість процесу та вихід продуктів взаємодії.

Для інтенсифікації процесів у кінетичному режимі доцільно змінювати температуру, тиск, концентрації реагуючих речовин, використовувати каталізатори, збільшувати поверхню взаємодіючих речовин.

Підвищення температури призводить до значного зростання константи швидкості реакції і використовується як потужний фактор інтенсифікації багатьох процесів. *Підвищення концентрації* взаємодіючих компонентів сприяє збагаченню вихідних продуктів процесу. Таку саму роль виконує *підвищення тиску* газоподібних вихідних продуктів реакції, збагачення киснем у процесах горіння. Якщо при цьому одночасно здійснюється *відведення продуктів взаємодії* від зони реакції, то тим самим знижуються їх концентрація, а отже, і швидкість зворотних процесів, що додатково підвищує загальну швидкість процесу.

Потужним інтенсифікуючим фактором гетерогенних реакцій, що перебігають у кінетичній області, є *підвищення питомої поверхні* (дисперсності) вихідних речовин. Загальна швидкість реакції у цьому випадку пропорційна площі поверхні, на якій відбувається взаємодія. Така сама мета досягається при *збільшенні ступеня однорідності* розподілу речовин.

Прискорення реакцій за рахунок використання *каталізаторів* широко застосовується у хімічній промисловості і обумовлене зниженням енергії активації.

Процеси у дифузійній області інтенсифікують *перемішуванням* взаємодіючих фаз, турбулізацією їх потоків, що сприяє прискореному перебігу найбільш повільних стадій. Цього самого досягають *зниженням в'язкості і густини* середовища, у якому здійснюється дифузія.

Для інтенсифікації процесів у перехідній області необхідно використовувати як кінетичні, так і дифузійні фактори.

У відповідності з принципом Ле-Шательє вихід продуктів реакції у *ендотермічних процесах* буде збільшуватися при підвищенні температури, а також при зростанні тиску, якщо об'єм газоподібних продуктів реакції менше, ніж об'єм вихідних речовин, і при підвищенні концентрації однієї або декількох вихідних речовин. У всіх випадках час досягнення рівноважного стану (максимального виходу продуктів реакції) скорочується зі зростанням температури.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ

2.1 Очищення від аерозольних домішок

У пиловловлювачах і сепараційних пристроях знаходять застосування наступні способи відділення зважених часток від повітря (газу): осадження у гравітаційному полі, осадження під дією сил інерції, осадження у відцентровому полі, фільтрування, осадження у електричному полі, мокре газоочищення та ін.

Гравітаційне осадження. Частки аерозолі осаджуються з потоку забрудненого газу (повітря) під дією сили тяжіння. Для цього необхідно створити відповідний режим руху забрудненого газу в апараті з урахуванням розміру часток, їх густини та ін.

Інерційне осадження. Інерційне осадження ґрунтується на тому, що частки аерозолі і середовище (газ, повітря) мають значну різницю згідно густини, а також володіють різною інерцією. Частки аерозолі, рухаючись за інерцією, відокремлюються від газового середовища.

Осадження під дією відцентрової сили. Відбувається при здійсненні криволінійного руху пилогозового потоку. Під дією виникаючих відцентрових сил частки аерозолі відкидаються на периферію апарату та осідають.

Ефект зачеплення при фільтруванні. Частки аерозолі, зважені у повітряному (газовому) середовищі, затримуються у вузьких звивистих каналах і порах при проходженні аерозольного потоку через фільтрувальні матеріали.

Осадження у електричному полі. Проходячи електричне поле частки аерозолі отримують заряд, рухаючись до електродів протилежного знаку та осідають на них.

Мокре газоочищення. Змочування поверхні елементів апаратів водою або іншою рідиною сприяє затриманню часток на цій поверхні.

На практиці пиловловлювання і сепарації аерозольних часток знаходять застосування також інші методи: термофорез, фотофорез, укрупнення часток в акустичному полі, вплив магнітного поля, біологічне очищення та ін.

2.1.1 Гравітаційне осадження часток

До сухих механічних пиловловлювачів відносяться апарати, у яких використані різні механізми осадження: гравітаційний (пилоосаджуючі камери), інерційний і відцентровий. Ці апарати відрізняються простотою виготовлення та експлуатації, їх досить широко використовують у промисловості. Однак ефективність уловлювання у них пилу не завжди виявляється достатньою, у зв'язку з чим, вони часто виконують роль апаратів попереднього очищення газів. Робота гравітаційних пиловловлюючих пристроїв ґрунтується на законах гравітаційного осадження, тобто осадження пилових часток під дією сили тяжіння.

Осаджуючі камери використовують для осадження пилу з горизонтальних і вертикальних газових потоків.

У пилоосаджуючих камерах (рис. 2.1) використовується механізм гравітаційного осадження часток з горизонтально-направленого потоку газів. Пилоосаджуючі камери призначені для уловлювання крупнодисперсних часток розміром 50 мкм і більше. Для отримання високої ефективності очищення необхідно, щоб частки перебували у камері якомога більше часу. Високу ефективність очищення мають камери Говарда, у яких потік газу розбивається на декілька паралельних секцій очищення повітря. Однак вони не набули поширення через громіздкість і труднощі їх очищення. Пилоосаджуючі камери зазвичай споруджують з цегли, збірного залізобетону та ін.

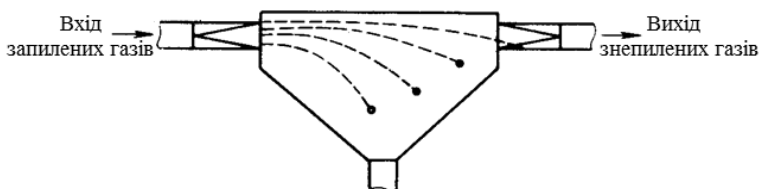


Рисунок 2.1 – Пилоосаджуюча камера

У загальному вигляді швидкість осадження шароподібних часток під дією сили тяжіння може бути визначена за формулою

$$V_{oc} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{(\rho_{ч} - \rho_{г}) \cdot g \cdot d}{\rho_{г} \cdot \xi}}$$

де V_{oc} – швидкість осадження часток, м/с; d – діаметр часток, м; $\rho_{ч}$ – густина часток, кг/м³; $\rho_{г}$ – густина газу, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; ξ – коефіцієнт опору часток.

При застосуванні закону Стокса (коли відсутні ефекти інерції, пов'язані з витісненням повітря сферичною часткою, що рухається) мінімальний розмір часток d_{min} (м), які будуть повністю осідати у багатополощній камері, може бути визначений за формулою

$$d_{min} = \sqrt{\frac{18 \cdot V_{г} \cdot \mu_{г}}{(\rho_{ч} - \rho_{г}) \cdot g \cdot B \cdot L}}$$

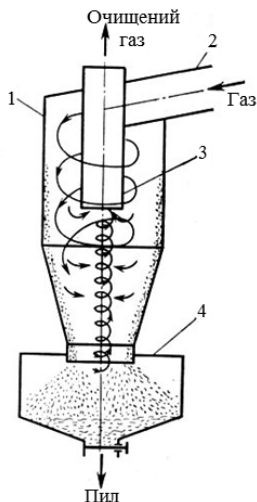
де $V_{г}$ – об'ємна витрата газів, м³/с; $\mu_{г}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с; B і L – ширина і довжина апарату, м.

2.1.2 Відцентрове осадження часток

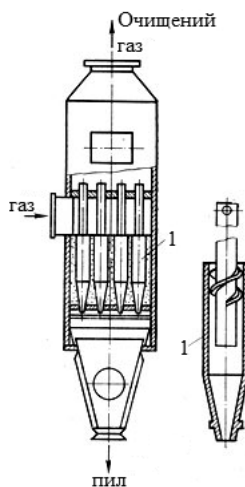
Відцентровий метод відділення часток аерозолів від повітря (газу) значно ефективніше гравітаційного осадження, так як відцентрова сила, що виникає, у багато разів більше, ніж сила тяжіння.

Широке застосування, для сухого очищення газів цим методом, отримали циклони різних типів (рис. 2.2, рис. 2.3). Газовий потік потрапляє до циклону

через патрубок 2 по дотичній до внутрішньої поверхні корпусу 1 і здійснює обертально-поступальний рух уздовж корпусу до бункера 4. Під дією відцентрової сили частки пилу утворюють на стінках циклону пиловий шар, який разом з частиною газу потрапляє у бункер. Відділення часток пилу від газу, що потрапив у бункер, відбувається за рахунок повороту газового потоку на 180° . Звільнившись від пилу, газовий потік утворює вихор і виходить з бункера через вихідну трубу 3. Для нормальної роботи циклону необхідна герметичність бункера. Якщо він негерметичний, то за рахунок пропускання повітря відбувається винесення пилу з потоком через вихідну трубу.



1 – корпус; 2 – патрубок;
3 – вихідна труба; 4 – бункер
Рисунок 2.2 – Циклон



1 – циклонний елемент
Рисунок 2.3 – Батарейний циклон

Для всіх циклонів бункери виконуються циліндричної форми певного діаметру. Висота циліндричної частини бункера становить 0,8 від діаметра, днище бункера виконується під кутом 60° між стінками, вихідний отвір має діаметр 250 або 500 мм.

Циліндричні циклони НПОГАЗа призначені для уловлювання сухого пилу аспіраційних систем, золи з димових газів котельних, працюючих на твердому паливі, пилу з сушарок та ін. При початковій запиленості від 0,3 до 4000 г/м^3 . Продуктивність циклону залежить від його діаметра, що збільшується зі зростанням діаметра. Циклони серії ВН мають продуктивність від 100 до $68000 \text{ м}^3/\text{год}$, гідравлічний опір близько 750 Па і забезпечують ефективність очищення від 83% до 97,5% для пилу з розміром частинок більше 10 мкм. Ефективніше відбувається очищення від пилу з розміром частинок більше 20 мкм. Конічні циклони НПОГАЗа серії СК призначені для очищення газів від сажі та володіють підвищеною ефективністю очищення у порівнянні з

циклонами типу ЦН, що досягається за рахунок більшого гідравлічного опору. Вхідна концентрація сажі на вході до циклонів не перевищує 30–50 г/м³.

Одним з конструктивних різновидів циклонів є прямоточні циклони. Вони володіють нижчим гідравлічним опором, меншими габаритами і нижчою ефективністю очищення у порівнянні з циклонами звичайного типу. Прямоточні циклони застосовуються для очищення газового потоку від грубозернистим пилу.

Для очищення значних об'ємів газів (димові гази при спалюванні твердого палива, пил сушарок та ін.) застосовуються батарейні циклони (рис. 2.3), що складаються з певної кількості паралельно встановлених циклонних елементів 1. Конструктивно вони об'єднуються в один корпус і мають загальне підведення і відведення газу. Досвід експлуатації батарейних циклонів показав, що ефективність очищення таких циклонів нижче ефективності окремих елементів завдяки переміщенню газів між циклонними елементами.

Ротаційні пиловловлювачі являють собою машину, яка одночасно з переміщенням повітря очищає його від крупних фракцій пилу. На відміну від описаних пристроїв вони володіють компактністю, так як вентилятор і пиловловлювач зазвичай поєднані в одному агрегаті. У результаті цього при монтажі і експлуатації таких машин не потрібно додаткових площ, які необхідні для розміщення спеціальних пиловловлюючих пристроїв. Вони забезпечують досить високу ефективність очищення повітря при уловлюванні порівняно крупних часток пилу (понад 20–40 мкм). Однак поширення пиловловлювачі ротаційної дії не отримали завдяки відносній складності конструкції і процесу експлуатації у порівнянні з іншими апаратами сухого очищення газів від механічних забруднень.

Вихрові пиловловлювачі володіють високою ефективністю очищення газу від найтонших фракцій (< 3–5 мкм), що дозволяє їм в окремих випадках конкурувати з фільтрами. За кордоном (США, Німеччина) розроблено кілька моделей вихрових пиловловлювачів з діаметром корпусу від 40 мм до 2 м. Пропускна спроможність установок складає від 20 до 315000 м³/год.

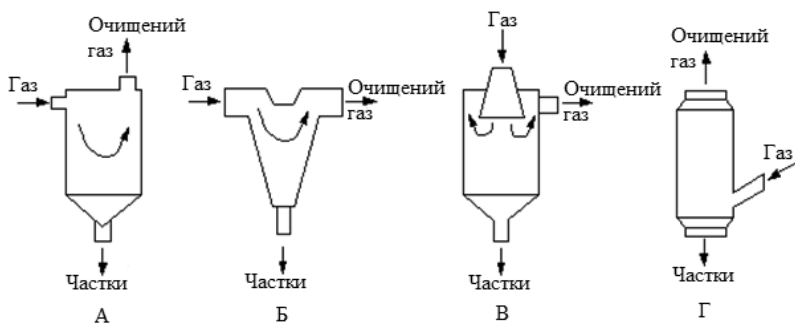
У радіальних пиловловлювачах відділення твердих часток від газового потоку відбувається за рахунок спільної дії гравітаційних та інерційних сил. Останні виникають при повороті газового потоку на 180°. Середня швидкість піднімання газу у корпусі зазвичай складає не більше 1 м/с. Ефективність очищення газу від часток розміром 25–30 мкм зазвичай становить 65–85%. Радіальні пиловловлювачі застосовуються рідко завдяки низькій ефективності очищення від дрібнодисперсного пилу.

2.1.3 Інерційне осадження часток

Інерційні пиловловлювачі – це апарати для виділення пилу з носія, у яких відбувається зміна напрямку газового потоку. Стикаючись з будь-яким тілом, обтікаючи його, частки пилу або краплі, що володіють більшою інерцією, ударяються об поверхню тіла і осідають на ньому. Деякі типи інерційних пиловловлювачів наведено на рис. 2.4.

При обтіканні твердого тіла запиленним потоком частки внаслідок більшої інерції продовжують рухатися поперек вигнутих ліній струменів газів і

осідають на поверхні тіла. Коефіцієнт ефективності інерційного осадження визначається кількістю часток, що були вилучені з потоку при зміні напрямку внаслідок обтікання ними різного роду перешкод. Інерційна сепарація може відбуватися у криво- і прямолінійних потоках.



А – з перегородкою; Б – з плавним поворотом газового потоку; В – з розширеним конусом;
Г – з боковим підведенням газу

Рисунок 2.4 – Інерційні пиловловлювачі

Формула для визначення розміру найменших часток, що повністю сепарують у пиловловлювачі, виведена згідно умови рівності відцентрової сили та сили опору середовища

$$\frac{m_c \cdot w_r^2}{R} = 3\pi \cdot w_p \cdot d_c \cdot \mu_c,$$

де m_c – маса частки, кг; w_r – швидкість обертання газового потоку, м/с; R – відстань від центру обертання газового потоку (осі циклона) до частки, м; w_p – швидкість руху частки у радіальному напрямку, м/с; d_c – діаметр частки, м; μ_c – динамічна в'язкість газу, Н·с/м².

У прямолінійних потоках інерційні ефекти проявляються при обтіканні перешкод. Перешкоди можуть мати вигляд плоских перфорованих листів, рейок, циліндрів (волокна, круглі стрижні), окремих сферичних тіл (кулі, краплі, зерна) та ін. Такими перешкодами у пристроях є окремі елементи заповнення фільтрів і пиловловлювачів, а також краплі рідини, що розбризкуються у мокрих пиловловлювачах.

2.1.4 Фільтрування аерозолів

Для тонкого очищення газів від пилу їх піддають фільтруванню, пропускаючи аерозоль через фільтрувальні перегородки, які вільно пропускають повітря, але затримують аерозольні частки. У фільтр (рис. 2.5) надходить забруднене повітря (газ), частки домішок осідають на входній волокнистої частини перегородки (фільтроелемента) і затримуються у зазорах між волокнами, утворюючи на поверхні перегородки шар домішок.

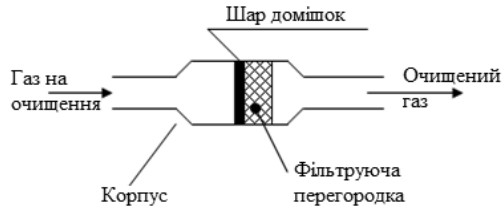


Рисунок 2.5 – Схема фільтра

Фільтрування запиленого потоку через шар пористого матеріалу є складним процесом, що включає дію ситового ефекту, інерційного зіткнення, броунівської дифузії, дотику (зацеплення), дії гравітаційних і електричних сил. Проходячи через фільтруючу перегородку, потік газу розділяється на тонкі струмені, що постійно роз'єднуються і з'єднуються. Частки, володіючи інерцією, прагнуть переміститися прямолінійно, стикаються з волокнами, зернами і утримуються ними. Вважають, що потік має безвіхревий рух, а частки – сферичну форму, частки при зіткненні з циліндричними волокнами на їх поверхні затримуються силами міжмолекулярної взаємодії. Відстані між циліндричними волокнами досить значні у порівнянні з розмірами часток (у 5–10 разів перевищують розміри часток).

Дослідження високоєфективних фільтрів, виконаних з дуже тонких волокон, показали, що ефективність цих фільтрів знижується при фільтруванні часток з розмірами 0,1–0,3 мкм, для яких інерційний ефект вже майже невідчутний, а дифузійний ще недостатньо діє.

Осадження часток за рахунок ефекту зацеплення не залежить від швидкості газів, але у значній мірі визначається режимом течії газового потоку. Ефективність осадження часток поодинокими волокнами при броунівському русі (температура потоку нижче 100°C) може бути визначена за наближеною формулою

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{1,35 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{v_c \cdot d_c \cdot d_b}},$$

де v_c – швидкість газового потоку, м/с; d_c – діаметр часток пилу, мкм; d_b – діаметр волокна, м.

Потрібно враховувати, що на шляху руху запиленого потоку розташовано звичай кілька рядів волокон, що значно підвищує загальну ефективність осадження.

З осадженням часток на фільтрувальному матеріалі зменшується розмір пор і утворюється шар пилу зі значно меншими порами, ніж у незапиленому фільтрувальному матеріалі. Отже робочим шаром при фільтруванні є саме фільтрувальний матеріал з затриманими на ньому пиловими частками. Він і визначає ефективність очищення. При відкладанні пилу зростає гідравлічний опір, зменшується продуктивність фільтра. Тому, при досягненні деякого

значення опору пил періодично видаляють. Цей процес називається регенерацією фільтра.

Рукавний фільтр (рис. 2.6) – один з найефективніших фільтрів для очищення високозапиленого повітря. Для виготовлення рукавних фільтрів застосовуються матеріали на основі полістиролу, поліпропілену, поліаміду, поліакрилонітрилу, полівінілсульфіду, арамиду. Фільтри можуть бути виготовлені з внутрішньою і зовнішньою робочою поверхнею. Рукавні фільтри призначені для очищення пилогазоповітряних потоків з температурою до $+260^{\circ}\text{C}$ і вихідної запиленістю до 100 г/м^3 . Запиленість на виході після процесу фільтрування становить не більше 10 мг/м^3 , а чистота повітря після очищення понад 99%. У якості фільтруючих елементів у рукавних фільтрах використовуються рукава виготовлені з нетканого голкопробивного матеріалу.

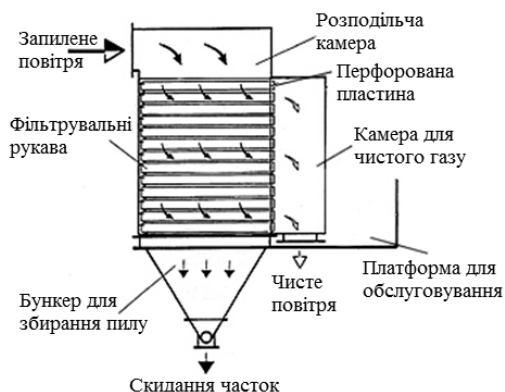


Рисунок 2.6 – Рукавний фільтр

Рукавний фільтр складається з корпусу прямокутної або круглої форми, бункера, фільтрувальних рукавів, які підвішені всередині корпусу, спеціальних клапанів і пристрою управління регенерації. Регенерацію рукавів здійснюють після граничного накопичення пилу на фільтрувальній поверхні рукава. Рукавний фільтр універсальний тим, що його конфігурація і габаритні розміри можуть бути різні, з урахуванням розміру робочого місця під фільтр.

Рукавні фільтри призначені для очищення димових газів, так і аспіраційних викидів підприємств різних галузей промисловості: чорної металургії; кольорової металургії; виробництва будівельних матеріалів; машинобудування; ливарного виробництва; металообробки; скляної промисловості; хімічної промисловості; харчової промисловості.

2.1.5 Мокре газоочищення

Мокре очищення застосовують у тих випадках, коли допустиме зволоження та охолодження очищуваного газу, а відокремлювані від газу тверді зважені частки мають незначну цінність. Мокре очищення газу здійснюють шляхом промивання його водою або іншою рідиною. Газ тісно контактує з рідиною, що розбризкують або розподіляють у вигляді тонкої плівки. Апарати для мокрого очищення працюють за принципом використання дії інерційних сил. При ударі газового потоку стінки, змочені рідиною, поглинають зважені у ньому частки. Під дією відцентрових та інерційних сил зважені частки досить повно вилучаються з газу, який охолоджується і насичується парами рідини. Охолодження газу нижче температури конденсації пари рідини, що знаходиться

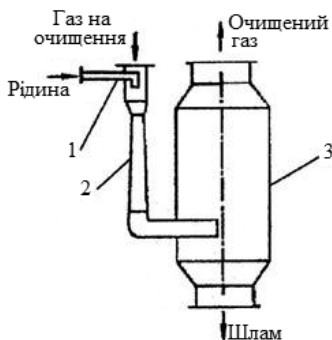
у його складі, сприяє видаленню найдрібніших твердих часток, що відіграють роль центрів конденсації.

Конструкції апаратів для мокрого очищення газів (гідравлічні пиловловлювачі) дуже різноманітні. Розрізняють гідравлічні пиловловлювачі наступних типів:

- статичні (скрубери);
- динамічні (дезінтегратори);
- апарати зі змоченими поверхнями;
- пінні.

Найбільш поширені скрубери (рис. 2.7) – апарати для промивання газів шляхом розбризкування рідини у газовому потоці. Їх конструкції не відрізняються від конструкцій скруберів, що застосовуються для поглинання газів. Газ проходить через порожнину скрубера знизу вгору і зрошується водою, шляхом розбризкування через форсунки. Для ефективного відмивання пилу застосовують насадкові скрубери і зрошувачі за допомогою спеціальних розподільних пристроїв або бризків. У насадкових скруберах ступінь очищення газу складає 75–85%, причому запиленість промитого газу може бути менше 1–2 г/м³.

Для більш досконалого газоочищення застосовують механічні газопромивачі або дезінтегратори. Дезінтегратори мають високу продуктивність (50–60·10³ м³/год газу) при порівняно невеликій витраті енергії. Вони застосовуються у металургії для очищення доменного газу до залишкового вмісту у ньому пилу 0,05–0,02 г/м³. Вихідний газ повинен містити не більше 2 г/м³ пилу і мати температуру не вище 60°, тому газ попередньо охолоджують і очищають у скруберах. Витрата води у дезінтеграторах становить 0,5–1,5 м³ на 1000 м³ газу. Недоліком апаратів такого типу є складність їх конструкції.



1 – зрошувальна форсунка; 2 – труба Вентурі;
3 – краплевловлювач

Рисунок 2.7 – Скрубер Вентурі

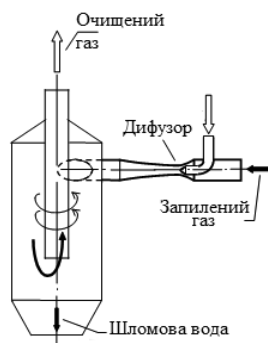


Рисунок 2.8 – Схема швидкісного газопромивача

У промисловості застосовується також новий метод мокрого очищення газів, що називається пінним. У пінних апаратах рідина, що взаємодіє з газом,

приводиться у стан рухомої піни, що забезпечує значну поверхню контакту між рідиною і газом та високу ступінь очищення газу від пилу, диму і туману. Апарат при уловлюванні пилу з частками розміром більше 5 мкм має ККД до 99%. Ефективність роботи пінних апаратів у значній мірі залежить від швидкості переміщення газу у вільному перерізі камери.

Швидкісний газопромивач (рис. 2.8) – ефективний апарат тонкого очищення (вловлює до 98% пилу), що застосовується як самостійно, так і для підготування газу перед очищенням у електрофільтрах. Вловлює частки пилу розміром до 0,1 мкм. Продуктивність згідно газу від 40000 м³/год. Питома витрата води складає 0,15–0,5 м³/м³ газу. Швидкість газу у горловині труби-розпилювача досягає 40–150 м/с.

Пил з частками більше 10–20 мкм ефективно вловлюється у більшості апаратів газоочищення. Для очищення від пилу з частками, менше 1 мкм, придатні лише апарати тонкого очищення: пористі фільтри, електрофільтри, швидкісні газопромивачі.

2.1.6 Осадження часток у електричному полі

Одним з найбільш досконалих способів очищення промислових газів від пилу і туманів є очищення у електрофільтрах. Широке застосування електрофільтрів для уловлювання твердих і рідких часток обумовлене їх універсальністю і високим ступенем очищення газів при порівняно низьких енергетичних витратах. Ефективність установок електричного очищення газів досягає 99%, а у ряді випадків і 99,9%. Такі фільтри здатні вловлювати частки різних розмірів, у тому числі і субмікронні (у діапазоні 0,01–100 мкм), при концентрації часток у газі до 50 г/м³ і вище. Промислові електрофільтри широко застосовують у діапазоні температур до 500°C, а також в умовах впливу корозійних середовищ. Електрофільтри можуть працювати при розрідженні і під тиском газів. Вони відрізняються відносно низькими експлуатаційними витратами, проте капітальні витрати на спорудження електрофільтрів досить високі, так як ці апарати металоемні і займають значну площу, а також забезпечуються спеціальними агрегатами для електроживлення. При цьому зі зменшенням продуктивності установок питомі капітальні витрати значно зростають.

Переважною сферою застосування електрофільтрів, з точки зору економічної доцільності, є очищення значних об'ємів газу. До недоліків електрофільтрів, поряд з їх високою вартістю, слід віднести високу чутливість процесу електричного очищення газів до відхилень від заданого технологічного режиму, а також до механічних дефектів внутрішнього обладнання.

Уловлювання пилу в електрофільтрах основане на здібності різнойменно заряджених тіл притягатися одне до одного. Пилоподібним часткам спочатку повідомляється електричний заряд, після чого вони осідають на протилежно зарядженому електроді.

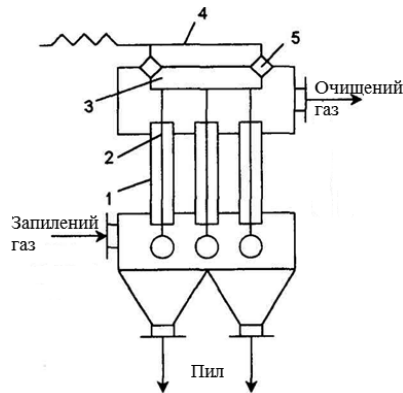
У камері електрофільтру розташовуються негативно (коронуєчі) і позитивно (осаджувальні) заряджені електроди, до яких підводиться постійний струм високої напруги. Запилений газ рухається у просторі між електродами. При цьому відбувається іонізація молекул газу на негативно і позитивно

заряджені іони. Негативно заряджені іони, рухаючись у запиленому газі, повідомляють часткам пилу свій заряд і захоплюють їх до осаджувальних електродів, де частки віддають свій заряд і осідають. Осілий на електродах пил періодично видаляють. Таким чином, очищення включає процеси утворення іонів, зарядження пилоподібних часток, транспортування їх до осаджувальних електродів, періодичне руйнування шару накопиченого на електродах пилу і видалення його у пилозбірні бункери. Згідно конструктивних особливостей електрофільтри підрозділяють за різними ознаками:

1. Напрямом руху газів – вертикальні і горизонтальні.
2. Формою осаджувальних електродів – з пластинчатими, С-подібними, трубчатими і шестигранными електродами.
3. Формою коронуючих електродів – з голчастими, круглого або штикового перерізу.
4. Кількістю послідовно розташованих електричних полів – однопільні і багатопільні.
5. Розташуванням зон зарядження і осадження – однозонні та двозонні.
6. Кількістю паралельно працюючих секцій – односекційні і багатосекційні.

Найбільш поширені електрофільтри з пластинчатими і трубчатими електродами. У пластинчатих електрофільтрах між осаджувальними пластинчатими електродами натягнуті дротяні коронуючі. У трубчатих електрофільтрах осаджувальні електроди являють собою циліндри (трубки), всередині яких згідно осі розташовані коронуючі електроди.

Трубчаті осаджувальні електроди мають кращі характеристики електричного поля у порівнянні з пластинчатими. Однак забезпечити ефективне струшування трубчатих електродів складно, і тому їх рідко застосовують у сухих електрофільтрах і досить широко у мокрих. Схема трубчатого електрофільтра представлена на рис. 2.9.



1 – осаджувальний електрод;
 2 – коронуючий електрод; 3 – рама;
 4 – струшу вальний пристрій; 5 – ізолятор
 Рисунок 2.9 – Трубчатий електрофільтр

Запилений газ рухається вертикальними трубами діаметром 250 мм. Пил осаджується на внутрішній поверхні труб. За допомогою струшу вального пристрою його видаляють у бункер. Іноді властивості газопилового потоку є серйозною перешкодою для здійснення процесу очищення (наприклад, при високому питомому електричному опорі пилу або коли він є вибухонебезпечним).

На провідність пилу впливає склад газу. З підвищенням вологості газів питомий електричний опір пилу знижується. Наявність в очищених газах десятих і сотих часток відсотка доокису сірки і аміаку значно підвищує електричну провідність пилу.

При високих температурах газу знижується електрична провідність міжелектродного простору, що призводить до зниження ступені уловлювання пилу. З підвищенням температури газів зростають їх в'язкість і об'єм, а, отже, збільшується швидкість потоку у електрофільтрі, що знижує ступінь знепилювання. Для нормальної роботи електрофільтрів необхідно забезпечити чистоту осаджувальних і коронуючих електродів.

Якщо пил має значний електричний опір, то шар на електроді діє як ізолятор і коронний розряд припиняється. Зі збільшенням напруженості електричного поля і величини заряду швидкість руху заряджених часток до електрода зростає. Електрофільтр буде ефективніше вловлювати пил зі збільшенням довжини електроду, підвищенням напруженості поля і уповільненням швидкості газу в апараті.

2.2 Вилучення газових домішок

З розвитком техніки і вдосконалення технологічних процесів з'являються нові види речовин, що викидаються у атмосферу. У той же час відбувається модернізація існуючих та розроблення нових видів технологічного обладнання, у якому здійснена повна герметизація, автоматизація, дистанційне управління.

Для очищення викидів від газових забруднень доводиться вирішувати одночасно ряд проблем, пов'язаних з тим, що у викидах знаходяться також аерозолі – пил, сажа; викиди у ряді випадків нагріті до високих температур, а забруднення, що містяться у них, багатоконпонентні та їх необхідно надавати різним методам очищення, витрати викидів за часом неоптимальні, змінюється концентрація різних шкідливих речовин та ін. Все це, звичайно, ускладнює очищення, вимагає прийняття у кожному окремому випадку відповідних рішень.

2.2.1 Абсорбція газових домішок

Деякі рідини при контакті з багатоконпонентним газовим середовищем здатні вибірково поглинати з нього окремі складові.

Абсорбцією називається перенесення компонентів газової суміші до об'єму конденсованої фази, що з нею контактує. При абсорбції відбувається вибіркове поглинання одного або декількох компонентів з газової суміші рідкими поглиначами. Зворотний процес, тобто видалення з об'єму конденсованої речовини поглинутих молекул газу, називається *дегазацією* або *десорбцією*.

Речовину, що міститься в газовій фазі і при абсорбції не переходить у рідку фазу, називають *газом-носієм*. Речовину, у якій відбувається розчинення абсорбуємих компонентів, називають *абсорбентом*. Речовину, яка міститься у газовій фазі і при абсорбції переходить у рідку фазу, тобто поглинаємий компонент, називають *абсорбтивом*. Речовину, що поглинається, в об'ємі поглиначи – *абсорбатом*. Абсорбат міститься у абсорбенті, рівномірно розподіляючись серед його молекул, внаслідок розчинення або хімічної реакції.

Процес, що завершується розчиненням абсорбату у поглиначі, називають *фізичною абсорбцією* (*абсорбцією*). При фізичній абсорбції відбувається

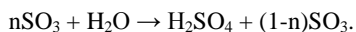
фізичне розчинення компонента у розчиннику, при цьому молекули абсорбенту і молекули абсорбтиву не вступають між собою у хімічну взаємодію.

Іноді розчинений газ вступає у хімічну реакцію безпосередньо з самим розчинником. Процес, що супроводжується хімічною реакцією між поглинаємим компонентом і абсорбентом, називають *хімічною абсорбцією* (*хемосорбцією*). При хемосорбції абсорбований компонент вступає у хімічну реакцію з поглиначем, утворюючи нові хімічні сполуки у рідкій фазі.

Абсорбція це процес хімічної технології, що включає масоперенесення між газоподібним компонентом і рідким розчинником, який здійснюється у апараті для контактування газу з рідиною – *абсорбері*. Швидкість абсорбції залежить від ряду факторів, а головним чином від тиску і температури. Зі зростанням тиску і зниженням температури швидкість абсорбції підвищується.

Процес, зворотний абсорбції, називається *десорбцією*. Якщо змінюються умови, наприклад, відбувається зниження тиску над рідиною або підвищується температура, процес стає оборотним і відбувається виділення газу з рідини. Таким чином, може бути здійснений циклічний процес *абсорбції–десорбції*. Це дозволяє виділити поглинений компонент. Поєднуючи абсорбцію з десорбцією, можна багаторазово використовувати майже без втрат рідкий поглинач (абсорбент) у замкнутому контурі апаратів: абсорбер–десорбер–абсорбер (круговий процес), виділяючи поглинений компонент у чистому вигляді.

Абсорбційне очищення викидів застосовують як для вилучення цінного компонента газу, так і для санітарного очищення. Вважають, що доцільно застосовувати абсорбцію, якщо концентрація даного компонента у газовому потоці складає понад 1%. Абсорбцію широко застосовують для очищення викидів від сірководню, інших сірчистих сполук, пари соляної, сірчаної кислот, ціаністих сполук, органічних речовин (фенолу, формальдегіду та ін.). Наприклад, адсорбція газу водою здійснюється наступним чином



Для багаторазового використання поглинач піддають регенерації, при цьому з нього вилучають абсорбтив, який реалізують у вигляді сировини для інших процесів або у якості цільового товарного продукту. Якщо вилучений компонент не представляє цінності або процес регенерації пов'язаний зі значними труднощами, то поглинач використовують одноразово і після відповідного оброблення зливають у каналізацію. Схема абсорбційної установки наведена на рис. 2.10.

Абсорбційна система може бути проста, у якій рідина застосовується лише один раз і видаляється з системи без відділення абсорбованого забруднення. У іншому варіанті забруднення відокремлюють від абсорбуючої рідини, виділяючи їх у чистому вигляді. Потім абсорбент подають на стадію абсорбції, регенерують і повертають у систему. Регенерацію поглиначів здійснюють фізичними методами: підвищенням температури, зниженням тиску або поєднанням зазначених параметрів.

Як правило, розчинення газів у воді відбувається з виділенням тепла та зі зменшенням об'єму, тому згідно з принципом Ле-Шательє при підвищенні

температури їх розчинність знижується. Однак у деяких випадках, коли розчинення супроводжується не виділенням, а поглинанням тепла, зростання температури призводить до збільшення розчинності газу.

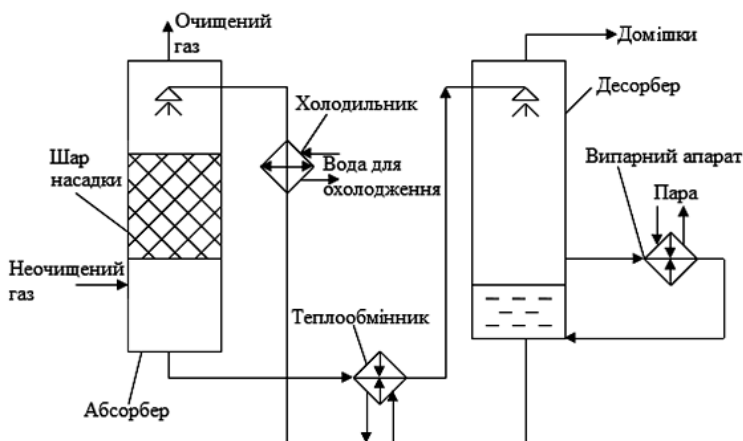


Рисунок 2.10 – Схема абсорбційної установки

У якості абсорбенту можна використовувати будь-яку рідину, яка розчиняє ці компоненти. Але для застосування у промислових масштабах абсорбент повинен відповідати ряду вимог, серед них: необхідна поглинальна здатність (абсорбційна ємність); висока селективність (вибірковість) у відношенні до поглинаемого компоненту; невисока леткість; незначна в'язкість; здатність до регенерації; термохімічна стійкість; відсутність корозійної активності; доступність і невисока вартість.

При фізичній абсорбції зазвичай використовують у якості абсорбенту воду, а також органічні і неорганічні розчинники, які не реагують з вилучаемими компонентами та їх водними розчинами. При хемосорбції у якості абсорбенту використовують водні розчини солей, органічні речовини і водні суспензії різних речовин.

Для абсорбції газоподібних забруднювачів з обмеженою розчинністю у воді, таких як SO_2 або бензол, необхідні дуже значні кількості води. Вода володіє високою ефективністю при видаленні кислих розчинних газів. Наприклад, для видалення HCl , HF і SiF_4 використовують слабо лужну воду, для уловлювання NH_3 – підкислену воду. Газу з меншою розчинністю, наприклад SO_2 , Cl_2 і H_2S , легше абсорбуються не чистою водою, а лужними розчинами, зокрема, розведеним NaOH або водним розчином (суспензією) вапна, тобто у останньому випадку більш прийнятна хемосорбція. Абсорбція органічним розчинником найбільш ефективна для видалення газоподібних органічних забруднювачів, оскільки у цьому випадку забезпечується висока розчинність. У якості рідких органічних абсорбентів застосовуються диметиланілін, моно-, ді- і триетаноламін та метилдиетаноламін. Використання

таких абсорбентів обмежене системами, що містять тверді частки, оскільки тверді речовини забруднюють органічні рідини.

Абсорбенти, що працюють при низьких (за Цельсієм) температурах, прийнято називати *холодоносійми*, а процес абсорбції, що перебігає у таких умовах – *контактною конденсацією*.

Перенесення компонентів контактуючих фаз перебігає до моменту досягнення між ними динамічної рівноваги. Явища, що відбуваються при абсорбції на межі розділу фаз, описують на основі двохплівкової теорії Уйтмена, згідно з якою зміна концентрації перехідної речовини відбувається у тонких приповерхневих шарах (плівках) газу і конденсованої речовини (рис. 2.11). Приймають, що у прикордонних плівках конвекція не відбувається, і

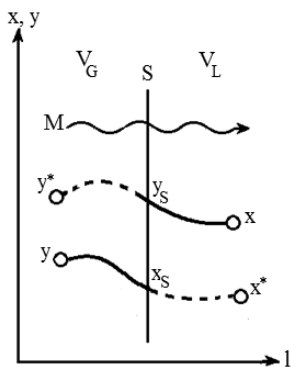


Рисунок 2.11 – Схема масоперенесення на межі розділу фаз

масоперенесення здійснюється виключно за рахунок молекулярної дифузії, у той час як перенесення з об'єму газу V_G до плівки і від плівки до об'єму конденсованої фази V_L відбувається дуже швидко (наприклад, за рахунок турбулентної дифузії). Тому концентрації перехідного компонента «у» у об'ємі газової фази та «х» у об'ємі конденсованої фази вважаються постійними. У плівці газу концентрація перехідного компонента знижується до значення « y_s » на поверхні розділу фаз S , а у плівці конденсованої фази насичується до концентрації « x_s », причому сама поверхня S не чинить опору переходу компонента. У плівці конденсованої речовини концентрація знижується до постійного значення « x » внаслідок розподілу компонента в об'ємі V_L .

Перенесення триває до досягнення рівноваги, при якому хімічні потенціали перехідних компонентів у газовій і конденсованій фазах вирівнюються.

У технічних розрахунках зручніше характеризувати віддаленість системи від рівноважного стану не величиною хімічного потенціалу, а відхиленням дійсної концентрації компонента у газовій фазі «у» від рівноважної з контактуючою фазою « y^* » або відхиленням дійсної концентрації компонента у конденсованій фазі «х» від рівноважної з газовою фазою « x^* » (при однакових тиску і температурі). Виходячи з цього рушійна сила абсорбції може бути визначена як згідно газової ($\Delta y = y - y^*$), так і згідно конденсованої ($\Delta x = x^* - x$) фаз. При абсорбційному очищенні газів концентрації уловлених домішок зазвичай не високі, що дозволяє розглядати систему як слабо концентровану.

У якості основного закону, що характеризує рівновагу у системі газ-рідина, використовується закон Генрі, згідно з яким мольна частка газу у розчині x_i при даній температурі пропорційна парціальному тиску газу над розчином

$$x_i = \frac{p_i}{E_i},$$

де x_i – мольна частка i -го компоненту у рідині; p_i – парціальний тиск i -го компоненту у газі у стані рівноваги, Па; E – константа, що залежить від температури.

З підвищенням температури розчинність газів у рідинах зменшується. Згідно з законом Дальтона парціальний тиск компонента у газовій суміші визначається як

$$p_i = P y_i,$$

де P – загальний тиск газової суміші, Па; y_i – мольна частка компонента у суміші газів.

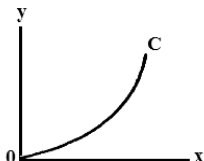


Рисунок 2.12 – Лінія рівноваги

До факторів, що підвищують розчинність газів у рідинах, відносяться підвищений тиск і знижена температура, а до факторів, що сприяють десорбції – знижений тиск, підвищена температура і додавання до абсорбенту добавок, що зменшують розчинність газів у рідинах. Рівновага між фазами може бути представлена графічно на $(y-x)$ -діаграмі (рис. 2.12). На цій діаграмі згідно осі абсцис відкладається концентрація « x » речовини, що розподіляється у фазі L , а осі ординат – концентрація « y » – у фазі G . Крива OC , що зображує залежність рівноважної концентрації, називається *лінією рівноваги*. Перенесення речовини в обох фазах здійснюється шляхом молекулярної та конвективної дифузії. *Молекулярна дифузія* – дифузія молекул через шар носія. *Конвективна дифузія* – це дифузія рухомих часток носія і речовини, що розподіляється.

Нехай концентрація речовини, що розподіляється у фазі G вище рівноважної, і речовина переходить з фази G у фазу L (рис. 2.13) речовина, що розподіляється у фазі G переноситься до поверхні розділу фаз, а у фазі L переноситься від цієї поверхні.

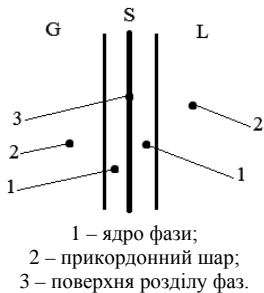


Рисунок 2.13 – Схема процесу масообміну між рідиною і газом

В основній (центральної) масі фази, тобто ядрі фази, де зазвичай відбувається інтенсивне перемішування, перенесення речовини здійснюється переважно за допомогою конвективної дифузії. Перенесення речовини у прикордонному шарі здійснюється шляхом конвективної і молекулярної дифузії, причому, з наближенням до поверхні розділу фаз відбувається загасання конвективних потоків і зростає роль молекулярної дифузії. Рівняння молекулярної дифузії має наступний вигляд

$$M = DF\Delta_{\text{ш}} \cdot \frac{\tau}{\delta},$$

де M – кількість компонента, дифузіюючого через шар речовини, кг; D – коефіцієнт дифузії, м/с; F – поверхня шару, м²; $\Delta_{\text{ш}}$ – зміна концентрації згідно товщини шару, кг/м³; τ – тривалість процесу, с; δ – товщина шару, м.

Це рівняння є математичним виразом закону Фіка. Коефіцієнт дифузії D залежить від властивостей дифузіюючого компонента і середовища, у якому відбувається дифузія, а також від температури і тиску процесу. Коефіцієнти дифузії у рідинах значно нижче, ніж у газах. Рівняння конвективної дифузії має наступний вигляд

$$M = \beta F \Delta_{\text{ф-ш}},$$

де M – кількість речовини, що переноситься з фази, яка віддає речовину, на поверхні розділу фаз (або від поверхні розділу фаз у фазу, що сприймає цю речовину), кг/с; β – коефіцієнт масовіддачі, м/с; F – поверхня розділу фаз, м²; $\Delta_{\text{ф-ш}}$ – різниця концентрацій розподіляючої речовини у фазі і на поверхні розділу, кг/м³.

Коефіцієнт масовіддачі залежить від гідродинамічних, фізичних і геометричних факторів та визначається експериментальним шляхом з обробленням даних за допомогою теорії подібності.

Швидкість процесу абсорбції при перенесенні речовини з однієї фази у іншу визначається рівняннями масопередачі

$$M = K_y F \Delta Y_{\text{сєр}}; M = K_x F \Delta X_{\text{сєр}},$$

де K_y і K_x – коефіцієнти масопередачі у газовій і рідкій фазах; F – поверхня контакту фаз, м²; $\Delta Y_{\text{сєр}}$, $\Delta X_{\text{сєр}}$ – середня рушійна сила відповідно у газовій і рідкій фазах, кг/м³.

Рівняння масопередачі у загальному вигляді записують так

$$M = K F \Delta,$$

де M – кількість речовини, що перейшла з однієї фази у іншу, кг/с; K – коефіцієнт масопередачі; Δ – рушійна сила процесу масопередачі, кг/м³.

Рівняння масопередачі свідчить, що коефіцієнт K виражає кількість речовини, яка переходить з однієї фази у іншу за одиницю часу через одиницю поверхні дотичної при рушійній силі, що дорівнює одиниці. Розмірність коефіцієнта масопередачі залежить від розмірності рушійної сили. Наприклад, якщо рушійна сила виражається у вигляді різниці об'ємних концентрацій, тобто кг/м³, то розмірність коефіцієнта масопередачі згідно рівняння буде відповідати м/с. Якщо рушійна сила виражена через різницю парціальних тисків, тобто у Па або у Н/м², розмірність коефіцієнта масопередачі – с/м.

Рушійною силою абсорбції є різниця між парціальним тиском розчиненого газу у газовій суміші та його рівноважним тиском над плівкою рідини, що контактує з газом. Абсорбція відбувається у тому випадку, якщо парціальний

тиск компонента у газовій фазі більше рівноважного парціального тиску цього самого компонента над розчином. Чим більше різниця між цими тисками, тим більше рушійна сила і тим з більшою швидкістю перебігає абсорбція.

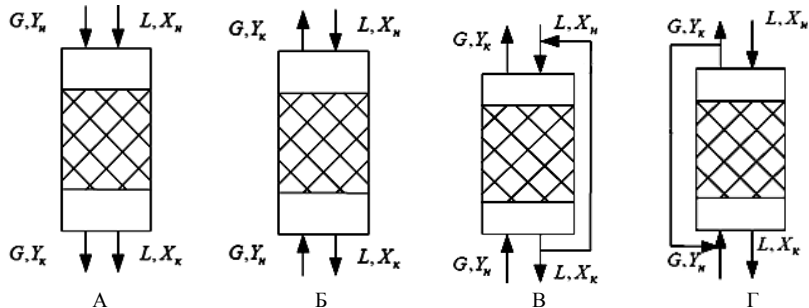
Якщо значення рушійної сили має знак мінус, то абсорбція не відбувається. У цьому разі відбувається десорбція, і кількість забруднювачів в оброблюваному газі може зростати.

Для визначення швидкості абсорбції необхідно знати рушійну силу процесу, яка виражається різницею концентрацій компонента в одній з фаз та рівноважною концентрацією

$$\Delta Y_{\text{сер}} = Y - Y^*; \Delta X_{\text{сер}} = X^* - X.$$

Чим більше ця різниця, тим більшою є швидкість процесу. Вона змінюється з висотою апарату і залежить від багатьох факторів, зокрема від характеру руху фаз. Концентрація газової і рідкої фази змінюється у разі руху фази вздовж поверхні їх контакту; внаслідок цього зазвичай змінюється вздовж поверхні контакту і рушійна сила масопередачі. У розрахунках користуються середнім значенням рушійної сили. Середню рушійну силу процесу масопередачі можна розрахувати як середню інтегральну, середню логарифмічну або середню арифметичну величину з рушійних сил на вході в апарат і на виході.

На практиці абсорбції використовуються декілька принципових схем проведення процесу (рис. 2.14).



А – прямоточна схема; Б – протиточна схема; В – схема з рециркуляцією рідини;
Г – схема з рециркуляцією газу
Рисунок 2.14 – Схеми абсорбції

Найбільш широко застосовуються прямоточна (рис. 3.5 А) і протиточна (рис. 3.5 Б) схеми. Згідно прямоточної схеми абсорбції потоки газу та абсорбенту рухаються паралельно один одному. За цією схемою газ з вищою концентрацією розподіляємої речовини призводиться у контакт з рідиною, що має нижчу концентрацію розподіляємої речовини, а газ з нижчою концентрацією взаємодіє на виході з апарату з рідиною, що має вищу концентрацію розподіляємої речовини. Згідно протиточної схеми абсорбції в одному кінці апарату призводяться до контакту газ і рідина, що мають вищі

концентрації розподіляємої речовини, а в протилежному кінці – нижчі. При протиточі можна досягти більш повного вилучення компоненту газової суміші, ніж за прямоточною схемою.

У техніці адсорбції використовують також одноступінчаті схеми з рециркуляцією (рис. 2.14 В, Г) та багатоступінчасті з рециркуляцією, які передбачають багаторазове повернення в апарат рідини або газу. У схемі з рециркуляцією рідини (рис. 3.6 В) газ проходить через апарат знизу вгору, і концентрація розподіляємої речовини у ньому змінюється від Y_n до Y_k . Поглинаюча рідина підводиться до верхньої частини апарату при концентрації розподіляємої речовини X_n , потім змішується з рідиною, що виходить з апарату, у результаті чого концентрація підвищується до X_k . Рециркуляція рідини завжди пріоритетніша і при необхідності може супроводжувати процес адсорбції охолодженням, так як у цьому випадку включення холодильника до схеми рециркулюючого абсорбенту дозволить легко відводити тепло від взаємодіючих речовин.

Багатоступінчаті схеми з рециркуляцією можуть включати пряму течію або протитечію рециркуляційного газу. Значне практичне значення має багатоступенева протиточна схема з рециркуляцією рідини на кожному ступені. Багатоступінчаті схеми з рециркуляцією газу і рідини володіють всіма перевагами одноступінчатих схем і разом з тим забезпечують значну рушійну силу процесу.

2.2.2 Адсорбція газових домішок

Адсорбцією називають процес вибіркового поглинання компонента газу, пари або розчину за допомогою *адсорбентів* – пористих твердих матеріалів з розвиненою питомою поверхнею.

Газове середовище, з якого відбувається поглинання компонента, називається *газом-носієм*, тверда речовина, що поглинає компонент – *адсорбентом*, цільовий поглинаємий компонент, що знаходиться у газі, називають *адсорбтивом*, цей самий компонент у адсорбованому стані – *адсорбатом*. Процеси адсорбції є *вибірковими і оборотними*. Кожен поглинач має здатність поглинати лише певні речовини і не поглинати інші. Поглинена речовина завжди може бути виділена від поглинача шляхом десорбції. На відміну від абсорбційних методів адсорбція дозволяє здійснювати очищення газів при підвищених температурах.

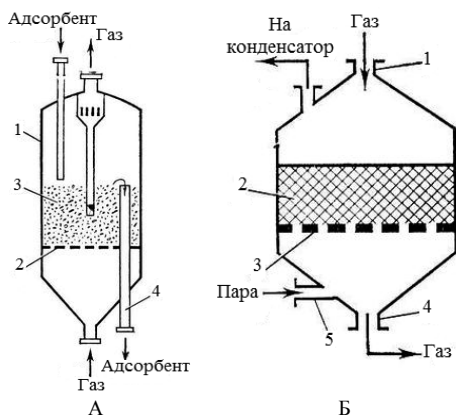
За характером взаємодії адсорбату з поверхнею розрізняють фізичну та хімічну адсорбцію.

При *фізичній адсорбції* між молекулами адсорбенту і молекулами речовини, що адсорбується, не відбувається хімічної взаємодії. Процес фізичної адсорбції може бути оборотним, тобто чергуються стадії адсорбції і десорбції. Фізична адсорбція обумовлюється силами міжмолекулярної взаємодії. Міжмолекулярні сили слабкі, тому при фізичній адсорбції відбувається лише незначна деформація адсорбованих часток. Цей вид адсорбції – має енергією активації близько 4–12 кДж/моль.

При фізичній адсорбції поглинені молекули газів і пари утримуються силами Ван-дер-Ваальса, при *хемосорбції* – хімічними силами. При *хімічній*

адсорбції молекули адсорбенту і адсорбтиву хімічно взаємодіють. Десорбція практично неможлива. При хімічній адсорбції виділяється значно більше теплоти, ніж при фізичній. Хімічна адсорбція (хемосорбція) здійснюється за рахунок ненасичених валентних сил поверхневого шару. При цьому можуть утворюватися поверхневі хімічні сполуки, властивості та будова яких ще мало вивчені. При утворенні поверхневих сполук необхідно подолати енергетичний бар'єр, який зазвичай складає 40–100 кДж/моль.

При адсорбції можливі значні швидкості поглинання та повне вилучення компонентів, виділення яких шляхом абсорбції було б неможливе завдяки їх малій концентрації у суміші. Адсорбцію застосовують для очищення газів з невисоким вмістом газоподібних або пароподібних речовин, для уловлення з газів вентиляційних викидів сірчистих сполук, вуглеводнів, хлору, окисів азоту, пари органічних розчинників та ін.



А – адсорбер з киплячим шаром адсорбенту;
 Б – адсорбер періодичної дії; 1, 4, 5 – патрубки;
 2 – шар адсорбенту; 3 – горизонтальна решітка
 Рисунок 2.15 – Адсорбери

Очищення газів здійснюють у апаратах, які називаються *адсорбери*, деякі конструкції представлені на рис. 2.15.

На практиці сфера її застосування обмежена рядом експлуатаційних, технічних і економічних умов. Так, за вимогами пожежо- і вибухобезпеки не можна піддавати адсорбційному обробленню газу з вмістом вибухонебезпечних компонентів більш 2/3 від нижньої концентраційної межі займання. Оптимальні концентрації забруднювачів у газах, що подаються на очищення, знаходяться у межах 0,02–0,5% об.

Адсорбент – тверде тіло, на поверхні і у порах якого відбувається адсорбція. Адсорбенти відрізняються високою пористістю, мають значну питому поверхню. Так, у найбільш поширених адсорбентів вона може сягати 1000 м²/г.

Промислові адсорбенти виготовляють з твердих пористих матеріалів і використовують у подрібненому, гранульованому або порошкоподібному вигляді.

Адсорбент повинен мати:

1. Високу сорбційну ємність, тобто можливість поглинати значну кількість адсорбтива при його низькій концентрації у газовому середовищі, що залежить від питомої площі поверхні та фізико-хімічних властивостей поверхневих часток. Адсорбційна ємність адсорбенту залежить від його природи. Вона зростає зі збільшенням поверхні, пористості, зі зниженням розмірів пор

адсорбенту, а також з підвищенням концентрації адсорбтива у газі-носії і тиску у системі. Зі збільшенням температури і вологості адсорбційна ємність адсорбентів знижується.

2. Високу селективність (вибірковість) щодо компонента, який адсорбується.

3. Достатню механічну міцність. Щоб аеродинамічний опір шару був невисоким, густина адсорбенту повинна бути невисокою, а форма частинок обтікаємою і створювати високу пористість насипання.

4. Властивість хімічної інертності, для здійснення фізичної сорбції, згідно компонентів газового середовища, що підлягає очищенню.

5. Властивість вступати з молекулами забруднювачів у хімічну реакцію для здійснення хімічної сорбції (хемосорбції).

6. Мати не високу здатність затримання для зниження витрат на десорбцію уловлених компонентів, тобто він повинен мати здатність до регенерації.

7. Невисоку вартість і виготовлятися з доступних матеріалів.

Пори у твердих тілах класифікуються на:

- макропори з радіусом більше 100–200 нм;
- перехідні (мезопори) з радіусом від 1,5–100 нм;
- мікропори з радіусом до 1,5 нм.

Провідне місце серед адсорбентів належить різним видам активованого вугілля (деревне, кістяне та ін.), поверхня якого може перевищувати 1000 м²/г. Якісними адсорбентами є також гель кремнієвої кислоти (силікагель), глинозем, каолін, деякі алюмосилікати (алюмогелі), цеоліти та інші речовини. Вони відрізняються природою матеріалу та своїми адсорбційними властивостями, розмірами гранул, густиною та ін.

Розрізняють власну, уявну і насипну густина адсорбенту, аналогічно розглянутим у підрозділі 1.4.1 для аерозолів.

Активоване вугілля – пористий вуглецевий адсорбент. Його використовують для адсорбції різних компонентів (газів, летких розчинників та ін.), що володіють різними властивостями. Розмір гранул активованого вугілля – 1,0–6,0 мм, насипна густина – 380–600 кг/м³.

Силікагель – синтетичний мінеральний адсорбент. Силікагелі – це гідратовані аморфні кремнеземи. Питома поверхня силікагелю становить 400–770 м²/кг. Він застосовується головним чином для поглинання вологи та здатний утримувати до 50% вологи від маси адсорбенту. Його перевагами у порівнянні з активованим вугіллем є: негорючість, низька температура регенерації (100–200°C), низька собівартість при масовому виробництві, відносно висока механічна міцність.

Алюмогель – активний окис алюмінію. Алюмогель отримують прожарюванням гідроксидів алюмінію. Питома поверхня алюмогелів становить 170–220 м²/кг, сумарний об'єм пор 0,6–1,0 см³/г. Алюмогелі стійкі до впливу крапельної вологи, являють собою гідрофільні адсорбенти з розвинутою пористою структурою. Використовується для сушіння газів та поглинання з них ряду органічних речовин.

Цеоліти – алюмосилікати, що містять оксиди лужних і лужноземельних металів. Характеризуються розвинутою структурою пор, розміри яких сумірні з

розмірами молекул. Цей адсорбент називають «молекулярні сита» згідно його здатності розділяти речовини на молекулярному рівні завдяки структурі та розмірам своїх пор. Цеоліти адсорбують гази, молекули яких відповідають розмірам «вікон» у кристалічній решітці, можуть сорбувати ароматичні, сіркоорганічні, нітроорганічні, галогензаміщені вуглеводні. Однак з вологих потоків цеоліти вилучають лише пару води.

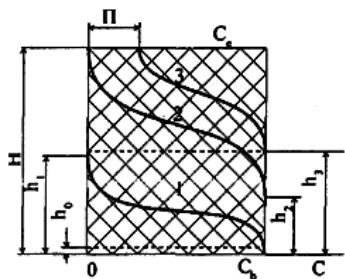


Рисунок 2.16 – Модель «адсорбційної хвилі»

У розрахунках адсорберів з нерухомим адсорбентом широко використовується модель «адсорбційної хвилі» (рис. 2.16), основана на наступних припущеннях. Вважають, що на початку процесу нижній шар адсорбенту товщиною h_0 швидко насичується до стану, близького до рівноважного. Концентрація забруднювача з проходженням забруднених газів через наступні шари адсорбенту знижується згідно деякому закону, вираженому графічно кривою 1, і на певній висоті h_1 стає рівною нулю.

Далі газ фільтрується через шар чистого адсорбенту висотою $(H - h_1)$. Через певний час хвиля насичення адсорбенту доходить до висоти h_2 а гази повністю звільняються від забруднювача на висоті H , тобто на виході з шару адсорбенту (крива 2). Процес адсорбції припиняють, коли концентрація забруднювача у газах на виході з шару сягає заздалегідь заданої величини проскоку Π , що вказує на момент, коли адсорбент перестає поглинати речовину (крива 3). При цьому хвиля насичення адсорбенту сягає висоти h_3 і його направляють на регенерацію.

Під активністю адсорбенту розуміють його здатність поглинати речовину. Адсорбенти характеризуються статичною та динамічною активністю.

Динамічна активність адсорбенту – кількість речовини, що поглинається одиницею маси (об'єму) адсорбенту за час від початку адсорбції до початку проскоку.

Статична активність адсорбенту – кількість речовини, що поглинається тією самою кількістю адсорбенту за час від початку адсорбції до встановлення рівноваги.

Динамічна активність завжди менше статичної, тому витрата адсорбенту визначається згідно його динамічної активності. Від активності адсорбенту залежать розміри адсорбційних апаратів та ефективність очищення газів. Процес адсорбції протягом певного часу перебігає при постійному значенні ступені поглинання адсорбуючої речовини. Цей час називається *часом захисної дії шару адсорбенту*.

Поглиняльна здатність адсорбентів виражається концентрацією адсорбату у масовій або об'ємній одиниці адсорбенту. Процес адсорбції супроводжується виділенням тепла, тому зниження температури сприяє його здійсненню. Незалежно від природи адсорбційних сил на величину адсорбції впливають наступні фактори:

1. *Природа речовини, що поглинається.* Вважається, що рівноважна концентрація у адсорбенті тим вище, чим більше молекулярна вага поглинутого газу, а у разі розчинів – чим менше розчинність поглинаємої речовини у рідині.

2. *Температура.* З підвищенням температури за інших рівних умов рівноважна концентрація зменшується.

3. *Тиск.* Зі зростанням тиску у парогазовій фазі рівноважна концентрація збільшується.

4. *Домішки* у фазі, з якої поглинається речовина. При наявності у фазі, з якої адсорбент поглинає речовину X, конкуруючої речовини A, тобто речовини, також здатної поглинатися цим адсорбентом, зменшується рівноважна концентрація речовини X в адсорбенті. У цьому випадку речовина A частково, або повністю витісняє або заміщає речовину X в адсорбенті.

З плином часу при адсорбції настає стан рівноваги, при якому встановлюється певна залежність між концентрацією адсорбуємої речовини X (кг/кг адсорбенту) та її концентрацією Y у газовій фазі

$$X = A \cdot Y^{1/n},$$

де Y – рівноважна концентрація інертної частини газової суміші, кг/кг; A, n – коефіцієнти, що визначаються дослідним шляхом (причому $n \geq 1$).

Адсорбція прискорюється при зниженні температури або при підвищенні тиску. Ці самі фактори впливають на процес десорбції у зворотному напрямку. Серйозним відхиленням від реальних характеристик адсорбції є припущення про ізотермічність процесу. Адсорбція може бути ізотермічною лише при відповідній організації тепловідведення з зони конденсації. У інших випадках тепло, що виділяється при конденсації адсорбату і змочуванні поверхні адсорбенту, подається на нагрівання оброблюваного газу і часток адсорбенту.

Процес адсорбції складається з послідовних стадій: дифузії молекул речовини, що поглинається з потоку газу, до зовнішньої поверхні адсорбенту (зовнішня дифузія), проникнення молекул всередині пористого поглинача (внутрішня дифузія) і сорбції (конденсація) молекул на внутрішній поверхні пор.

Механізм конкретного процесу дифузії визначають на основі вивчення залежностей коефіцієнтів дифузії від тиску, температури, молекулярних мас речовини, що поглинається, та газу-носія. Рівняння кінетики адсорбції має наступний вигляд

$$\frac{da}{dt} = \beta_0 [C - C^*(a)]$$

де β_0 – коефіцієнт масопередачі, що виражається через коефіцієнти зовнішнього β_1 і внутрішнього β_2 масообміну

$$\frac{1}{\beta_0} = \frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \frac{D^*}{w^2}$$

де D^* – коефіцієнт поздовжньої дифузії; w – швидкість потоку газу.

Розрізняють стаціонарні і нестаціонарні процеси адсорбції. у *стаціонарному процесі* концентрація адсорбату у кожній точці шару поглинача постійна і безперервна. На практиці санітарного очищення газу найбільш поширені *нестационарні періодичні процеси*.

2.2.3 Десорбція поглинених домішок

Адсорбційні процеси мають циклічний характер, оскільки необхідна періодична регенерація насичених цільовими компонентами поглиначів. Звільнений від поглиненої речовини адсорбент може бути використаний повторно. Процес десорбції здійснюють, використовуючи підвищення температури, витіснення адсорбату речовиною, що ефективніше сорбуються, зниження тиску або комбінацію цих прийомів.

Згідно термічної десорбції насичений адсорбент нагрівають шляхом прямого контакту з потоком водяної пари, гарячого повітря або інертного газу, або нагрівають через стінку з подаванням інертного газу. Інтервал температур становить 100–200°C і забезпечує десорбцію цільових компонентів, поглинених активованим вугіллям, силікагелями і алюмогелями. Для десорбції домішок, поглинених цеолітами, застосовують температури 200–400°C.

Десорбція шляхом витіснення (холодна десорбція) основана на сорбованості цільового компонента і речовини, що використовується у якості витиснювача (десорбента). Для десорбції органічних речовин можна використовувати двоокис вуглецю, аміак, воду, деякі органічні речовини.

Десорбція зниженням тиску може бути реалізована редукуванням тиску у системі після насичення поглинача під надлишковим тиском або створенням у системі розрідження при проведенні стадії адсорбції під нормальним тиском.

Час десорбції цільових компонентів визначається за наступним рівнянням

$$\tau_d = \frac{1}{\frac{k_d}{(1-\epsilon_n) \cdot \rho_y}} \cdot \ln \frac{a_0}{a}$$

де k_d – константа швидкості десорбції; ϵ_n – пористість шару адсорбенту ($\epsilon_n = 1 - \rho_n/\rho_k$); ρ_y – уявна густина адсорбенту; a_0 і a – відповідно початкова і поточна величина адсорбції.

2.2.4 Термохімічне знешкодження газових домішок

Очищення промислових газоподібних викидів, що містять токсичні речовини, у наш час є неодмінною вимогою на усіх виробництвах. Приблизний склад продуктів, що знаходяться у газоподібних промислових викидах, наведено у табл. 2.1.

Крім механічних, фізико-хімічних і хімічних методів очищення газів широко застосовують термічні методи. Методи спалювання шкідливих домішок, здатних окиснюватися, знаходять все більше застосування для очищення дренажних і вентиляційних викидів. Ці методи вигідно відрізняються від інших (наприклад, мокрого очищення у скруберах) більш високим ступенем очищення, відсутністю корозійних середовищ і стічних вод. Домішки спалюють у камерних топках з використанням газоподібного або рідкого

палива. Іноді на практиці є можливим окиснення органічних речовини, що знаходяться у газових викидах, на поверхні каталізатора, що дає можливість знизити температуру процесу.

Таблиця 2.1 – Склад газів за галузями промисловості

Виробництво	Хімічний склад газоподібних відходів та ін.
Перероблення нафти	Меркаптани, сірководень, аміак, органічні сполуки азоту, оксид вуглецю та ін.
Виробництво газу з кам'яного вугілля	Сполуки сірки (сірководень, сірковуглець, тіофен, тіоли, сірководень, меркаптани та ін.
Перероблення природного газу	Сірководень, меркаптани та ін.
Виробництво кислот і лугів	Кисневі сполуки азоту і сірки та ін.
Виробництво мінеральних та органічних добрив	Аміак, сполуки сірки, фтористий водень, меркаптани, триметиламін та ін.
Хімічні заводи з виробництва смол, лаків, пластмас, жирів, масел.	Формальдегід, аміни, амідні, розчинники, сполуки сірки, ацетилен, фенол та ін.
Фармацевтичні заводи, пивоварені заводи, процеси зброювання	Аміни, відновлені сполуки сірки, фурфурол, метанол та ін.
Текстильні і паперові фабрики	Сечовина, продукти розпаду крохмалю, диметилсульфід та ін.

Значне поширення для знищення токсичних речовин у відхідних газах отримали установки факельного спалювання. До факельних установок ставляться високі вимоги щодо забезпечення безпечної і надійної роботи в умовах пожежо- та вибухонебезпечності хімічних виробництв.

Хімічні реакції між складовими газовими викидами, які у звичайних умовах практично непомітні, значно прискорюються з підвищенням температури. Система, що містить токсичні речовини, може бути знешкоджена за допомогою термооброблення, якщо реакції, які відбуваються у ній, призведуть до утворення менш токсичних компонентів. За типом реакцій методи термознешкодження можна розділити на *відновлювальні та окиснювальні*.

Термовідновлювальні методи специфічні і розробляються індивідуально для кожного конкретного забруднювача. З них до теперішнього часу у техніці газоочищення знайшли застосування способи термохімічного (з використанням аміаку) і термокаталітичного відновлення (NO_x до N_2 , SO_2 до S_2 та ін.).

З усіх *термоокиснювальних* процесів для термознешкодження придатні виключно реакції з киснем, оскільки за участю інших окиснювачів неможливо отримати нешкідливі продукти окиснення. Тому надалі під терміном «окиснення» мається на увазі процес у якому окиснювачем слугує кисень.

Термоокиснення газоподібних забруднювачів може відбуватися у газовій фазі (в об'ємі) або на межі розділу фаз (на поверхні). Газофазовий процес здійснюють безпосередньо вогневою обробкою (спалюванням у полум'ї) газових викидів при температурах, що перевищують температуру займання горючих компонентів викидів. Для організації процесу окиснення на межі розділу фаз використовують каталізатори – конденсовані речовини, здатні за рахунок активності поверхневих часток прискорювати процес окиснення того чи іншого забруднювача при температурах нижче температури займання.

Ступінь нейтралізації знешкоджених газових викидів визначають наступним чином

$$\delta_n = \frac{(\Phi_{\text{вх}} - \Phi_{\text{вих}})}{\Phi_{\text{вх}}} = \frac{1 - \Phi_{\text{вих}}}{\Phi_{\text{вх}}}$$

де $\Phi_{\text{вх}}$ і $\Phi_{\text{вих}}$ – сумарна токсичність газових викидів, що підлягають нейтралізації і нейтралізованих газових викидів.

Забруднювачі, що містять, крім Н, С і О, сірку S, фосфор Р, галогени, метали та ін., не можна піддавати термоокиснювальному обробленню, так як продукти згоряння будуть містити високотоксичні сполуки. У реальних умовах навіть при спалюванні органічних сполук не вдається забезпечити абсолютно повне окиснення вихідних компонентів до практично нешкідливих вуглекислого газу CO_2 і пари води H_2O . У димових газах завжди присутні оксид вуглецю СО та інші продукти хімічного недопалу (неповного окиснення). Крім того, при підвищених температурах помітно прискорюється реакція окиснення азоту, який надходить у зону горіння з паливом і повітрям. Деякі оксиди азоту чинять шкідливий вплив на організм людини і навколишнє середовище.

2.2.5 Каталітичні методи очищення газових викидів

Каталітичне очищення дозволяє знешкоджувати оксиди азоту, оксиди вуглецю та інші шкідливі газові забруднення. Завдяки застосуванню каталізаторів можна досягти високого ступеня зчищення газу – 99,9%. Каталітичне очищення застосовується в основному при незначній концентрації видалюемого компонента в очищуваному газі.

Лужні матеріали та їх сполуки, нанесені на різні носії (наприклад, оксиди металів), часто виявляються більш ефективними і надійними, а також набагато дешевшими, ніж каталізатори з благородних металів. На таких каталізаторах реакція окиснення починається при невисоких температурах (близько 200°C), що значно підвищує можливість їх використання для каталітичного спалювання газів. У якості носія каталізатора рекомендується використовувати оксид алюмінію, силікати.

Каталітичні методи очищення газів основані на гетерогенному каталізі і слугують для перетворення домішок у нешкідливі або у сполуки, що легко видаляються. Основою каталітичних процесів газоочищення є реалізація хімічних взаємодій, що призводять до конверсії знешкоджуваних домішок у інші продукти у присутності спеціальних каталізаторів.

Каталізатори не викликають зміни енергетичного рівня молекул взаємодіючих речовин і зміщення рівноваги простих реакцій. Їх роль зводиться до збільшення швидкості хімічних взаємодій. Каталітичні взаємодії у гетерогенному каталізі відбуваються на межі розділу фаз газової суміші і поверхні каталізатора. Каталізатор забезпечує взаємодію на його поверхні вихідних речовин з утворенням активованих комплексів у вигляді проміжних поверхневих сполук каталізатора та реагуючих речовин, що потім формують продукти каталізу, звільняють і відновлюють поверхню каталізатора. Схема

цього процесу для газової реакції $A + B \rightarrow C$ у присутності каталізатора K може бути представлена у вигляді:



де $K[AB]$ – активована проміжна сполука на поверхні каталізатора.

Прискорюючу дію каталізатора виражають його *активністю* A , що характеризує відношення констант швидкостей реакцій, які відбуваються за участю каталізатора k_k і без нього:

$$A = \frac{k_k}{k} = \frac{k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right)}{\exp\left(-\frac{E_k}{R \cdot T}\right) \cdot k_0} = \exp\left(\frac{\Delta E}{R \cdot T}\right),$$

де $\Delta E = (E - E_k)$ – енергія активації реакції у присутності каталізатора.

Активність каталізатора визначається сукупністю фізико-хімічних властивостей самого каталізатора і газового потоку. Найбільшою мірою вона залежить від температури каталітичного перетворення, структури каталізатора, вмісту у ньому промоторів, тиску, об'ємної витрати, концентрації і молекулярних мас вихідних реагентів та продуктів конверсії у газовій суміші.

Оцінювання активності каталізатора у різних умовах проведення процесу каталітичного перетворення може бути виражене відношенням кількості продуктів, що утворюються на одиницю часу G_n до об'єму V , маси G_k або робочої поверхні каталізатора S :

$$A = \frac{G_n}{V} = \frac{G_n}{G_k} = \frac{G_n}{S}.$$

У процесі експлуатації каталізаторів вони піддаються поступовій дезактивації або деструкції, яка викликається хімічними отруєннями, каталітичними отрутами, механічним стиранням, спіканням, агрегуванням, що призводить до необхідності періодичної регенерації (активації) або заміни каталізаторів. Каталізатори повинні володіти високою активністю і теплопровідністю, розвиненою пористою структурою, стійкістю до отрут, механічною міцністю, селективністю, термостійкістю, мати низькі температури «запалювання», володіти низьким гідравлічним опором, мати низьку вартість.

Основні недоліки застосування каталізаторів полягають у наступному: звичай установок каталітичного очищення складні, громіздкі; у якості ефективних каталізаторів доводиться застосовувати дорогі речовини – платину, паладій, рутеній; використовують і більш дешеві – нікель, хром, мідь, але вони менш ефективні. У цілому спостерігається тенденція розширення застосування каталітичного очищення, але ці методи потребують подальшого вдосконалення.

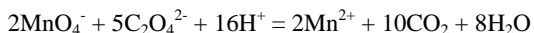
Каталізом називають зміну швидкості реакції або збудження її, що відбувається під дією речовин (каталізаторів).

Каталізатори у рівній мірі змінюють швидкість прямої та зворотної реакцій, іноді у мільйони і більше разів. Рівна ступінь впливу на швидкість

прямої та зворотної реакції зумовлює найважливішу особливість каталізаторів: вони не змінюють стану хімічної рівноваги, константи рівноваги, а лише прискорюють або уповільнюють досягнення реакцією її рівноважного стану. Збільшення швидкості реакції називають *позитивним каталізом* або просто каталізом, а уповільнення швидкості – *негативним каталізом* (інгібуванням).

Хімічні реакції, що перебігають у присутності каталізаторів, отримали назву каталітичних. З їх числа виділяють *автокаталітичні реакції*, у яких роль каталізаторів виконують один або кілька продуктів реакції. У свою чергу, на ефективність дії каталізаторів часто впливають інші речовини (каталітичні отрути і промотори).

Найбільш відомим прикладом автокаталізу є окиснення щавелевої кислоти перманганатом



Каталізатором цієї реакції є іони Mn^{2+} . При кімнатній температурі ця реакція спочатку перебігає повільно, але з накопиченням у розчині продукта-каталізатора, вона прискорюється.

Каталітичні отрути – це речовини, які знижують або повністю знищують активність каталізаторів. До них відносяться, наприклад, сполуки миш'яку, ртуті, свинцю, ціаніди. У виробничих умовах речовини намагаються очищати від каталітичних отрут, а отруєні каталізатори регенерують.

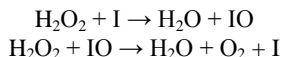
Промотори – речовини, що підсилюють дію каталізаторів. Наприклад, платинові каталізатори промотують домішками заліза, алюмінію та ін.

Каталізатори можуть володіти так званою властивістю специфічності. Специфічність каталізатора полягає у тому, що у багатьох випадках він вибірково збільшує швидкість тільки певної реакції, помітно не впливаючи на швидкість інших, можливих у даній системі. Так, у залежності від типу каталізатора, з етилового спирту при 300°C можна отримати воду і етилен (каталізатор – оксид алюмінію) або водень і оцтовий альдегід (каталізатор – мідний або нікелевий).

Розрізняють два види каталізу: гомогенний (однорідний) і гетерогенний (неоднорідний).

При *гомогенному каталізі* реагуючі речовини і каталізатор утворюють однофазну систему (рідку або газову). Прикладом гомогенного каталізу можуть слугувати реакції горіння водню і оксиду вуглецю, у яких роль каталізаторів виконують активовані частки, а також реакція окиснення двоокису сірки у присутності двоокису азоту у камерному і баштовому методах виробництва сірчаної кислоти. Встановлено, що швидкість хімічної реакції при гомогенному каталізі пропорційна концентрації каталізатора.

Прикладом гомогенного каталізу є розкладання пероксиду водню у присутності іонів йоду. Реакція перебігає у дві стадії



При гомогенному каталізі дія каталізатора пов'язана з тим, що він вступає у взаємодію з реагуючою речовиною з утворенням проміжних сполук, це призводить до зниження енергії активації.

При *гетерогенному каталізі* каталізатор становить самостійну фазу (зазвичай тверду). Цей тип каталізу одержав поширення у промисловості. Більшу частину продукції, що виробляється хімічною і суміжними галузями промисловості, отримують за допомогою гетерогенного каталізу, як правило газового, тобто коли прискорюються реакції газової фази. Менш поширений гетерогенний каталіз у рідкій фазі (гідрогенізація жирів). Всі реакції при гетерогенному каталізі перебігають на поверхні каталізатора. Тверді каталізатори, які найбільш поширені, частіше всього випускають у вигляді зерен, таблеток, гранул. Це в основному метали та їх оксиди, наприклад мідь, срібло, платина, платиноїди, хром, молібден, залізо, нікель, кобальт та ін. Часто метали використовують у вигляді дисперсій на поверхні носіїв.

Прикладом гетерогенного каталізу є окиснення SO_2 до SO_3 на каталізаторі V_2O_5 у виробництві сірчаної кислоти (контактний метод).

Носії, або трегери, являють собою пористі, індиферентні речовини, у якості яких застосовують пемзу, силікагель, каолін, активоване вугілля, алюмосилікати та ін. Носії збільшують поверхню каталізатора, а також міцність контактів. Механічна міцність каталізаторів є їх найважливішою властивістю. У цілому використання носія знижує собівартість каталізатора.

Гетерогенне каталітичне перетворення є складним багатоступеневим процесом, що включає:

- дифузію вихідних реагентів з ядра газового потоку до поверхні гранул каталізатора (*зовнішня дифузія*);
- проникнення цих речовин у порах каталізатора до активних центрів його внутрішньої поверхні (*внутрішня дифузія*);
- активовану адсорбцію реагентів поверхнею каталізатора з утворенням поверхневих хімічних сполук;
- хімічну взаємодію адсорбованих речовин з утворенням нових продуктів;
- десорбцію продуктів та їх перенесення до зовнішньої поверхні гранул каталізатора (*внутрішня дифузія*) і потім від цієї поверхні у ядро газового потоку (*зовнішня дифузія*).

Константа швидкості каталітичного перетворення при даній температурі є функцією констант швидкостей прямої, зворотної та побічної реакції, а також коефіцієнтів дифузії вихідних реагентів і продуктів їх взаємодії. Швидкість гетерогенного каталітичного процесу визначається відносними швидкостями окремих його стадій і лімітується найбільш повільними з них.

Термокатализ неприйнятний і для оброблення газів (пари) високомолекулярних висококиплячих сполук, які, повільно випаровуючись з каталізатора, коксується і «отруюють» його, тобто заповнюють активну поверхню продуктами неповного окиснення.

2.2.6 Конденсація газових домішок

Конденсаційне оброблення газів зазвичай включають у технологічний цикл, якщо процес супроводжується відчутними втратами проміжних або

кінцевих продуктів. Часто за допомогою конденсації вловлюють і повертають до технологічного процесу пару розчинників, що видаляються з поверхні виробів після нанесення функціональних, захисних і фарбувальних шарів. Іноді конденсацію застосовують для вилучення з газового потоку дорогіших або особливо небезпечних речовин.

При економічно і технічно прийнятних параметрах робочого середовища можна перевести у конденсований стан пару легкокиплячих сполук (які зазвичай використовуються у якості розчинників) з концентраціями не нижче 5–10 г/м³. Конденсація більш розбавлених забруднювачів представляє технічно складне завдання і вимагає значних витрат.

Ступінь уловлення (глибина вилучення) забруднювача залежить від ступеня охолодження і стиснення газових викидів. У виробничих умовах температуру і тиск приймають такими, щоб енерговитрати на конденсацію становили незначну частку загальних витрат на технологію. Тому ступінь вилучення навіть дорогіших продуктів є невисокою і знаходиться у межах 70–80%. З цієї самої причини використовувати конденсацію у якості самостійного засобу санітарного очищення не є доцільним.

У той самий час конденсаційне оброблення може успішно застосовуватися у багатоступеневих схемах очищення викидів. Існують три напрями в області газоочищення, де конденсація не лише корисна, але і необхідна:

- попереднє осадження основної маси пари забруднювачів перед адсорберами при високому ступені забруднення викидів;
- вилучення пари, що містить сполуки фосфору, миш'яку, важких металів, галогенів перед термознешкоженням суміші забруднювачів;
- конденсація забруднювачів після хімічного оброблення з метою переведення у легкоконденсуємі сполуки, наприклад, після хемосорбційних апаратів.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

3.1 Гідромеханічні способи очищення стічних вод

Перед тонким очищенням стічної води направляють на проціджування через ґрати і сита, які встановлюють перед відстійниками з метою вилучення з них крупних домішок. *Осадженням* називається розділення рідких неоднорідних систем шляхом виділення з рідкої фази твердих або рідких зважених часток під дією сили тяжіння або відцентрової сили.

3.1.1 Відстоювання домішок

Осадження відстоюванням відбувається під дією сили тяжіння. Для проведення процесу використовують пісковловлювачі, відстійники та освітлювачі. В освітлювачах одночасно з відстоюванням відбувається фільтрування стічних вод через шар зважених часток. Процес відстоювання використовують також для очищення виробничих стічних вод від нафти, масел, смол і жирів. Очищення від спливаючих домішок аналогічне осадженню твердих речовин. Відмінність полягає у тому, що густина спливаючих часток нижче, ніж густина води. Для уловлювання часток нафти використовують нафтовловлювачі, а для жирів – жирословлювачі. Відстоювання стічних вод здійснюють у апаратах, які називаються відстійниками (рис. 3.1) або згущувачами. Розрізняють горизонтальні, радіальні, вертикальні, трубчасті, пластинчасті, відстійники з похилими перегородками.

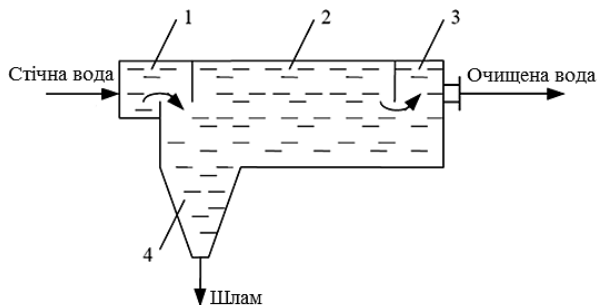


Рисунок 3.1 – Схема горизонтального відстійника

Горизонтальні відстійники являють собою прямокутні резервуари, що мають два або більше одночасно працюючих відділення. Вода рухається з одного кінця відстійника до іншого. Глибина відстійника складає 1,5–4,0 м, довжина 12–48 м, ширина коридору 3–6 м. Горизонтальні відстійники застосовують у разі витрати стічної води понад 15000 м³/добу. Ефективність відстоювання сягає 60%. Відстійники проектується у розрахунку на осадження найдрібніших часток, що знаходяться у стічній воді. Продуктивність відстійника згідно освітленої води $Q_{осв}$ (м³/с) виражається рівнянням

$$Q_{\text{осв}} = v_n \cdot B \cdot H;$$

де v_n – швидкість потоку стічної води вздовж апарату, м/с; B – ширина відстійника, м; H – висота шару освітленої води, м.

Час проходження τ_n (с) стічної води вздовж відстійника складе

$$\tau_n = \frac{L}{v_n},$$

де L – довжина відстійника, м.

Продуктивність відстійника згідно освітленої води визначають за наступним рівнянням

$$Q_{\text{осв}} = w_{\text{ос}} \cdot L \cdot B = w_{\text{ос}} \cdot F,$$

де $F = L \cdot B$ – поверхня відстійника на плані, м²; $w_{\text{ос}}$ – швидкість осадження часток, м/с.

3.1.2 Відцентрове осадження домішок

Швидкість розділення неоднорідних систем у полі відцентрових сил вища порівняно зі швидкістю поділу цих систем у полі сили тяжіння. У загальному випадку відцентрова сила $P_{\text{вц}}$ (Н) виражається рівнянням

$$P_{\text{вц}} = \frac{m \cdot v_0^2}{r} = \frac{G \cdot v_0^2}{g \cdot r},$$

де m – маса частки, що обертається, кг; G – вага частки; v_0^2 – окружна швидкість обертання, м/с; r – радіус обертання, м.

Відношення відцентрового прискорення v_0^2/r до прискорення сили тяжіння g називають фактором поділу

$$K_p = \frac{v_0^2}{g \cdot r}.$$

Фактор поділу є важливою характеристикою гідроциклонів і центрифуг, так як, при інших рівних умовах, розділяюча дія при осаджувальному відцентруванні зростає пропорційно величині K_p .

Для очищення стічних вод використовують напірні (рис. 3.2) і відкриті (низьконапірні) гідроциклони. *Напірні гідроциклони* застосовують для осадження твердих домішок, а *відкриті гідроциклони* – для видалення домішок, що осаджуються або спливають. При обертанні рідини у гідроциклоні на частки діють відцентрові сили, що відкидають важкі частки до периферії потоку, сили опору потоку, що рухається, гравітаційні сили і сили потоку. Сили інерції у потоці рідини незначні і ними можна знехтувати. При високих швидкостях обертання відцентрові сили значно більше сил тяжіння.

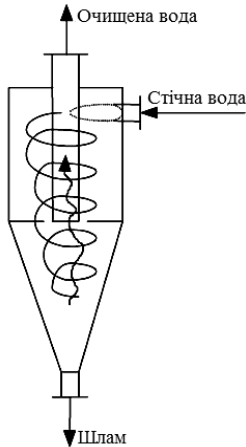


Рисунок 3.2 – Напірний гідроциклон

Швидкість руху частки у рідині під дією відцентрової сили залежить від її діаметра d_c , різниці густин фаз $\Delta\rho$, в'язкості μ_c і густини ρ_c стічної води, а також від прискорення відцентрового поля J

$$v_{ц} = k^{0,385} \cdot d_c^m \cdot \rho_c^{(m-2)/3} \cdot \Delta\rho^{(m+1)/3} \cdot \frac{J^{(m+1)/3}}{\mu_c^{(2m-1)/3}}$$

Коефіцієнт пропорційності k і показник ступеня m залежать від гідродинамічного режиму.

Крім фізичних властивостей рідини на ефективність роботи гідроциклонів впливають конструктивні параметри: діаметр апарату, співвідношення вхідного та зливних патрубків.

Гідроциклони виготовляються діаметром від 100 до 700 мм, висота циліндричної частини дорівнює діаметру апарату. Кут конусності складає 10–20°.

Ефективність гідроциклонів знаходиться на рівні 70%.

При зміні в'язкості стічної води швидкість осадження часток зростає. Зі зростанням густини рідини зменшується різниця густини фаз $\Delta\rho = (\rho_q - \rho_0)$. Це супроводжується зниженням швидкості осадження часток, що важче води, а для часток легше води – збільшенням швидкості спливання.

Гідроциклони малого діаметра об'єднують у загальний агрегат, у якому вони працюють паралельно. Такі апарати називають *мультигідроциклонами*. Мультигідроциклони найбільш ефективні для очищення незначних кількостей води від тонкодисперсних домішок. Продуктивність напірних гідроциклонів розраховують

$$Q = k_1 \cdot D_{ц} \cdot d_{вх} \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H}$$

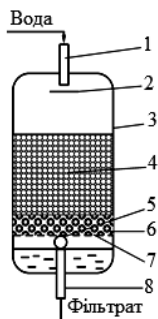
де k_1 – безрозмірний коефіцієнт; $D_{ц}$ – діаметр гідроциклона, м; $d_{вх}$ – діаметр вхідного патрубка, м; ΔH – перепад тисків між зливними і вихідними патрубками, Па.

Відкриті (безнапірні) гідроциклони застосовують для очищення стічних вод від крупних домішок (гідралічною крупністю 5 мм/с). Від напірних гідроциклонів, вони відрізняються вищою продуктивністю і нижчим гідралічним опором.

3.1.3 Фільтрування домішок

У процесі очищення стічних вод доводиться мати справу зі значною кількістю води, тому застосовують фільтри, для роботи яких не вимагається високих тисків. Виходячи з цього, використовують фільтри з сітчастими

елементами (мікрофільтри і барабанні сітки) і фільтри з фільтруючим зернистим шаром (рис. 3.3).



- 1, 8 – патрубок;
 2 – розподілювач рідини;
 3 – корпус; 4 – завантаження;
 5 – центральний колектор;
 6 – гравій; 7 – перфоровані промені

Рисунок 3.3 – Фільтр механічного очищення води з гранульованим завантаженням

Фільтрування (рис. 3.3) забрудненої води відбувається зверху до низу. При цьому крупні частки затримуються у порах між гранулами завантаження, а дрібні забруднення – за рахунок різних ефектів, насамперед електростатичного, прилипають до часток завантаження. Чим більше забруднень затримано шаром завантаження, тим менші залишаються проходи для рідини і тим вище ступінь очищення води. Основна маса забруднень з води збирається у верхній частині шару завантаження.

Процес фільтрування складається з 3-х стадій:

- 1) перенесення часток на поверхню речовини, що утворює шар;
- 2) прикріплення часток до поверхні;
- 3) відрив часток від поверхні.

За характером механізму затримання зважених часток розрізняють 2 типи фільтрування:

- 1) фільтрування через плівку (осад) забруднень, що утворюються на поверхні зерен завантаження (рис. 3.3);
- 2) фільтрування без утворення плівки забруднень.

У першому випадку затримуються частки, розмір яких більше пор матеріалу, а потім утворюється шар забруднень, який є також фільтрувальним матеріалом. Такий процес характерний для повільних фільтрів, які працюють при низьких швидкостях фільтрування. У другому випадку фільтрування відбувається у товщі шару завантаження, де частки затримуються на зернах фільтрувального матеріалу адгезійними силами. Такий процес характерний для швидкісних фільтрів. Величина сил адгезії залежить від розміру і форми зерен, від шорсткості поверхні та її хімічного складу, від швидкості потоку і температури рідини, від властивостей домішок.

3.2 Фізико-хімічні методи очищення стічних вод

Ці методи використовують для видалення зі стічних вод тонкодисперсних зважених твердих і рідких часток, розчинних газів, мінеральних і органічних речовин.

3.2.1 Коагуляція і флокуляція забруднень

Коагуляція – це процес укрупнення дисперсних часток у результаті їх взаємодії і об'єднання в агрегати. В очищенні стічних вод її застосовують для прискорення процесу осадження тонкодисперсних домішок і емульсованих речовин. Коагуляція найбільш ефективна для видалення з води колоїдно-дисперсних часток розміром 1–100 мкм.

В процесі очищення стічних вод коагуляція відбувається під впливом додавання до них спеціальних речовин – *коагулянтів*. Коагулянти у воді утворюють пластівці гідроксидів металів, які швидко осідають під дією сили тяжіння. Пластівці володіють здатністю вловлювати колоїдні і зважені частки і агрегувати їх. Так як колоїдні частки мають слабкий негативний заряд, а пластівці коагулянтів – слабкий позитивний заряд, то між ними виникає взаємне тяжіння.

Для початку коагуляції частки повинні наблизитися одна до одної на відстань, при якій між ними діють сили тяжіння і хімічна спорідненість. Зближення часток відбувається у результаті броунівського руху, а також при ламінарному або турбулентному русі потоку води.

У якості коагулянтів використовують бентоніт, поліакриламід, електроліти, розчинні у воді солі алюмінію $Al_2(SO_4)_3$, солі заліза $FeCl_3$ або їх суміші, які підлягають гідролізу, утворюють пухкі гідрати оксидів металів. Вибір коагулянту залежить від його складу, фізико-хімічних властивостей і вартості, концентрації домішок у воді, рН і сольового складу води.

При використанні сумішей сульфату алюмінію $Al_2(SO_4)_3$ та хлорного заліза $FeCl_3$ у співвідношеннях 1:1–2 досягається ефективніший результат коагулювання, ніж при роздільному використанні реагентів. Для оброблення стічних вод також можуть бути використані різні глини, відходи виробництва, що містять алюміній, травильні розчини, пасти, суміші, шлаки, що містять двоокис кремнію.

Швидкість коагуляції залежить від концентрації електроліту (рис. 3.4).

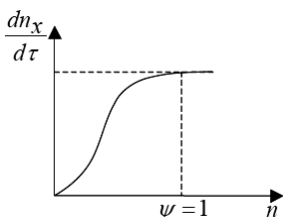


Рисунок 3.4 – Залежність відносної швидкості коагуляції від концентрації електроліту

При низьких концентраціях електроліту ефективність зіткнення часток, тобто відношення кількості зіткнень, що закінчуються злипанням, до загальної кількості зіткнень, наближається до нуля ($\psi=0$). Зі зростанням концентрації швидкість коагуляції підвищується, але не всі зіткнення закінчуються злипанням часток – таку коагуляцію називають *повільною*. При $\psi=1$ відбувається *швидка коагуляція*, при якій всі зіткнення часток закінчуються утворенням агрегатів.

Швидкість процесу швидкої коагуляції для нерухомого середовища при броунівському русі часток згідно теорії Смолуховського дорівнює

$$\frac{dn_x}{d\tau} = k(n_0 - n_x)^2.$$

Кількість часток в одиниці об'єму води за час τ для швидкої і повільної коагуляції визначається за формулами

$$n_\tau = \frac{n_0}{1 + \frac{\tau}{T_{1/2}}}, \quad n_\tau = \frac{n_0}{1 + \psi \frac{\tau}{T_{1/2}}},$$

де k – константа коагуляції; n_x – кількість агрегатів часток; n_0 – початкова концентрація часток; $T^{1/2}$ – час коагуляції, протягом якого кількість часток в одиниці об'єму зменшується вдвічі; ψ – коефіцієнт ефективності зіткнень часток.

У полідисперсних системах коагуляція відбувається швидше, ніж у монодисперсних, оскільки великі частки при осіданні захоплюють за собою більш дрібні. Форма часток також впливає на швидкість коагуляції. Наприклад, подовжені частки коагулюють швидше, ніж шароподібні. Розмір пластівців (у межах 0,5–3,0 мм) визначається співвідношенням між молекулярними силами, що утримують частки разом, і гідродинамічними силами відриву, що прагнуть зруйнувати агрегати. Крім коагулянтів до рідини, що підлягає освітленню, додають незначні кількості флокулянтів, що сприяють злипанню агрегативно нестійких твердих часток.

Флокуляція – процес агрегації зважених часток при додаванні у стічну воду високомолекулярних сполук, що називаються *флокулянтами*.

На відміну від коагуляції при флокуляції агрегація відбувається не лише при безпосередньому контакті часток, але і у результаті взаємодії молекул адсорбованого на частках флокулянта. Використання флокулянтів дозволяє знизити дози коагулянтів, зменшити тривалість процесу коагуляції і підвищити швидкість осадження утворюваних пластівців. Для очищення стічних вод використовують природні і синтетичні флокулянти. До природних флокулянтів належать крохмаль, ефіри, целюлоза та ін. Активний двоокис кремнію ($x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$) є найбільш поширеним неорганічним флокулянтом.

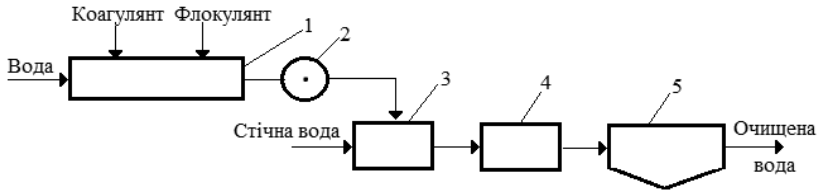
Механізм дії флокулянтів оснований на явищі адсорбції молекул реагенту на поверхні колоїдних часток, утворенні сітчастої структури молекул реагенту, на злипанні колоїдних часток за рахунок сил Ван-дер-Ваальса. Під дією флокулянтів між колоїдними частками утворюються тривимірні структури, здатні до більш швидкого і повного відділення від рідкої фази. Ефективність будь-якого флокулянту розраховують за формулою

$$\eta_{\text{ф}} = \frac{w_{\text{ф}} - w_0}{w_0 \cdot q}$$

де $w_{\text{ф}}$ і w_0 – швидкість осадження зфлокульованого і незфлокульованого шламу, мм/с; q – витрата флокулянту на 1 т твердої речовини, г.

Процес очищення стічних вод коагуляцією і флокуляцією складається з наступних стадій (рис. 3.5): дозування; змішування реагентів зі стічною водою; утворення пластівців; осадження пластівців.

Для змішування коагулянтів з водою застосовують гідравлічні та механічні змішувачі. У гідравлічних змішувачах змішування відбувається внаслідок зміни напрямку руху і швидкості потоку води. У механічних змішувачах процес перемішування повинен бути рівномірним і повільним, щоб частки при зближенні утворювали пластівці, що не руйнуються при обертанні змішувача. Утворення пластівців у камерах відбувається протягом 10–30 хв.



1 – змішувач для приготування розчину; 2 – дозатор; 3 – змішувач; 4 – камера утворення пластівців; 5 – відстійник, флотатор

Рисунок 3.5 – Схема установки реагентного оброблення стічних вод

3.2.2 Флотаційне очищення стічних вод

Флотація – процес молекулярного прилипання часток матеріалу, що флотується, до поверхні розділу фаз газ–рідина, обумовлений надлишком вільної енергії поверхневих прикордонних шарів, а також поверхневими явищами змочування.

Флотацію застосовують для видалення зі стічних вод нерозчинних дисперсних домішок, які самостійно не ефективно відстоюються, а також для видалення розчинених речовин, наприклад, поверхнево-активних речовин (ПАР). Флотацію застосовують для очищення стічних вод нафтопереробних виробництв, штучного волокна, целюлозно-паперового, шкіряного, харчових, хімічних виробництв. Її використовують також для виділення активного мулу після біохімічного очищення.

Перевагами флотації є безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невисокі капітальні та експлуатаційні витрати, проста апаратура, селективність виділення домішок, значна швидкість процесу, можливість отримання шламу більш низької вологості, висока ступінь очищення (95–98%), можливість рекуперації речовин, що видаляються.

Флотація полягає у наступному: при зближенні бульбашки повітря, що піднімається у воді, з твердою гідрофобною часткою розділяючий їх прошарок води проривається при деякій критичній товщині і відбувається злипання бульбашки з часткою. Потім комплекс «бульбашка–частка» піднімається на поверхню води, де бульбашки збираються і утворюють пінний шар з більш високою концентрацією часток, ніж у вихідній стічній воді (рис. 3.6). При закріпленні бульбашки утворюється трифазовий периметр, що обмежує площу прилипання бульбашки і є межею трьох фаз – твердої, рідкої і газоподібної (рис. 3.7).

Дотична до поверхні бульбашки у точці трифазового периметру і поверхня твердого тіла утворюють звернений у воду кут θ , що називається *крайовим кутом змочування*. Енергія утворення комплексу «бульбашка–частка» дорівнює:

$$A = \sigma(1 - \cos \theta),$$

де σ – поверхневий натяг води на межі з повітрям.

Для часток, що добре змочуються водою, $\theta \rightarrow 0$, а $\cos \theta \rightarrow 1$, міцність прилипання мінімальна, а для незмочуваних частинок – максимальна. Ефект поділу флотацією залежить від розміру і кількості бульбашок повітря. Оптимальний розмір бульбашок дорівнює 15–30 мкм. Розмір часток, які добре флотуються, залежить від густини матеріалу часток і дорівнює 0,2–1,5 мм.

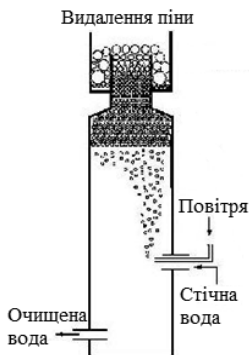
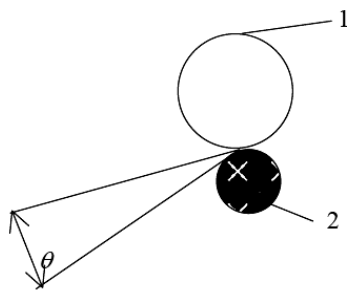


Рисунок 3.6 – Флотаційне очищення води



1 – бульбашка газу; 2 – тверда частка
Рисунок 3.7 – Схема елементарного акту флотації

Розрізняють наступні способи флотаційного оброблення стічних вод: виділенням повітря з розчинів; з механічним диспергуванням повітря; з подаванням повітря через пористі матеріали; електрофлотацію; хімічну флотацію.

3.2.3 Адсорбція домішок стічних вод

Адсорбційні методи широко застосовуються для глибокого очищення стічних вод від розчинених органічних речовин після біохімічного очищення, а також у локальних установках, якщо концентрація цих речовин у воді незначна і вони біологічно не розкладаються або є дуже токсичними. Адсорбцію використовують для очищення стічних вод від фенолів, гербіцидів, пестицидів, ароматичних нітросполук, ПАВ, барвників.

Перевагою методу є висока ефективність, можливість очищення стічних вод, що містять кілька речовин, а також рекуперация цих речовин. Адсорбційне очищення води може бути регенеративне (з вилученням речовини з адсорбенту і його утилізацією) і деструкційне (вилучені з стічних вод речовини знищуються разом з адсорбентом).

Ефективність адсорбційного очищення складає 80–95 % і залежить від хімічної природи адсорбенту, адсорбційної поверхні, хімічної будови вилучення речовини і її стану у розчині. Швидкість процесу адсорбції залежить від концентрації, фізико-хімічної природи і структури розчинених речовин, температури води, типу і властивостей адсорбенту.

У загальному випадку процес адсорбції складається з 3-х стадій:

1) перенесення речовини зі стічної води до поверхні зерен адсорбенту (зовнішньодифузійна область);

- 2) безпосередньо адсорбційний процес;
- 3) перенесення речовини всередині зерен адсорбенту (внутрішньодифузійна область).

Оптимальний процес адсорбції доцільно здійснювати при інтенсивних гідродинамічних режимах, щоб він лімітувався у внутрішньодифузійній області, опір якої можна знизити змінюючи структуру адсорбенту та зменшуючи розміри зерна. Для орієнтовних розрахунків рекомендується приймати значення швидкості 1,8 м/год і діаметр зерна – 2,5 мм. При значеннях нижче зазначених, процес лімітується у зовнішньодифузійній області, при більш високих – у внутрішньодифузійній області.

Процес адсорбційного очищення стічної води здійснюють при інтенсивному перемішуванні адсорбенту з водою, при фільтруванні води через шар адсорбенту або на установках періодичної і безперервної дії.

Процес здійснюють в одну або декілька стадій. *Статична одноступенева* адсорбція застосовується у випадках, коли адсорбент дуже дешевий або є відходом виробництва. При використанні *багатоступеневої* установки процес перебігає при меншій витраті адсорбенту. При цьому на першу ступінь подають стільки адсорбенту, скільки необхідно для зниження концентрації забруднень від C_n до C_1 , потім адсорбент відокремлюють відстоюванням або фільтруванням, а стічну воду направляють на другу ступінь, куди подають свіжий адсорбент. Після закінчення процесу адсорбції на другій ступені концентрація забруднень у воді зменшується від C_1 до C_2 і так далі. Витрату адсорбенту для одноступеневого процесу визначають з рівняння матеріального балансу

$$m = Q \cdot \frac{C_n - C_k}{a},$$

де m – витрата адсорбенту; Q – об'ємна витрата стічних вод; C_n і C_k – початкова і кінцева концентрації забрудненої стічної води; a – коефіцієнт адсорбції.

Витрату адсорбенту на кожну ступінь знаходять за формулою

$$m = \frac{Q}{k \left(\sqrt{\frac{C_n}{C_n} - 1} \right)},$$

а необхідну кількість ступенів визначають наступним чином

$$n = \frac{\lg C_n - \lg C_n}{[\lg(Q + k \cdot m) - \lg Q]}$$

У *динамічних умовах* процес очищення здійснюють при фільтруванні стічної води через шар адсорбенту. Швидкість фільтрування залежить від концентрації розчинених речовин і коливається від 2–4 до 5–6 м³/(м²·год). Адсорбент застосовують у вигляді часток розміром 1,5–5 мм.

Адсорбовані речовини з вугілля вилучають десорбцією за допомогою насиченої або перегрітої водяної пари, або нагрітого інертного газу. Температура перегрітої пари при надлишковому тиску 0,3–0,6 МПа дорівнює 200–300°C, а температура інертних газів 120–140°C. Витрата пари при відгонці легколетких речовини складає 2,5–3,0 кг на 1 кг речовини, для висококиплячих – у 5–10 разів більше. Після десорбції пару конденсують, а речовину вилучають з конденсату.

3.2.4 Іонний обмін у розчинах стічних вод

Іонообмінне очищення застосовується для вилучення зі стічних вод важких металів (цинку, міді, хрому, нікелю, свинцю, ртуті, кадмію, ванадію, марганцю), а також сполук миш'яку, фосфору, ціаністих сполук і радіоактивних речовин. Іонний обмін поширений при знесоленні у процесі водопідготовки (рис. 3.8).

Іонний обмін – це процес взаємодії розчину з твердою фазою, що володіє властивостями обмінювати іони, які містяться у ній, на інші іони, присутні у розчині. Речовини, що становлять цю тверду фазу, називаються *іонітами*. Вони практично не розчиняються у воді. Ті з них, які здатні поглинати з розчинів електролітів позитивні іони, називаються *катіонітами*, а поглинати негативні іони – *аніонітами*.

Катіоніти мають кислотні властивості, а аніоніти – основні властивості. Якщо іоніти обмінюють катіони та аніони, їх називають *амфотерними*.

Поглиняльна здатність іонітів характеризується *обмінною ємністю*, яка визначається числом еквівалент-іонів, що поглинаються одиницею маси або об'єму іоніту. Розрізняють повну, статичну і динамічну обмінні ємності.

Повна ємність – це кількість речовини, що поглинається при повному насиченні одиниці об'єму або маси іоніту.

Статична ємність – це обмінна ємність іоніту у стані рівноваги у даних робочих умовах. Статична обмінна ємність нижче повної.

Динамічна обмінна ємність – це ємність іоніту до моменту «проскоку» іонів у фільтрат, що визначається в умовах фільтрації. Динамічна ємність нижче статичної.

Іоніти поділяються на неорганічні (мінеральні) і органічні.

До *неорганічних природних іонітів* відносяться цеоліти, глинисті мінерали, польові шпати, різні слюди. Їх катіонообмінні властивості обумовлені вмістом алюмосилікатів – $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. До *неорганічних синтетичних іонітів* відносять силікагелі, пермутіти, важкорозчинні оксиди та гідроксиди деяких металів (алюмінію, хрому, цирконію).

Органічні природні іоніти – це гумінові кислоти ґрунтів і вугілля. Вони виявляють слабокислотні властивості. Для посилення кислотних властивостей і обмінної ємності вугілля подрібнюють і сульфують у надлишку олеуму. До *органічних штучних іонітів* відносяться іонообмінні смоли з розвинутою поверхнею. Вони мають найбільше практичне значення для очищення стічних вод.

Термічна стійкість аніонітів нижче, ніж катіонітів. Значення рН стічної води, при якому відбувається обмін іонами, залежить від константи дисоціації

іонообмінних груп смоли. *Сильнокислотні катіоніти* дозволяють здійснювати процес у будь-яких середовищах, а *слабокислотні* – у лужних і нейтральних середовищах. Іоніти при контактуванні з водою не розчиняються, але поглинають певну кількість води і набухають. При цьому розмір мікропор зростає, а об'єм іонітів збільшується у 1,5–3,0 рази. Селективність іонного обміну залежить від величини тиску набухання у порах і від розміру пор іоніту. При незначному розмірі пор великі іони не можуть досягти внутрішніх активних груп. З метою підвищення селективності іонітів до певних металів до складу смоли вводять речовини, здатні утворювати з іонами цих металів внутрішньокмплесні сполуки (хелати).

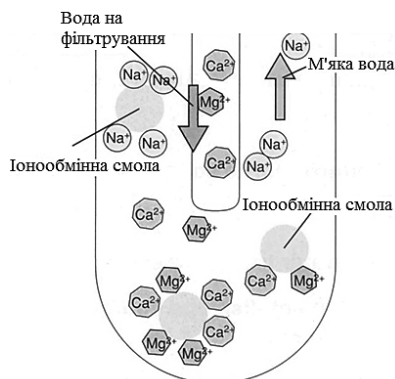
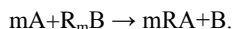


Рисунок 3.8 – Іонообмінна система (знесолення води)

Іонний обмін найчастіше є оборотним процесом. Реакції іонного обміну перебігають внаслідок різниці хімічних потенціалів іонів, що обмінюються. У загальному вигляді ці реакції можна представити так



Реакція перебігає до моменту встановлення іонообмінної рівноваги. Швидкість встановлення рівноваги залежить від зовнішніх і внутрішніх факторів: гідродинамічного режиму рідини; концентрації іонів, що обмінюються; структури зерен іоніту; його проникності для іонів.

Процес перенесення речовини може бути представлений у вигляді наступних стадій:

- перенесення іонів А з ядра потоку рідини до зовнішньої поверхні прикордонної рідкої плівки навколо зерна іоніту;
- дифузія іонів через прикордонний шар;
- перехід іона через межу розділу фаз у зерно смоли;
- дифузія іонів А всередині зерна смоли до іонообмінних функціональних груп;
- хімічна реакція подвійного обміну іонів А і В;
- дифузія іонів всередині зерна іоніту до межі розділу фаз;
- перехід іонів через межу розділу фаз на внутрішню поверхню плівки рідини;
- дифузія іонів через плівку;
- дифузія іонів у ядро потоку рідини.

Швидкість іонного обміну визначається самою повільною з цих стадій – дифузиею у плівці рідини або дифузиею у зерні іоніту.

Катіоніти регенерують 2–8%-ми розчинами кислот. Потім після розпушування і промивання катіоніти заряджаються шляхом пропускання через

них розчину кухонної солі. Відпрацьовані аніоніти регенерують 2–6%-ми розчинами лугів. Аніоніти при цьому переходять в ОН–форму.

3.2.5 Екстракція забруднень стічних вод

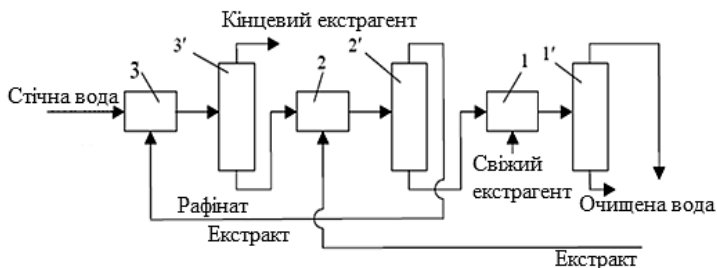
Рідинну екстракцію застосовують для очищення стічних вод, що містять феноли, масла, органічні кислоти, іони металів. Доцільність використання екстракції визначається концентрацією органічних домішок. При концентрації вище 3–4 г/л домішки раціональніше видобувати екстракцією, ніж адсорбцією. При концентрації нижче 1 г/л екстракцію слід застосовувати лише в особливих випадках. Очищення стічних вод цим методом складається з трьох стадій:

1. Змішування стічної води з *екстрагентом* (органічним розчинником). При цьому утворюються дві рідкі фази. Одна фаза – *екстракт* – містить вилучену речовину і екстрагент, інша фаза – *рафінат* – містить стічну воду і екстрагент.

2. Розділення екстракту і рафінату;

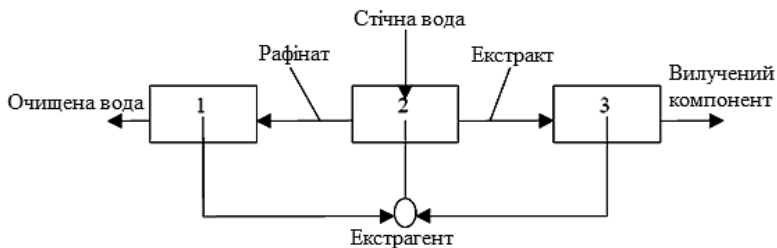
3. Регенерація екстрагенту з екстракту і рафінату.

Для очищення стічних вод найбільш часто застосовують процеси протиточної багатоступеневої екстракції (рис. 3.9) і безперервної протиточної екстракції (рис. 3.10).



1, 2, 3 – змішувачі; 1', 2', 3' – відстійники

Рисунок 3.9 – Схема багатоступеневої протиточної екстракції



1 – система для видалення екстрагенту з рафінату; 2 – колона;

3 – система для видалення екстрагенту з екстракту

Рисунок 3.10 – Схема безперервної протиточної екстракції з регенерацією екстрагенту з екстракту і рафінату

Схема багатоступеневої екстракційної установки являє собою батарею змішувачів і відстійників. Кожна ступінь складається зі змішувача води з екстрагентом і відстійника.

При виборі розчинника слід враховувати його селективність, фізико-хімічні властивості, вартість і можливі способи регенерації. Швидкість подавання екстрагента у стічну воду повинна бути мінімальною. Вона залежить від ступеня очищення і коефіцієнта розподілення, який виражається відношенням розчиненої речовини у екстрагенті та воді.

Регенерація екстрагента може бути здійснена з застосуванням вторинної екстракції – з іншим розчинником, а також випаровуванням, дистиляцією, хімічною взаємодією або осадженням.

3.2.6 Зворотній осмос і ультрафільтрування

Зворотнім осмосом і ультрафільтруванням називають процеси фільтрування розчинів через напівпроникні мембрани, що вибірково пропускають розчинник і повністю або частково затримують молекули розчинених у них речовин, під тиском, що перевищує *осмотичний тиск*.

У основі цих методів лежить явище *осмосу* – мимовільного переходу розчинника (води) у розчин через напівпроникну мембрану.

Тиск π у розчині, що змушує розчинник переходити через мембрану, називають *осмотичним*. Створивши над розчином тиск p_1 , рівний осмотичному, осмос припиняється і встановлюється стан рівноваги. Якщо над розчином створити надлишковий тиск p_2 , що перевищує осмотичний тиск π на величину Δp , то перехід розчинника буде здійснюватися у зворотному напрямку і тоді процес називають *зворотнім осмосом*. Величина осмотичного тиску π (Па) для розчинів визначається згідно рівняння Вант-Гоффа

$$\pi = \beta R T \frac{C}{M},$$

де $\beta = (1 + \alpha)$ – коефіцієнт Вант-Гоффа; α – ступінь дисоціації розчиненої речовини; R – газова стала; T – абсолютна температура розчину, К; c – концентрація розчиненої речовини, г/л; M – молекулярна маса розчиненої речовини, г/моль.

Механізм фільтрування через пористу мембрану пояснюється тим, що пори такої мембрани досить великі, щоб пропускати молекули розчинника, але занадто малі, щоб пропускати молекули розчинених речовин. При зворотному осмосі відокремлюються частки (молекули, гідратовані іони), розміри яких не перевищують розмірів молекул розчинника.

При ультрафільтруванні розмір відокремлюваних часток d_c на порядок більше. У процесі ультрафільтрування мембраною затримуються високомолекулярні речовини, а низькомолекулярні речовини і розчинник вільно проходять через пори мембрани. При зворотному осмосі мембраною затримуються як високомолекулярні речовини, так і більша частина низькомолекулярних речовин, а проходить через пори мембрани майже чистий розчинник.

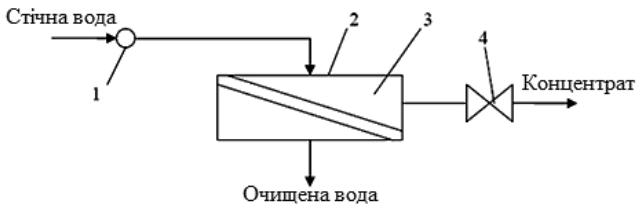
Умовні межі застосування цих процесів наступні:

- зворотній осмос: $d_c = 0,0001\text{--}0,001$ мкм;
- ультрафільтрування: $d_c = 0,001\text{--}0,02$ мкм;
- макрофільтрування: $d_c = 0,02\text{--}10$ мкм.

Тиск, необхідний для проведення процесу зворотного осмосу (6–10 МПа), значно більший, ніж для процесу ультрафільтрування (0,1–0,5 МПа).

Конструкція апаратів для проведення процесів зворотного осмосу і ультрафільтрування повинна забезпечувати значну поверхню мембран на одиниці об'єму, механічну міцність і герметичність (рис. 3.11). За способом укладання мембран апарати поділяються на чотири основні типи:

- 1) фільтр-прес з плоскопаралельними фільтрувальними пристроями;
- 2) з трубчатими фільтрувальними елементами;
- 3) з рулонними або спіральними елементами;
- 4) з мембранами у вигляді порожнистих волокон.



1 – насос; 2 – модуль зворотного осмосу; 3 – мембрана; 4 – випусковий клапан

Рисунок 3.11 – Схема установки зворотного осмосу

3.2.7 Десорбція, дезодорування і дегазація розчинених домішок

При пропусканні повітря або іншого інертного малорозчинного у воді газу (азот, двоокис вуглецю, топкові димові гази) через стічну воду леткий компонент дифундує у газову фазу.

Десорбція обумовлена більш високим парціальним тиском газу над розчином, ніж у навколишньому повітрі. Рівноважний парціальний тиск видаляемого газу знаходять згідно закону Генрі. Кількість речовини M , яка перейшла з рідкої фази у газову, визначають за рівнянням масопередачі

$$M = K_y \cdot F \Delta C_{cp},$$

де K_y – коефіцієнт масопередачі, що дорівнює коефіцієнту масовіддачі у газовій фазі β_y ; F – поверхня контакту фаз; ΔC_{cp} – середня рушійна сила процесу десорбції.

Ступінь видалення легких речовин зі стічних вод збільшується зі зростанням температури газорідної суміші, коефіцієнта масовіддачі і поверхні контакту фаз. Десорбуєма з води речовина направляєтся на адсорбцію або на каталітичне спалювання.

Дезодорування здійснюють для очищення стічних вод з неприємним запахом. Найбільш ефективним вважається метод аерації, який полягає у продуванні повітря через стічну воду. Недолік методу полягає у тому, що деякі

забруднення не видаляються методом аерації і залишаються у стічній воді. Висока ступінь очищення може бути досягнута при використанні рідкофазового окиснення сірчистих речовин киснем повітря під тиском.

Сірководень з води можливо видалити гідроокисом заліза, у лужному і нейтральному середовищі. Більш ефективно відбувається очищення при одночасному введенні у воду озону і двоокису хлору з послідовним фільтруванням води через шар активованого вугілля. Ступінь дезодорації сірководню, метилмеркаптану і диметилсульфиду залежить від їх концентрації у стічній воді і змінюється від 80 до 100%.

Дегазацією видаляють з води розчинені гази. Її здійснюють хімічними, термічними і десорбційними (аераційними) методами. Найбільш повна дегазація досягається при розбризуванні у вакуумі і одночасному підігріванні води.

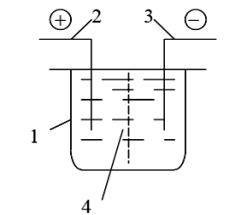
При термічній дегазації води від розчиненого двоокису вуглецю або кисню пару пропускають через воду і нагрівають її до температури кипіння при зовнішньому тиску. У цьому випадку парціальний тиск газу над водою знижується до нуля і розчинність його також знижується до нуля. Внаслідок порушення рівноваги у системі відбувається виділення надлишкових газів з води (фізична десорбція). Для інтенсивної дегазації необхідно, щоб вода безперервно контактувала з новими порціями пари при значній поверхні контакту фаз протягом достатнього часу. Температура води повинна бути близька до температури насиченої пари при даному тиску.

Аміак зі стічних вод видаляють продуванням водяною парю або повітрям. Швидкість переходу газоподібного аміаку з води у атмосферу залежить від поверхневого натягання на межі повітря–вода і від різниці концентрацій аміаку у воді і повітрі. Для видалення кисню з води, її фільтрують через легкоокиснювальні сталеві стружки.

3.2.8 Електрохімічні методи очищення стічних вод

Для очищення стічних вод від розчинених і диспергованих домішок застосовуються процеси анодного окиснення і катодного відновлення, електрокоагуляції, електрофлокуляції і електродіалізу. Всі ці процеси перебігають на електродах при проходженні через стічну воду постійного електричного струму (рис. 3.12).

Електрохімічні методи дозволяють вилучати зі стічних вод цінні продукти за відносно простою технологічною схемою очищення, без використання хімічних реагентів. Основним недоліком цих методів є значна витрата електроенергії. Очищення стічних вод електрохімічними методами можна здійснювати періодично або безперервно. У процесах електрохімічного окиснення речовини, що знаходяться у стічних водах, повністю розпадаються з утворенням CO_2 , NH_3 та води або утворюються більш прості і нетоксичні речовини, які можна видаляти іншими методами. У якості анодів використовують електрохімічно нерозчинні



1 – корпус; 2 – анод;
3 – катод; 4 – діафрагма
Рисунок 3.12 – Схема електролізера

матеріали: графіт, магнетит, двоокис свинцю, марганцю та рутенію, які наносять на титанову основу. Катоди виготовляють з молібдену, сплаву вольфраму з залізом або нікелем, з графіту, нержавіючої сталі та інших металів, вкритих молібденом, вольфрамом або їх сплавами.

3.3 Плазмохімічне очищення стічних вод

З точки зору сьогодення перспективними та інноваційними є розробки з використанням наукових та практичних досягнень хімії високих енергій, а саме плазмохімічних процесів. Їх особливістю є компактність технологічного обладнання та висока продуктивність у поєднанні з високою якістю кінцевих продуктів.

Плазма – це частково або повністю іонізований стан речовини, при якому система містить вільні позитивні (іони) і негативні (електрони, рідше іони) заряджені частки, концентрації яких у середньому однакові. Присутність заряджених і збуджених часток у плазмі, реакції з ними є однією з головних особливостей механізмів і кінетики плазмохімічних реакцій.

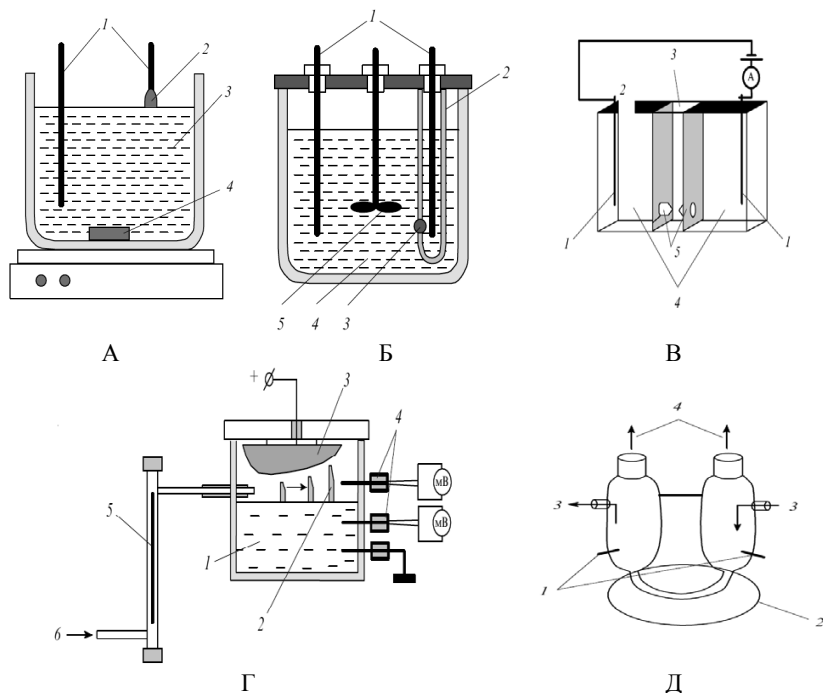
Розрізняють – повністю іонізовану плазму і частково іонізовану плазму, рівноважну і нерівноважну, високотемпературну і низькотемпературну, гарячу і холодну. У плазмі, що складається з різноманітних часток з різною швидкістю теплового руху, розрізняють температури електронів, іонів і нейтральних часток, атомів, молекул і кластерів. Оскільки енергія теплового руху часток значно залежить від їх маси, то у плазмі найбільше відрізняються електронна та іонна температури. Температура іонів і нейтральних часток відрізняється мало. Ступінь різниці температур залежить від густини цих часток, тобто від тиску у системі. У розрядженій плазмі, у якій зіткнення бувають рідко, існують довгий час стани, далекі від рівноважних. У більш щільній плазмі зіткнення призводять до вирівнювання температур, тобто плазма стає рівноважною.

Взаємодія газового розряду з розчинами може бути здійснена декількома способами:

- контактуючим з рідиною розрядом між розташованими у газовій фазі електродами;

- розрядом, у якому роль одного або обох електродів виконує розчин електроліту.

Процеси у системах першого типу подібні звичайним гетерогенним плазмохімічним процесам, коли активні частки, що генеруються у плазмі дифундують до межі розподілу фаз та ініціюють хімічні перетворення у розчині. У системах другого типу струм розряду проходить через електроліт, що суттєво змінює властивості границі розділення фаз плазма–рідина. При цьому плазма може утворюватись у вихідному плазмоутворюючому газі, що містить пару розчинника або в оболонці пари, яка утворюється у середині рідкої фази. Можливі конфігурації плазмово-рідинних системи (ПРС), що розрізняються роллю металевих та електролітних електродів (рис. 3.13). В дужках наведено порядок чергування межі розділу фаз між металом (М), плазмою (П) та розчином електроліту (Е).



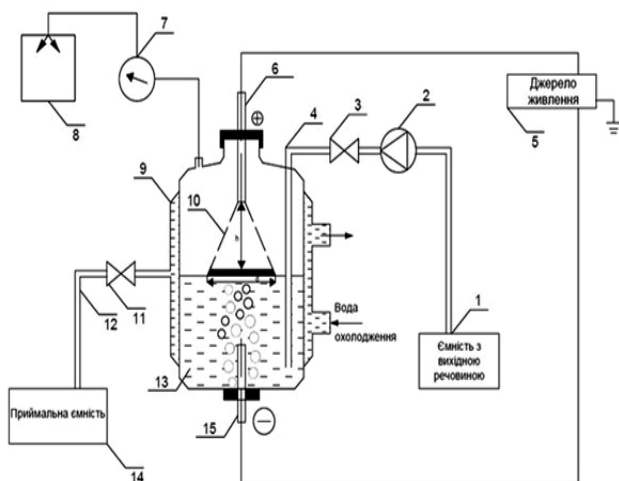
А – комірка для тліючого розряду (М-Е-П-М): 1 – електроди, 2 – зона плазми, 3 – електроліт, 4 – магнітна мішалка; Б – комірка для діафрагменного розряду (М-Е-П-Е-М): 1 – електроди, 2 – кварцова ампула, 3 – діафрагма (зона плазми), 4 – електроліт, 5 – магнітна мішалка; В – комірка для ковзного розряду (М-Е-П-М): 1 – розчин, 2 – розряд, 3 – профільний електрод (анод), 4 – електроліт, 5 – магнітна мішалка; Г – комірка для діафрагменного розряду з буферними камерами (М-Е-П-Е-М): 1 – електроди, 2 – зона плазми, 3 – активна зона, 4 – буферні камери, 5 – кварцові ампули з діафрагмами; 6 – подавання газу; Д – комірка для ініціації об’ємного розряду у трубці з розчином (М-Е-П-Е-П-Е-М): 1 – електроди, 2 – зона горіння розряду, 3 – циркуляція розчину електроліту, 4 – до зворотного холодильника.

Рисунок 3.13 – Конфігурації розрядних комірок

Ознакою, що відрізняє плазово-рідинну систему від класичної електрохімічної, є утворення однієї або двох міжфазових меж плазма-розчин. Плазмові утворення у цих системах можуть не мати прямого контакту ні з металевими електродами, ні з зовнішньою атмосферою. Найбільш простою та детально дослідженою плазово-рідинною системою є тліючий розряд, у якому одним з електродів, частіше за все катодом, слугує розчин електроліту. Особливо виділяють ПРС, у яких, плазма утворюється всередині розчину, має достатньо великий об’єм, що дозволяє обробляти матеріали, комбінуючи вплив плазми та активованого плазмою розчина. На сьогодні розроблено установки для формування плазових, тліючих, бар’єрних та електролітичних розрядів, як на поверхні, так і у середині розчину для оброблення води та водних розчинів.

Застосування низькотемпературного плазмового розряду дозволяє підійти до проблеми очищення води комплексно. Так, при застосуванні цього методу в оброблюваних водах відбуваються процеси, що призводять до руйнування у них будь-яких органічних сполук, у тому числі поверхнево-активних речовин і галогенвмісних органічних сполук, бактеріальних забруднень. Присутні в оброблюваних водах іони важких металів і радіонукліди переводяться у нерозчинні сполуки, які потім агрегуються, адсорбуються на присутніх у воді твердих зважених частках і можуть бути згодом видалені на стадії фільтрування. Слід зазначити, що вода у процесі оброблення її плазмовим розрядом отримує яскраво виражені бактерицидні властивості, що носять пролонгований характер, і зберігаються кілька днів.

Сутність способу утворення контактної нерівноважної низькотемпературної плазми полягає у тому, що один електрод у реакторі знаходиться у рідкій фазі, а інший розташований на деякій відстані від поверхні розчина, що призводить до нових можливостей плазмового оброблення (рис. 3.14).



- 1 – ємність з вихідним розчином; 2 – насос; 3 – запірний вентиль; 4 – вхідний патрубок;
 5 – джерело живлення; 6 – анод; 7 – вакуум-метр; 8 – вакуумний насос; 9 – газорідний реактор з охолодженням; 10 – конус плазмового розряду; 11 – запірний вентиль;
 12 – патрубок; 13 – розчин; 14 – приймальня ємність; 15 – катод

Рисунок 3.14 – Схема трьохдугової плазмохімічної установки

Реакції, що відбуваються, призводять до ланцюгового механізму розкладання води та утворення пероксидних і надпероксидних сполук.

3.3.1 Плазмохімічне оброблення питної води

Під дією контактної нерівноважної плазми магістральна питна вода набуває ряду властивостей. Відтак, у ній у процесі її оброблення

впродовж $6 \cdot 10^3 - 1,8 \cdot 10^4$ с водневий показник (рН) підвищується до екстремальних значень 10,5–11,0 і при подальшому збільшенні тривалості оброблення поступово знижується, наближаючись до значень 2,8–3,0. При цьому має місце накопичення у її складі пероксиду водню у кількості від 100 до 700 мг/л. Окрім H_2O_2 у плазмохімічно обробленій воді містяться сполуки з підвищеними окисними властивостями, частина з яких містить кисень в активній формі. Після оброблення води плазмою змінюється її густина і динамічна в'язкість. Це пов'язано зі структуруванням води через зміни складу середовища. Домішки, що містяться у воді і здатні утворювати тверді нерозчинні сполуки, випадають в осад, що викликає деяке зниження в'язкості середовища, однак потім в'язкість збільшується за рахунок утворення пероксиду водню та надпероксидних сполук. Електропровідність, яка пов'язана з кількістю заряджених часток у рідині, для активованої магістральної води збільшується.

Плазмохімічно оброблена хімічно чиста вода здатна зберігати свої властивості впродовж тривалого часу. Її тестування показало, що зміна концентрації пероксидних сполук не перевищувала 12% від їх початкової концентрації після 90 діб з моменту її обробки. Така активована вода зберігає свої властивості після кипіння у порівнянні з синтетично виготовленим розчином пероксиду водню. Застосування плазмохімічного метода дозволяє ефективно очищувати воду від ряду органічних та неорганічних сполук (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристика якості питної води за сольовим складом та вмісту органічних сполук

Показник	Вихідна концентрація	Після оброблення
Жорсткість мг-екв/дм ³	1,9	2,8
Лужність, мг-екв/дм ³	3,9	2,9
<i>Вміст, мг/дм³</i>		
Сухий залишок	256,0	218,0
Загальний вміст солі	364,1	306,6
Кальцій	28,5	25,7
Магній	8,2	6,5
Натрій	21,7	22,7
калій	4,8	4,7
бікарбонати	234,9	176,9
Хлориди	50,4	47,1
сульфати	16,3	23,1
аміак	1,06	0,83
нітрити	1,155	,19
нітрати	2,48	2,5
вуглець загальний	22,5	7,0
органічний вуглець	19,5	6,5
неорганічний вуглець	3,0	0,5
феноли	0,011	0,005
Сума ГВС (хлороформ), мкг/дм ³	103,0	8,0

Після оброблення води, у порівнянні з контрольною, відмічається зниження концентрації «солей жорсткості» (кальцію та магнію). При вмісті у

вихідній воді близько 364 мг/дм³, їх кількість в обробленій воді знижується приблизно до 307 мг/дм³ та відповідає оптимальному регламенту для питної води гідрокарбонатного класу (250–500 мг/дм³). Оброблення води КНП призводить до зниження концентрації азотовмісних сполук – вміст амонійного азоту в обробленій воді зменшується на 22%. Окиснюваність згідно перманганату, що характеризує вміст легкоокисних сполук, після впливу КНП збільшується, що, пов'язане з процесами окиснення органічних сполук та переходом їх у легкоокисні форми. У той самий час сумарна кількість органічних сполук при обробленні розрядом КНП знижується в середньому на 60% у відношенні до початкового рівня. Згідно ступеню забруднення галовмісними сполуками (ГВС), що утворюються при хлоруванні води, метод має високу ефективність. Концентрація ГВС знижується у середньому в 4 рази та не перевищує гігієнічного регламенту.

Застосування методу низькотемпературного оброблення плазмою для забрудненої води дозволяє знизити концентрацію важких металів у воді з низьким рівнем забрудненості (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Концентрація металів в питній воді з різним рівнем забруднення до та після обробки КНП

Метал	До оброблення	Після оброблення	Ступінь очищення	До оброблення	Після оброблення	Ступінь очищення
Алюміній	0,100	0,100	0	1,850	0,210	88,6
Барій	0,100	0,100	0	0,320	0,290	9,4
Ванадій	0,070	0,040	42,9	0,060	0,050	3,0
Залізо	0,160	0,150	6,2	0,720	0,170	76,4
Кадмій	0,001	0,001	0	0,002	0,001	50,0
Кобальт	0,040	0,030	25,0	0,140	0,020	85,7
Літій	0,007	0,007	0	0,007	0,007	0
Марганець	0,047	0,017	63,8	0,150	0,046	69,3
Мідь	0,012	0,002	83	1,070	0,040	96,3
Молібден	0,070	0,040	42,9	0,910	0,880	3,3
Нікель	0,030	0,030	0	0,130	0,010	92,2
Свинець	0,010	0,010	0	0,050	0,010	80,4
Стронцій	0,480	0,480	0	0,480	0,430	11,1
Хром	0,060	0,060	0	0,090	0,080	95,0
Цинк	0,100	0,100	0	3,760	0,190	0
Кальцій	46,300	45,600	1,5	45,800	45,800	26,0
Магній	7,000	6,180	11,7	7,010	5,190	0
Калій	2,200	2,200	0	2,00	2,000	5,6

Концентрація лужних та лужноземельних елементів у воді незначна. На 12% знижується вміст магнію, практично не змінюється вміст кальцію, калію та натрію. Найбільш ефективно метод очищає воду від, %: цинку – на 95 міді – 70, марганцю – 64, заліза – до 86, алюмінію – до 89, кобальту і нікелю – до 58, свинцю – до 60, кадмію – до 50. Істотно нижче ступінь очищення питної води від хрому і стронцію – до 10%, а також молібдену і барію – до 3%.

Застосування методу низькотемпературного оброблення плазмою дозволяє також ефективно знизити концентрацію важких металів у забрудненій річкової воді (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Концентрація металів у забрудненій річковій воді до та після оброблення КНП

Метал	До оброблення	Після оброблення	Ступінь очищення
Алюміній	1,9000	0,460	75,7
Барій	0,500	0,330	34,0
Ванадій	0,100	0,090	10,0
Залізо	1,370	0,230	83,2
Кадмій	0,004	0,001	75,0
Кобальт	0,510	0,020	96,1
Літій	0,008	0,008	0
Марганець	0,210	0,049	76,6
Мідь	1,380	0,006	99,6
Молібден	0,340	0,010	97,1
Нікель	1,540	1,390	9,7
Свинець	0,040	0,010	75,0
Стронцій	0,550	0,55	0
Хром	0,250	0,200	20,0
Цинк	10,100	0,140	98,6
Кальцій	49,900	49,000	19
Магній	7,95	5,960	25,0
Калій	3,700	3,700	0
Натрій	4,700	4,700	0

3.3.2 Плазмохімічне знезараження питної води

Ефективність дезінфекції залежить від здатності антимікробного агенту взаємодіяти з мікроорганізмом і від міри ушкодження, що викликана ним. На характер взаємодії і міру ушкодження впливає багато чинників, як то структура і концентрація антимікробного агенту, тривалість контакту, доступність, рецептура, число і тип мікроорганізмів. Антимікробний агент має бути присутнім у концентрації, достатній для знищення необхідної кількості мікроорганізмів.

Перексид водню – один з відомих антимікробних агентів. Нижче показана антимікробна ефективність перексиду водню при застосуванні його у концентраціях від 3 до 0,1% (табл. 3.4). Показник D вимірюється часом, необхідним для дезінфекції, який знижується при збільшенні концентрації перексиду водню. Більш високі величини D означають знижену антимікробну активність.

Таблиця 3.4 – Значення показника D (хв)

Мікроорганізм	Перексид водню		
	3% (2 г/л)	1% (1 г/л)	0,1% (100 мг/л)
<i>Escherichia coli</i>	1	3	11
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<1	1	13
<i>Bacillus subtilis</i>	5	11	35
<i>Candida albicans</i>	17	54	216
<i>Aspergillus fumigatus</i>	10	38	360

Озонування. При озонуванні води озон руйнує окисно-відновну систему бактерій та їх цитоплазму, на відміну від перексиду водню та активованої води,

які впливають тільки на ферменти мікробної клітини. Цим і пояснюється ефективніша дія озону у порівнянні з пероксидом водню.

Ультрафіолетове випромінювання. Знезаражувальний ефект ультрафіолетового випромінювання обумовлений фотохімічними реакціями, в результаті яких відбуваються безповоротні ушкодження ДНК. Також ультрафіолет діє і на інші структури мікроорганізмів, зокрема, на РНК і клітинні мембрани, що викликає, зрештою, загибель мікроорганізму. Ультрафіолетові промені, впливаючи на білкові колоїди цитоплазми клітин, змінюють їх структуру і дисперсність, що і призводить до загибелі самої клітини. При довжині хвиль ультрафіолетового випромінювання 200–315 нм усі види бактерій гинуть вже з перших секунд опромінення. Найбільшу бактерицидну дію має електромагнітне випромінювання при довжині хвилі 240–280 нм. Добуток інтенсивності УФ-випромінювання ($\text{мВт/м}^2 \cdot \text{с}$) називають дозою опромінення (мДж/см^2) вона і є мірою бактерицидної енергії, що підводиться до мікроорганізму. У світовій практиці вимоги до мінімальної дози опромінення варіюються від 16 до 40 мДж/см^2 .

Під час плазмохімічного оброблення вода піддається впливу ультрафіолетового випромінювання, електролізу, гідравлічному удару, імпульсному розряду, дії озону та атомарного кисню, що відбувається під час однієї технологічної операції, на відміну від існуючих комбінованих методів оброблення води.

Пероксид водню, що міститься у плазмохімічно обробленій воді, є антисептичним агентом. Він викликає деструкцію клітинної стінки і цитоплазматичної мембрани, а також пероксидне окислення ліпідів. Бактерицидна активність пероксиду водню та активованої води у першу чергу пов'язана з їх високою окисною здатністю, а також з дією токсичних продуктів, що утворюються при пероксидному окисленні ліпідів. Саме це явище впливає на білки рибосом, викликаючи їх руйнування. Руйнуванню структури мембран сприяють також і утворені надперокси.

Спори мікроорганізмів стійкіші до пероксиду водню, а, отже, стійкіші і до активованої води. Для деяких видів бактерій, здатних утворювати спори, застосування активованої води не завжди ефективне, навіть за наявності у ній високих концентрацій пероксиду водню.

При високих рівнях забруднення води 10^3 БОЕ/мл. дія контактної плазми протягом 1 хв. призводить до зниження концентрації коліфага більш, ніж на один порядок. При подальшому збільшенні часу дії до 3–5 хв. концентрація коліфага знижується у меншій мірі і складає у загальному приблизно 2 порядки. Таким чином, максимальна інактивація коліфага (при початковій концентрації 10^3 БОЕ/мл) спостерігається при 5 хв дії контактної плазми, а після 10 хв. дії коліфаги в воді не визначається. Максимальна загибель коліфагів (приблизно на 1,5 порядки) відзначається протягом першої хвилини дії контактної плазми. Інактивація коліфагів у залежності від їх вихідної концентрації в водопровідній воді представлена в табл. 3.5.

Вірус поліомієліту, що міститься в питній воді на рівні тисяч віріонів в 1 мл, інактивується на 45,1% після 1 хв. плазмового оброблення і на 99,9% після дії контактної плазми протягом 3 хв. Повна інактивація вірусу спостерігалася

після дії контактної плазми 5 хв. при вмісті вірусу у питній воді на рівні сотень БОЕ/мл, після її оброблення 1 хв. він інактивується на 38,1% і не визначається у пробах води після плазмового оброблення протягом 3 хв.

Таблиця 3.5 – Інактивація колифагів у водопровідній воді у залежності від тривалості дії контактної нерівноважної низькотемпературної плазми

τ, хв.	БОЕ/мл	Інактивація, %
Контроль	$1,2 \cdot 10^4$	
1,0	$5,0 \cdot 10^2$	95,71
3,0	$1,7 \cdot 10^2$	98,53
5,0	64	99,41
10,0	8,8	99,92
Контроль	$1,2 \cdot 10^2$	
1,0	46	61,67
3,0	0,4	99,66
5,0	0	100,0
10,0	0	100,0
Контроль	64	
1,0	37	42,46
3,0	4,1	93,60
5,0	1,0	93,44
10,0	0	100,0

Результати вивчення ефективності знезараження води, що містить кишкову паличку, наведені у табл. 3.6. Повне знезараження води досягається при оброблення її контактної плазмою протягом перших 5 хв.

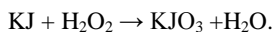
Таблиця 3.6 – Знезараження води, що містить кишкову паличку, під дією контактної плазми

τ оброблення	Колі-індекс вихідної води, мікр. кл./л	Колі-індекс обробленої води, мікр. кл./л	
		Без внесення нейтралізатора	З внесенням нейтралізатора
–		–	–
1,0	$(8,7+0,5) \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^4$	$9,3 \cdot 10^4$
3,0		<33	$3,3 \cdot 10^4$
5,0		<33	99
7,0		<33	<33
–		–	–
1,0	$(6,2+2,5) \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^2$	$7,1 \cdot 10^2$
3,0		<33	$1,8 \cdot 10^2$
5,0		<33	63
7,0		<33	<33

Слід зазначити аналогічну пригнічуючу здатність оброблених контактною нерівноважною плазмою розчинів відносно *Cornebacterium diptheriae gravis*, що має особливе значення для епідеміологічної практики. Величина зон затримки зростання у цьому випадку лежить у межах від 15 до 20 мм, вказуючи на чутливість цього виду мікроорганізмів до плазмохімічно активованих розчинів.

До відомих дезінфікуючих препаратів належать водні розчини йодиду калію. Цікавим є вивчення антибактеріальної здатності водного розчину, в

основі якого лежить активована під дією контактної нерівноважної низькотемпературної плазми вода з додаванням йодиду калію. Передбачається, що після оброблення таких розчинів можливе утворення відразу декількох хімічно активних сполук, таких як пероксид водню і його похідних, а також йодат калію, здатних забезпечити ефективне знезараження різного виду мікроорганізмів



Маючи високі антибактеріальні властивості водний розчин KJO_3 у поєднанні з H_2O_2 , що утворюються у водному розчині під дією плазми, може бути ефективним дезінфектантом для широкого застосування у санітарно-гігієнічній, медико-біологічній та інших областях санітарії. Оскільки відомі нині антисептики і дезінфікуючі розчини є дорогими препаратами, вимагають набагато більших матеріальних витрат, ніж приготування активованого розчину KJ .

Про бактерицидні властивості металевго срібла відомо з незапам'ятних часів. Інтерес до срібних наночастинок був обумовлений можливістю їх використання у якості антибактеріальних агентів місцевого застосування. Препарати (типу колларгола) на основі колоїдного срібла, запропоновані в 1897 році німецьким хірургом Б. Кредо, високо зарекомендували себе у медицині і використовуються досі. У незначних концентраціях наночастки срібла безпечні для клітин ссавців, але згубні для більшості бактерій і вірусів, тому набули поширення для знезараження води та їжі у побуті і у боротьбі з інфекціями при лікуванні людей. Бактерицидні властивості металевго срібла пов'язані з його повільним окислюванням і вивільненням іонів Ag^+ у навколишнє середовище. Наночастки срібла характеризуються високою антибактеріальною ефективністю завдяки своїй розвиненій поверхні, що забезпечує максимальний контакт з навколишнім середовищем. Крім того, вони досить малі і здатні проникати крізь клітинні мембрани, впливати на внутрішньоклітинні процеси зсередини.

Колоїдне наносрібло – продукт, що складається з наночастинок срібла, зважених у воді, що містить стабілізатор колоїдної системи. Застосування контактної нерівноважної низькотемпературної плазми дозволяє одержувати наночастки срібла з водних розчинів прекурсорю. Отримані колоїдні розчини характеризуються вираженими антибактеріальними властивостями.

В табл. 1 наведено дані антагоністичної дії колоїдних розчинів наночастинок срібла різної концентрації, отриманих плазмохімічним способом, проти кишкової палички (*E.coli*) (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Антагоністична дія плазмохімічно оброблених розчинів $AgNO_3$ та $AgCl$

Концентрація, г/л	Затримання зростання, %	
	$AgNO_3$	$AgCl$
0,085	18 (± 5)	6 (± 4)
0,2	31 (± 6)	24 (± 5)
0,5	57 (± 8)	36 (± 6)

Встановлено, що наночастки срібла обох прекурсорів інгібують ріст кишкової палички *E.coli* за різних концентрацій. Проте слід зазначити, що за однакових умов плазмохімічного одержання наночастинок срібла з водних розчинів прекурсорів інгібуюча дія часток, отриманих з прекурсорів AgNO_3 є вища майже у два рази і становить 18–57%.

3.3.3 Плазмохімічне очищення стічних вод різного складу

При обробленні води катіони розчинених металів згідно закону електрохімії рухаються до протилежно зарядженого електроду, вчасності до катода, при цьому у прикатодній області відбувається концентрування катіонів та завдяки присутності гідроксильних іонів проходить незворотна реакція з утворенням нової фази. Катіони всіх металів, без винятку, спрямовуються до катода, але не всі з них здатні утворювати нерозчинні гідроксиди. Утворення нерозчинних гідроксидів характерно лише для наступних катіонів: As^{3+} , Ag^+ , Al^{3+} , Am^{3+} , Am^{4+} , Au^{3+} , Be^{2+} , Bi^{3+} , Cd^{2+} , Ce^{3+} , Ce^{4+} , Co^{2+} , Co^{3+} , Cr^{2+} , Cr^{3+} , Cu^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ga^{3+} , Ge^{4+} , Hg^+ , Hg^{2+} , In^{3+} , Ir^{3+} , Ir^{4+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mo^{4+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Pb^{4+} , Pd^{4+} , Pt^{2+} , Pt^{4+} , Pu^{3+} , Pu^{4+} , Rh^{3+} , Ru^{3+} , Sb^{3+} , Sc^{3+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} , Th^{4+} , Te^{4+} , Ti^{4+} , Tl^{3+} , U^{3+} , U^{4+} , W^{4+} , Y^{3+} , Zn^{2+} , Zr^{4+} .

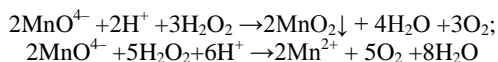
Даний перелік металів прогнозує очищення від домішок. Як правило всі зазначені метали здатні легко переходити у тверду фазу. Разом з тим, осадження твердих часток може відбуватися лише при визначених значеннях рН. Цю величину для кожного конкретного металу можна розрахувати за формулою

$$\text{pH} = \text{SQR}(n)(\text{PP}/\{\text{Me}\}),$$

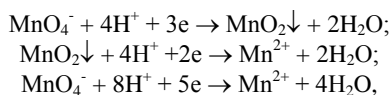
де n – заряд іона металу; PP – добуток розчинності, гідроксиду металу що осаджується, довідкова величина; $\{\text{Me}\}$ – концентрація іона, що визначається, моль/л.

Плазмохімічний спосіб очищення є ефективним для очищення води та водних розчинів, що містять сполуки марганцю, які знаходяться у різних ступенях окиснення. Схематично процес відновлення марганцю у розчині під дією КНП можна представити наступним чином: для розчинів з початковим вмістом $3,7 \cdot 10^{-5} - 5,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л $\text{Mn(VII)} \rightarrow \text{Mn(II)}$; для розчинів з початковим вмістом $1,7 \cdot 10^{-4} - 3,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л $\text{Mn(VII)} \rightarrow \text{Mn(IV)} \rightarrow \text{Mn(II)}$.

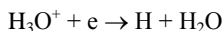
У рідкій фазі можливі наступні реакції



На твердому електроді



а також



або



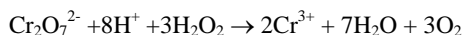
Оптимальними умовами для утворення осаду є $P=2,5 \cdot 10^4$ Па, $I= 15$ мА; а для послідуочого його розчинення $P=2,5 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^4$ Па, $I= 25 - 40$ мА.

Плазмохімічний спосіб очищення є ефективним для розчинів біхромату і хромату калію, а також хромокалієвих квасців з концентраціями згідно хрому від $2,37 \cdot 10^{-4}$ до $7,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

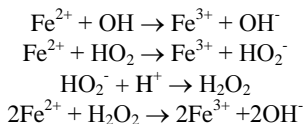
Відновлення хрому може відбуватися як за рахунок електрохімічної реакції на електроді



так і за рахунок хімічної реакції з пероксидом водню в оброблюваному розчині

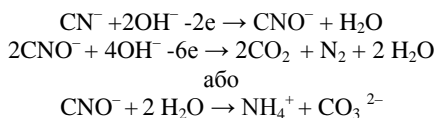


Перетворення Fe^{2+} у Fe^{3+} без утворення твердої фази здійснюється при $\text{pH} < 1,6$. При підвищенні початкового pH розчину вище значення 1,6 і зі збільшенням часу оброблення спостерігається утворення осаду гідроксиду Fe (III). Утворені за рахунок іонізації плазмою води частки здатні окислювати Fe^{2+} у Fe^{3+} у результаті, таких реакцій



При обробленні розчинів сульфату заліза (III) зміна ступеня окиснення заліза не спостерігається; відбувається тільки утворення пероксиду водню.

Висока ефективність методу оброблення розчинів при нейтралізації комплексних ціанідних сполук важких металів пов'язана з тим, що при обробленні стічних вод КНП, разом з гетерофазними процесами електрохімічної деструкції ціанідних сполук, можливі і гомогенні процеси реакцій радикалів середовища. У зв'язку з чим, метод є ефективним у тих випадках, коли інші методи не дозволяють отримати високого ступеня очищення. Розглянемо відновлення ціанвмістних стічних вод на прикладі диціана купруму $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$ під час впливу на них контактної нерівноважної низькотемпературної плазми. При класичному електролізі відбуваються наступні перетворення



При дії КНП ціан група руйнується за тим самим же механізмом, але у більшому ступені.

Аналіз літературних даних дозволяє представити в узагальненому вигляді основні методи очищення радіоактивних вод:

1. Передфільтрація (видалення зважених речовин): наливна фільтрація; електромагнітна фільтрація; сепарація у полі дії відцентрових сил.
2. Пряме осадження (переведення в осад колоїдно-дисперсних домішок): пряме осадження; адсорбція на утворюваному осаді (коагулянт).
3. Флотація: флотація осадів; пінна флотація.
4. Сорбція та іонний обмін: органічні іоніти; неорганічні сорбенти; глинисті мінерали.
5. Дистиляція: випаровування.
6. Електрокоагуляція: електрофорез; електролітична коагуляція; електрохімічна коагуляція.
7. Електродіаліз: гомогенні мембрани; гетерогенні мембрани; інтерполімерні мембрани.
8. Зворотний осмос (ультрафільтрування): напівпроникні мембрани.

Кожен з перерахованих методів має свої переваги і недоліки. Для реагентних методів, сутність яких полягає у переведенні розчинних радіоактивних елементів у нерозчинні при додаванні різних реагентів з наступним відділенням утворених осадів від розчинника, недоліком є безповоротна втрата цінних компонентів з осадом, тривалість регенерації і виділення кінцевих продуктів, а також неможливість повторного використання очищеної рідини у технологічному циклі внаслідок її забруднення використаними для очищення реагентами. Для електрохімічних методів переведення розчинених у рідких середовищах радіоактивних елементів у нерозчинні з урахуванням широкого спектра комбінацій застосування електричного струму, недоліками є неповнота вилучення радіоактивних компонентів при високих енергетичних витратах, що особливо характерно для розбавлених і сільноразбавлених розчинів.

Застосування плазмохімічного способу очищення дозволяє досягти високої ефективності в області концентрування і вилучення з розчинів з різною активністю синтетичних і природних радіонуклідів з прийнятним рівнем енергетичних витрат. Основним параметром, що забезпечує глибоке вилучення радіоактивних компонентів з водних розчинів, є сила струму у зоні дії нерівноважної плазми. Переносниками струму у розчинах слугують іони. Але так як абсолютні швидкості руху іонів і катіонів у цьому розчині неоднакові, то більшу частку струму переносять швидші іони. Отже зі збільшенням струму лінійно зростає ступінь вилучення з розчинів важких радіонуклідів. Збільшення струму можливе до 150–200 мА. Подальше його підвищення призводить до виникнення дугового розряду і, як наслідок, зниження ефективності процесу.

Особливістю стічних вод гальванічних і травильних виробництв є те, що поряд з іонами полівалентних (важких) металів, у них містяться у значних кількостях супутні мінеральні та органічні компоненти. Вони різноманітні, у більшості випадків токсичні, практично не руйнуються біохімічними та іншими методами і, крім того, істотно ускладнюють вилучення металів. Все ускладнюється ще і тим, що постійне розширення і оновлення асортименту продукції, яка випускається призводить до того, що відбувається постійна зміна складу стічних вод. Основним параметром, що забезпечує глибоке осадження полівалентних металів у результаті плазмового оброблення їх водних розчинів, є сила струму і величина анодної напруги. Основними факторами, що впливають на цю величину, є тиск (P) у системі (збільшення останнього викликає збільшення напруги на аноді) і відстань (h) між електродом у газовій фазі і поверхнею рідини (при її збільшенні збільшується площа взаємодії плазми і поверхні рідини і змінюється напруга на аноді). При введенні ряду органічних добавок (сечовини, тіосечовини, оцтової кислоти, спиртів, кетонів, альдегідів та ін.) у воду, відбуваються структурні зміни, що впливають на процес взаємодії розчинених іонів з найближчими молекулами і на їх міграційні властивості.

Застосування плазмохімічного способу очищення дозволяє досягти високої ефективності при обробленні розчинів, що одночасно містять сполуки міді, нікелю та цинку.

Показниками найбільш розповсюджених органічних забруднювачів є феноли, канцерогени та галогенвмісні сполуки. Під дією КНП відбувається зниження вмісту фенолу майже у 2 рази. Ефективність очищення висока, проте вміст фенолів в отриманих водах перевищує ГДК (ГДК – 0,001 мг/дм³) при початковому рівні 10ГДК. Аналогічна закономірність характерна і для бензопірену. Під дією КНП відбувається зниження концентрації бензопірену (на 35%), і його вміст у воді не перевищує норм ГДК. Найбільша ефективність очищення характерна для галогенвмісних сполук, що утворюються у воді при обробленні її хлором на станціях водопідготовки та є токсичними для людини. В процесі оброблення води плазмовим розрядом спостерігається зниження концентрації галогенвмісних сполук на 78%. При цьому їх кількість знаходиться у межах гігієнічного нормативу (30 мкг/дм³).

3.4 Хімічні методи очищення стічних вод

Хімічні методи очищення застосовують для видалення розчинних речовин у замкнутих системах водопостачання. Хімічне очищення проводять іноді як попереднє перед біологічним очищенням або після нього як метод доочищення стічних вод.

3.3.1 Нейтралізація стічних вод

Стічні води, що містять мінеральні кислоти або луги, перед скиданням у водойми або перед використанням у технологічних процесах нейтралізують. Практично нейтральними вважаються води, що мають рН=6,5–8,5. Нейтралізацію можна здійснювати різними шляхами: змішуванням кислих та

лужних стічних вод, додаванням реагентів, фільтруванням кислих вод через нейтралізуючі матеріали, абсорбцією кислих газів лужними водами або абсорбцією аміаку кислими водами (рис. 3.15). У процесі нейтралізації можуть утворюватися осад.

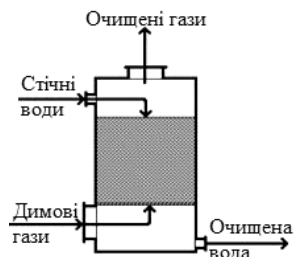


Рисунок 3.15 – Нейтралізація стічних вод шляхом абсорбції димових газів

Для нейтралізації кислих вод можуть бути використані: NaOH, KOH, Na₂CO₃, NH₄OH (аміачна вода), CaCO₃, MgCO₃, доломіт (CaCO₃MgCO₃), цемент. Найбільш доступним реагентом є гідроксид кальцію (вапняне молоко) з вмістом 5–10% активного вапна Ca(OH)₂. Іноді для нейтралізації застосовують відходи виробництва: шлаки металургійних виробництв. Реагенти обирають у залежності від складу і концентрації кислих стічних вод. Розрізняють три види кислотовмісних стічних вод:

- води, що містять слабкі кислоти (H₂CO₃, CH₃COOH);
- води, що містять сильні кислоти (HCl, HNO₃);
- води, що містять сірчану і сірчисту кислоти.

Для нейтралізації лужних стічних вод використовують різні кислоти або кислі газу, наприклад, відпрацьовані газу, що містять CO₂, SO₂, NO₂, N₂O₃ та ін. Застосування кислих газів дозволяє не лише нейтралізувати стічні води, але і одночасно виконувати очищення самих газів від шкідливих компонентів. Кількість кислого газу, необхідного для нейтралізації, може бути визначена за рівнянням масовіддачі

$$M = k \beta_p F \Delta C,$$

де M – кількість кислого газу, необхідного для нейтралізації; k – фактор прискорення хемосорбції; β_p – коефіцієнт масовіддачі у рідкій фазі; F – поверхня контакту фаз; ΔC – рушійна сила процесу.

Нейтралізація лужних вод димовими газами є ресурсозберігаючою технологією, так як дозволяє ліквідувати стічну воду, скоротити споживання свіжої води, економно витратити теплову енергію на підігрівання свіжої води, а також очистити димові газу від кислих компонентів і пилу.

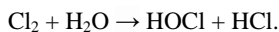
3.4.2 Окиснення забруднень стічних вод

Для очищення стічних вод використовують такі окиснювачі: газоподібний і скраплений хлор, двоокис хлору, хлорат кальцію, гіпохлорити кальцію і натрію, перманганат калію, біхромат калію, пероксид водню, кисень повітря, пероксірчані кислоти, озон, піролюзит та ін.

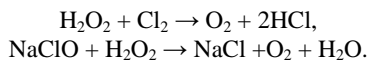
У процесі окиснення токсичні забруднення, що містяться у стічних водах, у результаті хімічних реакцій, перетворюються на менш токсичні, які видаляють з води. Активність речовини, як окиснювача, визначається величиною *окисного потенціалу*. Перше місце серед окиснювачів займає фтор, який завдяки високій агресивності не може бути використаний на практиці. Для

інших речовин величина окисного потенціалу дорівнює: для озону – 2,07; для хлору – 0,94; для пероксиду водню – 0,68; для перманганату калію – 0,59.

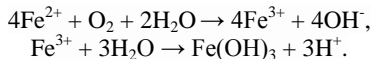
Хлор і речовини, що містять «активний» хлор, є найбільш поширеними окиснювачами. Їх використовують для очищення стічних вод від сірководню, фенолів, ціанідів та ін. При введенні хлору у воду утворюється хлорнуватиста і соляна кислоти



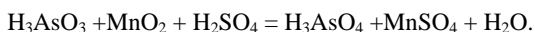
Пероксид водню використовується для окиснення нітритів, альдегідів, фенолів, ціанідів, сірковмісних відходів, активних барвників. У розбавлених розчинах процес окиснення органічних речовин перебігає повільно, тому використовують каталізатори – іони металів змінної валентності (Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , CO^{2+} , Cr^{2+} , Ag^{2+}). У процесах водооброблення використовують також відновлювальні властивості пероксиду водню. У нейтральному і слаболужному середовищах він легко взаємодіє з хлором і гіпохлоритами, переводячи їх у хлориди, ці реакції використовують при дехлоризації води



Кисень повітря використовують при очищенні води від заліза. Реакція окиснення у водному розчині перебігає за схемою



Піролюзит є природним матеріалом, що складається з двоокису марганцю. Його використовують для окиснення тривалентного миш'яку у п'ятивалентний



Окиснення озоном дозволяє одночасно забезпечити знебарвлення води, усунення присмаку і запахів, а також знезаразити її. Озон окислює як неорганічні, так і органічні речовини, розчинені у стічній воді. Озонуванням (рис. 3.16) можна очищати стічні води від фенолів, нафтопродуктів, сірководню, сполук миш'яку, ПАР, ціанідів, барвників, канцерогенних ароматичних вуглеводнів, пестицидів та ін. При обробленні води озоном відбувається розкладання органічних речовин і знезараження води; бактерії гинуть у кілька тисяч разів швидше, ніж при обробленні води хлором. Окиснення речовин озоном може бути пряме і непряме, а також здійснюватися каталізом і озонолізом.

Непряме окиснення – це окиснення радикалами, що утворюються у результаті переходу озону з газової фази у рідину і його саморозкладання.

Каталіз – каталітичний вплив озонування полягає у посиленні ним окиснюючої здатності кисню, який присутній в озонованому повітрі.

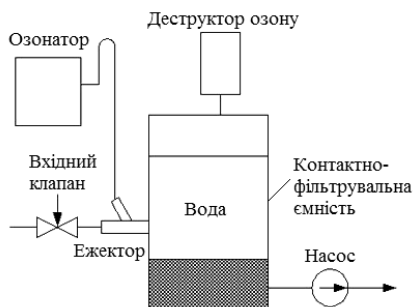


Рисунок 3.16 – Озонування води

Озонування являє собою процес фіксації озону на подвійному або потрійному вуглецевому зв'язку з подальшим розривом і утворенням озонідів, які є нестійкими сполуками і швидко розкладаються.

Процес очищення стічних вод відбувається значно ефективніше при спільному використанні ультразвуку та озону, ультрафіолетового опромінення та озону.

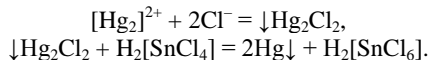
Ультрафіолетове опромінення прискорює окиснення у 10^2 – 10^4 рази.

3.4.3 Очищення стічних вод методом відновлення

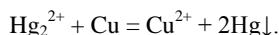
Методи відновного очищення стічних вод застосовують для видалення зі стічних вод сполук ртуті, хрому, миш'яку.

У процесі очищення неорганічні сполуки *ртуті* відновлюють до металевій ртуті, яку відокремлюють від води відстоюванням, фільтруванням або флотажією. Для відновлення ртуті та її сполук застосовують сульфід заліза, залізний порошок, сірководень, алюмінієву пудру та ін.

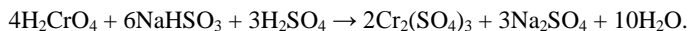
Наприклад, солі п्लумбуму (II) утворюють с золями ртуті білий осад, який змінює колір на чорний у разі відновлення до металічної ртуті



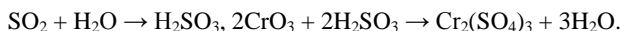
При реагуванні солей ртуті з міддю відбувається виділення металічної ртуті у вигляді сірого осаду



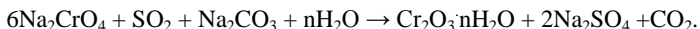
Метод очищення стічних вод від речовин, що містять шестивалентний *хром*, оснований на відновленні його до тривалентного з подальшим осадженням у вигляді гідроксиду у лужному середовищі. У якості відновників використовують активоване вугілля, сульфат заліза, бісульфат натрію, водень, двоокис сірки, відходи органічних речовин, піритний недогарок. Для відновлення хрому найбільш часто використовують розчини гідросульфіту натрію



Для осадження тривалентного хрому застосовують лужні реагенти $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH та ін. Відновлення двоокисом сірки відбувається за схемою



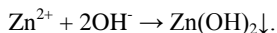
У присутності соди у стічних водах хром повністю видаляється з них



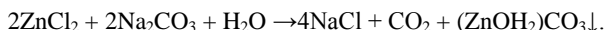
3.4.4 Очищення стічних вод від іонів важких металів

Для видалення зі стічних вод сполук ртуті, хрому, кадмію, цинку, свинцю, міді, нікелю, миш'яку та інших речовин найбільш поширені реагентні методи очищення, сутність яких полягає у переведенні розчинних у воді речовин у нерозчинні при додаванні різних реагентів з наступним відокремленням їх від води у вигляді осадів. У якості реагентів для видалення зі стічних вод іонів важких металів використовують гідроксиди кальцію і натрію, карбонат натрію, сульфід натрію, різні відходи.

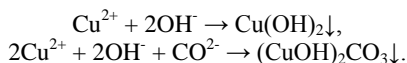
Найбільш широко використовується гідроксид кальцію. Осадження металів відбувається у вигляді гідроксидів. Виділення катіонів Zn^{2+} за допомогою лугів основане на переведенні їх у важкорозчинний гідроксид цинку



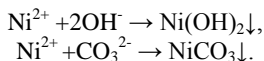
При дії соди на стічні води, що містять солі цинку, утворюються гідрокарбонати



Очищення стічних вод від міді пов'язане з її осадженням у вигляді гідроксиду або гідроксид-карбонату



Можливо здійснювати процес вилучення міді зі стічних вод осадженням ферроціанідом калію. Цей реагент може бути використаний і для осадження інших іонів важких металів. Очищення стічних вод від нікелю основане на виділенні його з розчину у вигляді важкорозчинних сполук



Оброблення стічних вод лужними реагентами дозволяє знизити вміст важких металів у розчині до величини, що відповідає ГДК для водою санітарно-побутового користування. Більш глибоке очищення від важких металів досягається при обробленні стічних вод сульфідом натрію завдяки тому, що розчинність сульфідів важких металів значно нижча від розчинності інших важкорозчинних сполук – гідроксидів і карбонатів. Сульфід важких

металів утворюють стійкі колоїдні системи, і для прискорення процесу їх осадження додають коагулянти і флокулянти.

3.5 Біохімічне очищення стічних вод

Біохімічні методи застосовують для очищення господарсько-побутових і промислових стічних вод від багатьох розчинених органічних і деяких неорганічних (сірководню, сульфідів, аміаку, нітритів) речовин. Процес очищення оснований на здатності мікроорганізмів використовувати ці речовини для живлення у процесі життєдіяльності, оскільки органічні речовини для мікроорганізмів є джерелом вуглецю. Контактуючи з органічними речовинами, мікроорганізми частково руйнують їх, перетворюючи на воду, двоокис вуглецю, нітрит-, сульфат-іони та ін. Інша частина речовин направляється на утворення біомаси. Руйнування органічних речовин називають *біохімічним окисненням*. Стічні води, що подаються на біохімічне очищення, характеризуються величинами БСК і ХСК.

БСК – це біохімічне споживання кисню, тобто кількість кисню, використана при біохімічних процесах окиснення органічних речовин (не включаючи процесу нітрифікації) за певний проміжок часу (2, 5, 8, 10, 20 діб), у мг O_2 на 1 мг речовини. Наприклад $БСК_5$ – біохімічне споживання кисню за 5 діб, $БСК_{пов}$ – повне БСК до початку процесу нітрифікації.

ХСК – хімічне споживання кисню, тобто кількість кисню, еквівалентна кількості витраченого окиснювача, необхідного для окиснення усіх відновників, що містяться у воді. ХСК виражають у мг O_2 на 1 мг речовини.

Біохімічною активністю мікроорганізмів називають біохімічну діяльність, пов'язану з руйнуванням органічних забруднень стічних вод.

Можливість біохімічного окиснення (*біодеградація стічних вод*) характеризується *біохімічним показником*, тобто відношенням $БСК_{пов}/ХСК$. Його значення коливається у широких межах для різних груп стічних вод: промислові стічні води мають низький біохімічний показник (0,05–0,3), побутові стічні води – понад 0,5.

При відношенні $(БСК/ХСК) \cdot 100\% = 50\%$ речовини піддаються біохімічному окисненню. При цьому необхідно, щоб стічні води не містили отруйних речовин і домішок солей важких металів. Біохімічний показник необхідний для розрахунку і експлуатації промислових споруд для очищення стічних вод.

Для можливості подавання стічних вод на біохімічне очищення встановлюють *максимальні концентрації* токсичних речовин, які не впливають на процеси біохімічного окиснення ($МК_6$) і на роботу очисних споруд ($МК_{б.о.с.}$). Для неорганічних речовин, які практично не піддаються біохімічному окисненню, також встановлюють максимальні концентрації, при перевищенні яких воду не можна піддавати біохімічному очищенню. В такому разі необхідне застосування методів попереднього очищення води.

3.5.1 Аеробний метод

Методи біохімічного очищення стічних вод поділяються на аеробні та анаеробні.

Аеробний метод оснований на використанні аеробних груп організмів, для життєдіяльності яких необхідне постійне постачання кисню і температура 20–40°C. Згідно аеробного очищення мікроорганізми культивуються в активному мулі або біоплівці.

Анаеробні методи очищення перебігають без доступу кисню, їх використовують, в основному, для знешкодження осадів.

Активний мул складається з живих організмів і твердого субстрату. Всі живі організми (скупчення бактерій, найпростіші черв'яки, плісняві гриби, дріжджі, актиноміцети, водорості), що населяють мул, називаються *біоценозом*. Активний мул являє собою амфотерну колоїдну систему, що має рН = 4–9 і негативний заряд. Суха речовина активного мулу містить 70–90% органічних і 30–10% неорганічних речовин.

Субстрат являє собою тверду відмерлу частину водоростей і різних твердих залишків, до неї прикріплюються організми активного мулу. Субстрат становить до 40% від активного мулу.

В активному мулі знаходяться мікроорганізми різних груп. Згідно екологічних груп мікроорганізми поділяються на аеробів та анаеробів (згідно використання кисню), термофілів і мезофілів (згідно температурного режиму), галофілів і галлофобів (згідно УФ–випромінювання). Якість мулу визначається швидкістю його осадження і ступенем очищення рідини. Стан мулу характеризує «*муловий індекс*», який являє собою відношення об'єму осадженої частини активного мулу до маси висушеного осаду (у грамах) після відстоювання протягом 30 хв. Чим повільніше осідає мул, тим вищий «муловий індекс» він має.

Біоплівка зростає на поверхні наповнювача біофільтра, вона має вигляд слизових обростань товщиною 1–3 мм і більше. Біоплівка складається з бактерій, грибів, дріжджів та інших організмів. Кількість мікроорганізмів у біоплівці менше, ніж в активному мулі.

Приріст біомаси відбувається у процесі очищення стічних вод. Він залежить від хімічної природи забруднень, виду мікроорганізмів, БСК і ХСК, концентрації фосфору і азоту у стічній воді, її температури.

Для того, щоб відбувався процес біохімічного окиснення органічних речовин, що знаходяться у стічних водах, вони повинні потрапити до клітин мікроорганізмів. До поверхні клітин речовини надходять за рахунок конвективної та молекулярної дифузії, а всередину клітин – дифузійно через напівпроникні цитоплазматичні мембрани. Але більша частина речовини потрапляє всередину клітин за допомогою специфічного білка-переносника. Розчинний комплекс «речовина–переносник», що утворився, дифундує через мембрану у клітину, де він розпадається, і білок-переносник включається до нового циклу перенесення речовини.

Основну роль у процесі очищення стічних вод відіграють процеси перетворення речовини, що перебігають всередині клітин мікроорганізмів. Ці процеси закінчуються окисненням речовини з виділенням енергії та синтезом нових речовин з витратою енергії. Процеси біохімічного очищення здійснюють у спеціальних апаратах аеротенках (рис. 3.17).

Швидкість біохімічних реакцій визначається активністю ферментів, яка залежить від температури, рН та присутності у стічній воді різних речовин.



1- аеротенк; 2 – вторинний відстійник;
3 – система аерації
Рисунок 3.17 – Система очищення стічних вод у аеротенках

Ферменти, що представляють собою складні білкові сполуки, виконують роль прискорюючих каталізаторів. З підвищенням температури швидкість ферментативних процесів підвищується, але до певної межі. Для кожного ферменту існує оптимальна температура, вище якої швидкість реакції знижується.

До речовин-активаторів, що підвищують активність ферментів, відносяться вітаміни і катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} . Солі важких металів, синильна кислота, антибіотики є інгібіторами, тобто знижують активність ферментів. Речовини, що знаходяться у стічних водах у колоїдному або дрібнодисперсному стані, окислюються з нижчою швидкістю, ніж речовини, розчинені у воді.

Для окиснення органічних речовин мікроорганізмами необхідний кисень, але вони можуть його використовувати лише у розчиненому у воді вигляді. Для насичення стічної води киснем здійснюють процес аерації, розбиваючи повітряний потік на бульбашки, рівномірно розподіляючи їх у стічній воді. З пухирців повітря кисень абсорбується водою, а потім переноситься до мікроорганізмів. Кількість абсорбованого кисню може бути обчислена за рівнянням масовіддачі

$$M = \beta_v V (C_p - C),$$

де M – кількість абсорбованого кисню, кг/с; β_v – об'ємний коефіцієнт масовіддачі, с^{-1} ; V – об'єм стічної води у споруді, м^3 ; C_p , C – рівноважна концентрація і концентрація кисню у масі рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Кількість абсорбованого кисню може бути збільшена за рахунок зростання коефіцієнта масовіддачі або рушійної сили. На швидкість біохімічного окиснення впливає турбулізація стічних вод на очисних спорудах, що сприяє розпаданню пластівців активного мулу на більш дрібні і збільшує швидкість надходження поживних речовин і кисню до мікроорганізмів. Турбулізація потоку досягається інтенсивним перемішуванням, при якому активний мул знаходиться у зваженому стані, що забезпечує рівномірний розподіл його у стічній воді.

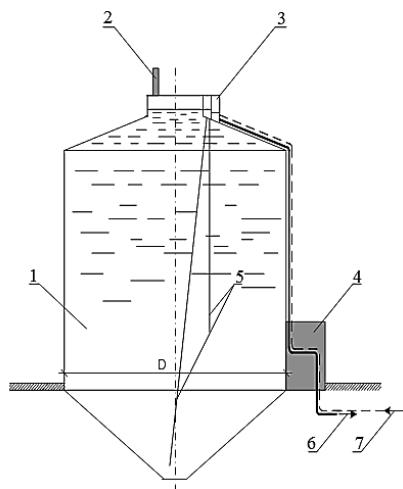
Концентрація активного мулу залежить від *мулового індексу*, що показує його здатність до осадження протягом певного часу. У аеротенках муловий індекс складає $50\text{--}90 \text{ см}^3/\text{г}$, такий показник відповідає високому ступені очищення і ефективному відстоюванню у вторинних відстійниках. Чим вище «муловий індекс», тим більшу кількість активного мулу необхідно подавати на

очисні споруди. Для очищення слід застосовувати свіжий активний мул, який ефективно осаджується і є стійким до коливань температури і рН середовища.

Найбільш оптимальна температура для здійснення біохімічного очищення складає 20–30°C, підвищення температури може призвести до загибелі мікроорганізмів. При більш низьких температурах знижується швидкість очищення, сповільнюється процес адаптації мікроорганізмів до нових видів забруднень, погіршуються процеси флокуляції та осадження активного мулу.

3.5.2 Анаеробний метод

Анаеробні методи використовують для зброджування осадів, що утворюються у результаті біохімічного очищення виробничих стічних вод, а також як першу ступінь очищення дуже концентрованих промислових стічних вод (БПК_{пов} ≈ 4–5 г/л), які містять органічні речовини, що руйнуються анаеробними бактеріями у процесах бродиння. Апарати для зброджування осаду мають назву *метантенки* (рис. 3.18).



- 1 – резервуар метантенка; 2 – газований ковпак;
3 – камера вивантаження осаду;
4 – інжекторна; 5 – трубопроводи вивантаження осаду;
6 – випускання зброженого осаду;
7 – трубопровід завантаження осаду

Рисуюнок 3.18 – Схема метантенка

Залежно від кінцевого продукту розрізняють такі види бродиння: спиртове, пропіоновокисле, молочнокисле, метанове та ін. Кінцевими продуктами бродиння є: спирти, кислоти, ацетон, гази бродиння (CO₂, H₂, CH₄).

Для очищення стічних вод використовують метанове бродиння, що є складним і багатостадійним процесом. Метанове бродиння складається з двох фаз: кислої і лужної (або метанової). У кислої фазі зі складних органічних речовин утворюються нижчі жирні кислоти, спирти, амінокислоти, аміак, гліцерин, ацетон, сірководень, двоокис вуглецю і водень. Ці проміжні продукти у лужній фазі утворюють метан і двоокис вуглецю.

Основна реакція метаноутворення має наступний вигляд:



де H₂A – органічна речовина, що містить H₂.

Основними параметрами анаеробного зброджування є температура, кількість завантаженого осаду і ступінь його перемішування. Процеси бродиння здійснюють у мезофільних (30–35°C) або термофільних (50–55°C) умовах.

Повного зброджування органічних речовин у метантенках досягти не можливо. У середньому ступінь руйнування органічних речовин становить близько 40%.

3.5.3 Оброблення осадів стічних вод

У процесах біохімічного очищення у первинних та вторинних відстійниках утворюються значні маси осадів, які необхідно утилізувати або обробляти. Осади, мають різний склад і значну вологість. Їх поділяють на 3 групи:

- осади переважно мінерального складу;
- осади переважно органічного складу;
- змішані осади.

Осади характеризуються вмістом сухої речовини (г/л або у %), вмістом беззолної речовини (у % від маси сухої речовини), елементним складом, уявною в'язкістю і плинністю, гранулометричним складом. Осади стічних вод являють собою важкофільтруємі суспензії.

У вторинних відстійниках осад містить, в основному, надлишковий активний мул, об'єм якого у 1,5–2 рази більше, ніж об'єм осаду з первинного відстійника. Питомий опір осаду ($\gamma = 72 \cdot 10^{10} - 78,6 \cdot 10^{12}$ см/м) є одним з визначальних показників для вибору методу оброблення осадів. В осадах міститься вільна (60–65 %) і зв'язана (30–35%) вода.

Оброблення осаду активного мулу включає:

- ущільнення осаду гравітаційним, флотаційним, відцентровим і вібраційним методами;
- стабілізацію осадів в аеробних і анаеробних умовах;
- кондиціонування осадів реагентними і безреагентними способами;
- теплове оброблення;
- рідкофазове окиснення органічної частини осаду киснем повітря;
- зневоднення осадів на мулових майданчиках і механічним способом;
- сушіння осадів;
- спалювання осадів.

Вільна вода порівняно легко може бути видалена з осаду, *зв'язана вода* (колоїдно-пов'язана і гігроскопічна) набагато важче. Колоїдно-зв'язана волога оболонкає тверді частки гідратною оболонкою і перешкоджає їх сполученню у великі агрегати. Коагулянти позитивно зарядженими іонами нейтралізують негативний заряд часток осаду. Після цього окремі тверді частки звільнюються від гідратної оболонки і сполучаються у пластівці. Звільнена вода ефективніше фільтрується. Зруйнувати гідратну оболонку можна також завдяки короткочасному термічному обробленню.

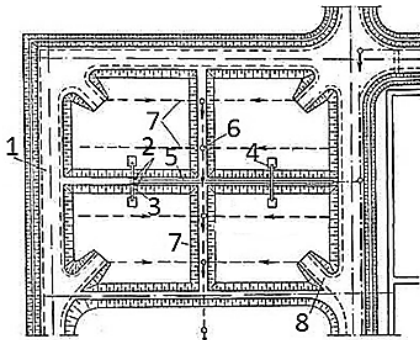
Розміри часток активного мулу не перевищують 3 мм, а основна маса часток (98%) має розмір менше 1 мм. Надлишковий активний мул і надлишкова біоплівка переважно складаються з органічної речовини, кількість якого залежно від режиму роботи споруд коливається від 65% (для аеротенків повного окислення) до 75% (для високонавантажених споруд).

Осад містить патогенні бактерії, яйця гельмінтів, цисти найпростіших, тому небезпечний у санітарно-епідеміологічному відношенні і вимагає знезараження. Ступінь руйнування органічної речовини при аеробній

стабілізації значно нижче, ніж при анаеробних процесах. Після аеробної стабілізації осад ущільнюють у відстійниках протягом 5–15 год до вологості 96–98%. При стабілізації бактерії *Coli* гинуть на 95%, але яйця гельмінтів не зникають, тому осад потребує знезараження, наприклад, термічними методами.

Структура осаду, збродженого у анаеробних умовах (у метантенках, двоярусних відстійниках та інших спорудах анаеробного збродження), дрібна і однорідна, колір майже чорний або темно-сірий. Осад відрізняється високою плинністю, виділяє запах сургучу або асфальту. У метантенках розпад осаду супроводжується виділенням значної кількості газу – метану, дуже цінного для використання. Аеробні стабілізатори осаду значно простіші і безпечніші від метантенків з анаеробними процесами як конструктивно, так і у процесі експлуатації. Аеробна стабілізація здійснюється у резервуарах типу аеротенків при тривалій аерації осаду повітрям. Під час аеробної стабілізації осад набуває властивості водовіддачі. Стабілізації піддається активний мул або суміш активного мулу з осадом первинних відстійників.

Найбільш простий і розповсюджений спосіб зневоднення сирого і збродженого осаду – сушіння на мулових майданчиках (рис. 3.19).



1 – дорога; 2 – шиберна засувка; 3 – зливний лоток;
4 – щит біля зливної лотка;
5 – дренажні труби; 6 – колодязі; 7 – огорожуючі канави; 8 – з'їзди на карту
Рисунок 3.19 – Схема мулового майданчика

Вони являють собою сплановані карти, обладнані дренажем ділянки землі.

На мулових майданчиках здійснюються ущільнення осаду і видалення рідини з поверхні, фільтрування її через шар осаду, видалення за допомогою дренажу, випаровування з поверхні осаду.

Застосовуються різні типи мулових майданчиків:

- на природній основі з дренажем або без дренажу;
- на штучному асфальтобетонному покритті з дренажем;
- каскадні з відстоюванням і видаленням води з поверхні.

Для механічного зневоднення осаду може бути застосоване центрифугування, фільтр-пресування і вакуум-фільтрування.

Термічне сушіння дозволяє отримати продукт, який не підлягає загніванню, з вологістю близько 20–25%, що значно полегшує умови його перевезення та зберігання. Зневоднений цим способом осад можна у розфасованому вигляді транспортувати до місця його використання. Для термічного оброблення осаду застосовують сушарки млини, сушарки барабанного типу, шахтні або вальцові сушарки і сушарки з наступним спалюванням у печах. Осад сушиться за допомогою топкових газів, що проходять через сушарку, отриманих шляхом спалювання у спеціальній

котельній камері газу з метантенків. Температура топкових газів становить близько 800°C.

У процесі бродіння з осаду виділяється газ метан. Він може бути застосований як паливо для станції аерації та селища при ній, для автотранспорту (при влаштуванні газонаповнювальної станції) і як сировина у хімічній промисловості. Вуглекислота, що виділяється у процесі бродіння, може бути використана для приготування сухого льоду. Для застосування осаду у якості палива його необхідно попередньо висушувати. Висушений осад брикетують для спалювання на колосниках або розмелюють і спалюють у розпиленому вигляді. Через високу зольність і низьку калорійність осад є низькосортним паливом, а тому його слід застосовувати для цієї мети у виняткових випадках, коли неможливо використовувати як добриво.

Утилізація осаду стічних вод і надлишкового активного мулу часто пов'язана з використанням їх у сільському господарстві у якості добрива, що обумовлено досить значним вмістом у них біогенних елементів. Активний мул особливо багатий азотом і фосфорним ангідридом. У якості добрива можна використовувати той осад стічних вод і надлишковий активний мул, який попередньо підлягав обробленню, що гарантує подальше його незагнивання, а також загибель патогенних мікроорганізмів і яєць гельмінтів.

Важливе значення також мають методи утилізації активного мулу, пов'язані з використанням його як флокулянта для згущення суспензій, отримання з активованого вугілля адсорбенту у якості сировини для отримання будівельних матеріалів та ін. Проведені токсикологічні дослідження показали можливість перероблення сирого осаду і надлишкового активного мулу у цементному виробництві.

3.6 Термічні методи очищення стічних вод

Термічними методами знешкоджуються стічні води, що містять мінеральні солі кальцію, магнію, натрію та ін., а також органічні речовини.

3.6.1 Концентрування стічних вод

Цей метод в основному використовують для знешкодження мінеральних стічних вод. Він дозволяє виділяти зі стоків солі з отриманням умовно чистої води, придатної для оборотного водопостачання. Процес розділення мінеральних речовин і води може бути здійснено у дві стадії: стадія концентрування і стадія виділення сухих речовин.

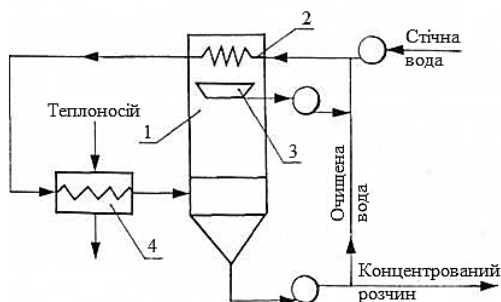
Концентрування стічних вод може здійснюватись випаровуванням, виморожуванням і кристалізацією.

Випаровування є енергоємним процесом. Енергія, що витрачається на випаровування, складається з енергії на нагрівання стічної води від початкової температури до температури випаровування; на деформування та перенесення центрів пароутворення; на роботу, витрачену на розділення розчинника і розчину; на формування поверхневих бульбашок пари при випаровуванні; на подолання сил тиску при формуванні бульбашок; на подолання пухирцем межі розділу фаз і на транспортування парових бульбашок до межі розділу фаз.

Для розрахунку енергетичних витрат враховують енергію, витрачену на випаровування g , і на роботу поділу розчину і розчинника l_p , оскільки інші складові незначні

$$q = g + l_p.$$

Випарні установки підрозділяються на одноступеневі та багатоступеневі. На практиці широко застосовують одноступеневі адіабатні випарні установки (рис. 3.20). Цю установку називають установкою миттєвого випаровування.



- 1 – камера випаровування; 2 – конденсатор;
3 – підставка; 4 – підігрівач

Рисунок 3.20 – Схема одноступенєвої адіабатної випарної установки

Вона працює за таким принципом. Стічна вода насосом подається у конденсатор 2, де попередньо нагрівається водяною парою. Далі вода подається у підігрівач 4, з якого потрапляє у камеру випаровування 1. З цієї камери розчинник насосом подається частково на рециркуляцію і частково на подальше випаровування. Дистилат, що стікає на підставку 3, насосом подається споживачеві.

Процес *виморожування* полягає у тому, що при температурі нижче температури замерзання чиста вода утворює кристали прісного льоду, а розчин з розчиненими у ньому солями розміщується у комірках між цими кристалами. Температура замерзання розсолу завжди нижче температури замерзання чистої води і залежить від концентрації розчинених солей. Для виключення утворення дрібних кристалів і відділення міжкристалітного розсолу процес виморожування здійснюють у режимі повільного переохолодження.

Різницю між температурою замерзання чистого розчинника t і розчину t^* називають *зниженням температури замерзання розчину* Δt_3

$$\Delta t_3 = t^* - t.$$

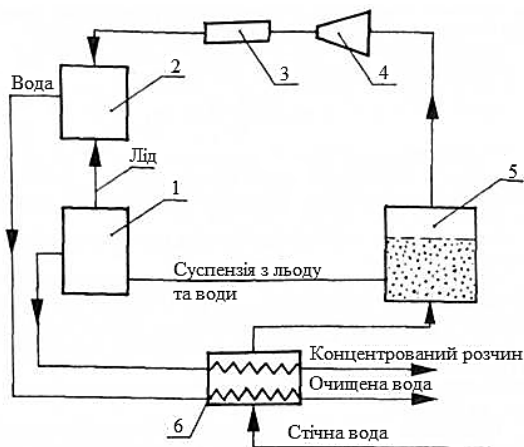
Зниження температури замерзання для розбавлених розчинів неелектролітів пропорційне концентрації розчину:

$$\Delta t_3 = k \cdot m,$$

де k – криоскопічна константа розчинника, що залежить лише від природи розчинника (але не розчиненої речовини), для води $k = 1,85$; m – молярна концентрація.

Виморожування можна здійснювати під вакуумом або за допомогою спеціальної холодильної установки. Найбільш поширеними хладагентами є аміак, двоокис вуглецю, бутан, пропан, ізобутан, хладони (CCl_2F_2 , CCl_3F , CClF_3) та їх оксиди.

Схема установки для концентрування розчинів виморожуванням наведена на рис. 3.21.



1 – промивна колонка; 2 – конденсатор-розпилювач; 3 – допоміжна холодильна установка;
4 – компресор; 5 – кристалізатор; 6 – теплообмінник

Рисунок 3.21 – Схема установки концентрування розчинів виморожуванням під вакуумом

При подаванні води у кристалізатор 5 з попередньо охолодженого розчину утворюється лід. Кристали льоду виділяються з суспензії у промивній колонці 1, а потім розморожуються у конденсаторі 2. Для стиснення водяної пари до тиску, що відповідає насиченню чистої води при температурі її заморожування, використовують компресор 4. Установа працює при високому вакуумі. Установки такого типу використовують для опріснення солоних вод.

3.6.2 Кристалізація речовин з розчинів стічних вод

Для виділення речовин з концентрованих розчинів використовують методи кристалізації і сушіння. Речовини, розчинність яких істотно зростає з підвищенням температури (*позитивна розчинність*), кристалізують при охолодженні їх насичених розчинів – це *політермічна або ізогідрична кристалізація*, що перебігає при незмінному вмісті води у системі. Якщо зі зростанням температури розчинність речовини знижується (*негативна розчинність*), то кристалізацію здійснюють при нагріванні розчину. Речовини, які мало змінюють розчинність при зміні температури, кристалізують шляхом випаровування води при постійній температурі – *ізотермічна кристалізація*.

Кристалізацію солі можна також здійснювати введенням у концентрований розчин речовин, що зменшують її розчинність. Це речовини, які містять

однаковий іон з даною сіллю або зв'язують воду. Кристалізацію такого типу називають *висолюванням*.

Поширеним видом кристалізації є хімічне осадження речовини з розчинів з застосуванням реагентів.

Виділення кристалів відбувається лише з пересичених розчинів. Пересичені розчини характеризують різницею між концентраціями пересиченого C_n і насиченого C^* розчинів, відносним пересиченням $(C_n - C^*)^*$ або коефіцієнтом пересичення C_n/C^* .

Утворення кристалів складається з двох послідовних стадій:

– виникнення у пересиченому розчині центрів кристалізації – зародків кристалів;

– зростання кристалів на базі цих зародків.

Для зародка сферичної форми робота утворення дорівнює

$$A = \frac{4}{3} \pi \cdot r^2 \cdot \sigma,$$

де r – розмір зародка; σ – коефіцієнт поверхневого натягу.

Ймовірність утворення зародків зростає з підвищенням температури. Цьому процесу сприяє механічна вібрація, перемішування, вплив акустичного і магнітних полів.

Зростання кристалів відбувається у результаті дифузії речовини з основної маси розчину до поверхні зростаючого кристала з подальшим включенням часток розчиненої речовини у кристалічну решітку.

Загальне рівняння швидкості кристалізації має вигляд

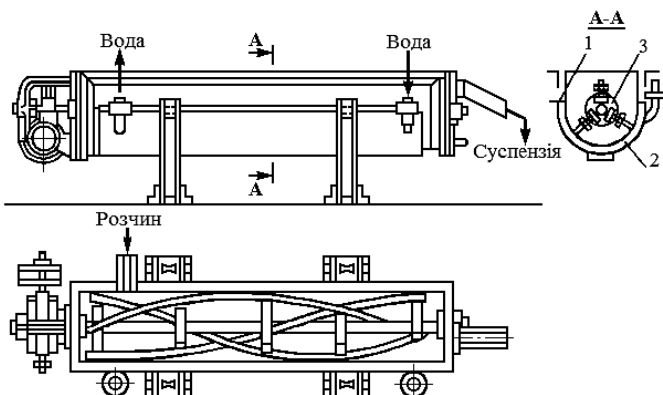
$$\frac{dM_\tau}{d\tau} = \frac{1}{\beta + \frac{1}{\beta_{кр}}} \cdot F(C_n - C^*) = k_{кр} \cdot F(C_n - C^*),$$

де M_τ – кількість дифузійної речовини; τ – час; β і $\beta_{кр}$ – коефіцієнт масовіддачі і процесу кристалізації; F – площа поверхні кристала; $C_{кр}$ – концентрація речовини біля поверхні кристала; $k_{кр}$ – коефіцієнт швидкості кристалізації.

Апарати для здійснення ізогідричної кристалізації можна поділити на кристалізатори періодичної дії, кристалізатори безперервної дії та вакуум-кристалізатори.

Найпростішими кристалізаторами періодичної дії є вертикальні циліндричні апарати зі змійовиками і механічними мішалками. Процес кристалізації у них відбувається з охолодженням розчину. На рис. 3.22 показаний кристалізатор коритного типу зі стрічковою мішалкою. Замість стрічкової мішалки може використовуватись шнекова мішалка, яка виконана у вигляді нескінченного гвинта. Середній розмір кристалів у таких кристалізаторах не перевищує 0,5–0,6 мм.

Кристалізатори коритного типу досить поширені у промисловості завдяки простоті обслуговування і надійності роботи.



1 – коритоподібний корпус; 2 – водяна оболонка; 3 – мішалка

Рисунок 3.22 – Кристалізатор коритного типу зі стрічковою мішалкою

3.6.3 Термоокиснювальні методи очищення стічних вод

Згідно теплотворної здатності промислові стоки поділяються на стічні води, що здатні горіти самостійно, і на води, для знешкодження яких необхідно додавати паливо. Ці стічні води мають ентальпію нижче 8400 кДж/кг (2000 ккал/кг). При використанні термоокиснювального методу всі органічні речовини, що забруднюють стічні води, повністю окиснюються киснем повітря при високих температурах до нетоксичних сполук. До цих методів відносять метод рідкофазового окиснення, метод парофазового каталітичного окиснення і полум'яний або «вогневий» метод. Вибір методу залежить від об'єму стічних вод, їх складу та теплотворної здатності, економічності процесу та вимог, що пред'являються до очищених вод.

Метод *рідкофазового окиснення* оснований на окисненні органічних речовин, розчинених у воді, киснем при температурах 100–350°C і тиску 2–28 МПа. При високих тисках розчинність у воді кисню значно зростає, що сприяє прискоренню процесу окиснення органічних речовин. Ефективність процесу окиснення підвищується з підвищенням температури. Леткі речовини окиснюються в основному у паровій фазі, а нелеткі – у рідкій фазі. Зі збільшенням концентрації органічних домішок у воді економічність процесу рідкофазового окиснення зростає.

В основі методу *парофазового каталітичного окиснення* лежить гетерогенне каталітичне окиснення киснем повітря (при високій температурі) легких органічних речовин, що знаходяться у стічних водах. Процес перебігає інтенсивно у паровій фазі у присутності мідно-хромового, цинк-хромового, мідно-марганцевого або іншого каталізатора.

Основний недолік методу – можливість отруєння каталізаторів сполуками фосфору, фтору, сірки. Тому необхідно здійснювати попереднє видалення каталітичних отрут зі стічних вод. Також до недоліків можна віднести неповне окиснення деяких органічних речовин та високу корозію обладнання у кислих середовищах. Переваги методу – це можливість очищення великого об'єму

стічних вод без попереднього концентрування, відсутність у продуктах окиснення шкідливих органічних речовин, можливість комбінування з іншими методами та безпека у роботі.

Вогневий метод знешкодження стічних вод є найбільш ефективним і універсальним з термічних методів. Сутність його полягає у розпиленні стічних вод безпосередньо у топкові газу, нагріті до температури 900–1000°C. При цьому вода випаровується, а органічні домішки згорають.

Вогневий метод застосовують для знешкодження стічних вод, що містять лише мінеральні речовини. Метод може бути використаний також для знешкодження незначного об'єму стічних вод, що містять високотоксичні органічні речовини, очищення від яких іншими методами неможливе або неефективне. Крім того, вогневий метод доцільний, якщо є горючі відходи, які можна використовувати як паливо.

У процесі знешкодження стічних вод різного складу можуть утворюватися оксиди лужних і лужноземельних металів (CaO, MgO, BaO, K₂O, Na₂O та ін.). Органічні сполуки, що містять сірку, фосфор, галогени, можуть утворювати SO₂, SO₃, P₂O₅, HCl, Cl₂ та ін. Присутність цих речовин у димових газах небажана, оскільки вони викликають корозію апаратури. Зі стічних вод, що містять нітросполуки, можуть виділятися оксиди азоту. Між цими сполуками відбуваються взаємодії з утворенням нових сполук, у тому числі і токсичних. Для вогневого методу знешкодження використовують різні печі. Процес здійснюють при температурі 800–890°C.

РОЗДІЛ 4 МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ

4.1 Механічне оброблення твердих відходів

Утилізація твердих відходів призводить до необхідності їх розділення на компоненти, з подальшим переробленням сепарованих матеріалів різними методами, або надання їм певного виду. Для тих промислових відходів, утилізація яких не пов'язана з необхідністю проведення фазових перетворень або впливу хімічних реагентів, але які не можуть бути використані безпосередньо, застосовуються два способи механічного оброблення: подрібнення або компактування (пресування). Це відноситься до відходів як органічного, так і неорганічного походження.

Після *подрібнення*, за яким може слідувати фракціонування, відходи перетворюються у продукти, готові для подальшого використання. Твердий матеріал можна зруйнувати і подрібнити до бажаного розміру часток роздавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, розпилюванням, стиранням і різними комбінуваннями цих способів. Згідно розміру фракцій вихідної сировини і кінцевого продукту подрібнення умовно поділяють на кілька класів, виходячи з яких обирають подрібнювальне обладнання. Приблизна характеристика прийнятої класифікації подрібнення наведена у табл. 4.1.

Таблиця 4.1. – Класифікація методів подрібнення

Клас подрібнення	Розмір фракцій до подрібнення, мм	Розмір фракцій після подрібнення, мм
Подрібнення:	– крупне	1000
	– середнє	250
	– мілке	20
Помел:	– грубий	1–5
	– середній	0,1–0,04
	– тонкий	0,1–0,02
	– колоїдний	< 0,1

Один з недоліків, що виникає при подрібненні в'язких, пружних і в'язкопружних матеріалів (гума, деякі види термопластів та ін.), полягає у тому, що при кімнатній температурі енерговитрати на їх перероблення дуже значні, хоча безпосередньо на подрібнення витрачається не більше 1% енергії, основна її частина перетворюється у теплоту. Тому останнім часом все більш широкого застосування знаходить техніка криогенного подрібнення, яка дозволяє охолоджувати матеріал нижче температури крихкості. Як правило, у якості охолоджуючого агента використовують рідкий азот, що має температуру – 196°C, яка нижче температури крихкості більшості полімерних матеріалів. При такому способі подрібнення різко зростає ступінь подрібнення, підвищується продуктивність процесу, знижуються питомі енерговитрати, не відбувається окиснення продукту.

Інтенсивність і ефективність хімічних дифузійних і біохімічних процесів зростає зі зменшенням розмірів фракцій (зерен) матеріалів, що переробляються, тому застосовують попереднє оброблення матеріалів, що містять крупні фракції. Метод *дроблення* використовується для отримання з великих шматків матеріалів, що переробляються, продукти крупністю до 5 мм. При переробленні твердих відходів використовують агрегати грубого і тонкого дроблення: стрижневі, кульові та ножові млини, дезінтегратори (рис. 4.1), дискові і кільцеві млини, бігуни. У якості середовища, що переносить речовини, при сухому дробленні найчастіше застосовують повітря, рідше димові або інертні гази, а при мокрому – воду.

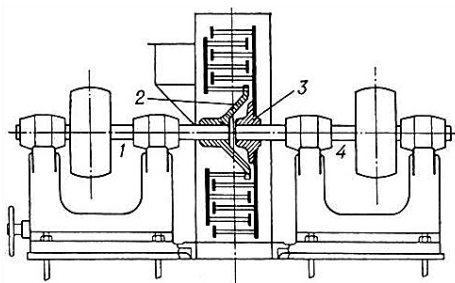


Рисунок 4.1 – Схема дезінтегратора

Матеріал для дроблення подається у центральну частину ротора і, переміщуючись до периферії, піддається багаторазовим ударам пальців, що обертаються (500–1000 об/хв) у зустрічних напрямках.

Крупність матеріалу, що завантажується, складає зазвичай 60–90 мм, а подрібненого продукту – 0,5–0,1 мм. Продуктивність дезінтегратора великого розміру (діаметр ротора 1250 мм) – 80–90 т/год.,

Особливість дезінтегратора – ефективне перемішування подрібнюваного матеріалу, що іноді використовується у технологічних цілях (наприклад, приготування вугільної шихти перед коксуванням). Дезінтегратор застосовують для подрібнення корисних копалин (вугілля, гіпс, сірка, торф та ін.), продуктів хімічної промисловості (гума, пігменти), деревини та ін.

У ряді випадків перероблення подрібнених відходів повинне супроводжуватися їх поділом на фракції згідно крупності. Для поділу кускових і сипучих матеріалів застосовують різні способи: просіювання або грохочення; поділ під дією гравітаційно-інерційних сил; поділ під дією гравітаційно-відцентрових сил.

Грохочення являє собою процес поділу на класи крупності різних за розмірами фракцій (зерен) матеріалу при його переміщенні на пористих поверхнях (кокосникових решітках, дротяних сітках, щілиноподібних ситах).

При *гравітаційному* і *відцентровому* способах поділ подрібнених продуктів на класи або виділення цільового продукту здійснюється методом роздільного вилучення часток з середовища, що їх переносить, під дією гравітаційно-інерційних або гравітаційно-відцентрових сил. Розділення сипких матеріалів під дією гравітаційно-інерційних сил здійснюється у газових осаджувачах і гідравлічних класифікаторах, а під дією гравітаційно-відцентрових сил – у сепараторах циклонного типу, з обертовими лопатями.

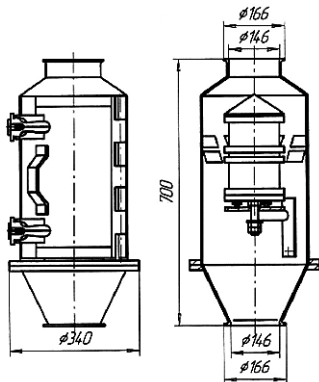


Рисунок 4.2 – Схема магнітного сепаратора

У тому випадку, якщо відходи можуть містити металеві включення, їх зазвичай пропускають через *магнітний сепаратор*, (наприклад, з рухомою стрічкою). У магнітному полі, яке створюється за допомогою електромагнітів, відбувається відділення магнітних металів від органічної частини відходів (рис. 4.2). Сепаратор складається з корпусу і магнітної колонки, встановленої на кришці корпусу.

Продукт конусом магнітної колонки потрапляє у кільцевий канал сепараторів, де з допомогою пелюсток спрямовується на магнітні блоки. Металомагнітні домішки притягаються до магнітів, а очищений продукт виводиться через випускний патрубок.

Поряд з методами зменшення розмірів кускових матеріалів і їх поділу на класи крупності у рекупераційній технології твердих відходів поширені методи, пов'язані з укрупненням дрібнодисперсних часток, які використовують прийоми гранулювання, таблетування, брикетування і високотемпературної агломерації.

Гранулювання – процес формування агрегатів кулястої або циліндричної форми з порошків, паст, розплавів чи розчинів матеріалів, що підлягають переробленню. Ці процеси базуються на різних прийомах оброблення матеріалів: пресування порошків у дисперсних потоках, гранулювання розплавів.

Брикетування – підготовчі та самостійні операції на практиці утилізації твердих відходів. Брикетування дисперсних матеріалів здійснюють без сполучного матеріалу під тиском пресування $P_{пр} > 80$ МПа і з додаванням сполучних під тиском $P_{пр} \leq 15-25$ МПа. На процес брикетування дисперсних матеріалів істотно впливають склад, вологість і крупність матеріалу, температура, питомий тиск і тривалість пресування. Необхідний питомий тиск пресування зазвичай знаходиться у зворотній залежності від вологості матеріалу.

Пресування під високим тиском – один зі способів покращення умов експлуатації полігонів (звалищ). Ущільнені відходи містять у собі меншу кількість фільтрату і газових викидів, при цьому знижується ймовірність виникнення пожеж, ефективніше використовується земельна площа полігону.

4.2 Фізико-хімічні методи оброблення відходів

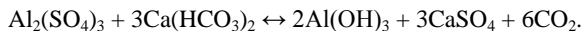
Більшість осадів, що утворюються у процесі очищення промислових і міських стічних вод, гальванічні шлами та ін. являють собою важкороздільні суспензії.

Для їх успішного зневоднення необхідне попереднє підготування – *кондиціонування*. Мета кондиціонування полягає у підвищенні водовіддавання

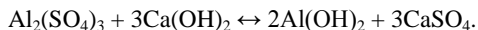
осадів шляхом зміни їх структури і форм зв'язку води. Від умов кондиціонування залежить продуктивність зневоднювальних апаратів, чистота відокремлюваної води і вологість зневодненого осаду. Кондиціонування може здійснюватися кількома способами, що розрізняються за своїм фізико-хімічним впливом на структуру оброблюваного осаду. Найбільше поширення з них отримали: хімічне (реагентне) оброблення; теплове оброблення; рідкофазове окиснення; заморожування і відтавання.

Реагентне оброблення – це найбільш відомий і поширений спосіб кондиціонування, з допомогою якого можна зневоднювати більшість осадів стічних вод. Під час реагентного оброблення відбувається коагуляція – процес агрегації тонкодисперсних і колоїдних часток, утворення крупних пластівців з розривом сольватних оболонок і зміна форм зв'язку води, що призводить до зміни структури осаду та покращенню його властивостей віддавати воду. Для реагентного оброблення використовуються мінеральні та органічні сполуки – коагулянти і флокулянти. У якості мінеральних коагулянтів застосовують солі заліза, алюмінію і вапна. Ці реагенти вводять до оброблюваного осаду у вигляді 10%-вих розчинів. Найбільш ефективним є хлорне залізо, яке застосовують у поєднанні з вапном.

Хімічний механізм взаємодії коагулянтів з осадом наступний. Введений у водне середовище сірчаноокисний алюміній взаємодіє з бікарбонатами, що містяться у воді утворюючи спочатку гелеподібний гідрат оксиду алюмінію

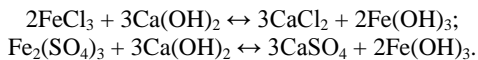


Якщо лужність середовища недостатня, вона збільшується шляхом додавання вапна, і тоді відбувається реакція



Пластівці гідрату захоплюють суспендовані речовини і при сприятливих гідродинамічних умовах швидко осідають в ущільнювачі та ефективно віддають воду на апаратах для механічного зневоднення шляхом фільтрування або відцентрового осадження.

При застосуванні солей заліза утворюються нерозчинні гідроксиди заліза



Найбільший ефект коагуляції досягається при рН = 4,0–8,5. З точки зору повноти реакції та економії реагенту велике значення має ефективне і швидке його змішування з оброблюваним осадом. Дослідженнями доведено, що сірчаноокисле залізо менш ефективне, але є більш дешевим і доступним реагентом. Орієнтовно можна сказати, що при концентраціях сірчаноокисного заліза, що у 1,5–2,0 рази перевищує концентрацію хлорного заліза, продуктивність апаратів зневоднення і вологість зневодненого осаду однакові.

Вапно використовують не лише у поєднанні з солями заліза, але і у якості самостійного коагулянту, який у ряді випадків досить ефективний. При використанні у якості коагулянту спостерігається тенденція до його регенерації з золи після спалювання зневоднених осадів. Недоліками мінеральних реагентів є дефіцитність, висока вартість, корозійність, а також труднощі при їх транспортуванні, зберіганні, приготуванні та дозуванні.

За кордоном для кондиціонування осадів промислових стічних вод поряд з мінеральними реагентами знаходять застосування синтетичні флокулянти. Синтетичні поліелектроліти, або полімери, додаються до осаду безпосередньо перед центрифугуванням або фільтруванням. Ці полімери повністю знищують або зменшують електричне відштовхування суспендованих твердих часток, яке прагне утримати їх на відстані. За рахунок притягання цих часток утворення пластівців і сепарування відбувається значно швидше і ефективніше.

Оскільки в осадах стічних вод переважно знаходяться негативно заряджені колоїди, то найбільший інтерес представляють катіонні флокулянти. Серед синтетичних флокулянтів найбільше поширення отримав поліакриламід (ПАА) – розчинний у воді полімер, що містить у своїй ланцюговій молекулі іоногенні групи. При його дисоціації утворюється високомолекулярний полівалентний аніон і багато простих маловалентних катіонів, тому такі речовини називають поліелектролітами.

Більшість процесів утилізації твердих відходів ґрунтовані на використанні методів вилугування (екстрагування), розчинення і кристалізації перероблюваних матеріалів.

Вилугування (екстрагування) ґрунтоване на отриманні одного або декількох компонентів з комплексного твердого матеріалу шляхом його (їх) вибіркового розчинення у рідині – екстрагенті. Розрізняють просте розчинення і вилугування з хімічною реакцією. Швидкість вилугування змінюється у ході процесу і залежить від концентрації реагентів, температури, величини поверхні твердої фази.

Розчинення полягає у гетерогенній взаємодії між рідиною і твердою речовиною, що супроводжується переходом твердої речовини у розчин. Можливість мимовільного розчинення твердої речовини оцінюється знаком величини ΔG (зміна енергії Гіббса).

Кристалізація – це процес виділення твердої фази у вигляді кристалів з насичених розчинів, розплавів чи пари. Для оцінювання поведінки розчинів при їх кристалізації і раціонального вибору способу здійснення цього процесу використовують діаграми стану розчинів, що виражають залежність розчинності солей від температури. Швидкість процесу кристалізації залежить від ступеню пересичення розчину, температури, інтенсивності перемішування, вмісту домішок та ін., вона змінюється у часі, проходячи через максимум. Створення необхідного для кристалізації пересичення розчину забезпечують охолодженням гарячих насичених розчинів (ізогідрична кристалізація) і видаленням часток розчинника шляхом випаровування (ізотермічна кристалізація) або комбінацією цих методів (вакуум-кристалізація, фракційна кристалізація, кристалізація з випаровуванням розчинника у струмені повітря або іншого газу-носія).

На практиці кристалізації з розчинів іноді використовують кристалізацію висоловнанням (введення у розчин речовин, що знижують розчинність солі), виморожуванням (охолодженням розчинів до негативних температур з виділенням кристалів солі або їх концентрування видаленням часток розчинника у вигляді льоду) або за рахунок хімічної реакції, що забезпечує пересичення розчину, а також високотемпературну (автоклавну) кристалізацію, що забезпечує отримання кристалогідратів з мінімальним вмістом вологи.

На практиці рекуперації твердих відходів промисловості використовують методи *збагачення перероблюваних матеріалів*: гравітаційні, магнітні, електричні, флотаційні, і спеціальні.

Гравітаційні методи – основані на відмінності швидкостей у рідкому (повітряному) середовищі часток різного розміру і густини. Вони об'єднують збагачення осадів під дією змінних за напрямом вертикальних струменів води (повітря); збагачення у важких суспензіях, густина яких є проміжною між густинами поділюваних часток; збагачення у потоках, що переміщуються згідно похилих поверхонь, а також промивання для руйнування і видалення глинистих, піщаних та інших мінеральних, а також органічних домішок.

Магнітне збагачення використовують для відділення парамагнітних (слабомагнітних) і феромагнітних (сильномагнітних) компонентів (тобто речовин з питомою магнітною сприйнятливістю вище 10^{-7} м³/кг) сумішей твердих матеріалів від їх діамагнітних (немагнітних) складових.

Питомою магнітною сприйнятливістю називають об'ємну магнітну сприйнятливість речовин, віднесену до його густини. Слабомагнітні матеріали підлягають збагаченню у сильних магнітних полях напруженістю $H \approx 800\text{--}1600$ кА/м, сильномагнітні – у слабких полях ($H \approx 70\text{--}160$ кА/м).

Електричні методи збагачення, основані на різниці електрофізичних властивостей матеріалів, що підлягають розділенню, і включають сепарацію у електростатичному полі, полі коронного розряду, коронно-електростатичному полі і трибоадгезійну сепарацію. Електростатична сепарація основана на різниці у електропровідності і здатності до електризації тертям (трибоелектричний ефект) мінеральних часток суміші, що поділяється. При незначній різниці у електропровідності часток використовують електризацію їх тертям. Наелектризовані частки направляють у електричне поле, де відбувається їх сепарація. Сепарація у полі коронного розряду, що створюється між коронуючим (зарядженим) і осаджувальним (заземленим) електродами, основана на іонізації мінеральних часток, що перетинають це поле, осілих на них іонів повітря і на відмінності інтенсивності передавання придбаного заряду поверхні осаджувального електроду, що виражається у різних траєкторіях руху часток.

Трибоадгезійна сепарація основана на розходженні в адгезії (прилипанні) до поверхні наелектризованих тертям часток матеріалу, що підлягає розділенню.

Флотаційні методи збагачення – це процеси розділення корисних копалин, основані на відмінності фізико-хімічних властивостей поверхні мінералів, що підлягають поділенню. Ці властивості проявляються у різній здатності мінералів закріплюватися на межі розділу фаз.

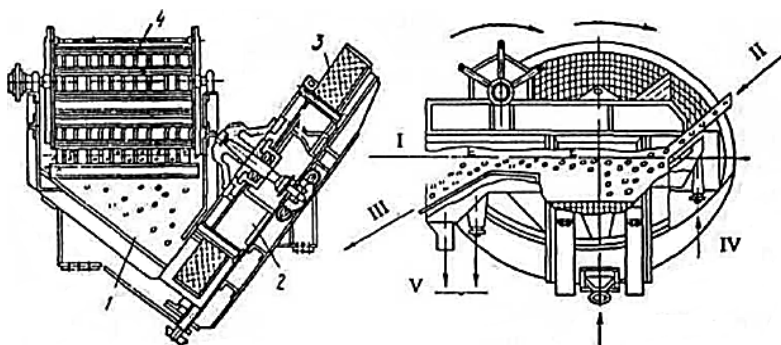
Цей метод застосовують для збагачення корисних копалин у водному середовищі, який оснований на різниці у змочуваності водою часток поділюваних компонентів. Флотація використовується у харчовій, хімічній та інших галузях для очищення промислових стоків, прискорення відстоювання, виділення твердих суспензій і емульсованих речовин та ін.

Спеціальні методи можна класифікувати на такі види:

- збагачення з використанням ефектів взаємодії зерен компонентів, що розділяються, з робочою поверхнею сепаратора;
- збагачення з використанням ефектів взаємодії зерен компонентів, що розділяються, між собою;
- збагачення на основі селективно направленої зміни розмірів зерен компонентів;
- збагачення з використанням вибіркового характеру фазових переходів компонентів (комбіновані методи збагачення);
- збагачення на основі різних поверхневих властивостей компонентів, що розділяються.

Найбільш поширеними апаратами збагачення у важких середовищах є барабанні, конусні, колісні і гідроциклонні сепаратори. Продуктивність барабанного і колісного сепараторів визначають за спливанням легкого продукту. Продуктивність конусного і гідроциклонного сепараторів розраховують згідно споживання.

На рис. 4.3 показаний колісний сепаратор СК-12.



1 – ванна; 2 – елеваторне колесо; 3 – перфоровані черпаки; 4 – скребковий механізм; I – рівень суспензії; II – завантаження; III – концентрат; IV – суспензія; V – злив суспензії

Рисунок 4.3 – Колісний сепаратор СК-12

Суміш для розділення надходить завантажувальним лотком до ванни, що складається з двох з'єднаних у нижній частині відділень. В одному з відділень розміщене елеваторне колесо для вивантаження суспензії разом з осілою, більш важкою фракцією. Легка фракція вивантажується одночасно з важкою, але у верхній частині ванни. Їх перемішування у зоні вивантаження запобігається перегородкою.

4.3 Термічні методи оброблення відходів

Мінералізовані відходи поширені на хімічних виробництвах, теплоенергетиці та інших галузях промисловості. Найбільш поширеними методами, що дозволяють знешкоджувати мінералізовані стоки є термічні. Тут можливі наступні напрями:

- значне зменшення об'ємів стоків при їх граничному концентруванні і зберігання цих розчинів у штучних або природних сховищах;
- виділення зі стоків солей та інших цінних речовин і застосування опрісненої води для потреб промисловості і сільського господарства.

Процес розділення води і мінеральних речовин може здійснюватися у дві стадії: *концентрування вихідного розчину* і виділення з нього сухого залишку. Якщо здійснюється перша стадія, то концентрований розчин прямує на подальше перероблення або на поховання. Можна подавати стічні води, минаючи стадію концентрування, безпосередньо на виділення з них сухих речовин, наприклад, у розпилувальну сушарку або у камеру спалювання, наприклад циклонний реактор.

Концентрування розчинів може здійснюватися у випарних, виморожуючих, кристалогідратних установках безперервної та періодичної дії.

У випарних установках концентрація розчину підвищується внаслідок видалення пари розчину при випаровуванні рідини. Ці установки найбільш поширені у техніці концентрування розчинів. Випарні установки можна умовно розділити на установки, у яких розчин контактує з поверхнею нагрівання, і установки, у яких розчин не контактує з поверхнею нагрівання.

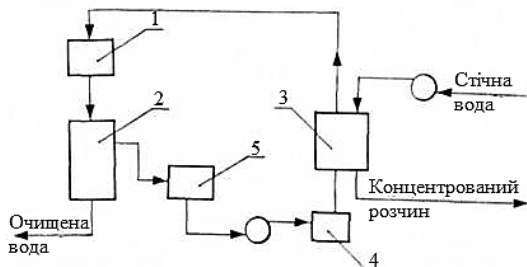
В установках першого типу утворюються відкладення солей з відповідним зниженням густини теплового потоку і продуктивності установок. Це обумовлює періодичні зупинки агрегатів для очищення поверхонь нагрівання, що знижує техніко-економічні показники і ускладнює їх експлуатацію. Ступінь концентрування розчину у них суттєво обмежена завдяки різкому збільшенню відкладень зі зростанням концентрації розчину. Для покращення умов роботи доводиться застосовувати спеціальні заходи щодо зниження відкладень.

В установках другого типу тепло передається проміжному гідрофобному рідкому, твердому або газовому теплоносію, який потім при безпосередньому контакті нагріває або випаровує розчин. Нагрітий розчин подається у камери адіабатного випаровування. Ступінь концентрування розчину у таких установках істотно підвищується, так як небезпека відкладень на поверхнях нагрівання практично уникається.

В установках, що використовують методи *виморожування*, концентрування мінералізованих стоків основане на тому, що кількість солей у кристалах льоду значно менша, ніж у розчині, а отже утворюється прісний лід. Внаслідок цього, з утворенням льоду, концентрація солей у розчині підвищується. Концентрування мінералізованих вод можна здійснити двома способами: виморожуванням при випаровуванні під вакуумом або заморожуванням за допомогою спеціального холодильного агента.

У *кристалогідратних установках* (рис. 4.4) концентрування стічних вод основане на здатності деяких речовин (фреони, хлор та ін.) при певних умовах

утворювати кристалогідрати. При цьому молекули води переходять у кристалогідрати, а концентрація розчинів підвищується. При плавленні кристалів знову виділяється вода, яка є гідратуотворюючим агентом. Процес гідратуотворення може відбуватися при температурі нижче і вище температури навколишнього середовища. У першому випадку, як правило, необхідне застосування холодильних установок, а в другому випадку кристалогідратна установка може використовувати низькопотенційне тепло.



1 – сепаратор; 2 – камера танення; 3 – камера гідратуотворення; 4 – смішувальник; 5 – конденсатор
Рисунок 4.4 – Схема установки для концентрування методом гідратуотворення

Процес очищення води методом гідроутворення відбувається у такий спосіб. Стічна вода подається у камеру 3 під тиском, при якому утворюються гідрати. Одночасно у камеру іншим насосом подаються теплоносії та гідроутворююча речовина. Теплоносії є розчинниками для гідратуючої речовини. У камері забезпечується безпосередній контакт стічної води та теплоносія, внаслідок чого утворюються тверді гідрати. Насичена хімічними речовинами стічна вода відводиться з камери, а теплоносії з гідратами надходить до камери розмороження 2, де відбувається руйнування кристалогідратів за допомогою тепла, що виділяється у процесі утворення гідратів. З камери 2 чиста вода, теплоносії та гідроутворююча речовина потрапляють у сепаратор 1, де розділяються. Чиста вода відводиться за межі установки, а теплоносії і пара гідроутворюючої речовини надходять до конденсатора 5, де пара цієї речовини конденсується, після чого з теплоносієм спрямовується у камеру 3 для повторного використання. У якості теплоносія використовують метан, пропан та інші гази.

Термічному кондиціонуванню перед зневодненням піддаються органічні осадки міських і промислових стічних вод, що пройшли біологічне очищення. До методу термічного кондиціонування належать: теплове оброблення, рідкофазове окиснення, заморожування і відтавання (останнє застосовується для кондиціонування осадків водопровідних станцій).

Теплове оброблення є одним з перспективних методів кондиціонування. Воно застосовується для кондиціонування осадків міських і промислових стічних вод, що мають зольність 30–40%. У технологічних схемах, що завершуються стадією зневоднення, його переваги, крім підготовки до зневоднення осадків, полягають у забезпеченні надійної стабілізації та повної стерилізації осадків. Сутність методу теплового оброблення полягає у нагріванні

осадів до температури 150–200°C і витримуванні при цій температурі у закритій ємності протягом 0,5–2,0 години. У результаті такого оброблення відбувається різка зміна структури осаду, близько 40% сухої речовини переходить у розчин, а частина набуває властивості віддавати воду. Осад після теплового оброблення швидко ущільнюється до вологості 92–94 %, і його об'єм становить 20–30% початкового.

Рідкофазове окиснення набуло поширення у промисловості. Його сутність полягає в окисненні органічної частини осаду киснем повітря при високих температурі і тиску. Ефективність процесу оцінюється глибиною окиснення органічної частини осаду (зниженням ХСК осаду). Ця величина залежить в основному від температури оброблення. Для окиснення на 50% необхідна температура близько 200°C, на 70 % і більше – 250–800°C. Окиснення осаду супроводжується виділенням тепла. При вологості осаду близько 96% виділеного тепла досить для самопідтримування температурного режиму і основна енергія витрачається на подавання стисненого повітря.

Ефективним способом підвищення властивостей віддавати воду є оброблення з використанням низьких температур. У результаті досліджень встановлено, що повне *заморожування* осадів дозволяє значно знижувати питомий опір. Кращі результати спостерігаються при застосуванні повільного заморожування. Осад після заморожування і відтавання зневоднюється механічним шляхом без застосування додаткових реагентів. Особливо ефективне зневоднювання на фільтрах і стрічкових фільтр-пресах.

Сушіння являє собою процес видалення вологи з твердого або пастоподібного матеріалу шляхом випаровування рідини, що міститься у ньому, за рахунок підведеного до матеріалу тепла. Цей термічний процес вимагає значних витрат тепла.

Сушіння широко застосовується у хімічній, хіміко-фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості. Поширення сушіння отримало в області оброблення осаду міських стічних вод (барабанні сушарки, сушіння у зустрічних струменях). Процеси термічного видалення тієї частини вологи, яку неможливо видалити механічним шляхом, можуть також знайти застосування при обробленні промислових відходів, які необхідно підготувати до транспортування і подальшого перероблення (наприклад, гальванічні шлами), а також при обробленні деяких відходів хімічної, харчової та інших галузей промисловості. Сушіння здійснюється конвективним, контактним, радіаційним і комбінованими способами.

Метод сушіння обирають на основі технологічних вимог до висушеного продукту і з урахуванням техніко-економічних показників. Процес сушіння здійснюється за рахунок теплової енергії, що виробляється у генераторі тепла. Генераторами тепла можуть слугувати парові або газові калорифери, топки, що працюють на твердому, рідкому або газоподібному паливі, інфрачервоні випромінювачі і генератори електричного струму. Вибір генератора тепла зазвичай визначається схемою і методом сушіння, фізичними властивостями висушеного матеріалу і необхідним режимом сушіння. У разі можливості доцільно використовувати тепло відхідних газів або відпрацьованої пари, при цьому одночасно утилізуються теплові відходи.

Сушіння є процесом тепломасообмінним. Видалення вологи з поверхні тісно пов'язане з рухом її зсередини до поверхні. Сушіння відрізняється від випаровування тим, що у першому випадку видалення вологи відбувається при будь-якій температурі, у другому – якщо тиск пари, що утворюється, дорівнює тиску навколишнього середовища (наприклад, кипіння води відбувається під тиском, що дорівнює барометричному). Випаровування відбувається з усієї маси рідини, при сушінні волога віддається з поверхні висушеного матеріалу. Випаровування – більш інтенсивний процес, ніж сушіння, однак не всі матеріали можна підлягати випаровуванню. Так, волога з твердих матеріалів видаляється лише шляхом теплового сушіння.

Конвективне сушіння повітрям або газом є найбільш поширеним способом видалення вологи. У повітряному сушінні, так само як і у газовому, тепло передається від теплоносія безпосередньо до висушеної речовини. Для одержання матеріалу необхідної якості особливо увагу треба приділяти технологічному режиму сушіння, правильному вибору параметрів теплоносія і режиму процесу (вибір оптимальної температури нагрівання матеріалу, його вологості та ін.). Оптимальний режим сушіння, що впливає на технологічні властивості матеріалу, залежить від зв'язку вологи з матеріалом.

З мірою видалення вологи з поверхні матеріалу за рахунок різниці концентрації вологи усередині матеріалу і на його поверхні, відбувається рух вологи до поверхні шляхом дифузії. У деяких випадках має місце так звана термодифузія, коли рух вологи усередині матеріалу відбувається за рахунок зменшення різниці температур на поверхні і усередині матеріалу. При конвективному сушінні обидва процеси мають протилежний напрям, а при сушінні струменями високої частоти – однаковий.

При сушінні деяких матеріалів до кінцевого значення вологості тепло витрачається не лише на підігрівання матеріалу і випаровування вологи з нього, але і на подолання зв'язку вологи з матеріалом. У більшості випадків при сушінні видаляється водяна пара, однак, у хімічній промисловості іноді доводиться видаляти пару органічних розчинників. Незалежно від того, яка рідина буде випаровуватися, закономірності процесу однакові.

При утилізації та переробленні твердих відходів використовують різні методи термічного оброблення вихідних твердих матеріалів і отриманих продуктів: це різні прийоми піролізу, переплавлення, випалювання та вогневого знешкодження (спалювання) багатьох видів твердих відходів на органічній основі.

Піроліз являє собою процес розкладання органічних сполук під дією високих температур при відсутності або нестачі кисню. Характеризується перебігом реакцій взаємодії і ущільнення залишкових фрагментів вихідних молекул, у результаті чого відбувається розщеплення органічної маси, рекомбінація продуктів розщеплення з отриманням термодинамічно стабільних речовин: твердого залишку, смоли, газу. Застосовуючи термін «піроліз» до термічного перетворення органічного матеріалу, мають на увазі не лише його розпаданню, але і синтез нових продуктів. Ці стадії процесу взаємно пов'язані і перебігають одночасно з тим розходженням, що кожна з них переважає у певному інтервалі температури або часу.

Газифікація є термохімічним високотемпературним процесом взаємодії органічної маси або продуктів її термічного перероблення з газифікуючими агентами, у результаті чого органічна частина або продукти її термічного перероблення перетворюються на горючі гази. У якості газифікуючих агентів застосовують повітря, кисень, водяну пару, двоокис вуглецю, а також їх суміші.

Процеси піролізу відходів набули більшого поширення, ніж газифікація. Піролізу піддаються тверді побутові та близькі до них за складом промислові відходи, відходи пластмас, гуми (у тому числі, автомобільні покришки), інші органічні відходи. З санітарної точки зору процес піролізу володіє високими показниками у порівнянні зі спалюванням. Кількість відхідних газів, що підлягають очищенню, набагато менша, ніж при спалюванні відходів. Об'єм твердого залишку, що утворюється внаслідок високотемпературного піролізу, може бути значно зменшений. Твердий залишок можна використовувати у промисловості (сажа, активоване вугілля та ін.). Таким чином, деякі схеми піролізу відходів можуть бути безвідходними.

Високотемпературний піроліз у порівнянні з іншими методами має ряд переваг:

- відбувається більш інтенсивне перетворення вихідного продукту;
- швидкість реакцій зростає з експоненціальним підвищенням температури, у той час як теплові втрати зростають лінійно;
- збільшується час теплового впливу на відходи;
- відбувається повний вихід летких продуктів;
- зменшується кількість залишку після закінчення процесу.

Розрізняють високотемпературні (агломерація, обпалювання окатишів) і низькотемпературні (без випалу) *методи окусування* (укрупнення часток відходів). *Агломерація* полягає у тому, що дрібні зерна шихти нагріваються до температури, при якій відбувається їх розм'якшення і часткове плавлення. При цьому зерна злипаються, подальше швидке охолодження призводить до їх кристалізації і утворення пористого, але досить міцного кускового продукту придатного для металургійного переділу. *Обпалювання* окатишів здійснюють при огрудкуванні залізородних дрібнодисперсних концентратів з розміром часток менше 100 мкм. Матеріали такої крупності добре зливаються, особливо при введенні у шихту 0,5–2,0% пластичної сполучної добавки – бентоніту (особливого сорту високоякісної глини). З метою отримання офлюсованих обкатишів у шихту вводять також необхідну кількість вапняку. Виробництво окатишів здійснюється наступним чином. Бентоніт, вапняк та інші домішки подрібнюють до крупності концентрату, ретельно перемішують з останнім, зволожують до 8–9% і направляють на огрудкування. Сирі окатиші мають розмір 8–18 мм. Зчеплення часток у них забезпечують капілярні сили.

Ліквідація осадів стічних вод застосовується у тих випадках, коли утилізація виявляється неможливою або економічно нерентабельною. Вибір методу ліквідації осадів визначається їх складом. *Спалювання* – один з найбільш поширених методів ліквідації осадів стічних вод. Попередньо зневоднені осаді органічного походження мають теплотворну здатність 16800–21000 кДж/кг, що дозволяє підтримувати процес горіння без використання додаткових джерел теплоти.

РОЗДІЛ 5

МЕТОДИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВПЛИВУ

Шкідливі енергетичні впливи, що генеруються технічними системами, утворюють у життєвому просторі техносфери небезпечні зони, де не реалізується співвідношення $\sum_i I_i = \text{ГДР}$ (гранично допустимий рівень). Поряд з небезпечними зонами розташовані зони діяльності і перебування людини: у умовах виробництва – робоча зона, робоче місце, у побуті – зона житла, міське середовище. Варіюючи взаємним розташуванням небезпечних зон і зон перебування людини у просторі, можна істотно впливати на рішення завдань згідно захисту людини і навколишнього природного середовища від негативного енергетичного впливу.

Радикальним способом забезпечення безпеки є *захист відстанню* – варіант взаємного розташування зон перебування та дії негативних енергетичних факторів шляхом рознесення у просторі небезпечних зон і зон перебування людини. Захист відстанню реалізується при дистанційному управлінні, спостереженні перебування. Розносити небезпечні зони і, зони перебування людини можна не лише у просторі, але і у часі, реалізуючи чергування періодів дії небезпек і періодів спостереження за станом технічних систем.

На жаль, захист відстанню не завжди можливо здійснити на практиці. Для забезпечення безпеки людини у цих випадках використовують:

- вдосконалення небезпечних енергетичних джерел з метою максимального зниження їх впливу, що також скорочує розміри небезпечної зони;
- впровадження захисних засобів (екобіозахисна техніка) для ізоляції зони перебування людини від негативних впливів;
- застосування засобів індивідуального захисту людини від небезпек.

Для обмеження шкідливого впливу на людину і середовище існування до технічної енергетичної системи пред'являються вимоги згідно величини енергетичних забруднень у вигляді *гранично допустимих випромінювань (ГДВ)*. Величини граничних випромінювань знаходять, виходячи з гранично допустимих рівнів (ГДР) впливу енергетичного забруднення і відстані між джерелом випромінювання і зони перебування людини.

Якщо вдосконаленням технічних систем не вдається забезпечити величину гранично допустимих впливів на людину у зоні її перебування, то необхідно застосовувати екобіозахисну техніку у вигляді різних поглинаючих енергію огорож, екранів, захисних боксів. У тих випадках, коли можливості екобіозахисної техніки колективного користування обмежені і не забезпечують значень ГДВ у зонах перебування людей, для захисту застосовують засоби індивідуального захисту.

При вирішенні завдань захисту виділяють джерело, приймач енергії і захисний пристрій (рис. 5.1), що зменшує до допустимих рівнів потік енергії до приймача. Захисний пристрій (ЗП) володіє здібностями відбивати, поглинати, бути прозорим у відношенні до потоку енергії. З загального потоку енергії $W+$,

що надходить до ЗП, частина W_a поглинається, частина W – відображається та частина W_{\sim} – проходить крізь ЗП.

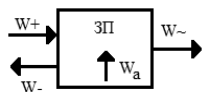


Рисунок 5.1 –
Енергетичний баланс захисного пристрою

Тоді ЗП можна охарактеризувати такими енергетичними коефіцієнтами: коефіцієнт поглинання $\alpha = W_a/W+$, коефіцієнтом відбиття $\rho = W/W+$, коефіцієнтом передачі $\tau = W_{\sim}/W+$.

При цьому виконується рівність:

$$\alpha + \rho + \tau = 1.$$

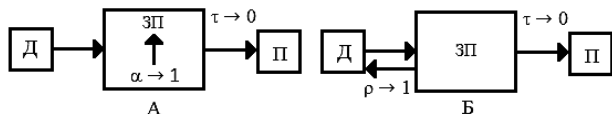
Якщо $\alpha = 1$, то ЗП поглинає всю енергію, що надходить від джерела; при $\rho = 1$ – ЗП володіє 100%-ною відбивною здатністю, а рівність $\tau = 1$ вказує на абсолютну прозорість ЗП, тобто енергія проходить через пристрій без втрат.

Принципи захисту:

- захист здійснюється за рахунок відбивної здатності ЗП, $\rho \rightarrow 1$;
- захист здійснюється за рахунок поглинальної здібності ЗП, $\alpha \rightarrow 1$;
- захист з урахуванням властивостей прозорості ЗП, $\tau \rightarrow 1$.

На практиці принципи комбінують, отримуючи різні методи захисту. Найбільше поширення отримали методи захисту ізоляцією і поглинанням.

Методи ізоляції використовують тоді, коли джерело і приймач енергії, який є одночасно об'єктом захисту, розташовуються з різних сторін від ЗП (рис. 5.2).

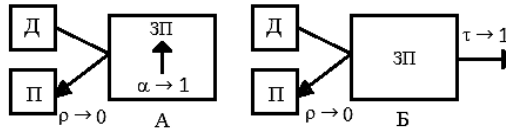


А – енергія поглинається; Б – енергія відбивається

Рисунок 5.2 – Метод ізоляції при розташуванні джерела (Д) та приймача (П) з різних боків від захисного пристрою (ЗП)

В основі цих методів лежить зменшення прозорості середовища між джерелом і приймачем, тобто виконання умови $\tau \rightarrow 0$. При цьому можна виділити два основних методи ізоляції: метод, при якому зменшення прозорості середовища досягається за рахунок поглинання енергії ЗП, тобто умова $\tau \rightarrow 0$ забезпечується умовою $\alpha \rightarrow 1$ (рис. 5.2, а), і метод, при якому зменшення прозорості середовища досягається за рахунок високої відбивної здатності ЗП, тобто умова $\tau \rightarrow 0$ забезпечується умовою $\rho \rightarrow 1$ (рис. 5.2, б).

В основі методів поглинання лежить принцип збільшення потоку енергії, що пройшов у ЗП (рис. 5.3). Розрізняють два види поглинання енергії ЗП: поглинання енергії самим ЗП за рахунок її добору від джерела у тій чи іншій формі, у тому числі у вигляді необоротних втрат, що характеризується коефіцієнтом α (рис. 5.3, а) і поглинання енергії у зв'язку зі значною прозорістю ЗП, що характеризується коефіцієнтом τ (рис. 5.3, б).



А – енергія відбирається; Б – енергія пропускається

Рисунок 5.3 – Методи поглинання при розташуванні джерела (Д) і приймача (П) з одного боку від захисного пристрою (ЗП)

При розгляданні поширення коливань поряд з коефіцієнтом α використовують коефіцієнт втрат η , який характеризує кількість енергії розсіяної ЗП:

$$\eta = \frac{W_S}{\omega \cdot \varepsilon} = \frac{E_S}{2\pi \cdot \varepsilon},$$

де W_S і E_S – середні значення потужності втрат і розсіяння енергії за певний період коливань, ω – кругова частота; ε – енергія, запасена системою.

Вибір методів захисту від енергетичних впливів залежить від виду і форми прояву енергії.

При захисті від механічних і акустичних коливань основними методами зниження рівня їх впливу є зменшення енергетичних параметрів у джерелі, оптимальна орієнтація джерела коливань щодо об'єкта впливу, поглинання частини генерованої енергії коливань, зменшення енергії коливань на шляху їх розповсюдження від джерела шляхом ізоляції, екранування і демпфування, захист відстанню і часом, проведення організаційно-технічних і соціально-реабілітаційних заходів.

Захист від вібрації у промисловості і у навколишньому середовищі здійснюється впливом на джерело вібрації шляхом зниження вібрації на шляху її поширення, застосуванням відповідної організації праці, використанням засобів індивідуального захисту, проведенням лікувально-профілактичних заходів.

До основних інженерно-технічних заходів захисту від ЕМП належать зменшення потужності випромінювання безпосередньо у джерелі та електромагнітне екранування.

5.1 Механічні та акустичні коливання

Переміщення точки або механічної системи при якому відбувається по чергове зростання і зниження у часі значень хоча б однієї координати називають *вібрацією*. При вібрації виробничих механізмів передаються їх швидкі коливальні і обертальні рухи контактуючим з ними предметам у тому числі працівникам. Причиною порушення вібрації є виникаючі при роботі машин неурівноважені силові впливи: ударні навантаження; зворотно-поступальні переміщення; дисбаланс. Причиною дисбалансу є: неоднорідність матеріалу; розбіжність центрів мас і осей обертання; деформація.

Вібрація – загальнобіологічний шкідливий чинник, що призводить до фазових захворювань – віброзахворювань, лікування яких можливе лише на ранніх стадіях. Згідно способу передавання на людину вібрація підрозділяється на загальну і локальну. *Загальна* – діє через опорні поверхні ніг на весь організм у цілому. *Локальна* – на окремі ділянки тіла. Загальну поділяють згідно характеру передавання на: транспортну (при прямованні машин); транспортно-технологічну (при виконанні роботи машиною: кран, бульдозер); технологічну (при роботі механізмів коли людина знаходиться поруч). Основними параметрами вібрації є: частота (Гц); амплітуда зміщення (м або см); віброшвидкість (м/с); віброприскорення (м/с²); період коливань (с).

Людина є замкнутою системою з частотою коливань 5,0–9,0 Гц. Якщо підвести зовнішні коливання з тією самою частотою – резонансом, то можливе повне припинення роботи серця. Для вимірювання сили вібрації використовують різні прилади і в тому числі *віброскоп*. У табл. 5.1 наведені дані щодо впливу вібрації на організм людини.

Таблиця 5.1 – Вплив вібрації на організм людини

Амплітуда коливань вібрації, мм	Частота вібрації, Гц	Результат впливу
До 0,015	Різна	Не чинить впливу на організм
0,016–0,050	40–50	Нервові збудження та депресія
0,051–0,100	40–50	Зміни у центральній нервовій системі. Серці та органах слуху
0,101–0,300	50–150	Можливе захворювання
0,101–0,300	150–250	Викликає віброхворобу

У автоматизованих виробництвах засобом боротьби з вібрацією є дистанційне керування (виключає контакт) відповідним технологічним процесом. А у неавтоматизованих виробництвах використовують такі засоби та заходи:

1. Зниження вібрації у джерелах їх виникнення:
 - підвищення точності роботи деталей (виключення можливих ударів та різких прискорень);
 - оптимізація технологічного процесу (зміна частоти власних коливань джерела);
 - покращення балансування;
2. Відстройка від режимів резонансу (збільшення жорсткості системи):
 - вибродемпфірування шляхом перетворення енергії коливальної системи у теплову енергію (застосування віброізоляторів з більшим внутрішнім тертям: дерево, гума, пластмаса);
 - введення до системи додаткового пружного зв'язку (пружних віброізоляторів) для ослаблення передавання вібрації об'єкту захисту (суміжному елементу конструкції або робочому місцю);
3. Покращення організації праці вібронезбезпечних процесів:
 - загальна кількість робочого часу у контакті з віброобладнанням не повинна перевищувати зміни;

– одноразова дія не повинна перевищувати для локальної – 20 хвилин, для загальної – 40 хвилин.

Шумом називають будь-який звук, що несприятливо діє на людину. Звичай шум є поєднанням звуків різної частоти та інтенсивності. З фізичної точки зору звук являє собою механічні коливання пружного середовища. Звукова хвиля характеризується звуковим тиском, Па, коливальною швидкістю, м/с, інтенсивністю, Вт/м² і частотою – числом коливань у секунду, Гц.

Звукові коливання будь-якого середовища (наприклад, повітря) виникають при порушенні його стаціонарного стану під впливом вимушених коливань. Частиці середовища починають колитися відносно положення рівноваги, причому швидкість цих коливань (коливальна швидкість) значно нижче швидкості поширення звукових хвиль (швидкості звуку), яка залежить від пружних властивостей, температури і густини середовища.

Під час звукових коливань у повітрі утворюються області зниженого і підвищеного тиску, які визначають звуковий тиск. *Звуковим тиском* називається різниця між миттєвим значенням повного тиску і середнім тиском у спокійному середовищі.

Характеристикою джерела шуму слугує *звукова потужність*, яка визначається загальною кількістю звукової енергії, випромінюваної джерелом шуму у навколишній простір за одиницю часу. При поширенні звукової хвилі у просторі відбувається перенесення енергії. Кількість перенесеної енергії визначається *інтенсивністю звуку*. Середній потік енергії у будь-якій точці середовища на одиницю часу, віднесений до одиниці площі поверхні, нормальній до напрямку поширення хвилі, називається *інтенсивністю звуку у даній точці*.

Джерелами шуму на машинобудівних підприємствах є: виробничі обладнання (верстатне, ковальсько-пресове та ін.); енергетичне обладнання, компресорні та насосні станції, вентиляційні установки, трансформаторні підстанції; продукція підприємства – при її випробуваннях на стендах (двигуни внутрішнього згоряння, авіаційні двигуни, компресори та ін.).

У залежності від фізичної природи шуми поділяються на джерела механічного, аеродинамічного, електромагнітного і гідродинамічного шуму. Зниження шуму на робочих місцях має досягатися передусім за рахунок акустичного вдосконалення машин – покращення їхніх шумових характеристик.

Спектри шуму поділяються на широкосмугові і тональні. *Широкосмугові* характеризуються спектром шуму шириною більше однієї октави, *тональні* мають у своєму складі виражені дискретні тони з перевищенням рівня звукового тиску (у третинно октавній смузі частот) над сусідніми не менш ніж на 10 дБ.

Для оцінювання та порівняння шумів, що змінюються за часом, застосовують рівні звуку. *Рівень звуку* – це сумарний рівень звукового тиску, визначеного у всьому частотному діапазоні. Вимірюють рівень звуку шумоміром у децибеллах (дБ) за шкалою, що має коригуючий контур згідно низькочастотної складової.

За часовими характеристиками шуми поділяються: на *постійні та непостійні*, а останні, у свою чергу, поділяються на *коливальні переривчасті та імпульсні*. Шум відноситься до постійного, якщо рівень звуку, що характеризує його, змінюється за восьмигодинний робочий день (робочий зміну) не більш ніж на 5 дБ; для непостійних шумів характерна зміна рівня звуку протягом робочого дня більш ніж на 5 дБ. Коливальні шуми характеризуються рівнем звуку, що безперервно змінюється у часі, наприклад шум транспортного потоку. Для переривчастих шумів рівень звуку змінюється східчасто (на 5 дБ і більше), при цьому тривалість інтервалів, протягом яких рівень залишається постійним, становить 1 секунду і більше, наприклад шум, що виникає при періодичному випуску газу з-під поршня. Імпульсні шуми – це один або декілька звукових сигналів кожен тривалістю менше 1 секунду, що сприймається людиною як удари, які відбуваються один за іншим, рівні звуку при цьому відрізняються не менш ніж на 7 дБ. Для машин ударної дії характерний імпульсний шум.

Засоби захисту від шуму, що застосовуються на підприємствах, поділяються на:

1. Найбільш раціональним методом є боротьба з шумом у джерелі виникнення (зменшення звукової потужності). Причиною виникнення шумів можуть бути механічні, аеродинамічні, гідродинамічні і електромагнітні явища, зумовлені конструкцією і характером роботи машин і механізмів, а також неточностями, допущеними у процесі виготовлення і умовами випробування та експлуатації. Для зниження шуму у джерелі виникнення можуть успішно застосовуватися наступні заходи: заміна ударних механізмів і процесів; застосування малошумних сполук; застосування як конструкційних матеріалів з високим внутрішнім тертям; підвищення вимог до балансуванню роторів; зміна режиму і умов роботи механізмів та машин; застосування мастила для запобігання їх зносу і шуму від тертя. Важливе значення має своєчасне технічне обслуговування обладнання, при якому забезпечується надійність кріплення і правильне регулювання зчленувань. Комплекс заходів, спрямованих на зменшення шуму у джерелі, може забезпечити зниження рівня звуку на 10–20 дБ і більше.

2. Зміна спрямованості випромінювання шуму. При проектуванні установок з направленим випромінюванням необхідна відповідна орієнтація цих установок у відношенні до робочих місць, оскільки величина показника спрямованості може сягати 10–15 дБ. Наприклад, отвір повітрязаборної шахти вентиляційної установки необхідно розташовувати так, щоб максимум випромінюваного шуму був направлений до протилежний бік від робочого місця або житлового будинку.

3. Раціональне планування підприємств і цехів. Шум на робочому місці може бути зменшений за рахунок збільшення відстані від джерела шуму до розрахункової точки. Всередині будівлі тихі приміщення повинні розташовуватися далі від гучних приміщень так, щоб їх розділяло кілька інших приміщень. На території підприємства більш гучні цехи необхідно концентрувати в одному-двох місцях. Відстань між тихими приміщеннями

(конструкторське бюро, заводоуправління) і гучними цехами повинна забезпечувати необхідне зниження шуму.

4. Акустичне оброблення приміщень. Інтенсивність шуму у приміщеннях залежить не лише від прямого, але і від відбитого звуку, тому для зменшення останнього застосовують звукопоглинаючі облицювання поверхонь приміщення і штучні (об'ємні) поглиначі різних конструкцій, що підвішуються до стелі приміщень. Процес поглинання звуку відбувається шляхом переходу енергії коливних часток повітря у теплоту за рахунок втрат на тертя у пористому матеріалі. Для більшої ефективності звукопоглинання пористий матеріал повинен мати відкриті з боку падіння звуку і незамкнуті пори. Звукопоглинальні матеріали мають коефіцієнт звукопоглинання $a > 0,2$. У бетону, цегли ця величина не перевищує 0,01–0,05. Звукопоглинальні властивості пористих матеріалів визначаються товщиною шару, частотою звуку, наявністю повітряного прошарку. Найбільш гучні машини і механізми закривають кожухами, які зазвичай виготовляють з конструкційних матеріалів – сталі, сплавів алюмінію, пластмас та ін. і встилають зсередини звукопоглинаючим матеріалом товщиною 30–50 мм.

5.2 Іонізуюче випромінювання

Іонізуюче випромінювання існувало на Землі ще задовго до появи на ній людини. Проте вплив іонізуючих випромінювань на організм людини був виявлений лише наприкінці XIX ст. у зв'язку з відкриттям французького вченого А. Беккереля, а потім дослідженнями П'єра і Марії Кюрі явища радіоактивності, вплив якого Кюрі вивчали безпосередньо на собі.

Поняття «іонізуюче випромінювання» об'єднує різні за своєю природою випромінювання. Подібність їх полягає у тому, що всі вони вирізняються високою енергією, мають властивість іонізувати і руйнувати біологічні об'єкти. Під впливом іонізуючого випромінювання атоми і молекули живих клітин іонізуються, у результаті чого відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які впливають на характер подальшої життєдіяльності організму. Іонізуючі випромінювання, діючи на організм людини, викликають у ньому зворотні і незворотні зміни.

Іонізуюче випромінювання – це таке випромінювання, взаємодія якого з середовищем призводить до утворення електричних зарядів різних знаків. Розрізняють корпускулярне і фотонне іонізуюче випромінювання.

Корпускулярне випромінювання – це потік елементарних частинок з масою спокою, відмінною від нуля, що утворюються при радіоактивному розпаданні та ядерних перетвореннях або генеруються на прискорювачах. Це α - і β -частки, нейтрони, протони та ін.

Фотонне випромінювання – це потік електромагнітних коливань, що поширюються у вакуумі з постійною швидкістю 300000 км/с, це γ -випромінювання і рентгенівське випромінювання.

Випромінюванню властиві певна енергія, шлях вільного пробігу, іонізуюча і проникаюча спроможності. *Іонізуюча спроможність* випромінювання визначається питомою іонізацією, тобто кількістю пар іонів, що утворюються

часткою на одиниці об'єму, маси середовища або на одиниці довжини шляху. Різні види випромінювань мають різноманітну іонізуючу спроможність.

Проникаюча спроможність випромінювань визначається величиною пробігу, тобто шляхом, пройденим часткою у речовині до її повного зникнення. Джерела іонізуючих випромінювань поділяються на природні та штучні. *Штучними джерелами* іонізуючих випромінювань є ядерні вибухи, ядерні установки для виробництва енергії, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок, рентгенівські апарати, прилади апаратури засобів зв'язку високої напруги тощо.

Однією з причин появи іонізуючого випромінювання є *радіоактивність* – спонтанне (мимовільне) перетворення нестійких атомних ядер (радіонуклідів) у ядра інших елементів, що супроводжується випромінюванням часток або квантів енергії. Хімічні елементи, радіонукліди, називаються радіоактивними елементами або радіоактивними ізотопами. Радіонукліди утворюють випромінювання у момент свого перетворення у інші ядра. Радіоактивні ізотопи характеризуються періодом напіврозпаду (від секунд до мільйонів років), типом радіоактивного розпаду, активністю (кількістю радіоактивних перетворень за одиницю часу) та енергією випромінювання за одиницю часу.

Дія іонізуючого випромінювання у будь-якому середовищі залежить від енергії випромінювання і оцінюється дозою іонізуючого випромінювання. Останнє визначається для повітря, речовини і біологічної тканини. Відповідно розрізняють експозиційну, поглинену та еквівалентну дози іонізуючого випромінювання.

Еквівалентна доза є мірою біологічного впливу випромінювання на конкретну людину, тобто індивідуальним критерієм безпеки, зумовленим іонізуючим випромінюванням. За одиницю вимірювання еквівалентної дози прийнято зіверт (Зв): 1 зіверт дорівнює поглинутій дозі у 1 Дж/кг (для рентгенівського, α -, β -випромінювань). Позасистемною одиницею слугує бер: 1 бер = 0,01 Зв.

Ефект дії іонізуючого випромінювання зумовлюється не лише кількістю поглинутої об'єктом, що опромінюється, енергії, але і формою, у якій ця енергія передається. Ніякий інший вид енергії (теплова, електрична та ін.), що поглинається біологічним об'єктом у тій самій кількості, не призводить до таких змін, які спричиняє іонізуюче випромінювання. Дія іонізуючого випромінювання на організм людини має певні особливості:

- органи чуття не реагують на випромінювання;
- незначні дози випромінювання можуть поєднуватися і накопичуватися в організмі (кумулятивний ефект);
- випромінювання діє не лише на певний живий організм, але і на його спадкоємців (генетичний ефект);
- різні органи організму мають різну чутливість до випромінювання.

Гранично допустимою дозою (ГДД) загального опромінення людини вважається доза, яка не повинна викликати значних ушкоджень організму протягом життя. ГДД для людей, які постійно працюють з радіоактивними речовинами, прийнято вважати 2 бер на рік. При цій дозі не спостерігається соматичних уражень, проте достовірно поки невідомо, яким чином

реалізуються канцерогенний і генетичний ефекти дії. Цю дозу слід розглядати як верхню межу, до якої не варто наближатися.

Заходи радіаційної безпеки, що застосовують на підприємствах, залежать від конкретних умов роботи з джерелами іонізуючих випромінювань і передусім від типу джерела випромінювання.

Закритими називаються будь-які джерела іонізуючого випромінювання, будова яких виключає проникнення радіоактивних речовин у навколишнє середовище при передбачених умовах їх експлуатації і зносу.

Встановлені певні закони поширення іонізуючих випромінювань і характеру їх взаємодії з речовиною, серед найголовніших є такі:

- доза зовнішнього опромінення пропорційна інтенсивності випромінювання і часу впливу;
- інтенсивність випромінювання від точкового джерела пропорційна кількості квантів або часток, що виникають у ньому за одиницю часу, і обернено пропорційна квадрату відстані;
- інтенсивність випромінювання може бути зменшена за допомогою екранів.

Основними принципами забезпечення радіаційної безпеки при роботі з закритими джерелами іонізуючого випромінювання є:

- зменшення потужності джерел до мінімальних значень (захист кількістю);
- скорочення часу роботи з джерелом (захист часом);
- збільшення відстані від джерел до людей (захист відстанню);
- екранування джерел випромінювання матеріалами, що поглинають іонізуюче випромінювання (захист екраном).

Відкритими називаються такі джерела іонізуючого випромінювання, при використанні яких можливе потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище. При цьому може відбуватися не лише зовнішнє, але і додаткове внутрішнє опромінення персоналу. Тому, основними принципами забезпечення радіаційної безпеки при взаємодії з відкритими джерелами іонізуючого випромінювання є:

- використання принципів захисту, що застосовуються при роботі з джерелами випромінювання у закритому вигляді;
- герметизація виробничого устаткування з метою ізоляції процесів, що можуть стати джерелами надходження радіоактивних речовин у зовнішнє середовище;
 - заходи планувального характеру;
 - застосування санітарно-технічних засобів та устаткування, використання спеціальних захисних матеріалів;
 - використання засобів індивідуального захисту і санітарного оброблення персоналу;
 - дотримання правил особистої гігієни;
 - очищення від радіоактивних забруднень поверхонь будівельних конструкцій, апаратури і засобів індивідуального захисту;
 - використання радіопротекторів (біологічний захист).

5.3 Електромагнітні поля і випромінювання

У процесі еволюції біосфера постійно перебуває під впливом електромагнітних полів (ЕМП) природного походження (природний фон): електричне та магнітне поля Землі, космічні ЕМП, передусім ті, що генеруються Сонцем. У період науково-технічного прогресу людство створило і все ширше використовує штучні джерела ЕМП. У наш час ЕМП антропогенного походження значно перевищують природний фон і є тим несприятливим чинником, що негативно впливає на людину та постійно зростає.

Джерелами, що генерують ЕМП антропогенного походження, є телевізійні та радіотрансляційні станції, установки для радіолокації та радіонавігації, високовольтні лінії електропередач, промислові установки високочастотного нагрівання, пристрої, що забезпечують мобільний та сотовий телефонні зв'язки, антени, трансформатори та ін. Джерелами ЕМП можуть бути будь-які елементи електричного кола, через які проходить високочастотний струм. Причому ЕМП змінюється з тією самою частотою, що і струм, який його створює.

Електромагнітні поля характеризуються певною енергією, яка поширюється у просторі у вигляді електромагнітних хвиль. Основними параметрами електромагнітних хвиль є: довжина хвилі λ , м; частота коливання f , Гц; швидкість поширення радіохвиль c , м/с. Ці параметри пов'язані між собою наступною залежністю

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

Залежно від частоти коливань (довжини хвилі) радіочастотні електромагнітні випромінювання поділяються на діапазони (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Спектр діапазонів електромагнітних випромінювань радіочастот

Назва діапазону частот	Діапазон частот, Гц	Діапазон довжин хвиль, м	Назва діапазону довжин хвиль
Низькі частоти (НЧ)	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	$10^4 - 10^3$	Довгі (кілометрові)
Середні частоти (СЧ)	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	$10^3 - 10^2$	Середні (гектаметрові)
Високі частоти (ВЧ)	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$	$10^2 - 10^3$	Короткі (декаметрові)
Дуже високі частоти (ДВЧ)	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$	10 – 1,0	Ультракорткі (метрові)
Ультрависокі частоти (УВЧ)	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	1,0 – 10^{-1}	Дециметрові
Надвисокі частоти (НВЧ)	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$	$10^{-1} - 10^{-2}$	Сантиметрові
Надзвичайно високі частоти (НЗВЧ)	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	$10^{-2} - 10^{-3}$	Міліметрові

Примітка: діапазони частот та довжин хвиль включають верхнє значення параметра і виключають нижнє.

Ступінь впливу ЕМП на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії, характеру випромінювання (безперервне чи модульоване), режиму опромінення, площі опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму. ЕМП можуть викликати біологічні та функціональні несприятливі ефекти в організмі людини. Функціональні ефекти

виявляються у передчасній втомлюваності, частих головних болях, погіршенні сну, порушеннях центральної нервової та серцево-судинної систем. При систематичному опроміненні ЕМП спостерігаються зміни кров'яного тиску, сповільнення пульсу, нервово-психічні захворювання, деякі тропічні явища (випадіння волосся, ламкість нігтів та ін.). Сучасні дослідження вказують на те, що радіочастотні випромінювання, впливаючи на ЦНС, є вагомим стрес-чинником.

Змінне ЕМП являє собою сукупність магнітного та електричного полів і поширюється у просторі у вигляді електромагнітних хвиль. Основним параметром, що характеризує магнітне та електричне поля є напруженість: H – напруженість магнітного поля, А/м; E – напруженість електричного поля, В/м.

Простір навколо джерела ЕМП умовно поділяють на ближню зону (*зону індукції*) та дальню зону (*зону випромінювання*). Для оцінювання ЕМП у цих зонах використовують різні підходи. *Ближня зона* охоплює простір навколо джерела ЕМП, що має радіус, який приблизно дорівнює 1/6 довжини хвилі. У цій зоні електромагнітна хвиля ще не сформована, тому інтенсивність ЕМП оцінюється окремо напруженістю магнітної та електричної складових поля (несприятлива дія ЕМП у цій зоні переважно обумовлена електричною складовою). У ближній зоні зазвичай знаходяться робочі місця з джерелами електромагнітних випромінювань НЧ, СЧ, ВЧ, ДВЧ. Робочі місця з джерелами електромагнітних випромінювань з довжиною хвилі меншою, ніж 1 м (УВЧ, НВЧ, НЗВЧ), знаходяться практично завжди у *дальній зоні*, у якій електромагнітна хвиля вже сформувалася. У цій зоні ЕМП оцінюється згідно кількості енергії (потужності), що переноситься хвилею у напрямку свого поширення. Для кількісної характеристики цієї енергії застосовують значення поверхневої густини потоку енергії, що вимірюється у $Вт/м^2$.

Засоби та заходи захисту від ЕМ випромінювань радіочастотного діапазону поділяються на індивідуальні та колективні. Останні можна поділити на організаційні, технічні та лікувально-профілактичні.

До *організаційних* заходів колективного захисту належать:

- розміщення об'єктів, які випромінюють ЕМП таким чином, щоб звести до мінімуму можливе опромінення людей;
 - захист часом – перебування персоналу у зоні дії ЕМП обмежується мінімально необхідним для проведення робіт часом;
 - захист відстанню – віддалення робочих місць на максимально допустиму відстань від джерел ЕМП;
 - захист кількістю – потужність джерел випромінювання повинна бути мінімально необхідною;
 - виділення зон випромінювання ЕМП відповідними знаками безпеки;
 - проведення дозиметричного контролю.
- Технічні* засоби колективного захисту передбачають:
- екранування джерел випромінювання ЕМП;
 - екранування робочих місць;
 - дистанційне керування установками, до складу яких входять джерела ЕМП;
 - застосування попереджувальної сигналізації.

До лікувально-профілактичних заходів колективного захисту належать:

- попередній та періодичні медогляди;
- надання додаткової оплачуваної відпустки та скорочення тривалості робочої зміни;
- допуск до роботи з джерелами ЕМП осіб, вік яких становить не менше 18 років, а також таких, що не мають протипоказань згідно стану здоров'я.

Одним з найбільш ефективних технічних засобів захисту від ЕМ випромінювань радіочастотного діапазону, що знаходить широке застосування у промисловості, є екранування. Для екранів використовуються, головним чином, матеріали зі значною електричною провідністю (мідь, латунь, алюміній та його сплави, сталь). Екрани виготовляються з металевих листів або сіток у вигляді замкнутих камер, шаф чи кожухів, що під'єднуються до системи заземлення. Принцип дії захисних екранів базується на поглинанні енергії випромінювання матеріалом з наступним відведенням у землю, а також на відбиванні її від екрану.

Основною характеристикою екрану є його *ефективність екранування*, тобто ступінь послаблення ЕМП. Товщину екрана b з суцільного листового матеріалу, що забезпечує необхідне послаблення інтенсивності ЕМП, можна визначити за формулою

$$b = \frac{E_e}{15,4 \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \rho}},$$

де E_e – задане значення послаблення інтенсивності ЕМП, яке визначається шляхом ділення дійсної інтенсивності поля на гранично допустиму; f – частота ЕМП, Гц; μ – магнітна проникність матеріалу екрану, Г/м; ρ – питома провідність матеріалу екрану, Ом/м.

Захист приміщення від впливу зовнішніх ЕМП можна забезпечити шляхом облицювання стін металізованими шпалерами та облаштування на вікнах металевих сіток.

Як засоби індивідуального захисту від ЕМ випромінювань застосовуються халати, комбінезони, захисні окуляри та ін. Матеріалом для халатів та комбінезонів слугує спеціальна радіотехнічна тканина, у структурі якої тонкі металеві нитки утворюють сітку. Для захисту очей використовують спеціальні радіозахисні окуляри ОРЗ-5 (ЗП5-90), на скло яких нанесено тонку прозору плівку напівпровідникового олова.

РОЗДІЛ 6 ПРАКТИЧНА РОБОТА СТУДЕНТІВ

6.1 Практичні роботи

6.1.1 Аналізування промислового забруднення водних об'єктів

Захист навколишнього середовища від забруднення регламентується ГДК шкідливих речовин.

ГДК (гранично допустима концентрація) – це максимальна концентрація (кількість шкідливих речовин в одиниці об'єму: мг/мл, мг/кг, мг/м³), яка у разі впливу протягом всього життя не надає шкідливого впливу на людину і навколишнє середовище, включаючи віддалені наслідки.

Записане можна виразити наступним чином

$$C_i \leq \text{ГДК}_i,$$

де C_i – фактична концентрація шкідливої речовини; ГДК_i – гранично допустима концентрація цієї шкідливої речовини.

При спільній дії декількох шкідливих речовин, що володіють однонаправленою (посилення ефекту при одночасному впливі) дією, їх безрозмірна сумарна концентрація не повинна перевищувати 1

$$\frac{C_1}{\text{ГДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ГДК}_2} + \dots + \frac{C_i}{\text{ГДК}_i} \leq 1.$$

Для визначення ступені забруднення водного об'єкту стічними водами підприємства необхідно:

1. Визначити об'єм водного об'єкту, що забруднюється.
2. Розрахувати об'єм і концентрацію кожного забруднювача у водному об'єкті, що викидається за певний проміжок часу (наприклад, за рік).
3. Визначити ступінь загального забруднення водного об'єкту та зробити відповідні висновки. Описати шляхи зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти.

Мета:

Ознайомитись з методикою розрахунку антропогенного впливу на водні об'єкти, розглянути методи захисту навколишнього середовища від забруднень.

Завдання:

1. На березі водного об'єкту площею S , км² і середньою глибиною H , м розташоване промислове підприємство, що використовує воду озера для технічних потреб, а потім скидає забруднену воду у цей самий водний об'єкт. Цикл роботи підприємства безперервний (цілодобовий). Загальний об'єм стічних вод, що викидаються, становить L , л/с. Розрахувати, якою буде ступінь забруднення водного об'єкту через 1 рік. ГДК забруднювачів для водних об'єктів становить: миш'як – 0,05 мг/л; ртуть – 0,005 мг/л; свинець – 0,1 мг/л. Дані для розрахунку зведені у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Дані для розрахунку забруднення водного об'єкту

Вар. №	S, км ²	H, м	L, л/с	Концентрації забруднювачів у стічній воді, мг/л		
				миш'як	ртуть	свинець
1	3,0	3,0	20	0,25	0,10	0,68
2	3,0	2,5	15	0,16	0,32	0,95
3	2,5	2,0	10	0,31	0,15	1,80
4	5,2	2,5	10	0,20	0,90	0,10
5	5,0	3,5	15	0,60	0,05	3,15
6	4,5	2,0	25	2,60	0,45	1,80
7	4,0	2,5	30	1,60	0,30	2,10
8	4,6	3,0	20	0,50	0,40	1,00
9	2,8	1,5	10	0,30	0,10	0,65
10	3,2	2,0	15	0,75	0,45	0,90
11	2,0	2,0	10	0,15	0,08	0,53
12	2,6	2,0	15	0,41	0,16	0,85
13	3,6	2,5	20	0,26	0,13	1,20
14	5,0	2,5	10	0,17	0,20	1,30
15	5,0	2,0	10	0,20	0,13	1,43
16	2,5	2,0	20	0,22	0,03	0,71
17	3,0	2,0	15	0,27	0,12	0,55
18	4,0	2,0	16	1,06	0,47	0,68
19	1,5	1,0	18	0,60	0,24	0,70
20	2,0	3,0	15	0,20	0,18	1,05
21	1,8	2,3	16	1,00	0,15	0,65
22	2,6	1,8	12	0,08	0,47	0,68
23	2,8	2,3	20	0,34	0,29	1,31
24	2,5	2,0	17	0,42	0,94	1,37
25	3,0	2,8	20	0,96	0,49	1,43

2. Описати шляхи зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти.

6.1.2 Розрахунок викидів в атмосферу при спалюванні різного палива

Найбільший вплив на стан атмосфери чинить теплоенергетика, металургійна промисловість, підприємства хімічної та будівельної індустрії, а також автотранспорт.

Найбільша кількість забруднювачів атмосферного повітря надходить від енергетичних установок, що працюють на вуглецевому паливі (вугілля, мазут, сланці, природний газ). На теплових електростанціях викидається близько 70–80% усієї кількості забруднень. Оскільки виробництво електроенергії у світі подвоюється кожні 10–15 років, можна передбачити, що проблема впливу ТЕС на навколишнє середовище буде постійно перебувати у центрі уваги екологів.

При спалюванні твердого палива в атмосферу надходять двоокис і триокис сірки, оксиди азоту, окис вуглецю, легка зола, сажа, деяка кількість фтористих сполук. При спалюванні сірчастого мазуту з димовими газами в атмосферу надходять двоокис і триокис сірки, оксиди азоту, продукти неповного згоряння, сполуки ванадію, солі натрію. При спалюванні природного газу основною шкідливою домішкою у продуктах згоряння практично є лише оксид азоту, однак його на 20% менше, ніж при спалюванні твердого палива.

Найбільш шкідливим і токсичним забруднювачем атмосфери є двоокис сірки, кількість якого обумовлюється вихідним вмістом сірки у паливі. Усі види палива містять сірку: вугілля – 1,5–7%; мазут – 2–2,5%; газ – 0,05%. Гранично допустима концентрація (ГДК) SO₂ становить 0,05 мг/м³.

Схема матеріально балансу теплоелектростанції потужністю 2,4 млн. кВт надана на рис. 6.1.



Рисунок 6.1 – Схема матеріально балансу ТЕС

При виконанні проєктів нормативів гранично допустимих викидів (ГДВ) об'єм газів приймається на підставі даних вимірів або у разі їх відсутності згідно потужності вентиляторів. І може бути розрахований за спеціальною формулою

$$V = \frac{G \cdot V_r \cdot K}{3600},$$

де V – об'єм димових газів, м³/с; G – витрата палива, кг/рік або м³/рік; V_r – об'єм продуктів згоряння на одиницю палива, який залежить від типу спалюваного палива м³/м³ (табл. 6.2); K – коефіцієнт подавання повітря по тракту, становить 5%.

При спалюванні твердого палива разом з газоподібними компонентами в атмосферу надходять летка зола та частки незгорілого палива. Кількість золи та незгорілого палива, що викидаються в атмосферу з димовими газами від котлоагрегату при спалюванні твердого палива, розраховують з застосуванням формули

$$M_{\text{тв}} = G \cdot A^p \cdot f \cdot (1 - \eta_3),$$

де $M_{\text{тв}}$ – кількість золи, що викидається з димовими газами, (г/с або т/рік); G – витрата палива, (г/с або т/рік); A^p – зольність палива у робочому стані, %; η_3 – кількість твердих часток, що вловлюються у золоуловлювачах; f – безрозмірний коефіцієнт залежний від конструкції топкових пристроїв, який визначають за наступною формулою

$$f = \alpha_v \cdot (100 - \Gamma_v),$$

де α_v – частка золи, яка виноситься димовими газами; Γ_v – вміст горючих газів, які виносяться димовими газами, %.

Значення A^p , Γ_v , α_v , η_3 – ухвалюються за фактичними середніми даними. У відсутності цих даних величина A^p визначається згідно характеристики палива,

що спалюється (за спеціальними таблицями), величина η_3 – за технічними даними золоуловлювачів.

Таблиця 6.2 – Залежність об'єму продуктів згоряння палива від типу палива

Вугілля Д	$V_r = 5,86 + 5,44(\alpha-1)$
Вугілля Г	$V_r = 5,48 + 5,07(\alpha-1)$
Вугілля АШ	$V_r = 6,92 + 6,74(\alpha-1)$
Мазут	$V_r = 11,08 + 10,46(\alpha-1)$
Доменний газ	$V_r = 1,64 + 0,79(\alpha-1)$
Коксовий газ	$V_r = 4,67 + 3,99(\alpha-1)$
Природний газ	$V_r = 10,46 + 9,49(\alpha-1)$

α – коефіцієнт подавання повітря на горіння.

Мета:

Опанувати методику визначення кількості газів та незгорівших домішок, що потрапляють в атмосферне повітря при згорянні різного палива. Визначити шляхи зменшення антропогенного навантаження на атмосферу.

Завдання:

1. Розрахувати масу CO_2 , який надходить в атмосферу при спалюванні 2,7 т коксу, якщо ступінь очищення газу становить 75%.

2. Електростанція щодоби спалює 172 т кам'яного вугілля з середнім вмістом сірки 7,2%. Визначити річне викидання SO_2 в атмосферу та кількість сірчаної кислоти, яка може утворитися при очищенні викидів двоокису сірки.

3. Визначити масу викидів двоокису вуглецю і сірки, що утворюються у разі спалювання 21,5 тис. тонн вугілля на добу при його зольності 2,3% і вмісті загальної сірки 1,8%, якщо ступінь перетворення вугілля становить 93%, а сірка повністю переходить у SO_2 .

4. В атмосферу надходить 8000 т SO_2 . З цієї кількості відходів уловлюється лише 44%. Визначити, яка кількість CaCO_3 необхідна для поглинання цієї кількості двоокису сірки.

5. Теплоелектростанція потужністю 1000 МВт переробляє на добу 7500 т вугілля, яке містить 3,8% сірки і 11% золи. Визначити, скільки сірки надходить в атмосферу та скільки золи переходить у шлаки, викидається в атмосферу і уловлюється з димових газів. Якщо 1/3 золи вугілля утворює шлаки, а 2/3 золи вугілля переходить у легку золу, з якої 99% уловлюється системою очищення димових газів.

6. Розрахувати масу газу, який утворився при спалюванні 100 кг палива, що містить сірку – 39%, воду – 3%, вуглець – 6% та мінеральні домішки – 52%. Сірка та вуглець згорають повністю.

7. Теплоелектростанція спалює 100 тис. тон палива на добу. Паливо містить сірку – 3%, золу – 25% та деяку кількість вуглецю. Ступінь перетворення сірки – 95%, а вуглецю – 93%. Визначити масу продуктів згоряння палива за рік.

8. Сухий коксовий газ містить: водень – 56%; метан – 25,5%; етилен – 2,5%; окис вуглецю – 7%; двоокис вуглецю – 2,6%; кисень – 0,7%; азот – 5,7%. Визначити склад продуктів згоряння палива.

9. У повітрі виявлено присутність домішок А, В, С, у концентраціях С_А, С_В, С_С. Чи відповідає встановленим нормам якість повітря, якщо ГДК цих речовин відповідно дорівнюють ГДК_А, ГДК_В, ГДК_С? У розрахунках врахувати ефект сумачії. Дані для розрахунку надані у табл. 6.3

Таблиця 6.3 – Дані для розрахунку ефекту сумачії

№	Речовина	С, мг/м ³	Речовина	С, мг/м ³	ГДК, мг/м ³
1	А: Двоокис азоту	0,025	А: Двоокис азоту	0,018	0,085
	В: Азотна кислота	0,22	В: Азотна кислота	0,035	0,4
	С: Двоокис сірки	0,031	С: Двоокис сірки	0,152	0,05
2	А: Сірчана кислота	0,015	А: Сірчана кислота	0,035	0,1
	В: Соляна кислота	0,11	В: Соляна кислота	0,17	0,2
	С: Двоокис сірки	0,026	С: Двоокис сірки	0,036	0,05
3	А: Анілін	0,015	А: Анілін	0,012	0,35
	В: Ацетон	0,14	В: Ацетон	0,22	0,03
	С: Метилацетат	0,025	С: Метилацетат	0,021	0,07
4	А: Бензол	0,15	А: Бензол	0,35	0,8
	В: Бензин	0,14	В: Бензин	0,74	1,5
	С: Гексахлорциклогексан	0,025	С: Гексахлорциклогексан	0,015	0,03
5	А: Бензол	0,15	С: Дихлоретан	0,33	0,8
	В: Диметиланілін	0,002	В: Диметиланілін	0,001	0,005
	С: Дихлоретан	0,25	А: Бензол	0,44	1
6	А: Ксилол	0,15	А: Ксилол	0,05	0,2
	В: Толуол	0,2	В: Толуол	0,23	0,6
	С: Бензол	0,25	С: Бензол	0,65	0,8
7	А: Метанол	0,15	А: Метанол	0,35	0,5
	В: Толуол	0,2	В: Толуол	0,26	0,6
	С: Етанол	2,5	С: Етанол	2,63	5
8	А: Метенол	0,1	А: Метенол	0,18	0,5
	В: Толуол	0,23	В: Толуол	0,28	0,6
	С: Дихлоретан	0,59	С: Дихлоретан	0,79	1
9	А: Метилацетат	0,022	А: Метилацетат	0,022	0,07
	В: Дивініл	0,23	В: Дивініл	0,63	1
	С: Дихлоретан	0,53	С: Дихлоретан	0,48	1
10	А: Метилацетат	0,012	А: Метилацетат	0,01	0,07
	В: Бутилацетат	0,33	В: Бутилацетат	0,066	0,1
	С: Дихлоретан	0,5	С: Дихлоретан	0,43	1
11	А: Хлорбензол	0,012	А: Хлорбензол	0,052	0,1
	В: Хлорофос	0,013	В: Хлорофос	0,011	0,02
	С: Хлор	0,0033	С: Хлор	0,0025	0,03
12	А: Соляна кислота	0,12	А: Соляна кислота	0,08	0,2
	В: Хлорофос	0,016	В: Хлорофос	0,011	0,02
	С: Хлор	0,0043	С: Хлор	0,0047	0,03
13	А: Ацетатний ангідрид	0,012	А: Ацетатний ангідрид	0,015	0,03
	В: Синильна кислота	0,004	В: Синильна кислота	0,004	0,01
	С: Формальдегід	0,0085	С: Формальдегід	0,008	0,012
14	А: Сірководень	0,002	А: Сірководень	0,0027	0,008
	В: Синильна кислота	0,0048	В: Синильна кислота	0,0068	0,01
	С: Фенол	0,0035	С: Фенол	0,0055	0,01

10. Визначити об'єм продуктів згоряння палива у разі спалювання коксового газу при витраті палива – 15 м³/год, коефіцієнт подавання повітря на горіння – 1,05, коефіцієнт подавання повітря по тракту – 1,18. Для спалювання використовують: доменний газ; коксовий газ; вугілля Д; вугілля Г; вугілля АШ; мазут; природний газ.

11. Визначити максимальну кількість золи, що викидається за 1 секунду і кількість золи, яка викидається з димовими газами від котлоагрегату при спалюванні у ньому кам'яного вугілля марки Ж за рік. Якщо, за котлом встановлений золоуловлювач циклонного типу, максимальна витрата палива на годину – 216 кг/годину, максимальна витрата палива на рік – 1000 т/рік. Топка обладнана пневматичним викидувачем і нерухливими ґратами ($f = 0,0026$ згідно табличних даних), зольність палива – 16%, частка твердої фази, що вловлюється у золоуловлювачах – 0,7.

6.1.3 Аналізування сумарних викидів в атмосферу, розрахунок їх розсіювання та приземних концентрацій

Регламентування викидів шкідливих речовин в атмосферу через ті або інші джерела здійснюється на основі встановлення гранично допустимих викидів (ГДВ).

ГДВ – це науково-технічний норматив, який передбачає, що концентрація забруднюючих речовин у приземному шарі повітря від джерела або їх сукупності не перевищує нормативну концентрацію цих речовин, що погіршують якість повітря. ГДВ (г/с) слід порівнювати з потужністю викиду M , яка характеризується кількістю речовини, що викидається, за одиницю часу.

ГДВ встановлюється для кожного джерела забруднення атмосфери за умови, що викиди шкідливих речовин від даного джерела з урахуванням розсіювання не створять приземних концентрацій шкідливих речовин, що перевищують ГДК. Розрахунки ГДВ здійснюється у такий спосіб:

– для нагрітих викидів

$$ГДВ = \frac{ГДК \cdot Н^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n},$$

– для холодних викидів

$$ГДВ = \frac{8ГДК \cdot Н \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot Н}}{A \cdot F \cdot D \cdot n},$$

де ГДК – гранично допустима концентрація, г/с; H – висота труби над землею, м; ΔT – різниця температури газів, що викидаються, і повітря; A – коефіцієнт, який залежить від температурної стратифікації атмосфери, що визначає умови вертикального та горизонтального розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі, і варіюється залежно від географічного району від 120 до 240, для України складає $160 \text{ с}^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot \text{градуси}^{1/3} / \text{г}$; F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднювача в атмосфері (табл. 6.4); D – діаметр устя труби, м; V_1 – повна витрата газоповітряної суміші, що викидається, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \omega_0}{4};$$

ω_0 – середня швидкість надходження газів з труби, м/с; m – безрозмірний коефіцієнт, що враховує умови виходу газів із труби:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}};$$

f – параметр, що розраховується згідно формули, м/с²:

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T};$$

n – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від конструктивного параметра (V_M , м/с) і визначається наступним чином (табл. 6.5):

– для нагрітих викидів

$$V_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}},$$

– для холодних викидів

$$V_M = 1,3 \cdot \omega_0 \cdot \frac{D}{H}.$$

Таблиця 6.4 – Визначення коефіцієнта F

Середовище	Значення F	
Гази, високодисперсні золи, що не осідають	1	
Пил при коефіцієнті очищення	> 90%	2
	75 ÷ 90%	2,5
	< 75%	3

Таблиця 6.5 – Залежність безрозмірного коефіцієнту n від конструктивного параметра

V_M

Конструктивний параметр V_M	Безрозмірний коефіцієнт n
$\leq 0,3$	3
> 2	1
$0,3 \div 2$	$n = 3 - \sqrt{(V_M - 0,3)(4,36 - V_M)}$

У тих випадках, коли концентрація шкідливої речовини у розрахунковій точці перевищує ГДК для даної речовини, а зниження ГДВ до необхідних значень не може бути забезпечене згідно об'єктивних причин, здійснюється поетапне зниження викидів шкідливих речовин до ГДК, тобто на кожному етапі встановлюється тимчасово погоджені викиди (ТПВ) зі строком перегляду через кожні 5 років. Схема поширення домішок з точкового джерела наведена на рис. 6.2.

Газові викиди на певній відстані досягають землі. Приземна концентрація швидко зростає до максимальної величини і потім з мірою віддалення від труби повільно зменшується. Приземна концентрація у будь-якій точці, розташованій з підвітряної сторони від труби, визначається за формулою (мг/м³):

– для нагрітих викидів

$$C = C_M \cdot S_1 \cdot S_2 = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^{2,3} \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \cdot S_1 \cdot S_2,$$

– для холодних викидів

$$C = C_m \cdot K \cdot S_1 \cdot S_2 = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta}{H^{4/3}} \cdot K \cdot S_1 \cdot S_2,$$

де C_m – величина питомої приземної концентрації у точці максимального забруднення повітря, розташованої на відстані x_m , мг/м³; M – кількість шкідливої речовини, що викидається в атмосферу, г/с; η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості; K – коефіцієнт, який залежить від діаметра труби і об'єму викидів, с/м²

$$K = \frac{D}{8 \cdot V_1};$$

S_1 – безрозмірний коефіцієнт, що враховує зменшення приземної концентрації уздовж вітрової осі, що проходить через джерело виділення забруднюючих речовин, тобто це відношення (x/x_m). Визначається згідно графіків на рис. 6.3; S_2 – безрозмірний коефіцієнт, що враховує зменшення приземної концентрації на відстані (y) від вітрової осі на лінії, перпендикулярній до цієї осі. Визначається за графіком на рис. 6.4, залежно від розрахункової швидкості вітру (u , м/с) відношення y^2/x^2 згідно аргументу t_y знаходять наступним чином

$$t_y = uy^2/x^2 \quad \text{при } u \leq 5;$$

$$t_y = 3y^2/x^2 \quad \text{при } u > 5.$$

Якщо відома швидкість вітру на висоті труби, то можна використовувати наступну формулу

$$S_2 = \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot u \cdot \left(\frac{y}{x}\right)^2\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot u^2 \cdot \left(\frac{y}{x}\right)^4\right]}.$$

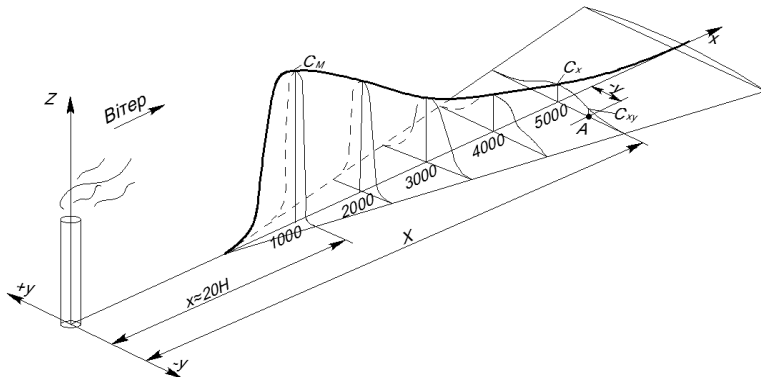


Рисунок 6.2 – Аксонометрична схема приземної концентрації та точкового джерела забруднення

Слід мати на увазі, що для ряду джерел, викиди від яких незначні, приземні концентрації можуть не розраховуватися. Отже, розрахунки необхідно здійснювати для тих джерел, для яких:

$$\frac{M_{\Sigma}}{\text{ГДК}} > \Phi,$$

$$\Phi = 0,01 \bar{H} \quad \text{при } \bar{H} > 10 \text{ м,}$$

$$\Phi = 0,1 \quad \text{при } \bar{H} \leq 10 \text{ м.}$$

$$\bar{H} = \frac{H_1 M_1 + H_2 M_2 + \dots + H_n M_n}{M_1 + M_2 + \dots + M_n},$$

де Φ – фонові концентрації; M_{Σ} – сумарне значення викидів від усіх джерел підприємства, г/с; \bar{H} – середня висота джерел викидів; H_1, H_2, H_n – висота 1, 2, n-го джерела викидів; M_1, M_2, M_n – викид певної речовини з 1, 2, n-го джерела викидів.

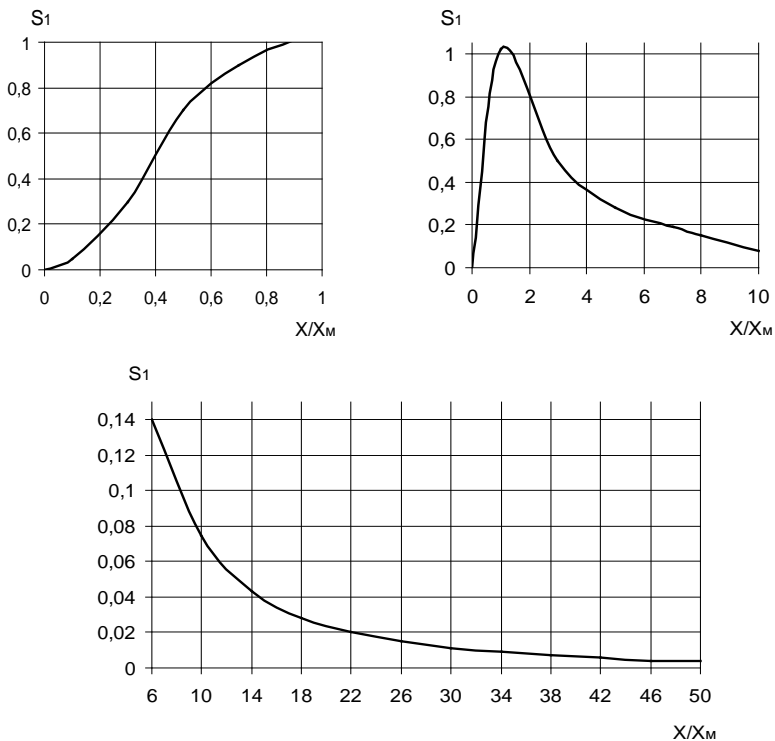


Рисунок 6.3 – Безрозмірний коефіцієнт S_1 для джерел забруднення не вище 100 м при різних значеннях X/X_m

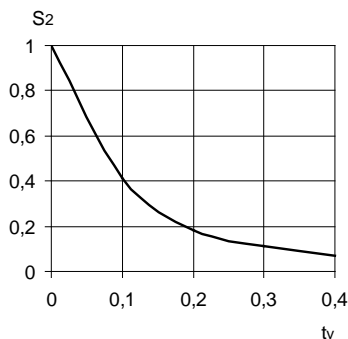


Рисунок 6.4 – Безрозмірний коефіцієнт S_2 , що враховує зменшення приземної концентрації на відстані (y) від вітрової осі на лінії, перпендикулярній до цієї осі

Мета:

Проаналізувати забруднення атмосфери, здійснити розрахунок їх розсіяння та приземних концентрацій.

Завдання:

1. Розрахувати величину ГДВ для гарячих газів, що містять SO_2 , в умовах коксохімічного заводу, що виходять з труби висотою 100 м, діаметром – 1,83 м, зі швидкістю – 4,7 м/с. Температура газів $177^\circ C$, температура повітря $20^\circ C$.

2. Розрахувати величину ГДВ для газів, що містять SO_2 , на території України. Висота джерела забруднення 50 м, діаметр – 1,75 м, швидкість руху газу – 5,8 м/с, його температура $10^\circ C$, температура навколишнього середовища $20^\circ C$.

3. Розрахувати величину ГДВ для газів, що містять SO_2 , на території України. Висота джерела забруднення 70 м, діаметр – 1,5 м, швидкість руху газу – 4,8 м/с, його температура – $170^\circ C$, температура навколишнього середовища – $20^\circ C$.

4. Розрахувати величину ГДВ для газів, що містять пил, на території України. Висота джерела забруднення 65 м, діаметр – 1 м, швидкість руху газу – 2,9 м/с, його температура – $80^\circ C$, температура навколишнього середовища – $20^\circ C$, коефіцієнт очищення газу від пилу 83%.

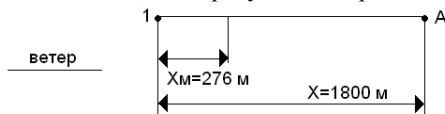
5. Розрахувати величину ГДВ для газів, що містять NO_2 , на території України. Висота джерела забруднення 40 м, діаметр – 1,35 м, швидкість руху газу – 4,75 м/с, його температура – $15^\circ C$, температура навколишнього середовища – $20^\circ C$.

6. Розрахувати величину ГДВ для газів, що містять пил з коефіцієнтом очищення 85%, на території України. Висота джерела забруднення 100 м, діаметр – 2 м, швидкість руху газу – 5,8 м/с, його температура – $100^\circ C$, температура навколишнього середовища – $20^\circ C$.

7. Розрахувати величину ГДВ для газів, що містять пил (коефіцієнт очищення 70%), на території України. Висота джерела забруднення 95 м, діаметр – 1,9 м, швидкість руху газів – 5,8 м/с, їх температура – $90^\circ C$, температура навколишнього середовища – $25^\circ C$.

8. Розрахувати величину ГДВ для газоповітряної суміші, що містить золу, з коефіцієнтом осідання часток рівним 1, на території України. Висота джерела забруднення 35 м, діаметр – 1,4 м, швидкість руху газів – 2,6 м/с, їх температура – 125°C, температура навколишнього середовища – 25°C. ГДК для золи складає 0,05 мг/м³.

9. Розрахувати приземну концентрацію пилу від джерела 1 у точці А, розташованій на відстані 1800 м, що перебуває на вітровій осі.



Параметри джерела наступні: висота труби – 50 м, діаметр труби – 0,6 м, об'єм димових газів – 4,24 м³/с, температура газів – 40°C, кількість викидів пилу – 40 г/с, коефіцієнт осідання часток – 2. Параметри району розташування джерела: районний коефіцієнт стратифікації атмосфери – 180, температура зовнішнього повітря – 20°C, підвищуючий коефіцієнт на рельєф місцевості – 1,2.

10. Розрахувати приземну концентрацію у точці В, що відстоїть від вітрової осі на відстані $y=200$ м для джерела і району з параметрами, зазначеними для попередньої задачі. Швидкість вітру 5 м/с.



11. Розрахувати приземну концентрацію пилу (коефіцієнт очищення 95%) на території України від джерела 1 у точці А, що перебуває на вітровій осі, розташованій на відстані $x=1000$ м, відстань до точки, де спостерігається максимальна концентрація $x_M=163$ м, при наступних параметрах джерела: висота труби – 20 м, діаметр труби – 0,7 м, об'єм димових газів – 5 м³/с, температура газів – 30°C, кількість викидів пилу – 30 г/с, температура зовнішнього повітря – 20°C, $m:n=1,1$, $\eta=1,2$, $S_2=0,8$.

12. Розрахувати приземну концентрацію газів, що містять NO₂, на території України від джерела 1 у точці В, що відстоїть від вітрової осі на відстані $y=274$ м, розташованій на $x=1500$ м, відстань до точки, де спостерігається максимальна концентрація $x_M=257$ м, при наступних параметрах джерела: висота труби – 50 м, діаметр труби – 0,9 м, об'єм димових газів – 5 м³/с, температура газів – 60°C, температура зовнішнього повітря – 20°C, швидкість вітру – 10 м/с, $m:n=1,1$, $\eta=1,2$, кількість викидів пилу – 25 г/с.

13. Розрахувати приземну концентрацію пилу (коефіцієнт очищення 76%), на території України від джерела 1 у точці А, що перебуває на вітровій осі, розташованій на відстані $x=1280$ м, відстань до точки, де спостерігається максимальна концентрація $x_M=256$ м, при наступних параметрах джерела: висота труби – 50 м, діаметр труби – 0,7 м, температура газів – 10°C, кількість

викидів пилу – 25 г/с, температура зовнішнього повітря – 20°C, $n=1$, $\eta=1,2$, $K=0,05$, $S_2=1$.

14. Розрахувати приземну концентрацію газів, що містять SO_2 , на території України від джерела 1 у точці В, що відстоїть від вітрової осі $y=387$ м, розташованої на відстані $x=2000$ м, відстань до точки, де спостерігається максимальна концентрація $x_m=571$ м, при наступних параметрах джерела: висота труби – 60 м, діаметр труби – 0,9 м, температура газів – 15°C, кількість викидів пилу – 40 г/с, температура зовнішнього повітря – 20°C, $n=1$, $\eta=1,2$, $K=0,05$, швидкість вітру – 4 м/с.

15. Розрахувати приземну концентрацію газів, що містять NO_2 , на території України від джерела 1 у точці А, що перебуває на вітровій осі на відстані $x=2500$ м, відстань до точки, де спостерігається максимальна концентрація $x_m=357$ м, при наступних параметрах джерела: висота труби – 30 м, діаметр труби – 1 м, об'єм димових газів – 7 м³/с, температура газів – 48°C, кількість викидів пилу – 27 г/с, температура зовнішнього повітря – 20°C, $m:n=1,1$, $\eta=1,2$, $K=0,05$, $S_2=0,9$.

16. Є два джерела, з яких виділяється забруднююча речовина, $M_1=0,03$ г/с, $H=15$ м, $M_2=0,005$ г/с, $H_2=12$ м. Потрібно перевірити, чи можна не здійснювати розрахунок приземної концентрації згідно забруднюючої речовини для розглянутого підприємства. Дані для розрахунку наведені у табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Дані для розрахунку приземної концентрації

Викид	ГДК, мг/м ³	M_1	H_1	M_2	H_2
Двоокис сірки	0,050	0,03	15	0,005	12
Оксид вуглецю	1,000	40,00	50	60,000	50
Оксид азоту	0,040	0,05	22	0,008	25
Сірководень	0,050	0,003	17	0,0040	34
Фтороводень	0,020	0,02	10	0,030	15
Пил нетоксичний	0,150	0,01	55	0,010	66

6.1.4 Електрохімічне забруднення навколишнього середовища

Джерела електромагнітних полів (ЕМП) – антенні пристрої, лінії електропередач та ін. Ступінь шкідливості залежить від часу дії, інтенсивності та довжини хвилі джерела. ЕМП впливають на біофізичні процеси у клітинах і тканинах, вражають центральну нервову і серцево-судинну системи. На початковій стадії підвищується збудливість, потім відбувається зниження біоелектричної активності мозку, погіршення провідності серцевих м'язів. Надалі з'являються головний біль, слабкість, підвищена втомлюваність, пригнічений стан, порушення сну, дратівливість, виснаження нервової системи, зміна складу крові, ламкість нігтів, облісіння. Ці зміни є оборотними, якщо позбавитись впливу ЕМП.

Допустиме енергетичне навантаження у діапазоні надвисокої частоти (НВЧ) на організм людини не повинне перевищувати 2 Вт/год/м², при опроміненні від обертових і скануючих антен – 20 Вт/год/м². Кількісне оцінювання енергетичного навантаження визначається інтенсивністю випромінювання густоти потоку енергії (ГПЕ). На практиці вона визначається через потужність випромінювання радіотехнічного пристрою, а якщо антена

спрямована, то і через її коефіцієнт підсилення, а також через відстань g між антеною та точкою спостереження

$$\text{ГПЕ} = \frac{P \cdot G}{4\pi \cdot g^2},$$

де P – середня потужність випромінювання радіотехнічного пристрою, кВт; G – коефіцієнт підсилення випромінювання радіотехнічного пристрою; g – радіус санітарно-захисної зони, м; ГПЕ – інтенсивність випромінювання густоти потоку енергії, ГПЕ = 1 Вт/м².

Середня потужність випромінювання радіотехнічного пристрою визначається

$$P = P_i \cdot \tau \cdot F,$$

де P_i – імпульсна потужність випромінювання, кВт; τ – тривалість імпульсу, мкс; F – частота повторення імпульсів, Гц.

Ця формула дійсна для випадку поширення радіохвиль у вільному просторі, зокрема, у повітрі. Реальне повітряне середовище, у якому можливе опромінення людей радіохвилями, завжди відрізняється від вільного простору тим, що на деяких кінцевих відстанях від передавальної антени знаходяться: земля, огорожувальні конструкції виробничих приміщень, різне обладнання, прилади і самі люди. Всі ці предмети, володіючи властивостями, відмінними від властивостей повітря, певним чином впливають на поширення радіохвиль у ньому, відображаючи, приломлюючи та поглинаючи їх. Допустимий час T перебування людини у зоні опромінення ЕМП визначається за формулою

$$T = \frac{k \cdot W}{\text{ГПЕ}},$$

де k – коефіцієнт для обертаючих і скануючих антен $k=10$; W – допустиме енергетичне навантаження у діапазоні надвисокої частоти (НВЧ) на організм людини, Вт год/м².

Для визначення небезпечності близько розташованої радіостанції необхідно:

1. Розрахувати середню потужність випромінювання радіотехнічного пристрою.

2. Визначити розмір санітарно-захисної зони у відповідності до встановленого нормативами значення ГПЕ. Санітарно-захисна зона – це територія навколо підприємства, за межами якої шкідливий вплив від підприємства (забруднення повітря, ґрунту, електромагнітні, радіоактивні випромінювання та ін.) не перевищує допустиме значення, тобто за межами санітарно-захисної зони проживання і взагалі знаходження людини безпечне.

3. Визначити ГПЕ на відстані від спостерігача та порівняти з допустимою.

4. Розрахувати допустимий час перебування людини у зоні опромінення ЕМП.

Мета:

Ознайомитися з впливом електромагнітних випромінювань на організм людини і способом розрахунку санітарно-захисної зони.

Завдання:

На полі з трав'яним покривом розташована радіолокаційна станція, що має наступні характеристики випромінювання: імпульсна потужність випромінювання P_i , кВт; тривалість імпульсу τ , мкс; частота повторення імпульсів F , Гц; коефіцієнт посилення антени, що обертається G . На відстані S , м, від цієї станції знаходяться дачні ділянки. Розрахувати, на якій відстані від радіолокаційної станції можна перебувати людям постійно, тобто розмір санітарно-захисної зони. Визначити, чи небезпечна близькість радіостанції, і дати рекомендації людям, що там знаходяться. Дані для проведення розрахунку наведені у табл. 6.7

Таблиця 6.7 – Дані для розрахунку санітарної зони від джерела ЕМП

Вар. №	P_i , кВт	τ , мкс	F , Гц	G	S , м
1	300	2	300	10000	400
2	400	2	400	20000	600
3	450	2,5	350	20000	500
4	350	2	350	15000	500
5	500	2,5	350	10000	500
6	400	2	300	15000	400
7	350	2,5	350	10000	500
8	500	2	400	15000	400
9	450	2,5	300	10000	500
10	350	2	300	15000	500
11	600	2	300	30000	400
12	500	2,5	350	20000	500
13	550	2	300	30000	400
14	400	2	350	20000	350
15	500	2	300	30000	400
16	600	2,5	400	20000	400
17	500	2	350	30000	500
18	500	2	400	20000	450
19	400	2	350	20000	400
20	600	2,5	400	30000	350
21	550	2,5	400	20000	450
22	350	2	350	30000	350
23	550	2	400	20000	250
24	500	2	300	20000	300
25	600	2,5	400	30000	600

6.1.5 Розрахунок шумових характеристик потягу, що рухається

Транспортний шум суттєво впливає на функціональний стан слухового аналізатора. У міських житлових будинках, розташованих уздовж магістралей, населення часто скаржиться на погане сприйняття мови, що пояснюється маскуванням окремих звуків мови транспортним шумом. Встановлено, що шум порушує розбірливість мови, особливо якщо його рівень перевищує 70 дБ. При

щому людина не розбирає від 20 до 50% слів. Припустимий рівень шуму у різний час доби наданий у табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Припустимий рівень шуму у різний час доби (дБ)

Зона дії звуку	Припустимий рівень шуму			
	7.00–23.00		23.00–7.00	
	Еквивал.	Максим.	Еквивал.	Максим.
Навчальні приміщення	40	55	–	–
Житлові кімнати	40	55	30	45
Номера готелів, гуртожитки, території лікарень і санаторіїв	45	60	35	50
Зали їдалень, кафе	55	70	–	–
Майданчика відпочинку, житлових будинків	45	60	–	–
Зали очікування вокзалів, аеропортів	60	75	–	–
Території, що прилягають до житлових будинків, пансіонатів, дитсадків та ін.	55	70	45	60

Розрахунки здійснюють для одиничного типового (пасажирського, вантажного, маневрового) потягу довжиною l_i (м), при швидкості V_i (м/с), на відстані r_0 , м.

1. Підраховують шумову характеристику потягу L_{wi} (дБ) згідно формули

$$L_{wi} = A_k + B \lg \frac{V_i}{V_0},$$

де A_k – характеристика конструктивної досконалості потягу згідно шуму (для ж/д мережі $A_k = 63$ дБ); B – параметр, що залежить від стану рейкового шляху та інших характеристик (для ж/д мережі $B = 25$); V_i – швидкість потягу у момент спостереження, м/с; V_0 – початкова швидкість потягу, $V_0 = 1$ м/с.

2. З урахуванням величини L_{wi} визначають максимальний рівень шуму (дБ) одиничного потягу i -того типу у момент проходження безпосередньо перед спостерігачем згідно формули

$$L_{max} = L_{wi} + 10 \lg \left\{ \frac{l_0}{8\pi} \left[\frac{3l_i}{r_0^2 + (l_i - 12)^2} + \frac{10}{r_0} \arctg \frac{l_i}{2r_0} \right] \right\},$$

де l_i – довжина i -того потягу, м; l_0 – початкова довжина потягу, $l_0 = 1$ м; r_0 – відстань від спостерігача до магістралі, м; \arctg – зворотна тригонометрична функція, радіани.

3. Еквівалентний рівень шуму (дБ) окремого потягу i -того типу визначається величиною загальної звукової енергії за 1 робочий день за формулою

$$L_{екв} = L_{max} + 10 \lg \frac{1,3r_0 + l_i}{V_i \cdot T},$$

де T – тривалість періоду вимірювання шумової характеристики потоку

залізничних потягів, с.

4. Сумарний еквівалентний рівень шуму (дБ) потоку потягів є нормованим параметром шуму і підраховується згідно формули

$$L_{\text{екв}\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n (10^{0,1L_{\text{екв}}}),$$

де n – кількість однотипних потягів за 8 годин.

Мета:

Ознайомитись з нормативними рівнями шуму для різних приміщень та навчитись визначати рівень шуму від джерела на певній відстані.

Завдання:

1. Визначити сумарний еквівалентний рівень шуму від потоку вантажних і пасажирських потягів, які мають однакову середню довжину, що рухаються з середньою швидкістю, у районі заданої точки протягом робочого дня. Кількість потягів, що проходять за 8 годин – 9. Порівняти отримане значення з припустимим рівнем шуму для даного об'єкту, що перебуває на певній відстані від колії. Вихідні дані надані у табл. 6.9.

Таблиця 6.9 – Дані для розрахунку шумових характеристик потягу

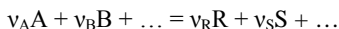
№ Вар	Швидкість, км/год	Довжина потягу, м	Відстань до об'єкту, м
1	20	305	26
2	22	315	30
3	24	325	34
4	25	330	36
5	27	340	40
6	29	350	44
7	31	360	48
8	33	370	52
9	35	380	56
10	37	390	60
11	39	400	64
12	41	410	68
13	42	415	70
14	43	420	72
15	45	430	76
16	46	435	78
17	47	440	80
18	48	445	82
19	49	450	84
20	50	455	86
21	51	460	88
22	52	465	90
23	53	470	92
24	54	475	94
25	60	444	100

2. Зробити відповідні висновки та запропонувати шляхи захисту населення від стороннього шуму.

6.1.6 Матеріальний баланс

Зміна хімічного складу реагуючої суміші описується стехіометричним рівнянням, яке показує у яких співвідношеннях речовини вступають у реакцію і визначають кількісні зміни складу реакційної суміші.

Проста реакція буде представлена одним стехіометричним рівнянням



Як прийнято, стехіометричні коефіцієнти ν_A , ν_B та інші вказують на кількість відповідних речовин, які вступають у реакцію. Співвідношення між кількостями перетворених речовин ΔN , також виражене у молях

$$\frac{\Delta N_A}{\nu_A} = \frac{\Delta N_B}{\nu_B} = \dots = \frac{\Delta N_R}{\nu_R} = \frac{\Delta N_S}{\nu_S}$$

де ΔN_A , ΔN_B – кількості витрачених вихідних речовин А і В; ΔN_R , ΔN_S – кількості утворених речовин R і S.

Для розрахунків використовують також зміну концентрації реагуючих речовин (ΔC)

$$\frac{\Delta C_A}{\nu_A} = \frac{\Delta C_B}{\nu_B} = \dots = \frac{\Delta C_R}{\nu_R} = \frac{\Delta C_S}{\nu_S}$$

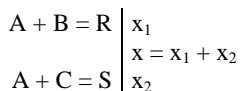
У таких випадках:

- реакція перебігає у газовій фазі без зміни об'єму, концентрація виражена у молярних або об'ємних долях;
- реакція перебігає у рідкій фазі, використовується молярна концентрація, наприклад моль/л.

Складна реакція буде представлена декількома стехіометричними рівняннями. Їх називають частками реакції. У складній реакції будь-яка з них призводить до утворення кінцевого продукту, наприклад R. Інші реакції – побічні, без утворення кінцевого продукту. Для більш простого викладення характеристик складної реакції її представляють системою стехіометричних рівнянь, у яких:

- ліва частина містить одну і ту саму вихідну речовину;
- права частина лише одного рівняння містить корисний продукт.

Наприклад



У кожне стехіометричне рівняння вводиться ступінь перетворення вихідної речовини. У прикладі наведені x_1 і x_2 – ступені перетворення речовини А у кожній реакції і загальна ступінь її перетворення.

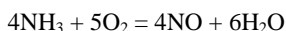
Задаючи ступінь перетворення x_{Aj} вихідної речовини у кожному стехіометричному рівнянні, визначаємо кількість усіх компонентів

$$N_i = N_{i0} \pm \left(\sum_j^R \frac{v_{ij}}{v_{Aj}} \right) \cdot (N_{A0} \cdot x_{Aj})$$

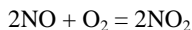
де v_{ij} – стехіометричний коефіцієнт і-ї речовини у j-ій реакції.

У ряді випадків необхідно скласти матеріальний баланс *підсистеми або хіміко-технологічної системи* у цілому, де перебігає послідовно ряд перетворень. Розглянемо приклад виробництва азотної кислоти, для якого потрібно скласти матеріальний баланс. У хіміко-технологічному процесі перебігають наступні реакції:

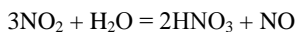
1. Окиснення аміаку (вважаємо, що NH_3 повністю окиснюється до NO)



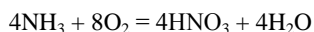
2. Окиснення окису азоту



3. Хемосорбція окису азоту



Сумарне стехіометричне рівняння утворення азотної кислоти можна записати наступним чином:



Звичайно, така хімічна реакція не відома, але це стехіометричне рівняння дозволить скласти матеріальний баланс згідно всього виробництва азотної кислоти без деталізації перетворень за стадіями процесу.

Для балансових розрахунків може бути прийнято, що реакція перебігає до моменту рівноваги. Тоді задається температура для такої рівноважної суміші. Таким чином, відома константа рівноваги K_p , яка пов'язана з рівноважними концентраціями речовин рівнянням рівноваги

$$K_p = \left(\frac{C_R^v \cdot C_S^s}{C_A^v \cdot C_B^v} \right)$$

Результати розрахунку матеріального балансу записують у вигляді таблиці (табл. 6.10). Виходячи з умови збереження маси, у графі «ВСЬОГО», цифри повинні співпадати. Але якщо допущена помилка у розрахунках або результати були округлені, то одержані результати можуть незначно відрізнятися (не більше ніж на 5%). Таблиця теплового балансу має аналогічний вигляд.

Таблиця 6.10 – Матеріальний баланс

Речовина	Прихід			Речовина	Витрата		
	кг	м ³	%		кг	м ³	%
А				А (залишок)			
В				В (залишок)			
С				Р			
				С			
ВСЬОГО				ВСЬОГО			

Приклад розрахунку матеріального балансу. Скласти матеріальний баланс процесу спалювання сірки у печі потужністю 2500 кг/год. Ступінь окиснення сірки складає 95%. Коефіцієнт надлишку повітря – 1,5. Розрахунок вести у кг/год та м³/год.

Розв'язання.

Процес спалювання описується рівнянням: $S + O_2 \rightarrow SO_2$.

Маса сірки визначається:

– окиснена до SO_2 : $G_{S^{ок}} = 2500 \cdot 0,95 = 2375$ кг/год.

– не окиснена: $G_{S^{неок}} = 2500(1-0,95) = 125$ кг/год.

Витрачено кисню:

– на окиснення: $G_{O_2} = G_{S^{ок}} \cdot 22,4/M_S = 1663$ м³/год.

– з урахуванням надлишку: $G_{O_2}^H = G_{O_2} \cdot \alpha = 2495$ м³/год або 3564 кг/год.

Потрапило азоту з киснем:

$G_{N_2} = G_{O_2}^H \cdot 79/21 = 9386$ м³/год або 11700 кг/год.

Утворилось SO_2 за реакцією:

$G_{SO_2} = G_{S^{ок}} \cdot M_{SO_2}/M_S = 4250$ кг/год або 1663 м³/год.

Залишилось невитраченого кисню:

$G_{O_2}^{нев} = G_{O_2}(\alpha-1) = 832$ м³/год або 1189 кг/год.

Результати розрахунків зводять у таблицю:

Речовина	Прихід			Речовина	Витрата		
	кг	м ³	%		кг	м ³	%
Сірка	2500	–		Сірка (залишок)	125	–	
Повітря:				Повітря:			
кисень	3564	2495		кисень	1189	832	
азот	11700	9380		азот	11700	9380	
				Двоокис сірки	4750	1663	
ВСЬОГО	17764	11875	100	ВСЬОГО	17764	11875	100

Мета:

Навчитися розраховувати матеріальні баланси хімічних процесів.

Завдання:

1. Теплоелектростанція спалює 100000 тон вугілля за добу, який містить у своєму складі: сірка – 2%, зола – 25% та вуглець. При цьому ступінь перетворення сірки – 95%, а вуглецю – 93%. Складіть матеріальний баланс процесу спалювання вугілля та зробіть висновки щодо забруднення навколишнього середовища.

2. Відбувається крекінг природного газу, який містить у своєму складі 98% метану і 2% азоту. Складіть матеріальний баланс (у кг) процесу на 1000 м³ вихідного газу без врахування побічних реакцій.

3. Складіть матеріальний баланс процесу випалення 100 кг вуглецевого колчедану, який містить у своєму складі: сірка – 50% мас., вуглець – 6% мас., волога – 2% мас. та мінеральні домішки. Ступінь перетворення колчедану складає 90%.

4. Складіть матеріальний баланс виробництва 1 тони окису етилену (C₂H₄O) каталітичним окисненням етилену повітрям. Склад вихідної газової суміші наступний: C₂H₄ – 3% об., повітря – 97% об. Ступінь перетворення етилену – 50%. $2C_2H_4 + O_2 + \text{kat}(\text{Ag}) \rightarrow 2C_2H_4O$.

5. Скласти матеріальний баланс одержання 3200 кг сірчистого ангідриду з сірководневого газу наступного складу: H₂S – 80% об., N₂ – 15% об., волога – 5% об. Повітря, що використовується для спалювання сірководню містить 4% об. вологи. Коефіцієнт надлишку повітря складає 1,2. $2H_2S + 3O_2 \rightarrow 2H_2O + 2SO_2$

6. Скласти матеріальний баланс процесу спалювання 10 кг мазуту елементарного складу: вуглець – 86%, водень – 14%. Спалювання відбувається повністю з надлишком повітря 1,5.

6.1.7 Тепловий баланс

Енергетичний (тепловий) баланс будь-якого апарату може бути представлений у вигляді рівняння, що зв'яже прихід і витрату енергії (тепла) процесу (апарату). Енергетичний баланс складається на основі закону збереження енергії, відповідно до якого у замкненій системі сума всіх видів енергії постійна. Звичайно для хімічних процесів складається тепловий баланс. Рівняння теплового балансу

$$\begin{aligned} \Sigma q_{\text{пр}} &= \Sigma q_{\text{витр}} \\ &\text{або} \\ \Sigma q_{\text{пр}} - \Sigma q_{\text{витр}} &= 0 \end{aligned}$$

Стосовно до теплового балансу закон збереження енергії формулюється у такий спосіб: прихід теплоти до даного апарату (або виробничого процесу) повинен бути рівним витраті теплоти у тому ж апараті (або процесі).

Для апаратів (процесів) безперервної дії тепловий баланс, як правило, складають на одиницю часу, а для апаратів (процесів) періодичної дії – на час циклу (або окремого переходу) оброблення.

Тепловий баланс розраховують за даними матеріального балансу з обліком теплових ефектів (екзотермічних і ендотермічних), хімічних реакцій і фізичних

перетворень (випаровування, конденсація та ін.), що відбуваються у апараті з урахуванням підведення теплоти ззовні та відведення її з продуктами реакції, а також через стінки апарата.

Тепловий баланс подібно матеріальному виражають у вигляді таблиць, діаграм, а для розрахунків використовують наступне рівняння

$$Q_t + Q_{\text{рід}} + Q_r + Q_{\text{ф}} + Q_p + Q_n = Q'_t + Q'_{\text{рід}} + Q'_r + Q'_{\text{ф}} + Q'_p + Q'_n$$

де Q_t , $Q_{\text{рід}}$, Q_r – кількість теплоти, що підведена до апарату твердими, рідкими і газоподібними речовинами відповідно; Q'_t , $Q'_{\text{рід}}$, Q'_r – кількість теплоти, відведена з апарату вихідними продуктами і напівпродуктами реакції, а також вихідними речовинами у твердому, рідкому і газоподібному стані, що не прореагували; $Q_{\text{ф}}$ і $Q'_{\text{ф}}$ – теплота фізичних процесів, що відбуваються з виділенням і поглинанням теплоти; Q_p і Q'_p – кількість теплоти, що виділяється у результаті екзо- і ендотермічних реакцій (Q'_p); Q_n – кількість теплоти, що підводиться у апарат ззовні (у вигляді димових газів, нагрітого повітря, спалювання палива, електроенергії та ін.); Q'_n – втрати тепла у навколишнє середовище, а також відведення тепла через холодильники, розташовані усередині апарата.

Величини Q_t , $Q_{\text{рід}}$, Q_r , Q'_t , $Q'_{\text{рід}}$, Q'_r розраховують для кожної речовини, що находить у апарат і виходить з нього, за формулою

$$Q = G \cdot c \cdot t,$$

де G – кількість речовини, м^3 , кг , т та ін., c – середня теплоємність цієї речовини, $\text{кДж}/(\text{моль} \cdot \text{град})$; t – температура, відлічена від будь-якої точки (від 0°C).

Теплоємності газів у $\text{Дж}/(\text{кмоль} \cdot \text{K})$, що беруть участь у процесі, для даної температури у $^\circ\text{C}$ (або T , K) можна підрахувати, користуючись формулою

$$C = a_0 + a_1 T + a_2 T^2$$

де a_0 , a_1 , a_2 – коефіцієнти наведені у довідниках.

Найчастіше доводиться мати справу з сумішами речовин. Тому у формулу підставляють теплоємність суміші $C_{\text{сум}}$, яка може бути обчислена за законом адитивності. Так, для суміші трьох речовин у кількості G_1 , G_2 і G_3 , що мають теплоємності c_1 , c_2 і c_3

$$C_{\text{сум}} = (G_1 c_1 + G_2 c_2 + G_3 c_3) / (G_1 + G_2 + G_3)$$

Аналогічно розраховується витрата теплоти на ті фізичні процеси, які перебігають з поглинанням теплоти ($Q'_{\text{ф}}$): десорбція газів, пароутворення, плавлення, розчинення та ін.

Приклад розрахунку теплового балансу. Розрахувати тепловий баланс контактного апарату для часткового окиснення SO_2 продуктивністю 25000

м³/год, якщо склад газової суміші: SO₂ – 9% (об.), O₂ – 11% (об.), N₂ – 80% (об.).
 Ступінь окиснення 88%. Температура вхідного газу 460⁰С; вихідного – 580⁰С.
 Середня теплоємність суміші (умовно вважаємо її незмінною) с = 2,052 кДж/(м³/град). Втрати тепла у навколишнє середовище приймаємо рівними 5% від приходу теплоти.

Розв'язання.

Рівняння реакції наступне:



Склад газу:

Вихідний		Після апарату		
газ	м ³	газ		м ³
SO ₂	2250	SO ₂	2250–(2250·0,88)	270
SO ₃	–	SO ₃	2250·0,88	1980
N ₂	20000	N ₂	20000	20000
O ₂	2750	O ₂	2750–(1980/2)	1760
Всього	25000	Всього	270+1980+20000+1760	24010

Прихід теплоти. Фізична теплота газу:

$$Q_1 = 25000 \cdot 2,052 \cdot 460 = 23598000 \text{ кДж}$$

Теплоти реакції:

$$Q_2 = 94207 \cdot (2250/22,4) \cdot 0,88 = 8290216 \text{ кДж}$$

$$\text{Усього } \Sigma q_{\text{пр}} = 23598000 + 8290216 = 31888216 \text{ кДж}$$

Витрата теплоти. Теплота, винесена газами, що відходять:

$$Q_3 = 24010 \cdot 2,052 \cdot 580 = 28564000 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{витр}} = 31888216 \cdot 0,05 = 1594400 \text{ кДж}$$

$$\text{Усього } \Sigma q_{\text{витр}} = 28564000 + 1594400 = 30158400 \text{ кДж}$$

Отже, необхідно відвести теплоти:

$$Q_{\text{відв}} = \Sigma q_{\text{пр}} - \Sigma q_{\text{витр}} = 31888216 - 30158400 = 1729816 \text{ кДж}$$

Дані теплового балансу:

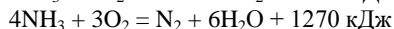
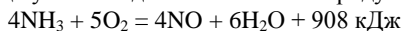
Прихід			Витрата		
Дані	кДж	%	Дані	кДж	%
Q ₁	23598000	73,9	Q ₃	28564000	89,6
Q ₂	8290216	26,1	Q _{витр}	1594400	5,0
			Q _{відв}	1729816	5,0
Всього	31888216	100	Всього	31888216	100

Мета:

Навчитися розраховувати теплові (енергетичні) баланси хімічних процесів.

Завдання:

Скласти тепловий баланс окиснення аміаку, у який поступає аміачно-повітряна суміш з витратою 60000 м³/год, яка містить 10% об. аміаку. Селективність за оксидом азоту складає 0,95 за умови повного перетворення аміаку. Приймаємо, що у якості єдиного побічного продукту утворюється азот:



Прийняти наступні значення теплоємностей для газів, кДж/(мольград): аміак – 38,5; кисень – 30,2; азот – 29,2; водяна пара – 38; оксид азоту – 31,9. температура у реакторі 1150 К, загальний тиск 0,7 МПа.

6.2 Контрольні тести

Використовуючи теоретичні знання одержані з підручника, на лекційному курсі та за рекомендованою літературою дайте відповіді на тестові запитання.

6.2.1 Перелік тестових завдань

1. Перехід речовини з рідкого стану у газоподібний стан називається
А) сублимацією
Б) пароутворенням
В) зрідження
2. У деяких випадках, коли пароутворення відбувається лише на поверхні рідини, процес називається
А) сублимацією
Б) пароутворенням
В) зрідження
3. Перехід газу у рідкий стан називається
А) зрідженням
Б) сублимацією
В) возгонкою
4. Перехід з твердого стану у газоподібний стан називається
А) сублимацією
Б) зрідженням
В) пароутворенням
5. Перехід з газоподібного стану у твердий стан називається
А) сублимацією
Б) десублимацією
В) пароутворенням
6. Перехід газоподібної речовини у рідкий або твердий стан об'єднуються загальним поняттям
А) пароутворення
Б) сублимація
В) конденсація пари
7. Перехід з твердого стану у рідкий стан називається
А) плавленням
Б) конденсацією
В) сублимацією
8. Перехід зворотний процесу плавлення називається
А) конденсацією
Б) твердінням

- В) сублімацією
9. Перехід з однієї модифікації твердого стану в іншу називається
- А) твердінням
 - Б) поліморфним перетворенням
10. Перехід речовини з одного агрегатного стану в інший або поліморфне перетворення супроводжуються
- А) виділенням теплоти
 - Б) поглинанням теплоти
 - В) виділенням або поглинанням теплоти у залежності від умов
11. Під твердими тілами маються на увазі лише такі, у яких є
- А) кристалічна будова
 - Б) плоска гладка поверхня
12. Частки у кристалах (атоми, молекули, іони) утворюють
- А) молекулярну решітку
 - Б) кристалічну решітку
13. Структура, яка характеризується наявністю позитивних і негативних іонів у вузлах решітки, називається
- А) молекулярною
 - Б) металевою
 - В) іонною
14. Утримують іони у вузлах решітки сили
- А) електричного тяжіння
 - Б) електричного відштовхування
 - В) електричного тяжіння і відштовхування
15. Структура, яка характеризується просторовою сіткою, у вузлах якої знаходяться нейтральні молекули речовини, називається
- А) молекулярною
 - Б) металевою
 - В) іонною
16. Взаємне притягання молекул у кристалічній решітці здійснюється слабкими силами
- А) Вант-Гоффа
 - Б) Ван-дер-Ваальса
17. Тверді речовини з молекулярним типом кристалічної решітки
- А) легко руйнуються і мають низьку температуру плавлення
 - Б) мають міцну структуру, високу температуру плавлення

18. Структура, яка відрізняється наявністю у вузлах решітки позитивно заряджених іонів металів, називається

- А) молекулярною
- Б) металевою
- В) іонною

19. Тверді речовини з металевим типом кристалічної решітки

- А) легко руйнуються і мають низьку температуру плавлення
- Б) мають міцну структуру, високу температуру плавлення

20. Тверді речовини, що не мають кристалічної будови, називаються

- А) аморфними
- Б) склоподібними
- В) ці поняття аналогічні

21. Перехід з склоподібного стану у кристалічний стан супроводжується

- А) виділенням теплоти
- Б) поглинанням теплоти
- В) відбувається без виділення або поглинання теплоти

22. Ізохоричний процес підкоряється закону

- А) $p_1/p_2 = T_1/T_2$
- Б) $V_1/V_2 = T_1/T_2$
- В) $p \cdot V = \text{const}$

23. Ізобаричний процес підкоряється закону

- А) $p_1/p_2 = T_1/T_2$
- Б) $V_1/V_2 = T_1/T_2$
- В) $p \cdot V = \text{const}$

24. Ізотермічний процес підкоряється закону

- А) $p_1/p_2 = T_1/T_2$
- Б) $V_1/V_2 = T_1/T_2$
- В) $p \cdot V = \text{const}$

25. Система, яка включає кілька фаз, називається

- А) гомогенною
- Б) гетерогенною

26. Системи, що мають постійний об'єм, через межі яких не відбувається обміну речовиною або енергією з навколишнім середовищем, називаються

- А) закритими
- Б) ізольованими
- В) неізольованими

27. Системи, що не обмінюються речовиною з іншими системами, а їх взаємодія з ними обмежується лише передачею теплоти і роботи, називаються

- А) закритими
- Б) ізольованими
- В) неізольованими

28. Властивості системи залежать від

- А) її початкового і кінцевого стану
- Б) шляху переходу з одного стану в інший
- В) обидва варіанти вірні

29. До екстенсивних властивостей відносять

- А) масу
- Б) температуру
- В) густину

30. До інтенсивних властивостей відносять

- А) масу
- Б) об'єм
- В) густину

31. Робота є

- А) впорядкованою формою передачі енергії
- Б) невпорядкованою формою передачі енергії

32. Теплота є

- А) впорядкованою формою передачі енергії
- Б) невпорядкованою формою передачі енергії

33. Математичний вираз першого закону термодинаміки може бути записаний у наступній формі:

- А) $\Delta U = Q + A$
- Б) $\Delta U = Q - A$
- В) $\Delta U = Q/A$

34. Якщо молекули рідини притягаються одна до одної слабше, ніж до молекул твердої речовини, то рідина

- А) змочує цю речовину
- Б) не змочує цю речовину

35. Дисперсні системи складаються

- А) з однієї фази
- Б) з двох або більшої кількості фаз

36. Розмір часток колоїдної фази знаходиться у межах

- А) $10^{-7} - 10^{-5}$ м

- Б) 10^{-7} – 10^{-5} мм
- В) 10^{-7} – 10^{-5} см

37. Седиментація полягає у тому, що дисперсні частки виділяються з рідкої фази за рахунок

- А) осідання або спливання
- Б) злипання або злиття

38. Коагуляція полягає в укрупненні часток дисперсної фази у результаті їх

- А) осідання або спливання
- Б) злипання або злиття

39. Розчинність твердих речовин зі збільшенням температури зазвичай

- А) зростає
- Б) знижується
- В) не змінюється

40. Кінетика хімічних реакцій – це вчення про

- А) механізм їх перебігання
- Б) швидкості їх перебігання і залежність від різних факторів

41. Зміна концентрацій реагуючих речовин в одиницю часу називається

- А) швидкістю хімічної реакції
- Б) порядком хімічної реакції

42. Система, термодинамічні властивості якої в усіх точках однакові, називається

- А) гетерогенною
- Б) гомогенною
- В) простою

43. Реакції, що перебігають на поверхні розподілу фаз, називаються

- А) гетерогенними
- Б) гомогенними
- В) простими

44. Реакції, у яких взаємодія вихідних часток здійснюється в одну стадію при їх безпосередньому зіткненні одна з одною, називають

- А) гетерогенними
- Б) гомогенними
- В) простими

45. До простих реакцій відносять

- А) необоротні реакції
- Б) оборотні реакції
- В) послідовні реакції

46. Рівнянням Арреніуса має вигляд

А) $k = k_0 \cdot e^{-E/(RT)}$

Б) $V = k \cdot aA_n \cdot aB_m$

47. Якщо на систему, що знаходиться у рівновазі, відбувається вплив, то він сприяє перебіганню тієї з двох протилежних реакцій, яка послаблює цей вплив. Так свідчить

А) принцип Ле-Шательє

Б) закон Шарля

В) другий закон термодинаміки

48. Дифузія може здійснюватися лише тоді, коли у різних точках простору концентрація речовини

А) однакова

Б) неоднакова

В) концентрація речовини не впливає на процес дифузії

49. Рушійною силою дифузії є

А) градієнт температур

Б) градієнт концентрацій

50. У разі ламінарного руху швидкість течії рідини у кожній точці простору

А) не змінюється з часом

Б) постійно змінюється

В) змінюється повільно

51. Для ламінарного потоку виконується рівність

А) $W_{cp} = 0,5W_{max}$

Б) $W_{cp} = 0,726W_{max}$

В) $W_{cp} = W_{max}$

52. У разі турбулентного руху переміщення рідини носить вихроподібний характер, а швидкість її течії у довільній точці

А) не змінюється з часом

Б) постійно змінюється

В) змінюється повільно

53. Для турбулентного потоку виконується рівність

А) $W_{cp} = 0,5W_{max}$

Б) $W_{cp} = 0,726W_{max}$

В) $W_{cp} = W_{max}$

54. Величина енергії активації у дифузійній області не перевищує

А) 50 кДж/моль

- Б) 40 кДж/моль
- В) 30 кДж/моль

55. Величини енергії активації у кінетичній області становить не менше

- А) 50 кДж/моль
- Б) 40 кДж/моль
- В) 30 кДж/моль

56. Температура набагато істотніше впливає на швидкість реакції

- А) у кінетичній області
- Б) у дифузійної області

57. У дифузійній області реакція завжди має

- А) нульовий порядок
- Б) перший порядок
- В) другий порядок
- Г) довільний порядок від 0 до 2

58. У кінетичній області реакція завжди має

- А) нульовий порядок
- Б) перший порядок
- В) другий порядок
- Г) довільний порядок від 0 до 2

59. Тумани – це система

- А) рідина – газ
- Б) рідина – тверде тіло
- В) тверде тіло – газ

60. Тверді емульсії – це система

- А) тверде тіло – газ
- Б) тверде тіло – рідина
- В) тверде тіло – тверде тіло

61. Молярна концентрація виражається

- А) числом молей розчиненої речовини у 1000 г розчинника
- Б) числом молів розчиненої речовини у 1 л розчину
- В) числом хімічних еквівалентів речовини, що містяться у 1 л розчину
- Г) кількістю грамів речовини, що міститься у 1 мл розчину

62. Молярна концентрація залежить від

- А) температури
- Б) тиску
- В) маси розчиненої речовини

63. Моляльність – концентрація, виражена

- А) числом молей розчиненої речовини у 1000 г розчинника
 - Б) числом молів розчиненої речовини у 1 л розчину
 - В) числом хімічних еквівалентів речовини, що містяться у 1 л розчину
 - Г) кількістю грамів речовини, що міститься у 1 мл розчину
64. Нормальність розчину виражається
- А) числом молей розчиненої речовини у 1000 г розчинника
 - Б) числом молів розчиненої речовини у 1 л розчину
 - В) числом хімічних еквівалентів речовини, що містяться у 1 л розчину
 - Г) кількістю грамів речовини, що міститься у 1 мл розчину
65. Титр розчину виражається
- А) числом молей розчиненої речовини у 1000 г розчинника
 - Б) числом молів розчиненої речовини у 1 л розчину
 - В) числом хімічних еквівалентів речовини, що містяться у 1 л розчину
 - Г) кількістю грамів речовини, що міститься у 1 мл розчину
66. Коефіцієнт Генрі залежить від
- А) фізико-хімічних властивостей розчиненого газу
 - Б) від температури системи
 - В) обидва варіанти вірні
67. Засмічення середовища агентами, без хіміко-фізичних наслідків
- А) механічне забруднення
 - Б) фізичне забруднення
 - В) теплове забруднення
68. Зміна температурно-енергетичних, хвильових і радіаційних параметрів середовища
- А) механічне забруднення
 - Б) фізичне забруднення
 - В) теплове забруднення
69. Проникнення у екосистеми і технологічні пристрої видів тварин і рослин, не властивих цим спільнотам і пристроям
- А) біологічне забруднення
 - Б) біотичне забруднення
 - В) мікробіологічне забруднення
70. Поширення певних, як правило, небажаних біогенних речовин на території, де вони раніше не спостерігалися
- А) біологічне забруднення
 - Б) біотичне забруднення
 - В) мікробіологічне забруднення

71. Поява надзвичайно великої кількості мікроорганізмів, що пов'язана з їх масовим розмноженням на антропогенних субстратах

- А) біологічне забруднення
- Б) біотичне забруднення
- В) мікробіологічне забруднення

72. Дисперсійні аерозолі з твердими частками називаються

- А) пилом
- Б) туманом
- В) димом

73. Газоподібне середовище з рідкими конденсаційними та дисперсійними частками називається

- А) пилом
- Б) туманом
- В) димом

74. Конденсаційні аерозолі з твердою дисперсною фазою називають

- А) пилом
- Б) туманом
- В) димом

75. До гетерогенних систем відносяться

- А) колоїдні розчини
- Б) молекулярні розчини
- В) іонні розчини

76. До гомогенних систем відносять

- А) колоїдні розчини
- Б) молекулярні розчини
- В) суспензії

77. Система, що складається з рідини і зважених у ній твердих часток, називається

- А) суспензія
- Б) емульсія
- В) піна

78. Система, яка складається з 2-х рідин, що не змішуються або змішуються частково, називається

- А) суспензія
- Б) емульсія
- В) піна

79. Система, що складається з рідини і розподілених у ній бульбашок газу, називається

- A) суспензія
 - B) емульсія
 - B) піна
80. Пасивні методи захисту навколишнього середовища, – це
- A) раціональне розміщення джерел забруднення
 - B) локалізація джерел забруднення
 - B) обидва варіанти вірні
81. Раціональне розміщення джерел забруднення, – це
- A) пасивний метод захисту навколишнього середовища
 - B) активний метод захисту навколишнього середовища
82. Середовищезахисні процеси, основою яких є механічний вплив на тверді і аморфні матеріали, – це
- A) гідромеханічні
 - B) механічні
 - B) фізико-хімічні
83. Середовищезахисні процеси, основою яких є перехід речовини з однієї фази у іншу за рахунок дифузії, – це
- A) хімічні
 - B) теплові
 - B) масообмінні
84. Середовищезахисні процеси, основою яких є перетворення одних речовин у інші, зміна їх поверхневих і міжфазових властивостей, – це
- A) хімічні
 - B) фізико-хімічні
 - B) біохімічні
85. Середовищезахисні процеси, основою яких є каталітичні ферментативні реакції, – це
- A) хімічні
 - B) біологічні
 - B) теплові
86. Метод, оснований на поглинанні газів та пари рідкими поглиначами, називається
- A) абсорбція
 - B) адсорбція
 - B) екстракція
87. Метод, оснований на поглинанні домішок пористими твердими тілами, називається
- A) абсорбція

- Б) адсорбція
- В) екстракція

88. В основі конденсаційних методів лежить явище зменшення тиску насиченої пари розчинника при

- А) підвищенні температури
- Б) зниженні температури
- В) стабілізації температури

89. Термічні методи основані на

- А) спалюванні горючих шкідливих домішок
- Б) заморожуванні горючих шкідливих домішок

90. Каталітичні методи очищення основані на хімічних перетвореннях токсичних домішок у нетоксичні

- А) на поверхні твердих каталізаторів
- Б) у шарі рідких каталізаторів

91. Вибір методу видалення зважених часток зі стічних вод залежить від

- А) розміру часток домішок
- Б) фізико-хімічних властивостей і концентрації зважених часток
- В) витрати стічних вод і необхідного ступеня очищення
- Г) від усіх перерахованих параметрів

92. Розділення рідких неоднорідних систем шляхом виділення з рідкої фази твердих або рідких зважених часток під дією сили тяжіння або відцентрової сили, називається

- А) відстоювання
- Б) осадження
- В) фільтрування

93. Осадження відстоюванням відбувається під дією

- А) сили тяжіння
- Б) відцентрової сили

94. Очищення води від спливаючих домішок полягає у тому, що

- А) густина спливаючих часток нижче, ніж густина води
- Б) густина спливаючих часток вище, ніж густина води
- В) густина спливаючих частинок і густина води приблизно однакові

95. Швидкість розділення неоднорідних систем у полі відцентрових сил порівняно зі швидкістю розділення цих систем у полі сили тяжіння

- А) нижче
- Б) вище
- В) швидкості однакові для усіх умов

96. Дія розділення при осаджувальному центрифугуванні пропорційно величині фактору поділу K_p

- А) не змінюється
- Б) зменшується
- В) зростає

97. Напірні гідроциклони застосовують для видалення зі стічних вод

- А) твердих домішок
- Б) домішок, що осідають
- В) домішок, що спливають

98. Відкриті гідроциклони застосовують для видалення зі стічних вод

- А) твердих домішок
- Б) домішок, що осаджуються
- В) домішок, що спливають

99. Швидкість руху частки у рідині під дією відцентрової сили залежить від

- А) діаметра
- Б) різниці густини фаз
- В) в'язкості і густини стічної води
- Г) прискорення відцентрового поля
- Д) від усіх перелічених параметрів

100. На ефективність роботи гідроциклонів впливають

- А) конструктивні параметри
- Б) фізичні властивості води
- В) фізичні властивості води і конструктивні параметри

101. Ефективність гідроциклонів складає

- А) 50%
- Б) 70%
- В) 95%

102. При зменшенні в'язкості стічної води швидкість осадження часток

- А) збільшується
- Б) зменшується
- В) не змінюється

103. Зі зростанням густини рідини зменшується різниця густини фаз $\Delta\rho=(\rho_ч-\rho_0)$. Це супроводжується зниженням швидкості осадження частинок, які

- А) мають густину нижче густини води
- Б) мають густину вище густини води

104. Зі зростанням густини рідини зменшується різниця густини фаз $\Delta\rho=(\rho_ч-\rho_0)$. Це супроводжується збільшенням швидкості спливання частинок

- А) мають густину нижче густини води
Б) мають густину вище густини води
105. Процес укрупнення дисперсних часток у результаті їх взаємодії і об'єднання у агрегати, називається
А) коагуляція
Б) флокуляція
В) флотация
106. В очищенні стічних вод коагуляцію застосовують для прискорення процесу осадження
А) грубих часток
Б) тонкодисперсних домішок і емульгованих речовин
107. Коагуляція найбільш ефективна для видалення з води часток розміром
А) 1–100 мкм
Б) 100–200 мкм
В) більше 200 мкм
108. Колоїдні частки мають
А) слабкий негативний заряд
Б) слабкий позитивний заряд
В) вони нейтральні
109. Пластівці коагулянтів мають
А) слабкий негативний заряд
Б) слабкий позитивний заряд
В) вони нейтральні
110. Швидкість коагуляції залежить від
А) концентрації електроліту
Б) густини стічних вод
В) температури стічних вод
111. При низьких концентраціях електроліту
А) $\psi = 1$
Б) $\psi = 0$
В) $\psi \geq 1$
112. Під час швидкої коагуляції, при якій всі зіткнення часток закінчуються утворенням агрегатів
А) $\psi \geq 1$
Б) $\psi = 0$
В) $\psi = 1$
113. У полідисперсних системах відбувається коагуляція

- А) повільніше, ніж у монодисперсних системах
- Б) з такою самою швидкістю, як і у монодисперсних системах
- В) швидше, ніж у монодисперсних системах

114. Швидкість коагуляції залежить від

- А) концентрації електроліту
- Б) форми часток
- В) концентрації електроліту і форми часток

115. Процес агрегації зважених часток при додаванні у стічну воду високомолекулярних сполук, називається

- А) коагуляція
- Б) флокуляція
- В) флотація

116. Процес молекулярного «прилипання» часток матеріалу до поверхні розділу газу і рідини, що обумовлений надлишком вільної енергії поверхневих прикордонних шарів, а також поверхневими явищами змочування, називається

- А) коагуляція
- Б) флокуляція
- В) флотація

117. Енергія утворення комплексу «бульбашка-частка» дорівнює:

- А) $A = \sigma (1 + \cos \theta)$
- Б) $A = \sigma - (1 - \cos \theta)$
- В) $A = \sigma (1 - \cos \theta)$

118. Для часток, що змочуються водою

- А) $\theta \rightarrow 1$, а $\cos \theta \rightarrow 1$
- Б) $\theta \rightarrow 0$, а $\cos \theta \rightarrow 1$
- В) $\theta \rightarrow 0$, а $\cos \theta \rightarrow 0$

119. Ефективність адсорбційного очищення сягає

- А) 50–70%
- Б) 80–95%
- В) 95–98%

120. Ефективність адсорбційного очищення залежить від

- А) хімічної природи адсорбенту
- Б) температури води
- В) не залежить не від яких параметрів

121. Швидкість процесу адсорбції залежить від

- А) тиску
- Б) температури води
- В) не залежить не від яких параметрів

122. Витрату адсорбенту для одноступеневого процесу визначають з рівняння матеріального балансу

А) $m = Q(C_n + C_k)/a$

Б) $m = Q(C_n - C_k)/a$

В) $m = (C_n - C_k)/a$

123. Швидкість фільтрування стічної води через шар адсорбенту коливається

А) від 2–4 до 8–9 м³/(м²·год)

Б) від 2–7 до 8–12 м³/(м²·год)

В) від 2–4 до 5–6 м³/(м²·год)

124. Адсорбент застосовують у вигляді часток розміром

А) 1,5–15,0 мм

Б) 1,5–5,0 мм

В) 1,5–2,5 мм

125. Іоніти, які здатні поглинати з розчинів електролітів позитивні іони, називають

А) катіонітами

Б) аніонітами

В) амфотерними іонітами

126. Іоніти, які здатні поглинати з розчинів електролітів негативні іони, називають

А) катіонітами

Б) аніонітами

В) амфотерними іонітами

127. Якщо іоніти обмінюють і катіони і аніони, їх називають

А) катіонітами

Б) аніонітами

В) амфотерними іонітами

128. Кількість речовини, що поглинається при повному насиченні одиниці об'єму або маси іоніту, називається

А) повна ємність

Б) статична ємність

В) динамічна ємність

129. Обмінна ємність іоніту у стані рівноваги у даних робочих умовах, називається

А) повна ємність

Б) статична ємність

В) динамічна ємність

130. Ємність іоніту до моменту «проскакування» іонів у фільтрат, що визначається в умовах фільтрації, називається

- А) повна ємність
- Б) статична ємність
- В) динамічна ємність

131. Статична обмінна ємність у відношенні до повної ємності

- А) менше
- Б) більше
- В) вони приблизно однакові

132. Динамічна ємність у відношенні до статичної ємності

- А) менше
- Б) більше
- В) вони приблизно однакові

133. Сильнокислотні катіоніти дозволяють здійснювати процес іонообміну

- А) у лужних середовищах
- Б) у нейтральних середовищах
- В) у будь-яких середовищах

134. Слабокислотні катіоніти дозволяють здійснювати процес іонообміну

- А) у лужних і нейтральних середовищах
- Б) у будь-яких середовищах
- В) у кислих середовищах

135. Реакція іонного обміну, при контакті з катіонітом, перебігає наступним чином

- А) $\text{RSO}_3\text{H} + \text{NaCl} \rightarrow \text{RSO}_3\text{Na} + \text{HCl}$
- Б) $\text{ROH} + \text{NaCl} \rightarrow \text{RCl} + \text{NaOH}$

136. Реакція іонного обміну, при контакті з аніонітом, перебігає наступним чином

- А) $\text{RSO}_3\text{H} + \text{NaCl} \rightarrow \text{RSO}_3\text{Na} + \text{HCl}$
- Б) $\text{ROH} + \text{NaCl} \rightarrow \text{RCl} + \text{NaOH}$

137. Доцільність використання екстракції визначається

- А) концентрацією органічних домішок
- Б) температурою стічних вод
- В) об'ємом стічних вод

138. Процеси фільтрування розчинів через напівпроникні мембрани, вибірково пропускають розчинник і повністю або частково затримують молекули розчинених у них речовин, називають

- А) осмосом

Б) зворотним осмосом

139. Умовні межі застосування процесу зворотного осмосу

А) $d_q = 0,0001-0,001$ мкм

Б) $d_q = 0,001-0,02$ мкм

В) $d_q = 0,02-10$ мкм

140. Умовні межі застосування процесу ультрафільтрації

А) $d_q = 0,0001-0,001$ мкм

Б) $d_q = 0,001-0,02$ мкм

В) $d_q = 0,02-10$ мкм

141. Умовні межі застосування процесу макрофільтрування

А) $d_q = 0,0001-0,001$ мкм

Б) $d_q = 0,001-0,02$ мкм

В) $d_q = 0,02-10$ мкм

142. Тиск, необхідний для проведення процесу зворотного осмосу, порівняно з тиском для процесу ультрафільтрації

А) значно більше

Б) значно менше

В) однаковий

143. При десорбції парціальний тиск газу над розчином

А) вище, ніж у навколишньому повітрі

Б) нижче, ніж у навколишньому повітрі

144. Ступінь видалення летких речовин зі стічних вод підвищується з

А) зростанням температури газорідної суміші

Б) зростанням коефіцієнта масовіддачі і поверхні контакту фаз

В) обидва варіанти вірні

145. У якості анодів використовують

А) магнетит

Б) молібден

В) вольфрам

146. В якості катодів використовують

А) магнетит

Б) двоокис свинцю

В) вольфрам

147. Стічні води, що містять мінеральні кислоти або луги, перед скиданням їх у водойми або перед використанням у технологічних процесах

А) знезаражують

Б) нейтралізують

В) знесолюють

148. Активність речовини як окиснювача визначається величиною окисного потенціалу, який для озону становить

А) 2,07

Б) 0,94

В) 0,59

Г) 0,68

149. Активність речовини як окиснювача визначається величиною окисного потенціалу, який для хлору становить

А) 2,07

Б) 0,94

В) 0,59

Г) 0,68

150. Активність речовини як окиснювача визначається величиною окисного потенціалу, який для перманганату калію становить

А) 2,07

Б) 0,94

В) 0,59

Г) 0,68

151. Активність речовини як окиснювача визначається величиною окисного потенціалу, який для пероксиду водню становить

А) 2,07

Б) 0,94

В) 0,59

Г) 0,68

152. Окислення радикалами, що утворюються у результаті переходу озону з газової фази у рідину і його саморозкладання, називається

А) непряме окиснення

Б) каталіз

В) озоноліз

153. Каталітичний вплив озонування, що полягає у посиленні ним здатності кисню до окиснення, який присутній в озонованому повітрі, називається

А) непряме окиснення

Б) каталіз

В) озоноліз

154. Процес утворення озонідів, які, як і озон, є нестійкими сполуками і швидко розкладаються, називається

А) непряме окиснення

- Б) каталіз
- В) озоноліз

155. Біохімічні методи застосовують для
- А) очищення господарсько-побутових стічних вод
 - Б) очищення промислових стічних вод
 - В) очищення господарсько-побутових і промислових стічних вод

156. Процес біохімічного очищення оснований на здатності мікроорганізмів використовувати забруднюючі речовини для харчування, так як органічні речовини є джерелом

- А) вуглецю
- Б) фосфору
- В) кальцію

157. Руїнування органічних речовин називають
- А) біохімічним окисненням
 - Б) біохімічним відновленням

158. Кількість кисню, використаного для біохімічних процесів окиснення органічних речовин (не включаючи процесу нітрифікації) за певний проміжок часу, називають

- А) біологічне споживання кисню (БСК)
- Б) хімічне споживання кисню (ХСК)

159. Кількість кисню, еквівалентну кількості витраченого окиснювача, необхідного для окислення всіх відновників, що містяться у воді, називають

- А) біологічне споживання кисню (БСК)
- Б) хімічне споживання кисню (ХСК)

160. Можливість біохімічного окиснення стічних вод характеризується через біохімічний показник, тобто відношенням

- А) $BCK_{\text{пов}}/ХСК$
- Б) $BCK_{10}/ХСК$
- В) $BCK/ХСК$

161. Біохімічний показник промислових стічних вод складає

- А) менше 0,05
- Б) 0,05–0,3
- В) понад 0,5

162. Біохімічний показник побутових стічних вод складає

- А) менше 0,05
- Б) 0,05–0,3
- В) понад 0,5

163. При відношенні (БСК/ХСК) $100\% = 50\%$ речовини
А) піддаються біохімічному окисненню
Б) не піддаються біохімічному окисненню
164. Аеробні процеси перебігають
А) без доступу кисню
Б) при постійному подаванні кисню
165. Анаеробні процеси перебігають
А) без доступу кисню
Б) при постійному подаванні кисню
166. Суха речовина активного мулу містить
А) 70–90 % органічних і 30–10 % неорганічних речовин
Б) 30–10 % органічних і 70–90 % неорганічних речовин
В) 50 % органічних і 50 % неорганічних речовин
167. Муловий індекс, – це
А) відношення маси висушеного осаду (у грамах) після відстоювання протягом 30 хв до об'єму частини активного мулу, що осаджується
Б) відношення об'єму частини активного мулу, що осаджується, до маси висушеного осаду (у грамах) після відстоювання протягом 30 хв
В) відношення об'єму частини активного мулу, що осаджується, до маси висушеного осаду (у грамах) після відстоювання протягом 1 години
168. Мул, що погано піддається осадженню має
А) високий «муловий індекс»
Б) низький «муловий індекс»
169. З підвищенням температури швидкість ферментативних процесів
А) підвищується
Б) знижується
В) не змінюється
170. До речовин-активаторів, що підвищують активність ферментів, відносяться
А) вітаміни і катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}
Б) антибіотики
В) синильна кислота
171. До речовин-інгібіторів, що знижують активність ферментів, відносяться
А) вітаміни і катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}
Б) антибіотики
В) синильна кислота

172. На швидкість біохімічного окиснення впливає
- А) турбулізація стічних вод
 - Б) підвищення температури стічних вод
 - В) охолодження стічних вод
173. Найбільш оптимальна температура біохімічного очищення стічних вод підтримується у межах
- А) 18–20°C
 - Б) 20–30°C
 - В) 30–40°C
173. Підвищення температури води, що підлягає очищенню, може призвести до
- А) зниження швидкості очищення
 - Б) загибелі мікроорганізмів
 - В) утворення нових видів забруднень
175. Процеси бродіння здійснюються у
- А) мезофільних умовах
 - Б) термофільних умовах
 - В) мезофільних і термофільних умовах
176. Повнота зброджування органічних речовин у метантенках сягає
- А) 40%
 - Б) 60%
 - В) 90%
177. Температура замерзання розсолу
- А) завжди нижче температури замерзання чистої води
 - Б) завжди вище температури замерзання чистої води
 - В) дорівнює температурі замерзання чистої води
178. Якщо зі зростанням температури розчинність речовини зменшується, то кристалізацію здійснюють
- А) при нагріванні розчину
 - Б) при охолодженні розчину
 - В) у такому разі кристалізація не можлива
179. Ймовірність утворення зародків кристалів зростає з
- А) зниженням температури
 - Б) стабілізацією температури
 - В) підвищенням температури
180. Промислові стоки, для знешкодження яких необхідно додавати паливо, мають ентальпію
- А) нижче 8400 кДж/кг

- Б) вище 8400 кДж/кг
- В) 8400 кДж/кг

181. Система, – це

А) об'єкт, взаємодіючий з зовнішнім середовищем, що володіє складною внутрішньою будовою, більшим числом складових частин і елементів (апаратів), взаємозалежних технологічними потоками (зв'язками) і діючих як єдине ціле

Б) самостійна і умовно неподільна одиниця. У хімічній технології це найчастіше апарат, у якому перебігає будь-який типовий процес (хімічний, дифузійний, тепловий та ін.)

В) група елементів (апаратів), що володіє певною цілісністю і доцільністю

Г) характер і порядок поєднання окремих апаратів у технологічній схемі

182. Підсистема, – це

А) об'єкт, взаємодіючий з зовнішнім середовищем, що володіє складною внутрішньою будовою, більшим числом складових частин і елементів (апаратів), взаємозалежних технологічними потоками (зв'язками) і діючих як єдине ціле

Б) самостійна і умовно неподільна одиниця. У хімічній технології це найчастіше апарат, у якому перебігає будь-який типовий процес (хімічний, дифузійний, тепловий та ін.)

В) група елементів (апаратів), що володіє певною цілісністю і доцільністю

Г) характер і порядок поєднання окремих апаратів у технологічній схемі

183. Завдання синтезу хіміко-технологічної системи (ХТС) полягає

А) у розрахунках повної математичної моделі ХТС на основі математичних моделей окремих елементів і технологічної топології з метою визначення параметрів вихідних технологічних потоків при заданих технологічних умовах і параметрах вхідних потоків

Б) у створенні ХТС, що працює з високою ефективністю

В) у знаходженні екстремального значення обраного критерію ефективності функціонування ХТС

184. Завдання аналізування хіміко-технологічної системи (ХТС) полягає

А) у розрахунках повної математичної моделі ХТС на основі математичних моделей окремих елементів і технологічної топології з метою визначення параметрів вихідних технологічних потоків при заданих технологічних умовах і параметрах вхідних потоків

Б) у створенні ХТС, що працює з високою ефективністю

В) у знаходженні екстремального значення обраного критерію ефективності функціонування ХТС

185. Завдання оптимізації хіміко-технологічної системи (ХТС) полягає

А) у розрахунках повної математичної моделі ХТС на основі математичних моделей окремих елементів і технологічної топології з метою

визначення параметрів вихідних технологічних потоків при заданих технологічних умовах і параметрах вхідних потоків

Б) у створенні ХТС, що працює з високою ефективністю

В) у знаходженні екстремального значення обраного критерію ефективності функціонування ХТС

186. Завдяки функціональній схемі можна

А) визначити, які операції здійснюються на виробництві та у якій послідовності

Б) визначити напрям руху матеріальних і енергетичних потоків ХТС

В) зробити висновки про якісне або кількісне перетворення фізичних параметрів вхідних матеріальних і енергетичних потоків

Г) зробити висновки про типи і спосіб поєднання елементів (апаратів і машин), про послідовність окремих технологічних процесів

187. Завдяки структурній схемі можна

А) визначити, які операції здійснюються на виробництві та у якій послідовності

Б) визначити напрям руху матеріальних і енергетичних потоків ХТС

В) зробити висновки про якісне або кількісне перетворення фізичних параметрів вхідних матеріальних і енергетичних потоків

Г) зробити висновки про типи і спосіб поєднання елементів (апаратів і машин), про послідовність окремих технологічних процесів

188. Завдяки технологічній схемі можна

А) визначити, які операції здійснюються на виробництві та у якій послідовності

Б) визначити напрям руху матеріальних і енергетичних потоків ХТС

В) зробити висновки про якісне або кількісне перетворення фізичних параметрів вхідних матеріальних і енергетичних потоків

Г) зробити висновки про типи і спосіб поєднання елементів (апаратів і машин), про послідовність окремих технологічних процесів

189. Завдяки операторній схемі можна

А) визначити, які операції здійснюються на виробництві та у якій послідовності

Б) визначити напрям руху матеріальних і енергетичних потоків ХТС

В) зробити висновки про якісне або кількісне перетворення фізичних параметрів вхідних матеріальних і енергетичних потоків

Г) зробити висновки про типи і спосіб поєднання елементів (апаратів і машин), про послідовність окремих технологічних процесів

190. Розсіювання (просівання) основане

А) на тому, що мінерали, які входять до складу сировини, мають різну міцність, тому при дробленні менш міцні мінерали дробляться на більш дрібні зерна, ніж міцні матеріали. Після здрібнювання таку сировину просівають через

сита з отворами різного розміру і одержують фракції, збагачені тем або іншим матеріалом

Б) на відмінності швидкостей осадження часток у рідині або газі залежно від густини або крупності цих часток

В) на різній змочувальній здатності зерен окремих мінералів водою

Г) на відділенні магнітно-сприйнятливих матеріалів від немагнітних

191. Гравітаційний поділ оснований

А) на тому, що мінерали, які входять до складу сировини, мають різну міцність, тому при дробленні менш міцні мінерали дробляться на більш дрібні зерна, ніж міцні матеріали. Після здрібнювання таку сировину просівають через сита з отворами різного розміру і одержують фракції, збагачені тем або іншим матеріалом

Б) на відмінності швидкостей осадження часток у рідині або газі залежно від густини або крупності цих часток

В) на різній змочувальній здатності зерен окремих мінералів водою

Г) на відділенні магнітно-сприйнятливих матеріалів від немагнітних

192. Флотажний метод збагачення оснований

А) на тому, що мінерали, які входять до складу сировини, мають різну міцність, тому при дробленні менш міцні мінерали дробляться на більш дрібні зерна, ніж міцні матеріали. Після здрібнювання таку сировину просівають через сита з отворами різного розміру і одержують фракції, збагачені тем або іншим матеріалом

Б) на відмінності швидкостей осадження часток у рідині або газі залежно від густини або крупності цих часток

В) на різній змочувальній здатності зерен окремих мінералів водою

Г) на відділенні магнітно-сприйнятливих матеріалів від немагнітних

193. Магнітна сепарація основана

А) на тому, що мінерали, які входять до складу сировини, мають різну міцність, тому при дробленні менш міцні мінерали дробляться на більш дрібні зерна, ніж міцні матеріали. Після здрібнювання таку сировину просівають через сита з отворами різного розміру і одержують фракції, збагачені тем або іншим матеріалом

Б) на відмінності швидкостей осадження часток у рідині або газі залежно від густини або крупності цих часток

В) на різній змочувальній здатності зерен окремих мінералів водою

Г) на відділенні магнітно-сприйнятливих матеріалів від немагнітних

194. Підвищення активності каталізатора

А) збільшує енерговитрати

Б) зменшує енерговитрати

В) не позначається на енерговитратах

195. Підвищення стабільності каталізатора

- А) збільшує експлуатаційні витрати
- Б) зменшує експлуатаційні витрати
- В) не позначається на експлуатаційних витратах

196. Вторинні енергетичні ресурси (ВЕР), – це

- А) енергія, яка може бути отримана при використанні енергетичного потенціалу кінцевих і проміжних продуктів, у хіміко-технологічній системі
- Б) енергоресурси, запаси яких у міру їх видобутку із земної кори необоротно зменшуються
- В) паливо, при стисканні якого утворюються топкові гази

197. Непоновлювані джерела енергії, – це

- А) енергія, яка може бути отримана при використанні енергетичного потенціалу кінцевих і проміжних продуктів, у хіміко-технологічній системі
- Б) енергоресурси, запаси яких у міру їх видобутку з земної кори необоротно зменшуються
- В) паливо, при стисканні якого утворюються топкові гази

198. Горючі вторинні енергетичні ресурси, – це

- А) хімічна енергія відходів технологічних процесів хімічного та термохімічного перероблення вуглецевої або вуглецеводневої сировини, горючих газів печей, що не використовуються для подальшого технологічного перероблення деревних відходів та ін.
- Б) фізична теплота газів, що відходять, технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції і відходів основного виробництва, робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, гарячої води і пари, відпрацьованих у технологічних і силових установках
- В) потенційна енергія газів і рідин, що виходять з технологічних агрегатів з надлишковим тиском

199. Теплові вторинні енергетичні ресурси, – це

- А) хімічна енергія відходів технологічних процесів хімічного та термохімічного перероблення вуглецевої або вуглецеводневої сировини, горючих газів печей, що не використовуються для подальшого технологічного перероблення деревних відходів та ін.
- Б) фізична теплота газів, що відходять, технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції і відходів основного виробництва, робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, гарячої води і пари, відпрацьованих у технологічних і силових установках
- В) потенційна енергія газів і рідин, що виходять з технологічних агрегатів з надлишковим тиском

200. Вторинні енергетичні ресурси надлишкового тиску, – це

- А) хімічна енергія відходів технологічних процесів хімічного та термохімічного перероблення вуглецевої або вуглецеводневої сировини,

горючих газів печей, що не використовуються для подальшого технологічного перероблення деревних відходів та ін.

Б) фізична теплота газів, що відходять, технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції і відходів основного виробництва, робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів і установок, гарячої води і пари, відпрацьованих у технологічних і силових установках

В) потенційна енергія газів і рідин, що виходять з технологічних агрегатів з надлишковим тиском

6.2.2 Відповіді на тестові питання

1	Б	41	А	81	А	121	Б	161	Б
2	В	42	Б	82	Б	122	Б	162	В
3	А	43	А	83	В	123	В	163	А
4	А	44	В	84	А	124	Б	164	Б
5	Б	45	А	85	Б	125	А	165	А
6	В	46	А	86	А	126	Б	166	А
7	А	47	А	87	Б	127	В	167	Б
8	Б	48	Б	88	Б	128	А	168	А
9	Б	49	Б	89	А	129	Б	169	А
10	В	50	А	90	А	130	В	170	А
11	А	51	А	91	Г	131	А	171	Б
12	Б	52	Б	92	Б	132	А	172	А
13	В	53	Б	93	А	133	В	173	Б
14	В	54	В	94	А	134	А	174	Б
15	А	55	Б	95	Б	135	А	175	В
16	Б	56	А	96	В	136	Б	176	А
17	А	57	Б	97	А	137	А	177	А
18	Б	58	Г	98	Б	138	Б	178	А
19	Б	59	А	99	Д	139	А	179	В
20	В	60	В	100	В	140	Б	180	А
21	А	61	Б	101	Б	141	В	181	А
22	А	62	А	102	А	142	А	182	В
23	Б	63	А	103	Б	143	А	183	Б
24	В	64	В	104	А	144	В	184	А
25	Б	65	Г	105	А	145	А	185	В
26	Б	66	В	106	Б	146	В	186	А
27	А	67	А	107	А	147	Б	187	Б
28	А	68	Б	108	А	148	А	188	Г
29	А	69	А	109	Б	149	Б	189	В
30	В	70	Б	110	А	150	В	190	А
31	А	71	В	111	Б	151	Г	191	Б
32	Б	72	А	112	В	152	А	192	В
33	Б	73	Б	113	В	153	Б	193	Г
34	А	74	В	114	В	154	В	194	Б
35	Б	75	А	115	Б	155	В	195	Б
36	В	76	Б	116	В	156	А	196	А
37	А	77	А	117	В	157	А	197	Б
38	В	78	Б	118	Б	158	А	198	А
39	А	79	В	119	Б	159	Б	199	Б
40	Б	80	В	120	А	160	А	200	В

6.3 Теми доповідей

1. Вплив автотранспорту на стан навколишнього середовища великих міст України.
2. Забруднення атмосфери у нафтовидобувних районах та його вплив на здоров'я людини.
3. Забруднення атмосферного повітря у наслідок впливу підприємств тепло- та електроенергетики.
4. Забруднення атмосферного повітря вуглеводнями та його небезпека для здоров'я людини.
5. Санітарно-гігієнічні нормативи хімічного забруднення атмосферного повітря.
6. Екологічні фактори та їх вплив на здоров'я населення України.
7. Кругообіг речовини у екосистемах первісного і промислово розвиненого суспільства: подібності та відмінності.
8. Аерозольне забруднення атмосфери і його вплив на природне середовище та здоров'я людини.
9. Забруднення водойм нафтопродуктами: джерела забруднення і вплив на природне середовище.
10. Пестициди, їх види і небезпека для навколишнього природного середовища та здоров'я людини.
11. Забруднення поверхневих водойм і його основні джерела.
12. Радіаційне забруднення навколишнього середовища і його небезпека для здоров'я людини.
13. Глобальні наслідки хімічного забруднення атмосфери.
14. Парниковий ефект та його можливі наслідки.
15. Діяльність міжнародних організацій з подолання «парникового ефекту».
16. Біогеоценоз та екосистема: подібність і відмінності понять.
17. Можливі економічні наслідки глобального потепління клімату.
18. Ноогенез, раціональне природокористування та стійкий розвиток.
19. Сталий розвиток – стратегія майбутнього цивілізації.
20. Фактори впливу «кислих» опадів на природне середовище та їх економічні наслідки.
21. Економічні, екологічні та соціальні наслідки забруднення навколишнього середовища.
22. Основи екологічного права.
23. Міжнародне співробітництво в області навколишнього середовища: історія, досвід і перспективи.
24. Демографічна проблема людства та глобальна екологічна криза.
25. Глобальна екологічна криза, причини її виникнення та перспективи подолання.
26. Раціональне природокористування та екологічні технології.
27. Сучасні сільськогосподарські технології та проблеми охорони навколишнього середовища.
28. Оцінювання екологічного ризику.
29. Надзвичайні екологічні ситуації.
30. Людина у сучасному місті, норми поведінки та їх наслідки.

ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК

В

Викиди – короткочасне або довготривале (протягом певного часу) надходження у повітряне середовище будь-яких забруднювачів.

Відновлювані джерела енергії – джерела енергії, що постійно відновлюються за рахунок природного їх надходження. До них належать: промениста енергія Сонця; енергія вітру; гідроенергія течій води, хвиль, припливів; тепла енергія навколишнього середовища (Землі, повітря, морів та океанів); енергія біомаси; геотермальна енергія.

Відходи виробництва – залишки сировини, матеріалів і напівфабрикатів, що утворюються у процесі виробництва, частково або повністю втратили свою якість і не відповідають стандартам виробництва.

Водосміст виробництва – кількість води, необхідна для виготовлення 1 т готової продукції.

Водокористування – порядок, умови і форми використання водних ресурсів для потреб населення і господарства.

Вологість повітря абсолютна – маса водяної пари, що міститься у 1 м³ вологого повітря.

Вологість повітря відносна – відношення абсолютної вологості повітря до максимально можливої під даним тиском і за даної температури, коли повітря насичене водяною парою.

Г

Горіння – хімічний процес сполуки палива з окиснювачем, що супроводжується інтенсивним тепловиділенням і різким підвищенням температури продуктів згоряння.

Д

Деградація середовища – погіршення природних умов і соціального середовища життя людини.

Детергенти – активні синтетичні речовини, що використовуються у промисловості та побуті та разом зі стічними водами потрапляють у водойми.

Е

Евтрофікування – підвищення біологічної продуктивності водойми внаслідок її забруднення сполуками азоту та фосфору за рахунок різноманітних (промислових, побутових, сільськогосподарських) стоків тощо.

Екологічна безпека – ступінь захищеності територіального комплексу, екосистеми, людини від можливих екологічних уражень. Визначається величиною екологічного ризику.

Екологічна експертиза – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізуванні та оцінюванні передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або

впливає на стан навколишнього середовища і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Екологічна катастрофа – широкомасштабна зміна екологічної та економічної ситуації, яка призводить до повної деградації екосистем, загибелі значної кількості істот (у тому числі людей), тривалої зміни характеру захворювань і надзвичайних соціально-економічних потрясінь.

Екологічна криза – порушення взаємозв'язків у системі географічної оболонки або незворотних явищ у біосфері, що викликані антропогенною діяльністю і загрожують існуванню людини як виду.

Екологічна політика – система заходів, направлених на забезпечення якості навколишнього середовища, відновлення природних ресурсів і створення належних екологічних умов для життя населення. За характером здійснення розрізняють такі види екологічної політики: глобальна, державна, локальна; за способом здійснення (регулювання) – адміністративна і економічна (ринкова). Екологічна політика визначає стратегію і тактику збалансованого розвитку.

Екологічний ризик – усвідомлена небезпека виникнення небажаних негативних змін екологічної ситуації у певному місці і часі з врахованими величинами ймовірних збитків.

Екологічні нормативи – нормативи, покликані забезпечувати екологічно сприятливі умови життєдіяльності людини, а також умови відтворення тваринного і рослинного світу.

Екологія промислова – дисципліна, що вивчає вплив промисловості (іноді всіх галузей народного господарства) – від окремих підприємств до техносфери – на природу і, навпаки, вплив умов природного середовища на функціонування підприємств та їх комплекси.

Енергія вільна – ізохорно-ізоермічний термодинамічний потенціал або енергія Гельмгольца.

Ексергія або технічна працездатність – максимальна робота, яку чинить робоче тіло, якщо у якості холодного джерела теплоти виступає зовнішнє середовище з температурою T_0 .

3

Забруднення – привнесення у середовище або виникнення у ньому нових, не характерних для нього фізичних, хімічних, інформаційних чи біологічних агентів або перевищення конкретного середнього багаторічного рівня концентрації агентів у компонентах середовища, які нерідко призводять до негативних наслідків.

I

Індекси забруднення – кількісна і якісна характеристика забруднювача, яка включає об'єми речовини забруднювача і ступінь його впливу на об'єкти, у тому числі і на людину.

Індикація – кількісне і якісне визначення хімічних речовин в об'єктах навколишнього середовища, біоті, у тому числі в організмі тварини і людини.

К

Канцероген – речовина або фізичний агент який чинить пригнічуючі дію на еритроцити крові і сприяє розвитку злоякісних утворень (пухлин).

Квота – законодавчою чи міжнародною угодою встановлена ступінь використання того чи іншого природного ресурсу або норма будь-якого впливу на довкілля.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) внутрішній відносний – ККД ступені парової турбіни, що враховує всі види втрат.

ККД індикаторний – відношення кількості теплоти Q_i еквівалентної індикаторній роботі, до всієї кількості теплоти Q , введеної у двигун з паливом.

ККД термічний – відношення корисно використаної у циклі теплоти (або отриманої роботи) до усієї кількості теплоти, витраченої на цикл.

ККД ефективний – відношення кількості теплоти, еквівалентної корисній роботі, до кількості теплоти, витраченої на одержання цієї роботи.

Комплексне використання сировини – основний принцип безвідхідного виробництва, коли всі відходи від основного виробництва переробляються на продукцію або напівфабрикати для виробництва на інших підприємствах.

Конденсація краплинна – утворення краплин конденсату на поверхні, що не змочується.

Конденсація плівкова – утворення суцільної плівки конденсату на поверхні, що змочується.

Контроль за навколишнім середовищем – спостереження за станом і змінами важливих для людини та біоценозу характеристик: складу повітря, якості води, рівня радіації тощо; порівняння одержаних даних з стандартними характеристиками; виявлення джерел шкідливого впливу на ці характеристики та інформація органів управління про стан довкілля.

Концентрація гранично допустима (норматив) – кількість шкідливої речовини у середовищі, яка практично не впливає на здоров'я людини і не викликає негативних наслідків. Встановлюється у законодавчому порядку.

Котел – конструктивно об'єднаний у одне ціле комплекс обладнання для одержання пари або для нагрівання води під тиском.

Котел прямоточний – котел з послідовним однократним примусовим рухом води.

Котельна установка – сукупність котла і допоміжного устаткування.

Коефіцієнт надлишку повітря – відношення дійсної кількості повітря V_d , що подається для організації процесу горіння, до теоретично необхідної кількості V_0 .

Н

Навантаження антропогенне – ступінь прямого і опосередкованого впливу людей, господарства на природу у цілому чи окремі її компоненти.

Ноосфера – соціоприродна система, у якій мають бути забезпечені пріоритети розумного співіснування суспільства і природи, інтелектуально-інформаційних етичних цінностей, екогуманізму, а також реалізовані

світоглядні принципи гармонії людини, суспільства і природи, їх безпечний і довготривалий спільний розвиток на основі екологічної освіти і духовного забезпечення.

Нормування якості середовища (води, повітря, ґрунтів) – встановлення меж, у яких допускається зміна його природних властивостей. Зазвичай норма визначається згідно реакції найчутливішого до змін середовища виду організму, але можуть встановлюватися також санітарно-гігієнічні та економічно доцільні нормативи.

О

Озонування – оброблення води чи повітря озоном для знищення мікроорганізмів та усунення неприємних запахів.

Охолодження – відведення теплоти від тіл і передача її іншим тілам або у навколишнє середовище.

Охолодження і зрідження газів – зниження температури газів при $p = \text{const}$ або $v = \text{const}$ до температури конденсації і їх конденсація.

Охорона природи – сукупність науково обґрунтованих заходів, спрямованих на раціональне використання природних ресурсів, збереження і відновлення природного потенціалу ландшафтів, збереження біотичного і ландшафтного різноманіття.

Охорона середовища життя – система заходів, спрямованих на збереження природи Землі у стані, який би відповідав еволюційним потребам біосфери та людини.

Оцінювання впливу на навколишнє середовище (ОВНС) – процес ідентифікації, прогнозування і кількісного оцінювання ймовірного впливу на природне середовище у результаті реалізації того чи іншого продукту, інвестиційної пропозиції.

Оцінювання природних ресурсів – визначення їх економічної, екологічної, гігієнічної, соціально-психологічної та інших цінностей природного об'єкта.

П

Паливо – горюча речовина, яку економічно доцільно використовувати для одержання значної кількості теплоти.

Паливо умовне – паливо, теплота згоряння якого прийнята рівною 29,35 МДж/кг.

Параметри стану – фізичні величини, що однозначно характеризують стан термодинамічної системи і не залежать від передісторії системи.

Пароутворення – процес переходу речовини з конденсованої фази (рідкої або твердої) у газу.

Парціальний тиск – тиск, який мав би газ, що входить до складу газової суміші, якби він один займав об'єм, що дорівнює об'єму суміші за тієї самої температури.

Перенесення маси дифузійне (молекулярне) – перенесення маси, обумовлене дифузією.

Перенесення маси фільтраційне (молярне) – конвективне перенесення, обумовлене гідродинамічним, макроскопічним рухом пари і рідини під впливом зовнішніх сил і перепаду тисків.

Перетворення природи – господарська діяльність, спрямована на зміну властивостей природно-територіальних комплексів і окремих їх компонентів з метою покращення і пристосування до потреб суспільства.

Плата за забруднення середовища – грошове покриття підприємством соціально-економічної шкоди, яка завдана господарству і здоров'ю людей.

Плата за природні ресурси – грошове покриття природокористувачем суспільних затрат на пошук, збереження, відновлення, вилучення і транспортування природних ресурсів.

Повітря вологе – суміш сухого повітря з водяною парою.

Потенціал природно-ресурсний – теоретична кількість природних ресурсів, які без шкоди для природи і людства можуть бути використані з господарською метою.

Природокористування – сукупність всіх форм використання природного ресурсного потенціалу і заходів для його збереження.

Процес адіабатний – відбувається у фізичній системі, що не одержує теплоту ззовні і не віддає її, тобто відсутній теплообмін робочого тіла з зовнішнім середовищем.

Процес ізобарний – процес, що відбувається у фізичній системі під постійним зовнішнім тиском.

Процес ізотермічний – процес, що відбувається у фізичній системі при постійній температурі.

Процес ізохорний – процес, що відбувається у фізичній системі при постійному об'ємі.

Процес необоротний – процес, який може мимовільно перебігати лише у одному напрямі.

Процес не рівноважний – процес, що включає не рівноважні стани.

Процес оборотний – це такий процес, який може відбуватися як у прямому, так і у зворотному напрямі, причому при поверненні у первісний стан (при зміні зовнішніх умов у протилежній послідовності) система проходить усі рівноважні стани прямого процесу, але у зворотному порядку.

Процес політропний – процес зміни стану фізичної системи, при якому протягом усього процесу зберігається сталість теплоємності.

Процес рівноважний – процес переходу термодинамічної системи з одного рівноважного стану у інший, настільки повільно, що усі проміжні стани можна розглядати як рівноважні.

Р

Рекультивация – штучне відновлення родючості ґрунтів і рослинного покриву після техногенного порушення (є технічна і біологічна).

Рекуперация – технологічне оброблення забруднень з метою уникнення їх викидів в атмосферу.

Рівняння стану – рівняння, що виражає зв'язок між параметрами рівноважного стану термодинамічної системи.

Робота – передача енергії у результаті макроскопічного впорядкованого руху мікрочасток.

Робоче тіло – газоподібна, рідка або плазмова речовина, за допомогою якої здійснюється перетворення будь-якої енергії при одержанні механічної роботи, холоду, теплоти.

С

Самоочищення – природне знешкодження забруднення у середовищі (наземно-повітряному, водному, ґрунтовому) у результаті фізичних, хімічних і біологічних процесів. Наприклад, повне самоочищення води у природних умовах відбувається за 92 год.

Саморегуляція – властивість природної системи до відновлення внутрішніх властивостей і структур після яких-небудь природних або антропогенних змін.

Ступінь падіння тиску – відношення тисків на початку і у кінці відведення теплоти від робочого тіла до холодного джерела при постійному об'ємі.

Ступінь попереднього розширення – відношення об'ємів наприкінці та початку підведення теплоти до робочого тіла під постійним тиском.

Ступінь скорочення об'єму – відношення об'ємів на початку і наприкінці відведення теплоти від робочого тіла до холодного джерела під постійним тиском.

Сушіння – процес видалення рідини (частіше вологи) з різних матеріалів.

Т

Тепловий рух – це безладний (хаотичний) рух мікрочасток (молекул, атомів та ін.), з яких складаються усі тіла.

Теплоємність – кількість теплоти, яку необхідно підвести до тіла, щоб нагріти його на 1 градус (1°C або 1 К).

Теплота процесу – кількість енергії, переданої у результаті обміну хаотичним, ненаправленим рухом мікрочасток.

Термодинаміка – наука про найбільш загальні властивості макроскопічних фізичних систем, що перебувають у стані термодинамічної рівноваги, і про процеси переходу між цими станами.

Термодинамічна система – це сукупність макроскопічних тіл, які можуть взаємодіяти між собою та з іншими тілами, що являють собою зовнішнє середовище, у вигляді обміну енергією або речовиною.

Термодинамічний цикл – круговий процес, що здійснюється термодинамічною системою.

Техноекологія – найбільший за обсягом блок прикладних екологічних напрямів, пов'язаних з такими об'єктами людської діяльності, як енергетика, транспорт, промисловість, військова справа, сільське господарство, космос.

Технологія маловідходна – технологія, яка дає технічно досягнутий мінімум твердих, рідких, газоподібних і теплових відходів і викидів.

Тиск – фізична величина, що характеризує інтенсивність нормальних сил, за допомогою яких одне тіло діє на поверхню іншого.

У

Утилізація – використання енергії і речовини, вилучення корисних компонентів з побутових і промислових відходів, стічних вод, викидів у атмосферу.

Ф

Фотосинтез – окислювально-відновлювальна реакція синтезу органічних речовин за допомогою сонячної енергії.

Х

Хемосинтез – процес синтезу органічних речовин з вуглекислого газу за рахунок енергії окислення аміаку, сірководню та інших речовин, який здійснюється мікроорганізмами у процесі їх життєдіяльності.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Авраменко С.Х. Приклади та задачі з основ промислової екології: навч. посібник / С.Х. Авраменко, М.Д. Волошин. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2000. – 128с.
2. Акімова Т.А. Екологія. Человек–Економика–Биота–Среда: учебн. для вузов / Т.А. Акімова, В.В. Хаскин. – М.: ЮНИТИ ДАНА, 2008. – 495с.
3. Апостолок С.О. Промислова екологія: навч. посіб. / С.О. Апостолок, В.С. Джигирей, І.А. Соколовський та ін. – 2-ге вид., виправл. і доповн. – К.: Знання, 2012. – 430 с.
4. Бабакова Т.А. 500 экологических задач / Т.А. Бабакова, А.П. Мамотова. – Петрозаводск: Карелия, 1991. – 120с.
5. Барановський В.А. Екологічний атлас України / В.А. Барановський. – К.: Географіка, 2000. – 41 с.
6. Беспамятов Г.П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде / Г.П. Беспамятов, Ю.А. Кротов. – Л.: Химия, 1985. – 528с.
7. Білявський Т.О. Основи екології: теорія та практикум: навч. посібник / Т.О. Білявський, Л.І. Бутченко. – К.: Лібра, 2006. – 368 с.
8. Бубленко О.І. Біохімічні процеси екологічних технологій: Курс лекцій з дисципліни для студ- напряму 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» ден. та заочн. форм навч. / Н.О. Бубленко, О.І. Семенова, Т.Л.Ткаченко. – К.: НУХТ, 2012. – 49 с.
9. Василенко І.А. Збірка задач та вправ з екології та хімії навколишнього середовища / І.А. Василенко, О.А. Півоваров, С.О. Куманьов. – Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2012. – 194 с.
10. Василенко І.А. Збірник задач та вправ з екології та хімії навколишнього середовища: Навчальний посібник, вид. 2-е доп. і перероб. / І.А. Василенко, О.А. Півоваров, С.О. Куманьов. – Дніпропетровськ: «Акцент ПП», 2014. – 225 с.
11. Василенко І.А. Збірник задач та вправ для вивчення термодинамічних процесів: Навчальний посібник / І.А. Василенко, С.О. Куманьов, О.А. Півоваров. – Дніпропетровськ: «Акцент ПП», 2014. – 249 с.
12. Василенко І.А. Збірник задач та вправ з екології та хімії навколишнього середовища: Навчальний посібник, вид. 3-є доп. і перероб. / І.А. Василенко, О.А. Півоваров, С.О. Куманьов. – Дніпропетровськ: «Акцент ПП», 2015. – 216 стр.
13. Василенко І.А. Залізооксидні пігменти. Синтез, модифікування, використання у різних галузях науки і техніки: Монографія / І.А. Василенко, О.А. Півоваров. – Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2016. – 217 с.
14. Ветошкин А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГАСА, 2002. – 290 с.

15. ВЧ- и СВЧ-плазмотроны / С. В. Дресвин, А. А. Бобров, В. М. Лелёвкин и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 319 с.
16. Гайнріх Д. Екологія: dtv-Atlas – пер. з 4-го нім. вид. / Д. Гайнріх, М. Гердт. – К.: Знання-Прес, 2001. – 287с.
17. Данилов-Данильян В.И. Экологический вызов и устойчивое развитие: учебн. пособие / В.И. Данилов-Данильян, К.С. Лосев. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 418 с.
18. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посібник – 3-те видання / В.С. Джигирей. – К.: Знання, 2004. – 309с.
19. Запольский А.К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А.К. Запольский, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
20. Зейфман Е.А. Интенсификация процессов очистки сточных вод от биогенных элементов / Е.А. Зейфман, Е.А. Лебедева, Г.А. Тихановская. – Вологда: ВоГТУ. – 110 с.
21. Игнатенков В.И. Примеры и задачи по общей химической технологии / В.И. Игнатенков, В.С. Бесков– М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 198 с.
22. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учебное пособие / В.А. Исидоров. – СПб.: Химиздат, 1999. – 144с.
23. Калыгин В.Г. Промышленная экология: курс лекцій. – М.: МНЕРУ, 2000. – 240 с.
24. Капустян Н.К. Сейсмические исследования техногенных воздействий на земную кору и их последствий / Н.К. Капустян, Ф.Н. Юдахин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 416 с.
25. Карпов Ю.В. Защита от шума и вибрации на предприятиях химической промышленности / Ю.В. Карпов, Л.А. Дворянцева. – М.: Химия, 1991. – 120 с.
26. Киреев В.А. Краткий курс физической химии / В.А. Киреев. – М.: Химия, 1978. – 624 с.
27. Корабльова А.І. Екологічна експертиза та екологічна інспекція / А.І. Корабльова, Л.Г. Чесанов, Т.І. Долгова. – Дніпропетровськ: Поліграфіст, 2002. – 220 с.
28. Кукурудза С.І. Аналіз якості природних вод: лаб. практикум / С.І. Кукурудза, С.М. Гурій. – Львів, 1990. – 90с.
29. Мазур И.И. Курс инженерной экологии / И.И. Мазур, О.И. Молдаванов. – М.: Высшая школа, 2001. – 510 с.
30. Марчук Є. Україна: нова програма поступу / Є. Марчук. – К.: Аввалон, 2001. – 350 с.
31. Москвичев Ю.А. Теоретические основы химической технологии / Ю.А. Москвичев. – М.: Академия, 2005. – 272 с.
32. Набивач В.М. Теоретические основы процессов охраны окружающей среды: Учебн. пособие / В.М. Набивач– Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 137 с.

33. Никитин Г.А. Метановое брожение в биотехнологии / Г.А. Никитин. – К.: Вища шк. – 116 с.
34. Омеляненко М.В. Основи нормування міського середовища: навч. посібн. / за ред. М.М. Дьоміна. – К.: Книжкове вид-во Національного авіаційного ун-ту, 2007. – 192 с.
35. Пархоменко В.Д. Плазмохимическая технология / В.Д. Пархоменко, Ю.И. Краснокутский, П.И. Сорока и др. – Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 1991. – 392 с.
36. Пивоваров О.А. Використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми в гідрометалургійній промисловості [Текст]: монографія / О. А. Пивоваров, М. І. Скиба. – Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2015. – 206 с.
37. Пивоваров А.А. Неравновесная плазма: процессы активации воды и водных растворов / А.А. Пивоваров, А.П. Тищенко. – Днепропетровск, 2006. – 225 с.
38. Ревич Б.А. Загрязнения окружающей среды и здоровье населения: уч. пос / Б.А. Ревич. – М.: МНЭПУ, 2001. – 264с.
39. Трифонов К.И. Физико-химические процессы в техносфере: Учебник / К.И. Трифонов. – М.: Форум, 2000. – 240 с.
40. Царева З.М. Теоретические основы химической технологии: Учебн. пособ. / З.М. Царева. – К.: Вища школа, 1986. – 271с.
41. Шаприцкий В.Н. Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы: Справочник / В.Н. Шаприцкий. – М.: Металлургия, 1990. – 416с.
42. Шевчук В. Довідник з питань економіки та фінансування природокористування і природоохоронної діяльності / В. Шевчук, М. Пилипчук, Н. Карпенко та ін. – К.: Геопринт, 2000. – 41 с.
43. Шевчук В. Ноосферогенез і гармонійний розвиток / В. Шевчук, Г. Білявський, Ю. Саталкін та ін. – К.: Геопринт, 2002. – 127с.
44. Шеремета В. Екологічний дороговказ: Маленькі поради для великих змін / В. Шеремета– Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2009. – 160 с.
45. Экология: сборник описаний практических работ / В.А. Казанцев, В.Н. Катаева, Т.Г. Малахова, Н.П. Мироничева-Токарева, Е.Н. Филонова. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 78 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1. Грецький алфавіт

Літера	Назва	Літера	Назва	Літера	Назва
Α α	альфа	Ι ι	йота	Ρ ρ	ро
Β β	бета	Κ κ	каппа	Σ σ ζ	сигма
Γ γ	гамма	Λ λ	лямбда	Τ τ	тау
Δ δ	дельта	Μ μ	мю	Υ υ	іпсілон
Ε ε	епсілон	Ν ν	ню	Φ φ	фі
Ζ ζ	дзета	Ξ ξ	ксі	Χ χ	хі
Η η	ета	Ο ο	омікрон	Ψ ψ	псі
Θ θ	тета	Π π	пі	Ω ω	омега

Додаток 2. Десяткові приставки

Множник	Приставка	Позначення
10^{12}	Тера	Т
10^9	Гіга	Г
10^6	Мега	М
10^3	кіло	к
10^2	гекто	г
10^1	дека	да
10^{-1}	деци	д
10^{-2}	санти	с
10^{-3}	мілі	м
10^{-6}	мікро	мк
10^{-9}	нано	н
10^{-12}	піко	п

Додаток 3. Переведення деяких величин у одиниці системи СІ

Назва величини	Система одиниць МКГСС	Позасистемна одиниця	Система СІ
Маса	1 кгс·с ² /м	–	9,80665 кг
Сила	1 кгс	–	9,80665 Н
Густина	1 кгс·с ² /м ⁴	–	9,80665 кг/м ³
Робота	1 кгс·м	1/427 ккал	9,80665 Дж
Теплота, ентальпія, внутрішня енергія	–	1 ккал = 1/860 кВт·ч	4187 Дж
Енергія	1 кВт·ч	860 ккал	3600·10 ³ Дж

Додаток 4.
Міжнародна система одиниць (СІ)

Назва одиниці	Відношення з одиницями системи СІ
1. Одиниці довжини (метр)	
Кілометр	1 км = 100 м
Дециметр	1 дм = 0,1 м
Сантиметр	1 см = 0,01 м ($1 \cdot 10^{-2}$ м)
Міліметр	1 мм = 0,001 м ($1 \cdot 10^{-3}$ м)
Мікрометр	1 мкм = 0,000001 м ($1 \cdot 10^{-6}$ м)
Нанометр	1 нм = 0,000000001 м ($1 \cdot 10^{-9}$ м)
2. Одиниці маси (кілограм)	
Тонна	1 т = 1000 кг
Центнер	1 ц = 100 кг
Грам	1 г = 0,001 кг ($1 \cdot 10^{-3}$ кг)
Міліграм	1 мг = 0,000001 кг ($1 \cdot 10^{-6}$ кг)
Мікрограм	1 мкг = 0,000000001 кг ($1 \cdot 10^{-9}$ кг)
3. Одиниці часу (секунда)	
Мікросекунда	1 мкс = 0,000001 с ($1 \cdot 10^{-6}$ с)
Мілісекунда	1 мс = 0,001 с ($1 \cdot 10^{-3}$ с)
Хвилина	1 хв = 60 с
Година	1 год = 3600 с
Доба	1 доба = 86400 с
Тиждень	1 тиждень = 604800 с
Рік	1 рік = 31557600 с
4. Одиниці площі (квадратний метр)	
Квадратний кілометр	1 км ² = 1000000 м ² ($1 \cdot 10^6$ м ²)
Квадратний дециметр	1 дм ² = 0,01 м ² ($1 \cdot 10^{-2}$ м ²)
Квадратний сантиметр	1 см ² = 0,0001 м ² ($1 \cdot 10^{-4}$ м ²)
Квадратний міліметр	1 мм ² = 0,000001 м ² ($1 \cdot 10^{-6}$ м ²)
5. Одиниці об'єму (кубічний метр)	
Кубічний кілометр	1 км ³ = 1000000000 м ³ ($1 \cdot 10^9$ м ³)
Кубічний дециметр	1 дм ³ = 0,001 м ³ ($1 \cdot 10^{-3}$ м ³)
Кубічний сантиметр	1 см ³ = 0,000001 м ³ ($1 \cdot 10^{-6}$ м ³)
Кубічний міліметр	1 мм ³ = 0,000000001 м ³ ($1 \cdot 10^{-9}$ м ³)
Літр	1 л = 0,001 м ³ ($1 \cdot 10^{-3}$ м ³)
Мілілітр	1 мл = 0,000001 м ³ ($1 \cdot 10^{-6}$ м ³)
6. Одиниці швидкості (метр у секунду)	
Кілометр у секунду	1 км/с = 1000 м/с
Дециметр у секунду	1 дм/с = 0,1 м/с
Сантиметр у секунду	1 см/с = 0,01 м/с ($1 \cdot 10^{-2}$ м/с)
Міліметр у секунду	1 мм/с = 0,001 м/с ($1 \cdot 10^{-3}$ м/с)
7. Одиниці густини (кілограм на метр кубічний)	
Грам на сантиметр кубічний	1 г/см ³ = 1000 кг/м ³

Державний вищий навчальний заклад
«Український державний хіміко-технологічний університет»

Навчальне видання

ВАСИЛЕНКО Інна Анатоліївна
СКИБА Маргарита Іванівна
ПІВОВАРОВ Олександр Андрійович
ВОРОБІЙОВА Вікторія Іванівна

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА**

Підручник

Формат 60x84/16. Умовн. друк. арк. 11,86
Тираж 50 пр. Зам № 2272

Видано та віддруковано в ТОВ «Акцент ПП»
вул. Ларіонова, 145, м. Дніпропетровськ, 49052
тел. (056) 794-61-04(05)

*Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4766 від 04.09.2014.*