

Лекція 8. Характеристика хімічних методів очищення стічних вод

4.1 Нейтралізація

Стічні води, які містять мінеральні кислоти або луги, перед їх скиданням у природні водойми або перед використанням у технологічних процесах піддають нейтралізації. Практично нейтральними вважаються води, які мають рН 6,5-8,5. Для нейтралізації кислотних вод використовують сполуки основного характеру, а лужних - кислотного.

Нейтралізацію стічних вод проводять одним із способів:

- змішуванням кислотних і основних стічних вод;
- додаванням реагентів;
- фільтруванням кислотних вод через нейтралізуючі матеріали;
- абсорбцією кислотних газів лужними водами або аміаку кислотними водами.

При виборі способу нейтралізації залізовмісних кислих стоків слід керуватися наступними вимогами:

- обраний спосіб нейтралізації повинен забезпечити достатню стабільність очищених стоків, щоб при повторному використанні їх не було відкладень в системі оборотного водопостачання;
- реагентний спосіб повинен забезпечувати формування продуктів нейтралізації (осаду), здатних по можливості добре виділятися у відстійниках або освітлювачах і на фільтрах, а також ущільнюватися при його зберіганні;
- прийнятий спосіб повинен бути найбільш економічним для умов даного підприємства.

Напівсуха нейтралізація відпрацьованих розчинів

При нейтралізації відпрацьованих травильних розчинів вапняним тестом або меленої вапном, по-перше, повністю усувається рідка фаза; по-друге,

обсяг продуктів нейтралізації скорочується в 2,5-3 рази (в порівнянні з нейтралізацією вапняним молоком); по-третє, вологість одержуваних продуктів нейтралізації (осаду) через дві доби становить тільки 60-65% замість 87-99% у разі застосування вапняного молока і, нарешті, отримана маса не розтікається і зручна для транспортування навалом. Однак при нейтралізації тестом витрата вапна більше, ніж у випадку застосування вапняного молока, - в середньому на 26%, а при нейтралізації меленої вапном-на 36%.

Напівсуха нейтралізація здійснюється наступним чином. У барабан бетономішалки С - 159 зі змішувальним барабаном ємністю 425 літрів (або інший) і швидкістю обертання 18,2 оборотів в хвилину завантажують деяка кількість вапна і чистої води, після чого барабан бетономішалки обертають протягом 5-7 хвилин. При цьому утворюється вапняне тісто, яке обволікає внутрішню поверхню барабана. Потім в барабан заливають невелику кількість відпрацьованого травильного розчину, який, реагуючи з вапняним тестом, утворює корочку гіпсу, що захищає метал від руйнування кислотою. Після цього завантажують вапно, заливають отработавший розчин і 20-30 хвилин обертають барабан. В результаті утворюється тісто з нейтралізованої маси. Можна чинити і навпаки-залити розчин, потім засипати вапно. Ємність бетономішалки використовується на 85-90%.

Напівсуху нейтралізацію можна з успіхом застосовувати для обробки невеликих кількостей травильних розчинів (наприклад, при витраті кислоти до 200 тонн на рік). Маса після двох-трьохдобового перебування в приміщенні добре захоплюється грейфером, що дозволяє легко доставляти її автотранспортом на загальнозаводську звалище.

Нейтралізація кислих стоків фільтруванням крізь лужні матеріали

Для нейтралізації солянокислих, азотнокислих стічних вод, а також сірчаноокислотних стічних вод, що містять не більше 5 г/л H_2SO_4 і не містять солей важких металів, можна застосовувати безперервно діючі фільтри.

Установка для нейтралізації кислот фільтруванням через лужні матеріали складається з усереднювальних резервуара і фільтрів, завантажених кусковими крейдою, вапняком, магнетитом, доломітом, мармуром або іншим матеріалом.

Початкова крупність завантажувального матеріалу 3-8 сантиметрів; з плином часу крупність зменшується зважаючи розчинення матеріалу в фільтрованої воді. Фільтруючий матеріал завантажують у фільтр шаром: при нейтралізації стічних вод, що містять азотну і соляну кислоту, 1-1,5 м; при нейтралізації стічних вод, що містять сірчану кислоту, 1,5-2 м.

Фільтрування води може бути зверху вниз або знизу вгору. Швидкість фільтрування допускається не більше 5м/год, тривалість контакту води з фільтруючою масою - не менше 10 хвилин. Фільтр промивають завжди потоком води знизу вгору.

Швидкість фільтрування через доломіт середньої крупності частинок 4-6 сантиметрів (межі крупності 0,2-13,6 см) рекомендується 0,6-0,9 м/год. Чим більше концентрація кислоти в стічній воді, тим менше повинна бути швидкість фільтрування. При концентрації кислоти до 2% швидкість фільтрування повинна бути зменшена до 0,35 м/ч. При нейтралізації стічних вод, що містять азотну і соляну кислоти, через вапняк швидкість фільтрування можна приймати залежно від концентрації кислоти в нейтралізуемій воді від 0,5 до 1 м/год. Менша швидкість відповідає більшій концентрації.

Нейтралізація кислих стоків реагентами

Основним завданням добавки до кислих железосодержащим стокам реагентів (зазвичай вапна) є забезпечення повної нейтралізації стоків і виділення розчинених у них заліза та інших металів, що досягається підвищенням рН стоків до 8-9.

Нейтралізація кислот вапном полягає у заготівлі, дозуванні і змішуванні вапна з водою і наступному виділенні продуктів нейтралізації (осаду) у відстійнику або освітлювачі, а іноді додатково у фільтрі. Розрахунок процесу

нейтралізації зводиться до визначення кількості реагентів, необхідних для нейтралізації. У результаті нейтралізації кислот лугами утворюються солі, частина яких розчиняється у воді. Нерозчинені солі, випадають в осад.

Режим надходження травильних стічних вод на станцію нейтралізації визначається технологічним процесом виробництва.

Для розрахунку станції нейтралізації можна приймати наступні концентрації стоків: у відпрацьованих травильних розчинах вміст сірчаної кислоти 70 г/л і залізного купоросу 300 г/л; в промивних водах вміст сірчаної кислоти 5 г/л, залізного купоросу 5 г/л; практично зміст зазначених речовин буває набагато більше; у водах від лужних ванн вміст вапна (за CaO) 30 г/л.

Утвориться після нейтралізації вапном залізистих сірчаноокислотних стічних вод суспензія складається в основному з сірчаноокислого кальцію CaSO_4 , гідрату окису і закису заліза $\text{Fe}(\text{OH})_2$ і $\text{Fe}(\text{OH})_3$, вуглекислого кальцію CaCO_3 та інших нерозчинних речовин, що містяться в вапна. Ця суспензія дуже рухлива, легко взмучується, а випала в осад дуже повільно ущільнюється і погано віддає воду. У малоконцентровані промивних водах (з кількістю утворюється суспензії $M=1-5 \text{ кг/м}^3$) утворюється більш вологий гідратний осад, який займає об'єм, більший в три рази, вважаючи на сухий осад, в порівнянні з концентрованими відпрацьованих травильних розчинів ($M=40-50 \text{ кг/м}^3$). Навіть після тривалого відстоювання вологість осаду в малоконцентрованих стічних водах залишається значно вищим. Тому рекомендується спільна нейтралізація відпрацьованих травильних розчинів і промивних вод; при нейтралізації тільки промивних вод розбавлення їх іншими водами або нейтралізація вапняним молоком з дуже малим вмістом CaO значно погіршують умови по ущільненню і обезводнення гідратного осаду, і тому розбавлення кислих стічних вод у виробничих умовах взагалі допускати не слід, особливо при використанні цих вод в обороті.

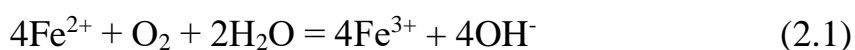
4.2 Методи відновлення, окиснення

Методи відновного очищення стічних вод застосовують у тих випадках, коли вони містять легко відновлювані речовини. Ці методи широко використовуються для видалення зі стічних вод сполук ртуті, хрому, миш'яку.

У процесі очищення неорганічні сполуки ртуті відновлюють до металевої ртуті з подальшим відділенням її від води відстоюванням, фільтруванням або флотацією. Органічні сполуки ртуті спочатку окисляють з руйнуванням сполук, потім катіони ртуті відновлюють до металевої ртуті. Для відновлення ртуті і її сполук запропоновано застосувати сульфід заліза, боргидрид натрію, гідросульфід натрію, гидрозин, залізний порошок, сірководень, алюмінієву пудру й ін.

У процесі окислення токсичні забруднення, що містяться в стічних водах, у результаті хімічних реакцій переводяться в менш токсичні з наступним видаленням їх з води. Очищення окислювачами пов'язане з великою витратою реагентів, тому методи окислювання застосовуються в тих випадках, коли речовини, що забруднюють стічні води, недоцільно або не можна вилучити іншими способами. Наприклад, очищення від ціаністих сполук, розчинених сполук миш'яку та ін.

Кисень повітря використовують при очищенні води від заліза для окислення сполук двовалентного заліза в тривалентне з наступним відділенням від води гідроокису заліза. Реакція окислення у водному розчині протікає за схемою:



Окислення проводять при аеруванні повітря через стічну воду у вежах з хордовою насадкою. Гідроокис заліза, що утвориться, відстоюється в контактному резервуарі, а потім його відфільтровують. Використання колон з кусковою насадкою або кільцями Рашига недоцільно, тому що відбувається заростання насадки. Можливий процес спрощеної аерації. У цьому випадку

над поверхнею фільтра розприскують воду, що у вигляді крапель падає на поверхню фільтруючого завантаження. При контакті крапель води з повітрям відбувається окислення заліза.

Окислювання піролюзитом проводять фільтрацією стічної води через цей матеріал або в апаратах з мішалкою. Піролюзит є природним матеріалом, що складається в основному з двоокису марганцю. Він широко використовується для окислювання тривалентного миш'яку в п'ятивалентний:



Підвищення температури сприяє збільшенню ступеня окислення. Оптимальний режим окислення наступний: витрата MnO_2 - чотириразовий в порівнянні зі стехіометричним, кислотність води, температура води 70 - 80 °С.

Окислювання озоном дозволяє одночасно забезпечити знебарвлення води, усунення присмаків і запахів і знезаражування. Озонуванням можна очищати стічні води від фенолів, нафтопродуктів, сірководню, сполук миш'яку, ПАВ, ціанідів, барвників, канцерогенних ароматичних вуглеводнів, пестицидів і ін.

Озон - газ блідо-фіолетового кольору. У природі знаходиться у верхніх шарах атмосфери. При температурі -111,9 °С озон перетворюється в нестійку рідину темно-синього кольору. Чистий озон вибухонебезпечний, тому що при його розкладанні вивільняється значна кількість тепла; дуже токсичний. Максимальна припустима концентрація в повітрі робочої зони дорівнює 0,0001 мг/м³. Знезаражуюча дія озону основана на високій окисній здатності, обумовлене легкістю віддачі ним активного атома кисню ($\text{O}_3 = \text{O}_2 + \text{O}$). Озон окисляє всі метали, крім золота, перетворюючи їх в окисли.

У водному розчині озон дисоціює швидше, ніж у повітрі; дуже швидко дисоціює у слаболужних розчинах. У кислотних розчинах озон виявляє велику стійкість. У чистому сухому повітрі він розкладається дуже повільно. При обробці води озоном відбувається розкладання органічних речовин і

зnezараження води; бактерії гинуть у кілька тисяч разів швидше, ніж при обробці води хлором. Розчинність озону у воді залежить від рН і вмісту у воді розчинених речовин. Невеликий вміст кислот та нейтральних солей збільшує розчинність озону у воді. Присутність лугів знижує розчинність ОЗ.

Дія озону в процесах окислення може відбуватися в трьох різних напрямках: безпосереднє окислення за участю одного атома кисню; приєднання цілої молекули озону до речовини, що окислюється, з утворенням озонідів; каталітичне посилення впливу кисню, присутнього в озонованому повітрі [8].

Озон подають у стічну воду у вигляді озono-повітряної або озono-кисневої суміші. Концентрація озону у суміші - близько 3%. Для посилення процесу окислення суміш диспергують у стічній воді на дрібні пухирці газу. Озонування являє собою процес абсорбції, супроводжуваний хімічною реакцією в рідкій фазі. Витрата озону, необхідного для окислення забруднень, може бути визначений за рівнянням массообміну:

$$M = \beta'_{ж} \cdot F \Delta j \quad (2.4)$$

де M - витрата озону, що переходить з газової фази в рідку, кг/с;

$\beta'_{ж}$ - коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі при протіканні в ній хімічної реакції, м/с;

F - поверхня контакту фаз, м²;

Δj - рушійна сила процесу, кг/м³.

Озон одержують з кисню повітря під дією електричного розряду в генераторах. Перед подачею повітря або чистого кисню в генератор його попередньо осушують, тому що зі збільшенням вологості повітря вихід озону зменшується. Витрата енергії на виробництво 1 кг озону з атмосферного повітря складає близько 18 кВт·год; з кисню - близько 9 кВт·год.

Для озонування промислових стічних вод використовують апарати різної конструкції. Можуть бути використані також барботажні, насадкові і тарілчасті колони.

Процес очищення значно, скорочується при спільному використанні ультразвуку й озону, ультрафіолетового опромінення й озону. Ультрафіолетове опромінення прискорює окислювання в 102-104 разів. Процес окислення можна розділити на дві стадії: фотохімічне порушення молекул під дією УФ-опромінення; окислення озоном. На першій стадії утворюються високоактивні у відношенні озону вільні радикали і сполуки з низькою молекулярною масою, які, поглинаючи світло, окисляються швидше, ніж вихідні.

4.2.1 Вибір окислювачів та відновників для очистки стічних вод

Для очистки стічних вод використовують наступні окислювачі: газоподібний і зріджений хлор, діоксид хлору, хлорне вапно, гіпохлорити кальцію і натрію, перманганат калію, біхромат калію, перекис водню, кисень повітря, пероксоірчані кислоти, озон, піролюзит та ін.

Здатність речовин проводити окислювання визначається величиною окисного потенціалу. З усіх відомих у природі окислювачів перше місце займає фтор, що, однак, через високу агресивність не може бути використаний на практиці. Для інших речовин величина окисного потенціалу дорівнює: для озону - 2,07; для хлору - 0,94; для перекису водню - 0,68; для перманганату калію - 0,59.

4.1 Нейтралізація

Стічні води, які містять мінеральні кислоти або луги, перед їх скиданням у природні водойми або перед використанням у технологічних процесах піддають нейтралізації. Практично нейтральними вважаються води, які мають рН 6,5-8,5. Для нейтралізації кислотних вод використовують сполуки основного характеру, а лужних - кислотного.

Нейтралізацію стічних вод проводять одним із способів:

- змішуванням кислотних і основних стічних вод;
- додаванням реагентів;
- фільтруванням кислотних вод через нейтралізуючі матеріали;
- абсорбцією кислотних газів лужними водами або аміаку кислотними водами.

При виборі способу нейтралізації залізовмісних кислих стоків слід керуватися наступними вимогами:

- обраний спосіб нейтралізації повинен забезпечити достатню стабільність очищених стоків, щоб при повторному використанні їх не було відкладень в системі оборотного водопостачання;
- реагентний спосіб повинен забезпечувати формування продуктів нейтралізації (осаду), здатних по можливості добре виділятися у відстійниках або освітлювачах і на фільтрах, а також ущільнюватися при його зберіганні;
- прийнятий спосіб повинен бути найбільш економічним для умов даного підприємства.

Напівсуха нейтралізація відпрацьованих розчинів

При нейтралізації відпрацьованих травильних розчинів вапняним тестом або меленої вапном, по-перше, повністю усувається рідка фаза; по-друге, обсяг продуктів нейтралізації скорочується в 2,5-3 рази (в порівнянні з нейтралізацією вапняним молоком); по-третє, вологість одержуваних продуктів нейтралізації (осаду) через дві доби становить тільки 60-65% замість 87-99% у разі застосування вапняного молока і, нарешті, отримана маса не розтікається і зручна для транспортування навалом. Однак при нейтралізації тестом витрата вапна більше, ніж у випадку застосування вапняного молока, - в середньому на 26%, а при нейтралізації меленої вапном-на 36%.

Напівсуха нейтралізація здійснюється наступним чином. У барабан бетономішалки С - 159 зі змішувальним барабаном ємністю 425 літрів (або інший) і швидкістю обертання 18,2 оборотів в хвилину завантажують деяка кількість вапна і чистої води, після чого барабан бетономішалки обертають протягом 5-7 хвилин. При цьому утворюється вапняне тісто, яке обволікає внутрішню поверхню барабана. Потім в барабан заливають невелику кількість відпрацьованого травильного розчину, який, реагуючи з вапняним тестом, утворює корочку гіпсу, що захищає метал від руйнування кислотою. Після цього завантажують вапно, заливають отработавший розчин і 20-30 хвилин обертають барабан. В результаті утворюється тісто з нейтралізованої маси. Можна чинити і навпаки-залити розчин, потім засипати вапно. Ємність бетономішалки використовується на 85-90%.

Напівсуху нейтралізацію можна з успіхом застосовувати для обробки невеликих кількостей травильних розчинів (наприклад, при витраті кислоти до 200 тонн на рік). Маса після двох-трьохдобового перебування в приміщенні добре захоплюється грейфером, що дозволяє легко доставляти її автотранспортом на загальнозаводську звалище.

Нейтралізація кислих стоків фільтруванням крізь лужні матеріали

Для нейтралізації солянокислих, азотнокислих стічних вод, а також сірчаноокислотних стічних вод, що містять не більше 5 г/л H_2SO_4 і не містять солей важких металів, можна застосовувати безперервно діючі фільтри. Установка для нейтралізації кислот фільтруванням через лужні матеріали складається з усереднювальних резервуара і фільтрів, завантажених кусковими крейдою, вапняком, магнетитом, доломітом, мармуром або іншим матеріалом.

Початкова крупність завантажувального матеріалу 3-8 сантиметрів; з плином часу крупність зменшується зважаючи розчинення матеріалу в фільтрованої воді. Фільтруючий матеріал завантажують у фільтр шаром: при

нейтралізації стічних вод, що містять азотну і соляну кислоту, 1-1,5 м; при нейтралізації стічних вод, що містять сірчану кислоту, 1,5-2 м.

Фільтрування води може бути зверху вниз або знизу вгору. Швидкість фільтрування допускається не більше 5м/год, тривалість контакту води з фільтруючою масою - не менше 10 хвилин. Фільтр промивають завжди потоком води знизу вгору.

Швидкість фільтрування через доломіт середньої крупності частинок 4-6 сантиметрів (межі крупності 0,2-13,6 см) рекомендується 0,6-0,9 м/год. Чим більше концентрація кислоти в стічній воді, тим менше повинна бути швидкість фільтрування. При концентрації кислоти до 2% швидкість фільтрування повинна бути зменшена до 0,35 м/ч. При нейтралізації стічних вод, що містять азотну і соляну кислоти, через вапняк швидкість фільтрування можна приймати залежно від концентрації кислоти в нейтралізуемій воді від 0,5 до 1 м/год. Менша швидкість відповідає більшій концентрації.

Нейтралізація кислих стоків реагентами

Основним завданням добавки до кислих железосодержащим стокам реагентів (зазвичай вапна) є забезпечення повної нейтралізації стоків і виділення розчинених у них заліза та інших металів, що досягається підвищенням рН стоків до 8-9.

Нейтралізація кислот вапном полягає у заготівлі, дозуванні і змішуванні вапна з водою і наступному виділенні продуктів нейтралізації (осаду) у відстійнику або освітлювачі, а іноді додатково у фільтрі. Розрахунок процесу нейтралізації зводиться до визначення кількості реагентів, необхідних для нейтралізації. У результаті нейтралізації кислот лугами утворюються солі, частина яких розчиняється у воді. Нерозчинені солі, випадають в осад.

Режим надходження травильних стічних вод на станцію нейтралізації визначається технологічним процесом виробництва.

Для розрахунку станції нейтралізації можна приймати наступні концентрації стоків: у відпрацьованих травильних розчинах вміст сірчаної

кислоти 70 г/л і залізного купоросу 300 г/л; в промивних водах вміст сірчаної кислоти 5 г/л, залізного купоросу 5 г/л; практично вміст зазначених речовин буває набагато більше; у водах від лужних ванн вміст вапна (за CaO) 30 г/л.

Утвориться після нейтралізації вапном залізистих сірчаноокислотних стічних вод суспензія складається в основному з сірчаноокислого кальцію CaSO_4 , гідрату окису і закису заліза $\text{Fe}(\text{OH})_2$ і $\text{Fe}(\text{OH})_3$, вуглекислого кальцію CaCO_3 та інших нерозчинних речовин, що містяться в вапна. Ця суспензія дуже рухлива, легко взмучується, а випала в осад дуже повільно ущільнюється і погано віддає воду. У малоконцентровані промивних водах (з кількістю утворюється суспензії $M=1-5 \text{ кг/м}^3$) утворюється більш вологий гідратний осад, який займає об'єм, більший в три рази, вважаючи на сухий осад, в порівнянні з концентрованими відпрацьованих травильних розчинів ($M=40-50 \text{ кг/м}^3$). Навіть після тривалого відстоювання вологість осаду в малоконцентровані стічних водах залишається значно вищим. Тому рекомендується спільна нейтралізація відпрацьованих травильних розчинів і промивних вод; при нейтралізації тільки промивних вод розбавлення їх іншими водами або нейтралізація вапняним молоком з дуже малим вмістом CaO значно погіршують умови по ущільненню і обезводненню гідратного осаду, і тому розбавлення кислих стічних вод у виробничих умовах взагалі допускати не слід, особливо при використанні цих вод в обороті.

4.2 Методи відновлення, окиснення

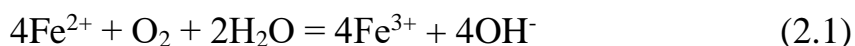
Методи відновного очищення стічних вод застосовують у тих випадках, коли вони містять легко відновлювані речовини. Ці методи широко використовуються для видалення зі стічних вод сполук ртуті, хрому, миш'яку.

У процесі очищення неорганічні сполуки ртуті відновлюють до металеві ртуті з подальшим відділенням її від води відстоюванням, фільтруванням або флотацією. Органічні сполуки ртуті спочатку окисляють з руйнуванням сполук, потім катіони ртуті відновлюють до металеві ртуті. Для відновлення ртуті і її сполук запропоновано застосувати сульфід заліза,

боргидрид натрію, гідросульфід натрію, гидрозин, залізний порошок, сірководень, алюмінієву пудру й ін.

У процесі окислення токсичні забруднення, що містяться в стічних водах, у результаті хімічних реакцій переводяться в менш токсичні з наступним видаленням їх з води. Очищення окислювачами пов'язане з великою витратою реагентів, тому методи окислювання застосовуються в тих випадках, коли речовини, що забруднюють стічні води, недоцільно або не можна вилучити іншими способами. Наприклад, очищення від ціаністих сполук, розчинених сполук миш'яку та ін.

Кисень повітря використовують при очищенні води від заліза для окислення сполук двовалентного заліза в тривалентне з наступним відділенням від води гідроксиду заліза. Реакція окислення у водному розчині протікає за схемою:



Окислення проводять при аеруванні повітря через стічну воду у вежах з хордовою насадкою. Гідроксид заліза, що утвориться, відстоюється в контактному резервуарі, а потім його відфільтровують. Використання колон з кусковою насадкою або кільцями Рашига недоцільно, тому що відбувається заростання насадки. Можливий процес спрощеної аерації. У цьому випадку над поверхнею фільтра розприскують воду, що у вигляді крапель падає на поверхню фільтруючого завантаження. При контакті крапель води з повітрям відбувається окислення заліза.

Окислювання піролюзитом проводять фільтрацією стічної води через цей матеріал або в апаратах з мішалкою. Піролюзит є природним матеріалом, що складається в основному з двоокису марганцю. Він широко використовується для окислювання тривалентного миш'яку в п'ятивалентний:



Підвищення температури сприяє збільшенню ступеня окислення. Оптимальний режим окислення наступний: витрата MnO_2 - чотириразовий в порівнянні зі стехіометричним, кислотність води, температура води 70 - 80 °С.

Окислювання озоном дозволяє одночасно забезпечити знебарвлення води, усунення присмаків і запахів і знезаражування. Озонуванням можна очищати стічні води від фенолів, нафтопродуктів, сірководню, сполук миш'яку, ПАВ, ціанідів, барвників, канцерогенних ароматичних вуглеводнів, пестицидів і ін.

Озон - газ блідо-фіолетового кольору. У природі знаходиться у верхніх шарах атмосфери. При температурі -111,9 °С озон перетворюється в нестійку рідину темно-синього кольору. Чистий озон вибухонебезпечний, тому що при його розкладанні вивільняється значна кількість тепла; дуже токсичний. Максимальна припустима концентрація в повітрі робочої зони дорівнює 0,0001 мг/м³. Знезаражуюча дія озону основана на високій окисній здатності, обумовлене легкістю віддачі ним активного атома кисню ($\text{O}_3 = \text{O}_2 + \text{O}$). Озон окисляє всі метали, крім золота, перетворюючи їх в окисли.

У водному розчині озон дисоціює швидше, ніж у повітрі; дуже швидко дисоціює у слаболужних розчинах. У кислотних розчинах озон виявляє велику стійкість. У чистому сухому повітрі він розкладається дуже повільно. При обробці води озоном відбувається розкладання органічних речовин і знезараження води; бактерії гинуть у кілька тисяч разів швидше, ніж при обробці води хлором. Розчинність озону у воді залежить від рН і вмісту у воді розчинених речовин. Невеликий вміст кислот та нейтральних солей збільшує розчинність озону у воді. Присутність лугів знижує розчинність O_3 .

Дія озону в процесах окислення може відбуватися в трьох різних напрямках: безпосереднє окислення за участю одного атома кисню; приєднання цілої молекули озону до речовини, що окислюється, з утворенням

озонідів; каталітичне посилення впливу кисню, присутнього в озонованому повітрі [8].

Озон подають у стічну воду у вигляді озоно-повітряної або озоно-кисневої суміші. Концентрація озону у суміші - близько 3%. Для посилення процесу окислення суміш диспергують у стічній воді на дрібні пухирці газу. Озонування являє собою процес абсорбції, супроводжуваний хімічною реакцією в рідкій фазі. Витрата озону, необхідного для окислення забруднень, може бути визначений за рівнянням масообміну:

$$M = \beta'_{ж} \cdot F \Delta j \quad (2.4)$$

де M - витрата озону, що переходить з газової фази в рідку, кг/с;

$\beta'_{ж}$ - коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі при протіканні в ній хімічної реакції, м/с;

F - поверхня контакту фаз, м²;

Δj - рушійна сила процесу, кг/м³.

Озон одержують з кисню повітря під дією електричного розряду в генераторах. Перед подачею повітря або чистого кисню в генератор його попередньо осушують, тому що зі збільшенням вологості повітря вихід озону зменшується. Витрата енергії на виробництво 1 кг озону з атмосферного повітря складає близько 18 кВт·год; з кисню - близько 9 кВт·год.

Для озонування промислових стічних вод використовують апарати різної конструкції. Можуть бути використані також барботажні, насадкові і тарілчасті колони.

Процес очищення значно, скорочується при спільному використанні ультразвуку й озону, ультрафіолетового опромінення й озону. Ультрафіолетове опромінення прискорює окислювання в 102-104 разів. Процес окислення можна розділити на дві стадії: фотохімічне порушення молекул під дією УФ-опромінення; окислення озоном. На першій стадії

утворюються високоактивні у відношенні озону вільні радикали і сполуки з низькою молекулярною масою, які, поглинаючи світло, окисляються швидше, ніж вихідні.

4.2.1 Вибір окислювачів та відновників для очистки стічних вод

Для очистки стічних вод використовують наступні окислювачі: газоподібний і зріджений хлор, діоксид хлору, хлорне вапно, гіпохлорити кальцію і натрію, перманганат калію, біхромат калію, перекис водню, кисень повітря, пероксоїрчані кислоти, озон, піролюзит та ін.

Здатність речовин проводити окислювання визначається величиною окисного потенціалу. З усіх відомих у природі окислювачів перше місце займає фтор, що, однак, через високу агресивність не може бути використаний на практиці. Для інших речовин величина окисного потенціалу дорівнює: для озон - 2,07; для хлору - 0,94; для перекису водню - 0,68; для перманганату калію - 0,59.