

## ЛЕКЦІЯ 8

### Хімічна очистка промислових стічних вод

#### 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.

#### *Напіссуха 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. Установа 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  $\text{CaSO}_4$ , гідрату окису і закису заліза  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  і  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , вуглекислого кальцію  $\text{CaCO}_3$  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 обезводнення гідратного осаду, і тому розбавлення кислих стічних вод у виробничих умовах взагалі допускати не слід, особливо при використанні цих вод в обороті.

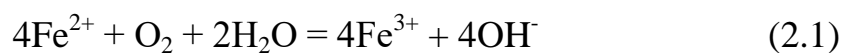
#### 4.2 Методи відновлення, окиснення

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 гідроксиду 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  $\text{MnO}_2$  - 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/м<sup>3</sup>. Знезаражуюча дія озону основана на високій окисній здатності, обумовлене легкістю віддачі ним активного атома кисню ( $O_3 = O_2 + O$ ). 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 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, м<sup>2</sup>;

$\Delta j$  - рушійна сила процесу, кг/м<sup>3</sup>.

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**

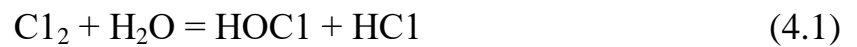
Для очистки стічних вод використовують наступні окислювачі: газоподібний і зріджений хлор, діоксид хлору, хлорне вапно, гіпохлорити кальцію і натрію, перманганат калію, біхромат калію, перекис водню, кисень повітря, пероксоїрчані кислоти, озон, піролюзит та ін.

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 озону - 2,07; для хлору - 0,94; для перекису водню - 0,68; для перманганату калію - 0,59.



#### 4.2.2 Очистка стічних вод від ціанідів

Хлор і речовини, що містять "активний" хлор, є найбільш розповсюдженими окислювачами. Їх використовують для очищення стічних вод від сірководню, гідросульфїду, метилсірчаних сполук, фенолів, ціанідів та ін. При введенні хлору у воду утворюється хлорноватиста і соляна кислоти:



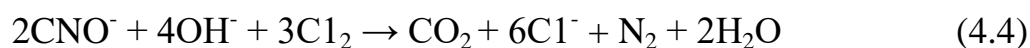
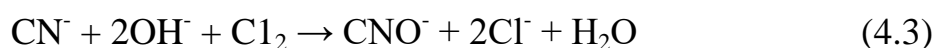
Далі відбувається дисоціація хлорноватистої, кислоти, ступінь якої залежить від рН середовища. При рН > 4 молекулярний хлор практично відсутній:



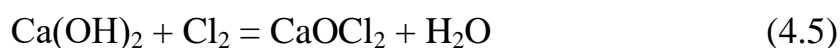
Сума  $\text{Cl}_2 + \text{HOCl} + \text{OCl}^-$  називається вільним "активним" - хлором. У присутності амонійних сполук у воді утворюється хлорноватиста кислота, хлорамін  $\text{NH}_2\text{Cl}$  і дихлорамін  $\text{NHCl}_2$ . Хлор у вигляді хлорамінів називається зв'язаним "активним".

Процес хлорування проводять у хлораторах періодичної і безперервної дії, напірних і вакуумних. Принципова схема очищення вод хлоруванням показана на рис. 4.1. Хлорування проводиться в ємності 4. В інжекторі 3 газоподібний хлор захоплюється стічною водою, що циркулює в системі до тих пір, поки не буде досягнутий заданий ступінь окислювання.

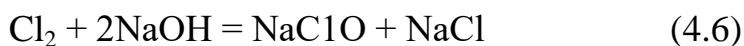
При знешкодженні вод від ціанідів процес проводять у лужному середовищі при  $\text{pH} \geq 9$ . Даний процес можна відобразити за допомогою таких рівнянь реакцій:



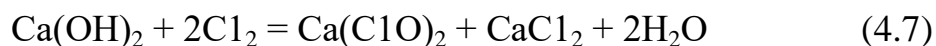
Джерелами "активного" хлору можуть бути також хлорне вапно, гіпохлориди, хлорати, діоксид хлору. Хлорне вапно одержують при взаємодії хлору з гашеним вапном:



Гіпохлорид натрію утвориться при пропусканні газоподібного хлору через розчин лугу:



Гіпохлорид кальцію готують хлоруванням вапняного молока при температурі 25 - 30 °С:



Промисловість випускає двоосновну сіль  $\text{Ca(ClO)}_2 \cdot 2\text{Ca(OH)}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

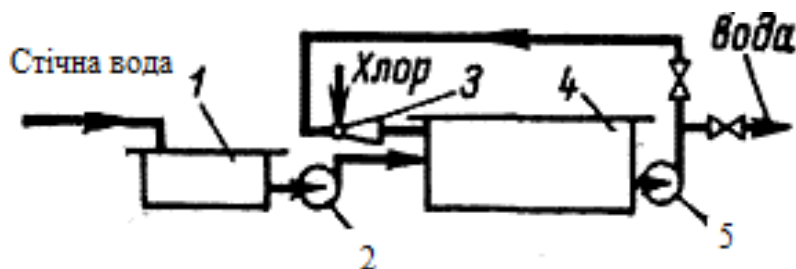
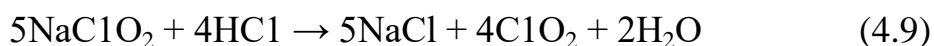
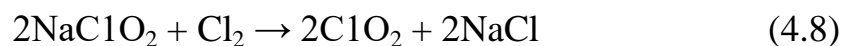
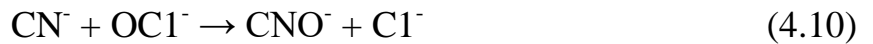


Рисунок 4.1 Схема установки для очищення води хлоруванням: 1 - усереднювач; 2 - насоси; 3 - інжектор; 4 - ємність.

Сильним окислювачем - є хлорат натрію  $\text{NaClO}_2$ , що розкладається з виділенням  $\text{ClO}_2$ . Диоксид хлору є зеленувато-жовтим отрутним газом з більш інтенсивним запахом, ніж хлор. Для його одержання використовуються наступні реакції:



При окислюванні ціанідів "активним" хлором процес можна проводити в одну ступінь до одержання ціанатів:



Окислювання ціанідів до ціанатів відбувається за рахунок атомарного кисню в момент його виділення з окислювача. Ціанати, що утворилися, легко гідролізуються до карбонатів:



Швидкість гідролізу залежить від рН середовища. При рН 5,3 за добу гідролізується близько 80% ціанатів. У двоступінчастому процесі ціаніди окисляються до  $\text{N}_2$  і  $\text{CO}_2$ . На першій ступені процес протікає за реакцією (4.11). На другій ступені вводиться додаткова кількість окислювача і реакція протікає за рівнянням:



Під час реакцій рН підтримують у межах 8 - 11. Контроль повноти окислювання роблять по залишковому "активному" хлору, концентрація якого повинна бути не менш 5 - 10 мг/л.

Товарне хлорне вапно містить до 33% "активного" хлору, а гіпохлорит кальцію - до 60%. Потреба реагентів ( $x_i$  в кг/добу) для окислювання підраховується по формулі

$$x_1 = \frac{x_{Cl} w n}{a}$$

де  $x_{Cl}$  - витрата "активного" хлору, необхідного для окислювання ціанідів, кг/м<sup>3</sup>;

w - витрата води, м<sup>3</sup>/добу;

n- коефіцієнт надлишку реагенту (n = 1,2 - 1,3);

a - вміст "активного" хлору в реагенті, у частках одиниці.

Як окислювач при очищенні стічних вод може бути використаний перекис водню, що є безбарвною рідиною й у будь-яких співвідношеннях змішується з водою. Процес окислювання варто проводити в ємності при інтенсивному перемішуванні або в барботажному апараті. Перекисом водню легко розкладаються нітрити, нітрили, альдегіди, феноли, сульфати.

Знебарвлення стічних вод, що містять активні барвники, при рН 7 - 10 протікає з високою ефективністю. Присутність каталізаторів (солей FeSO<sub>4</sub> і CuSO<sub>4</sub>) прискорює процес знебарвлення в 8 - 10 разів.

Перспективним є окислювання забруднень пероксосірчаними кислотами: пероксомоносірчаної H<sub>2</sub>SO<sub>5</sub> і пероксодисірчаної H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. Наприклад, фенол окислюється пероксомоносірчаною кислотою (кислота Каро) при рН 10. Цим методом можливо знизити вміст фенолу до 5\*10<sup>-6</sup> %. Швидкість окислювання залежить від співвідношення H<sub>2</sub>SO<sub>5</sub>/C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH і підвищується з ростом температури.

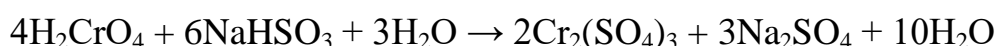
Руйнування ціанідів під дією пероксосірчаних кислот протікає також дуже швидко. При цьому, у випадку невеликих концентрацій ціанідів (0,01 - 0,05%) у стічній воді, використовують H<sub>2</sub>SO<sub>5</sub>, а при високих концентраціях - H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. Оптимальним умовам відповідає рН 9. У нейтральному середовищі

реакція окислювання різко сповільнюється під дією іонів заліза, які утворюють ферроціани, що не піддаються окисленню.

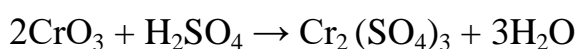
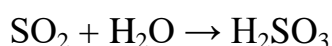
#### 4.2.3 Очистка стічних вод від Cr (VI)

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.

Метод очищення стічних вод від речовин, що містять шестивалентний хром, заснований на відновленні його до тривалентного з наступним осадженням у вигляді гідроокису в лужному середовищі. У якості відновників можуть бути використані активне вугілля, сульфат закисного заліза, бісульфат натрію, водень, двоокис сірки, відходи органічних речовин (наприклад, газетний папір), піритний недогарок та ін. На практиці для відновлення найбільше часто використовують розчини бісульфіту натрію:



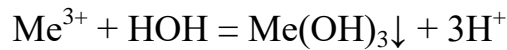
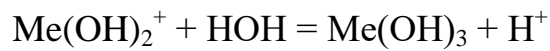
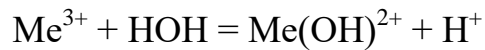
Реакція протікає швидко при рН 3 - 4 і надлишку сірчаної кислоти. Відновлення двоокисом сірки відбувається за реакціями



Найбільше швидко вони протікають при рН 2 - 2,5. Цей процес є перспективним, тому що для відновлення можна використовувати гази, що містять  $\text{SO}_2$ . Відновлення можна провести в колонному апараті. Це дозволяє забезпечити очищення не тільки стічних вод від токсичних сполук хрому, але і газів, що утворюються, від  $\text{SO}_2$ .

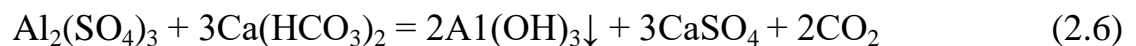
### **4.3 Метод осадження**

Коагуляція - це процес укрупнення дисперсних, часточок у результаті їх взаємодії й об'єднання в агрегати. В очищенні стічних вод її застосовують для прискорення процесу осадження тонкодисперсних домішок і емульгованих речовин. Коагуляція може відбуватися самочинно, під впливом хімічних і фізичних процесів. Однак у процесах очищення стічних вод коагуляція відбувається під впливом спеціальних речовин, що додаються до них – коагулянтів [9]. Коагулянти у воді утворюють пластівці гідратів окисів металів, що швидко осідають під дією сили тяжіння. Пластівці володіють здатністю уловлювати колоїдні і зважені частки й агрегувати їх. Тому що колоїдні часточки мають слабкий негативний заряд, а пластівці коагулянтів слабкий позитивний заряд, то між ними виникає взаємне тяжіння. Процес гідролізу коагулянтів і утворення пластівців відбувається на наступних стадіях:



Як коагулянти звичайно використовують солі алюмінію, заліза або їх суміші. Вибір коагулянту залежить від його складу, фізико-хімічних властивостей і вартості.

Як коагулянти використовуються наступні солі алюмінію: сульфат алюмінію  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ; алюмінат натрію  $\text{NaAlO}_2$ , оксихлорид алюмінію  $\text{Al}_3(\text{OH})_5\text{Cl}$ ; квасці - алюмокалієві  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  і аміачні  $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . З цих сполук найбільш розповсюджений сульфат алюмінію, що ефективний в інтервалі значень рН 5 - 7,5. Він добре розчиняється у воді і має відносно низьку вартість. Його застосовують у сухому вигляді або в вигляді 50% -ного розчину. При коагулюванні сульфату алюмінію він взаємодіє з гідрокарбонатами, що містяться у воді:



Алюмінат натрію застосовують у сухому вигляді або у вигляді 45% розчину. Він є лужним реагентом, при рН 9,3 - 9,8 утворюються швидкоосаджувані пластівці. Для нейтралізації надлишкової лужності можна використовувати кислоти або димові гази, що містять  $\text{CO}_2$ :





У більшості випадків використовують суміш  $\text{NaAlO}_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  у співвідношенні (10:1) — (20:1):

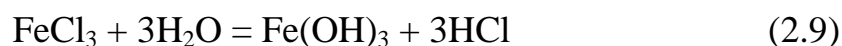


Спільне вживання цих солей дає можливість підвищити ефект освітлення, збільшити щільність і швидкість осадження пластівців, розширити оптимальну область рН середовища.

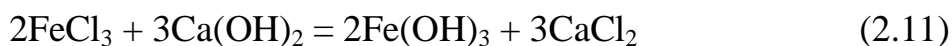
Оксихлорид алюмінію має меншу кислотність і тому придатний для очищення слабколужних вод; через високий вміст у ньому водорозчинного алюмінію прискорюється утворення пластівців й осадження коагулюючої суспензії, наприклад за реакцією:



Із солей заліза як коагулянти використовують сульфати заліза  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , а також хлорне залізо  $\text{FeCl}_3$ . Найбільше освітлення відбувається при використанні солей тривалентного заліза. Хлорне залізо застосовують у сухому вигляді або у вигляді 10-15%-них розчинів. Сульфати використовують у вигляді порошків. Доза коагулянту залежить від рН стічних вод. Для  $\text{Fe}^{3+}$  рН дорівнює 6 - 9, а для  $\text{Fe}^{2+}$  рН 9,5 і вище. Для підлужнення стічних вод використовують  $\text{NaOH}$  і  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Утворення пластівців протікає за реакціями:



При підлужненні



Солі заліза, як коагулянти, мають ряд переваг перед солями алюмінію: кращу дію виявляють при низьких температурах води; більш широка область оптимальних значень рН середовища; велика міцність і гідравлічна крупність пластівців; можливість використовувати для вод з більш широким діапазоном сольового складу; здатність усувати шкідливі запахи і присмаки, обумовлені присутністю сірководню. Однак є і недоліки: утворення при реакції катіонів заліза з деякими органічними сполуками сильно забарвлених розчинних комплексів; сильні кислотні властивості підсилюють корозію апаратури; менш розвинена поверхня пластівців [9].

При використанні сумішей  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  і  $\text{FeCl}_3$  у співвідношеннях від 1:1 до 1:2 досягається кращий результат коагулювання, ніж при роздільному використанні реагентів. Відбувається прискорення осадження пластівців. Крім названих коагулянтів для обробки стічних вод можуть бути використані різні глини, алюмінійвмісні відходи виробництва, травлячі розчини, пасти, суміші, шлаки, що містять кремнекислоту.

Швидкість коагуляції залежить від концентрації електроліту. При низьких концентраціях електроліту ефективність зіткнень часток, тобто відношення кількості зіткнень, що закінчилися злипанням, до загальної кількості зіткнень, близька до нуля ( $\psi=0$ ). По мірі зростання концентрації

швидкість коагуляції збільшується, але не всі зіткнення ефективні - таку коагуляцію називають, повільною. При  $\psi = 1$  настає швидка коагуляція, при якій всі зіткнення часточок закінчуються утворенням агрегатів.

У полідисперсних системах коагуляція відбувається швидше, ніж у монодисперсних, тому що великі частки при осіданні захоплюють за собою більш дрібні. Форма часточок також впливає на швидкість коагуляції; Наприклад, подовжені частки коагулюють швидше, ніж кулясті.

Розмір пластівців (у межах 0,5 - 3 мм) визначається співвідношенням між молекулярними силами, що утримують часточки разом, і гідродинамічними силами відриву, які намагаються зруйнувати агрегати [7].

Міцність пластівців залежить від гранулометричного складу часточок, що утворюються, і пластичності. Агломерати часточок неоднорідних за розміром міцніші, ніж однорідні. Унаслідок виділення газів з води, а також у результаті аерації і флотації відбувається газонасичення пластівців, що супроводжується зменшенням об'ємної маси пластівців і зменшенням швидкості осадження.

Флокуляція - це процес агрегації зважених часток при додаванні в стічну воду високомолекулярних сполук, названих флокулянтами. На відміну від коагуляції при флокуляції агрегація відбувається не тільки при безпосередньому контакті часточок, але й у результаті взаємодії молекул адсорбованого на часточках флокулянта.

Флокуляцію проводять для інтенсифікації процесу утворення пластівців гідроксидів алюмінію і заліза з метою підвищення швидкості їх осадження. Використання флокулянтів дозволяє знизити дози коагулянтів, зменшити тривалість процесу коагулювання і підвищити швидкість осадження утворених пластівців.

Для очищення стічних вод використовують природні і синтетичні флокулянти. До природних флокулянтів відносяться крохмаль, декстрин,

ефіри, целюлози, ін. Активна кремінна кислота є найбільш розповсюдженим неорганічним флокулянтном. Із синтетичних органічних флокулянтів найбільше застосування в нашій країні одержав поліакриламід технічний (ПАА) і гідролізований (ГПАА). Технічний ПАА одержують при взаємодії акрилонітрилу із сірчаною кислотою з наступною полімеризацією акриламиду. Гідралізований поліакриламід одержують омиленням технічного ПАА лугом.

При виборі складу і дози флокулянта, враховують властивості його макромолекул і природу диспергированих часточок. Оптимальна доза ПАА для очищення промислових стічних вод коливається в межах 0,4 - 1 г/м<sup>3</sup>. ПАА діє в широкому діапазоні рН середовища. Однак швидкість осадження сфлукуюльованих пластівців при рН 9 зменшується [7].

Механізм дії флокулянтів оснований на наступних явищах: адсорбції молекул флокулянта на поверхні колоїдних частоток; ретикуляції (утворення сітчастої структури) молекул флокулянта; злипанні колоїдних часточок за рахунок сил Ван-дер-Ваальса.

Процес очищення стічних вод коагуляцією і флокуляцією складається з наступних стадій: дозування і змішування реагентів зі стічною водою; утворення пластівців та їх осадження (рис. 2.1).

Для змішання коагулянтів і флокулянтів з водою застосовують гідравлічні і механічні змішувачі. У гідравлічних змішувачах змішання відбувається внаслідок зміни напрями руху і швидкості потоку води. У механічних змішувачах - апаратах з мішалками процес перемішування повинен бути рівномірним і повільним, щоб часточки при зближенні утворювали пластівці, які не руйнувалися б при обертанні мішалки [23].

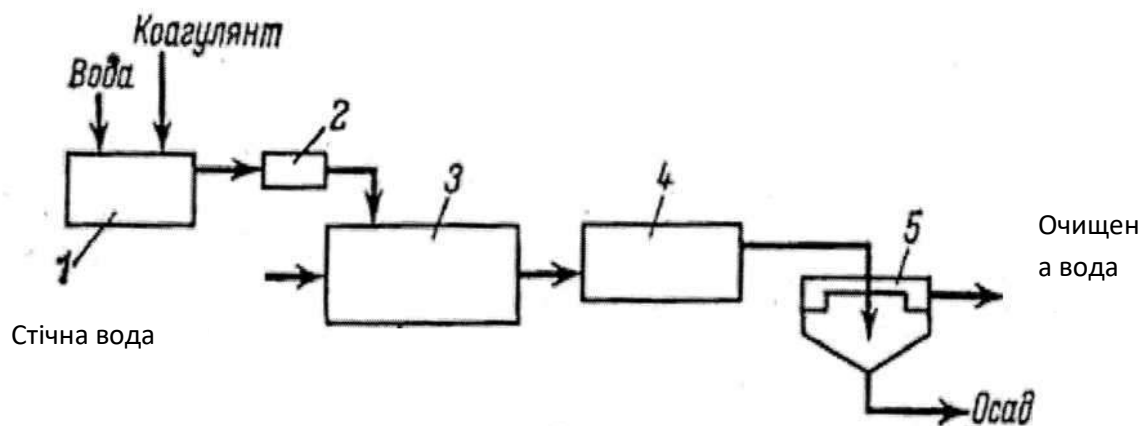


Рисунок 2.1 - Схема установки для очищення вод коагуляцією: 1 - ємність для приготування розчинів; 2 - дозатор; 3 - змішувач; 4 - камера для утворення пластівців; 5 - відстійник.

Після змішання стічних вод з реагентами вода направляєється в камери. Вони служать для утворення пластівців коагулянтів. Використовують камери вихрові, з механічними мішалками, з перегородками. Утворення пластівців у камерах протікає повільно - за 10-30 хв.

Камера являє собою резервуар, розділений перегородками на ряд послідовно прохідних водою коридорів. Швидкість води в коридорах приймають 0,2 - 0,3 м/с (рис. 2.2).

Січна вода, змішана з коагулянтом по трубі надходить у повітроділювач 4, де відокремлюється повітря. Потім вода рухається по центральній трубі 5 до розподільних труб 6, що закінчуються соплами для розподілу й обертання води в кільцевій зоні, куди вводиться флокулянт. Пластівці коагулянту утворюються в кільцевій зоні. Зважені частки з пластівцями осідають на дно і видаляються з апарату. Освітлена вода через отвір 3 попадає в жолоб 2, з якого віддаляється.

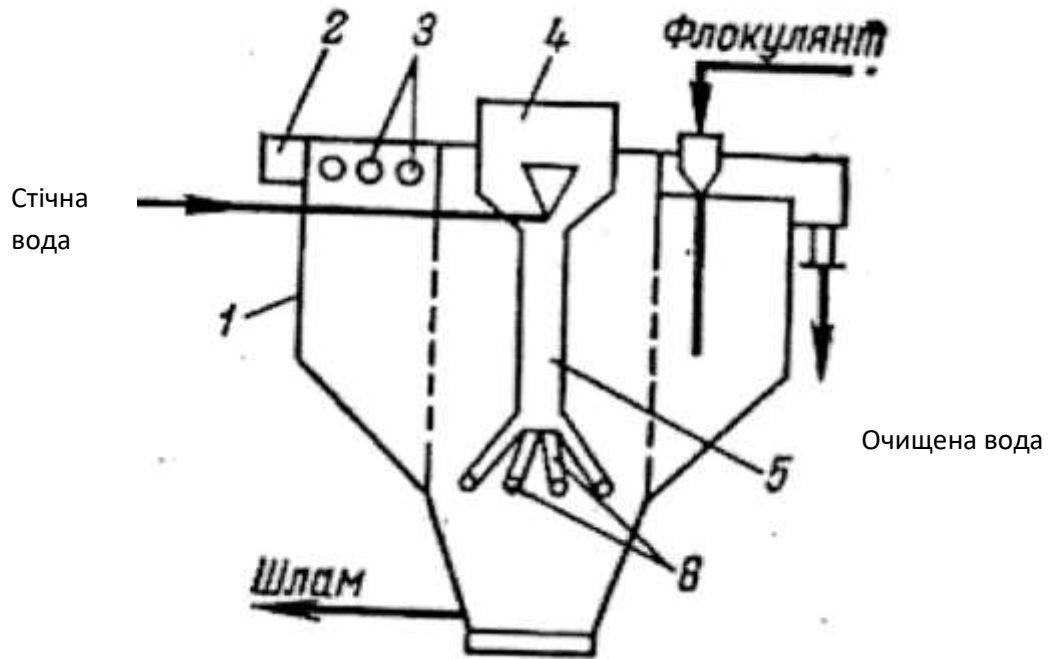


Рисунок 2.2- Коагулятор-освітлювач: 1 - корпус; 2 - жолоб; 3 - отвір для видалення води; 4 - повітророзділювач; 5 - центральна труба; 6 - розподільні труби.