

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-317-1-151-154>

УДК 577.15, 573.6.

ОНИЩУК Оксана

Волинський національний університет ім. Лесі Українки, м. Луцьк, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8342-3011>

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ФЛОКУЛЯЦІЇ ТА КОАГУЛЯЦІЇ ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Для промислового застосування при очищенні води важливими критеріями є вибір методики освітлення. У статті розглянуто методики дослідження процесу коагуляції та флокуляції. На сьогодні актуальним є вдосконалення методики та використання флокулянтів і коагулянтів, які пришвидшують процес коагуляції та флокуляції. Розглянуто в якості коагулянтів сірчаноокислий солі $Al_2(SO_4)_3$ і $FeSO_4$. Відмічено перевагу над солями алюмінію, оскільки солі заліза можуть використовуватися для очищення вод з різним сольовим складом і різними значеннями рН, краще діють при низьких температурах, характеризуються більшою міцністю і крупністю пластівців. Досліджено та розглянуто застосування і вплив катіонного флокулянта «PuroFloc 890» або аніонного «Flopam», які дозволяють виконувати освітлення води без застосування коагулянту. Було визначено та розглянуто процес утворення коагулянта. Досліджено методи та процеси для інтенсифікації процесу поділу, в тому числі за рахунок укрупнення частинок в агрегаті під дією коагулянтів і флокулянтів (коагуляторів), розділення рідкої та твердої фази. Отримано, що перевагою отриманого зваженого шару є те, що він працює по типу фільтру, витягаючи з води дрібнодисперсні частинки. У міру накопичення частинок їх концентрація збільшується і виникає явище стисненого осадження, при якому швидкість осадження зменшується, тому що витрачається енергія на взаємотертя. До зниження продуктивності освітлювача необхідно знижувати швидкість висхідного потоку.

Ключові слова: коагуляція, флокуляція, флокулянти, коагулят, освітлення води.

ONYSHCHUK Oksana

Lesya Ukrainka Volyn National University

TO THE STUDY OF THE FLOCCULATION AND COAGULATION PROCESS IN THE PURIFICATION OF WATER FOR INDUSTRIAL APPLICATION

It is an important criterion the choice of lighting technique for industrial applications in water purification. In the article it was examined the research methods of the coagulation and flocculation process. Today, the improvement of these techniques and the use of flocculants and coagulants, which speed up the process of coagulation and flocculation, are relevant. It were considered as coagulants sulfuric acid salts $Al_2(SO_4)_3$ and $FeSO_4$. It was noted an advantage over aluminum salts since iron salts which can be used to purify water with different salt composition and different pH values, which work better at low temperatures, and are characterized by greater strength and grain size. It was considered the application and influence of the cationic flocculant "PuroFloc 890" or the anionic "Flopam", which allow water clarification without the use of a coagulant. It was determined and considered the process of coagulant formation. Methods and processes for the intensification of the separation process have been studied, including due to the thickening of particles in the aggregate under the action of coagulants and flocculants (coagulants), separation of the liquid and solid phases. It was found that the advantage of the resulting suspended layer is that it works like a filter, removing fine particles from the water. As the particles accumulate, their concentration increases and the phenomenon of compressed deposition occurs, in which the deposition rate decreases because energy was spent on friction. It is necessary to reduce the speed of the upward flow to reduce the productivity of the illuminator,

Key words: coagulation, flocculation, flocculants, coagulate, water clarification.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В основному, в теплоенергетиці та на промислових підприємствах при очищенні води застосовують процес коагуляції, заснований на принципі взаємного коагулювання колоїдів. Сутність взаємної коагуляції колоїдних розчинів полягає в тому, що до колоїдного розчину, частинки якого мають, наприклад, негативний заряд, додають інший колоїдний розчин з позитивно зарядженими частинками. При цьому протилежні заряди колоїдних частинок нейтралізуються з подальшою агломерацією окремих частинок і утворенням твердої макрофази. При коагуляції позитивно заряджений колоїдний розчин вводять не в готовому вигляді, а отримують безпосередньо в оброблюваній воді. Так, позитивно заряджені колоїдні розчини гідроксидів заліза зазвичай отримують в результаті гідролізу їх сірчаноокислих солей. Даний фізико-хімічний процес злипання колоїдних частинок і освітлення грубодисперсних пластівців характеризується випаданням осаду і видаленням з води осадженням їх в освітлювачах або фільтруванням в освітлювальних фільтрах. Реагенти, що застосовуються для коагулювання, називають коагулянтами, а хімічні агенти, що викликають коагуляцію колоїдних домішок води – коагуляторами [1–4].

Формулювання мети дослідження. Постановка проблеми

Дослідити методи очистки води для промислового призначення з використанням флокулянтів і коагулянтів, які пришвидшують процес коагуляції та флокуляції, а також методики інтенсифікації процесу поділу, в тому числі за рахунок укрупнення частинок в агрегаті під дією коагулянтів і флокулянтів (коагуляторів), розділення рідкої та твердої фази.

Викладення основного матеріалу дослідження та методика

Освітлення води після вапнування і коагуляції відбувалося в освітлювачі за рахунок значного зниження швидкості руху води і сили тяжіння. Більш глибоке очищення при вапнуванні з коагуляцією досягається при підвищенні тривалості контакту очищення води з утвореним шламом. Досягти підвищення тривалості контакту можна інтенсивним перемішуванням [5, 8, 9].

Однак такий шлях недоцільний, тому що супроводжується подрібненням шламу, що ускладнює його видалення. Тому в освітлювачі створювали зону зваженого шламу, в якій відбувається спокійний висхідний рух. Шламова зона діє як фільтр, затримуючи і збільшуючи більш дрібні частинки. При здійсненні технологічного процесу велике значення має динаміка коагуляції.

Для створення оптимальних умов процесу спочатку швидко перемішували воду з коагулянтном, а потім процес відбувався більш спокійно. Режим потоку води дуже впливає на формування пластівців, а також сприяє руйнуванню вже сформованих. Тому рекомендована швидкість в зоні формування пластівців і відстоювання не більше $1 \div 1,5$ мм/с. Для інтенсифікації процесу коагуляції використовують і флокулянти. Агрегація колоїдних частинок відбувається не тільки безпосередньо, а й через молекули флокулянта. Як флокулянт використовуються неорганічні (активна кремнекислота) і органічні високомолекулярні сполуки. Особливо актуально застосування флокулянту в період паводку, коли знижується лужність і збільшується вміст суспензії, кремнекислоти та органічних речовин, що вимагає збільшувати дозу коагулянту. В результаті підвищується вміст солі і жорсткість освітленої води, отже знижується фільтроцикл іонообмінних фільтрів знесолювальної установки.

Для очищення вод від колоїдно-дисперсних домішок ми розділяли рідку і тверду фази. Це ускладнювалося через малий розмір часток, а також через агрегативну і седиментаційну стійкість системи. Агрегативна стійкість колоїдної системи пояснюється існуванням подвійного електричного шару на межі розділу фаз, що представляє собою тонкий шар з просторово розділених електричних зарядів протилежного знака. Подвійний електричний шар утворюють іони і дипольні молекули. Іонний подвійний шар виникає або в результаті дисоціації іоногенних груп речовини твердої фази, або вибіркової адсорбції іонів. Іони, що розташовуються на поверхні твердої частинки, називаються потенціалотворюючими. Внаслідок появи заряду на частинці навколо неї концентруються іони протилежного знаку – протиіони [5–7].

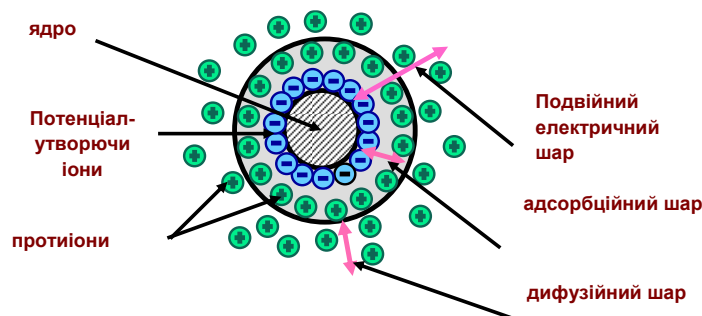


Рис. 1. Будова колоїдної міцели

Освітлення твердої фази з пересиченого розчину розглядають як результат протікання процесів агрегації і орієнтації. Флокулянт має високу масу, добре адсорбується частинками дисперсії і розчиняється в дисперсійному середовищі. При орієнтації відбувається процес вдосконалення структури кристалів, що приводить до зменшення їх питомої поверхні та збільшення розмірів кристалів. За співвідношенням швидкостей цих процесів визначено структуру осаду. При переважанні процесу агрегації виходить аморфний осад, що складається з дрібних частинок. Якщо переважає процес орієнтації, то виходить крупнозернистий кристалічний осад. Структура осаду має велике значення для процесів його виділення з розчину. Вся маса частинок знаходиться в стані динамічної рівноваги з подаються знизу потоком води. Зважені в потоці частки твердої фази знаходяться в безперервному хаотичному русі, при цьому сам зважений шар в цілому нерухомий.

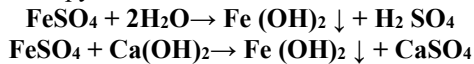
В якості коагулянтів застосовували сірчаноокислий солі $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ і FeSO_4 . У порівнянні з солями алюмінію солі заліза використовували для очищення вод з різним сольовим складом і різними значеннями рН, краще діють при низьких температурах, характеризуються більшою міцністю і крупністю пластівців. Недоліками солей заліза, як коагулянтів, є підвищені кислотні властивості, що впливають на корозійні процеси конструкційних матеріалів апаратів. При взаємодії іонів заліза з деякими органічними сполуками утворювався сильно забарвлений комплекс.

Призначенням фази коагуляції є видалення колоїдних домішок вихідної води; осадження комплексного робочого шламу з високорозвиненою поверхнею. Як коагулянт використовували сірчаноокисле залізо FeSO_4 . Коагуляція води FeSO_4 є процесом, який поліпшує формування важкого осаду, що сприяє видаленню колоїдних речовин, заліза і кремнекислоти. При додаванні до води сірчаноокислому залізу, воно повністю дисоціює, як сильний електроліт,

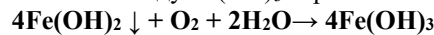


Іони Fe^{2+} , як катіони слабких основ, піддаються гідролізу, який для багатозарядних іонів протікала

по наступних ступенях. На першій стадії в результаті гідролізу та взаємодії FeSO_4 з $\text{Ca}(\text{OH})_2$ відбувається утворення осаду $\text{Fe}(\text{OH})_2$ зеленого кольору:



На другій стадії, в лужному середовищі ($\text{pH} > 8$), $\text{Fe}(\text{OH})_2$ окиснюється, розчиненим у воді киснем з утворенням мікропластівців важкорозчинного осаду $\text{Fe}(\text{OH})_3$ коричневого кольору:



Лужне середовище в необхідному діапазоні досягається дозуванням вапна. Коагулюючий гідроксид $\text{Fe}(\text{OH})_3$ сорбується на поверхні домішок і одночасно утворює "клейові містки", що зв'язують частинки домішок між собою в комплекси. Органічні речовини сорбуються на поверхні коагулірующего гідроксиду. Утворені пластівці мають пухку структуру, тому що проміжки між частинками заповнені водою. Утворювані комплекси виділяються з води в процесі освітлення. Процес коагуляції представлений на **рис. 2**. Наведені реакції гідролізу можуть протікати лише за умовами, якщо сірчана кислота буде частково нейтралізована бікарбонатами кальцію і магнію, які знаходяться у воді, а при їх відсутності або недоліку - додаються в воду лужним реагентом (вапном): $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$

Процес гідролізу іонів Fe^{2+} призводить, як це видно з рівнянь реакцій гідролізу, до підвищення концентрації іонів водню. Введення солей заліза в природну воду не викликає істотного підвищення іонів H^+ тому, що вони зв'язуються іонами HCO_3^- відповідно до рівняння:

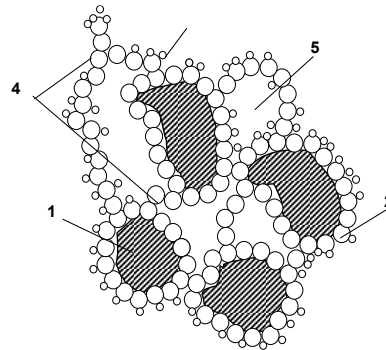
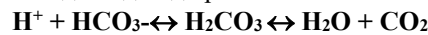


Рис. 2. Структура пластівців, що утворюються при коагуляції: 1 – частинки ГДП, 2 – частинки $\text{Fe}(\text{OH})_3$, 3 – органічні речовини, 4 – «клейові» містки, 5 – «захоплена» вода

Залежно від умов, в яких проходить процес коагуляції, розмір частинок які утворюються з твердої макрофази може бути дуже різним: від ледве помітних неозброєним оком до великих пластівців розміром в кілька міліметрів [4, 6].

Процес утворення коагулянта, або пластівцеутворення (флокуляція), протікає не миттєво, а потребує для свого завершення певного проміжку часу. Встановлено, що в процесі укрупнення колоїдні частинки проходять стадії "прихованої", а потім "явної" коагуляції, супроводжувані утворенням пластівців і осадженням їх в осад [1, 9]. Пластівці, що утворюються безпосередньо після присадки коагулянта і не видимі неозброєним оком, поступово з'єднуються в більші комплекси, відбувається помутніння води, яке з плином часу посилюється, після чого утворюються ще більші пухкі пластівці, що осідають на дно і захоплюють з собою всі грубо дисперсні забруднення. Поступове осадження пластівців супроводжується підвищенням прозорості води. Для прискорення процесу коагуляції застосовуються її перемішування, завдяки чому колоїдні частинки забруднень і коагулянту мають більш часті і сильні зіткнення, що призводять до злипання. Правильний вибір дози коагулянта – одна з основних умов ефективного протікання процесу коагуляції як колоїдно-дисперсних, так і грубо дисперсних домішок води. Оптимальна доза коагулянту, тобто та мінімальна його кількість, при якій досягається досить швидко і повне освітлення і зниження окиснюваності води, залежить від фізико-хімічних властивостей домішок води, а також від температури і способу здійснення коагуляції [5–7].

1. Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

2. В даний час актуальним є вдосконалення методики освітлення води промислового призначення методами коагуляції та флокуляції.

3. Розглянуто застосування катіонного флокулянта «PuroFloc 890» або аніонного «Florant» дозволяє виконувати освітлення води без застосування коагулянту. При використанні методів осадження дуже велике значення мають процеси утворення осаду.

4. Основною перевагою отриманого зваженого шару є те, що він працює по типу фільтруючого завантаження, витягаючи з води дрібнодисперсні частинки в результаті адгезійних і сорбційних процесів. У міру накопичення частинок їх концентрація збільшується і виникає явище стисненого осадження, при якому швидкість осадження зменшується, тому що витрачається енергія на взаємодію. Для утримання шару в підвищеному стані необхідно знижувати швидкість висхідного потоку. Це призведе до зниження

продуктивності освітлювача.

5. Досліджено методи та процеси для інтенсифікації процесу поділу, в тому числі за рахунок укрупнення частинок в агрегаті під дією коагулянтів і флокулянтів (коагуляторів), розділення рідкої та твердої фази.

Література

1. Физико-химические методы очистки воды. Управление водными ресурсами / [под ред. И.М. Астрелина, Х. Ратнавиры]. – К. : Проект «Водная гармония», 2015. – 614 с.
2. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А.К. Запольський. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с.
3. Кульський Л.А. Основы химии и технологии воды / Л.А. Кульский. – К. : Наукова думка, 1991. – 568 с.
4. Тугай А.М. Водопостачання / А.М. Тугай, В.О. Орлов. – Рівне : РДТУ, 2001. – 429 с.
5. Крамаренко Л.В. Технологія очищення природних вод : навчальний посібник / Л.В. Крамаренко. – Харків : ХНАМГ, 2008. – 145 с.
6. Куликов Н.И. Теоретические основы очистки воды : уч. пособие / Н.И. Куликов, А.Я. Найманов и др. – Макеевка : ДГАСА, 1999. – 277 с.
7. 14. Загальна хімічна технологія : [підруч. для студентів вищих навч. закл.] / В.Т. Яворський, Т.В. Перекупко, З.О. Знак, Л.В. Савчук. – Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2005. – 552 с.
8. Кульський Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – К. : Вища школа, 1986. – 352 с.
9. Кульський Л. А. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод / Л.А. Кульский, В.Ф. Накорчевская. – К. : Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 240 с.

References

1. Physical and chemical methods of water purification. Management of water resources. ed. I.M. Astrelina, H. Ratnaviry. K.: Project "Water Harmony", 2015. 614 p.
2. Zapolsky A.K. Water supply, drainage and water quality. K.: Higher School, 2005. 671 p.
3. Kulsky L.A. Fundamentals of chemistry and water technology. K.: Naukova dumka, 1991. 568 p.
4. Tugai A.M., Orlov V.O. Water supply. Rivne: RDTU, 2001. 429 p.
5. Kramarenko L.V. Natural water purification technology: study guide. Kharkiv: KhNAMG, 2008. 145 p.
6. Kulikov N.I., Naimanov A.Ya. Theoretical foundations of water purification: uch. Allowance. Makeevka: DGASA, 1999. 277 p.
7. Yavorskyi V.T., Perekupko T.V., Znak Z.O., Savchuk L.V. General chemical technology: lesson. for students of higher education. app. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2005. 552 p.
8. Kulsky L.A., Strokach P.P. Natural water purification technology. K.: Higher School, 1986. 352 p.
9. Kulsky L.A., Nakorchevskaya V.F. Water chemistry: physical and chemical processes of natural and wastewater treatment. K.: Higher school. Main publishing house, 1983. 240 p.