



УДК 504.4.062.2

І.О. РОЙ, асистент,

Л.Д. ПЛЯЦУК, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри, О.П. БУДЬОНІЙ, канд. хім. наук, доцент
Сумський державний університет (СумДУ), м. Суми

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Розглянуто загальні екологічні проблеми, пов'язані з системами водопостачання та водовідведення промислових підприємств. Описано роль технології магнітної обробки водних розчинів для вирішення екологічних проблем. Проведений аналіз існуючих моделей та результатів експериментальних досліджень дозволив розробити основи нового способу застосування магнітного поля для підвищення рівня екологічної безпеки використання водних ресурсів.

Ключові слова: водопостачання, стічні води, магнітне поле, дисперсна система, адсорбція, очистка.

У промисловості воду використовують для охолодження обладнання, транспортування сировини і видалення відходів, а також для теплоенергетичних, санітарно-гігієнічних та інших цілей. Підвищене використання водних ресурсів, пов'язане з нераціональною організацією систем водопостачання і водовідведення, та скид стічних вод у водні об'єкти зумовлюють ріст антропогенного навантаження на природне середовище.

Існуючі способи, методи та технічні заходи підвищення рівня екологічної безпеки використання водних ресурсів обумовлені специфічними особливостями різних виробництв [1, 2].

Для зниження антропогенного впливу на стан водних об'єктів велику роль відіграють заходи щодо зменшення об'ємів забору свіжої води, які базуються на використанні оборотних систем водопостачання. Ці системи забезпечують регенерацію стічних вод, що полягає в основному у зниженні вмісту дисперсних часток і корегуванні мінерального складу, від якого залежить можливість повторного використання таких вод у технологічних процесах [3].

Застосування екологічно-безпечних та ефективних технологій для захисту навколишнього середовища є пріоритетним напрямком розвитку сучасної промисловості. Все частіше стічні води не скидають у водойми, а повертають у виробництво, що вимагає удосконалення технологій їх підготовки до участі в технологічному процесі. При вирішенні такого роду завдань перевага надається фізичним методам очистки. Серед сучасних фізичних методів водопідготовки перспективною є технологія обробки розчинів магнітним полем. На цей час таку обробку успішно використовують у багатьох галузях промисловості (зокрема, для систем оборотного водопостачання),

причому при регенерації відпрацьованих вод магнітну обробку застосовують не як окремий вузол очистки, а в комплексі з іншими методами (як каталізатор у процесах реагентної очистки від дисперсних часток та процесах іонообмінного корегування мінерального складу) [4–6].

Результати експериментальних досліджень [4–7] доводять, що магнітна обробка сприяє прискоренню коагуляції і седиментації дисперсних часток у водних розчинах. Автори статей [7, 10] пояснюють такий вплив магнітного поля на стан дисперсних систем зниженням дзета-потенціалу на поверхнях дисперсних часток. Відповідно до теорії стійкості дисперсних систем Дерягіна – Ландау – Фервея – Овербека (ДЛФО) це призводить до коагуляції дисперсних часток і, як наслідок, прискорення їх седиментації. Причину зниження дзета-потенціалу автори, спираючись на теорію ДЛФО, пояснюють протіканням на поверхнях дисперсних часток процесів адсорбції протиіонів. Поява цих процесів ініційована дією сили Лоренца на іони, що знаходяться біля поверхонь дисперсних часток.

Проведений аналіз літературних джерел [4–10, 12] показав, що більшість досліджень з вивчення впливу магнітного поля на стан дисперсних систем полягає у реєстрації змін перебігу процесів коагуляції і седиментації дисперсних часток. Основну роль у досягненні таких змін відводять появі адсорбції протиіонів на їх поверхнях. Розглянувши та виділивши цей процес як окремий результат впливу магнітного поля на дисперсні системи, можна успішно використати його для вирішення екологічних завдань.

На нашу думку, адсорбцію іонів на поверхнях дисперсних часток під дією магнітного поля, яка супроводжується зменшенням їх вмісту в дисперсному середовищі, можна застосувати для зниження концентрації іонних домішок

у стічних водах. Такий принципово новий спосіб використання магнітного поля направлено на зниження концентрації катіонів різних металів у стічних водах з дисперсними та іонними домішками шляхом їх сумісного видалення з водного розчину під дією відцентрових сил або сил тяжіння.

Для підтвердження цієї наукової думки проведено аналіз існуючих моделей і експериментальних досліджень з впливу магнітного поля на водні розчини з метою обґрунтувати механізм процесу адсорбції іонів дисперсними частинками під дією сили Лоренца, а також показати доцільність і можливість використання магнітного поля для створення нового методу очистки стічних вод від іонних домішок у системах оборотного водопостачання.

У статтях [7–9] розглянуто кінетику коагуляції і седиментації дисперсних часток у водних розчинах, які пройшли обробку магнітним полем. Під дією сили Лоренца іони, що знаходяться в дифузному шарі дисперсної частинки і мають у потоці рідини відмінну від нуля складову швидкості \vec{V} , перпендикулярну вектору магнітної індукції \vec{B} , переміщуються вздовж напрямку силових ліній електричного поля, яке створює сама частинка, і надходять у шар Штерна. Оскільки дисперсні частинки в стічних водах завжди заряджені негативно, враховують тільки переміщення катіонів, так як концентрація аніонів поблизу шару Штерна низька.

Невелика напруженість електричного поля \vec{E}_M , яка виникає при накладанні магнітного поля, викликає в точці В (рис. 1) паралельне переміщення всіх катіонів дифузного шару в напрямку дії сили Лоренца [8], що призводить до локального стиснення дифузного шару і нерівномірного розподілення іонів подвійного електричного шару біля поверхні дисперсної частинки (позначена кривою АКС у півсфері ABC на рис. 1).

На протилежній півсфері ADC (рис. 1) також можна очікувати переміщення катіонів під дією магнітного поля, але в напрямку від поверхні частинки (в дійсності воно буде незначним [8]). Напруженість електричного поля \vec{E}_M , яка викликана накладенням магнітного поля, направлена в протилежний бік відносно напруженості електричного поля \vec{E}_e , утворюваного самою частинкою, і згідно з розрахунками, наданими у статті [8], величина \vec{E}_M набагато менша від \vec{E}_e . Тому в півсфері ADC при впливі зовнішніх схрещених електричних і магнітних полів розподілення протиіонів залишається близьким до початкового [7–9].

Приведена картина деформації дифузного шару під впливом магнітного поля є умовною. В дійсності внаслідок броунівського руху і хаотичного поступового й обертального руху частинки в неламінарному потоці дифузний шар деформується по всій її поверхні, але з меншою довжиною зсуву катіонів до неї [7]. Через подібну деформацію концентрація катіонів біля поверхні частинки сут-

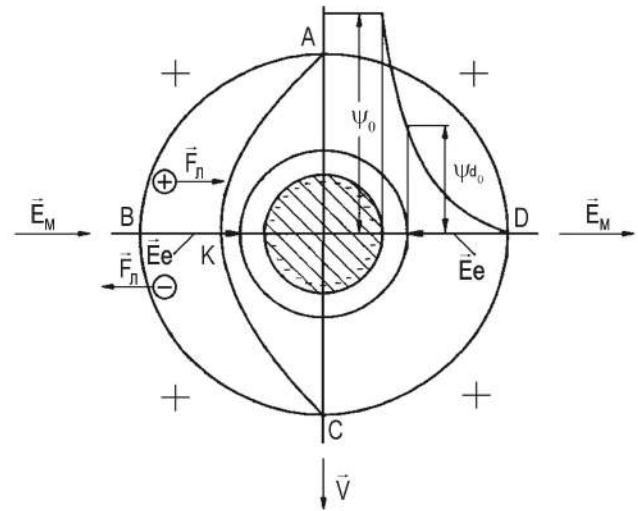


Рисунок 1 – Деформація дифузного шару сферичної частинки під впливом магнітного поля:

ψ – електрокінетичний потенціал (дзета-потенціал), \vec{F}_L – сила Лоренца, \vec{B} – індукція магнітного поля, \vec{E}_M – напруженість електричного поля, створюваного при накладанні магнітного поля, \vec{E}_e – напруженість електричного поля, створюваного самою частинкою, \vec{V} – швидкість руху частинки

тєво зростає, що спричинює їх адсорбцію на вакантних центрах сорбції (зв'язаних аніонах), кількість яких на поверхнях часток достатньо велика [9]. Виникаюча при цьому електрична взаємодія катіонів з потенціалоутворюючими аніонами та адсорбційні сили утримують катіони у шарі Штерна. У зв'язку з цим зворотна дифузія катіонів істотно ускладнена, і катіони, які надійшли з дифузного шару, тривалий час після обробки магнітним полем залишаються у шарі Штерна [7–9].

У статті [10] автори запропонували модель поверхневої нейтралізації дисперсних часток, яка відбувається завдяки зсуву іонів під впливом магнітного поля з основного об'єму розчину до поверхні частинки. За думкою авторів, зсуви іонів, спричинені дією сили Лоренца, стають суттєвими поблизу поверхонь часток, де вони можуть викликати адсорбцію протиіонів із шару Гуї-Чепмена (дифузійного шару) у шарі Штерна (адсорбційному шарі). Після магнітного поля шар Гуї-Чепмена буде швидко відновлюватись внаслідок теплового руху протиіонів з розчину, а зміщені протиіони у шарі Штерна залишаться адсорбованими на довший період. Іонний зсув Δx , обумовлений силою Лоренца та збалансований силою в'язкості, згідно з [10] описується таким чином

$$\Delta x = \frac{e}{6\pi\eta} \cdot \frac{z}{r} B\tau v,$$

де e – заряд електрона, z – іонна валентність, η – в'язкість води, r – іонний радіус, B – індукція магнітного поля, τ – час знаходження в магнітному полі, v – швидкість потоку.



Величини зсувів, розраховані за умови магнітної обробки $B \cdot \tau \cdot v = 0,02 \text{ В} \cdot \text{с} / \text{м}$, становлять 3,4 нм і 5,3 нм відповідно для іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} [10]. Це означає, що іонні зміщення є суттєвими поблизу твердих поверхонь, де вони можуть адсорбуватися у шарі Штерна. Автори стверджують, що протиіони залишаються адсорбованими протягом тривалого часу (залежно від ступеня нейтралізації поверхневого заряду частинки) [10].

Розглянуті нами моделі описують механізм, за яким при впливі магнітного поля на дисперсні системи відбувається адсорбція катіонів на поверхнях дисперсних часток. Цей процес подібний виникненню електролітної коагуляції дисперсних часток, коли при збільшенні концентрації електроліту в дисперсному середовищі відбувається стиснення дифузного шару часток, яке зумовлює адсорбцію протиіонів на їх поверхні. Втім у даному випадку рушійною силою виступає не концентрація електроліту, а сила Лоренца. Змінюючи траєкторію руху іонів, вона призводить до зростання концентрації катіонів біля поверхні часток, що і спричинює їх адсорбцію.

Таким чином, адсорбція катіонів на поверхнях дисперсних часток супроводжується зменшенням концентрації катіонів у дисперсному середовищі. Саме це і є головною умовою розробки нового напрямку використання магнітного поля для очистки стічних вод від іонних домішок. Як і у випадку електролітної коагуляції, за такої обробки також можливий процес іонообмінної адсорбції. При цьому протиіони дифузного шару, які матимуть більший заряд порівняно з адсорбованими іонами, будуть обмінюватися на однойменно заряджені іони адсорбційного шару [11].

Слід зазначити, що загальноприйнятого механізму впливу магнітного поля на стан дисперсних систем поки не існує, а розглянуті моделі – це лише гіпотези. Разом з тим проаналізовані нами результати експериментальних досліджень частково підтверджують появу процесів адсорбції іонів на поверхнях дисперсних часток під дією сили Лоренца.

Дослідження [12] з впливу магнітного поля на стійкість суспензій показали, що їх магнітна обробка, як правило, сприяє прискоренню осадження завислих часток при всіх застосованих значеннях напруженості магнітного поля в межах 80–240 кА/м. Як об'єкт досліджень було використано суспензії вугілля, каоліну і шламів, що містяться у стічних водах і ряді важкорозчинних солей, оксидів і гідроксидів. Відмічено залежність ефективності впливу магнітного поля від природи і вмісту солей у суспензії. Так, швидкість освітлення суспензій каоліну і доменних шламів, приготовлених на дистильованій воді, значно зменшувалась при всіх застосованих режимах магнітної обробки. При обробці суспензій, приготовлених

на технічній воді з середньою мінералізацією, швидкість у деяких випадках несуттєво зростала. А при всіх режимах магнітної обробки суспензій каоліну і доменних шламів, приготовлених на морській воді або розчинах солей з масовою концентрацією солі 1 % і вище, частинки осідали значно швидше, ніж у суспензіях, які не піддавалися обробці магнітним полем [12].

У роботі [4] наведено результати досліджень впливу магнітного поля на колоїдні системи. У цих дослідженнях здійснено спробу виявити вплив магнітного поля на коагуляцію суспензії BaSO_4 , починаючи з моменту її утворення. Суспензію сульфату барію готували з'єднанням розчинів Na_2SO_4 і BaCl_2 . Після інтенсивного перемішування розчин піддавали фотометруванню. Аналогічно готували і суспензію BaSO_4 з використанням попередньо омагніченого розчину сульфату натрію тієї ж концентрації, що і у контрольному досліді. Відповідні розчини циркулювали через пристрій зі швидкістю 50 мл/хв. Вимірювання проводили на фотоелектроколориметрі КФК-2 за температури 20°. Статистична помилка досліді становила $\pm 7\%$.

Результати досліді показують (рис. 2, криві 1 і 2), що за попереднього омагнічування розчину Na_2SO_4 протягом 10 хв процес міцелотворення не змінюється в межах похибки досліді.

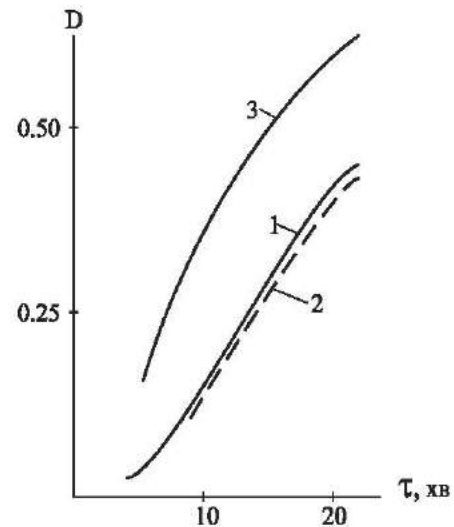


Рисунок 2 – Залежність оптичної густини розчину BaSO_4 від часу:

1 – звичайний розчин; 2 – попередньо омагнічений розчин Na_2SO_4 ; 3 – омагнічений розчин BaSO_4

Дослід щодо утворення BaSO_4 було видозмінено. Розчин Na_2SO_4 , який після додавання BaCl_2 піддавали дії магнітного поля, циркулював через магнітний пристрій протягом 5 хв, потім проводили фотометричні вимірювання. Результати досліді показують (рис. 2, крива 3), що в цьому випадку оптична густина розчину значно зростає. Отже, поступовий вплив магнітного поля на сфор-

мовані зародки $BaSO_4$ приводить до зростання коагуляції розчину [4].

Використання магнітної обробки дозволило інтенсифікувати процес очистки і знесолення сирі води на установці знесолення Гродненського промислового об'єднання «Азот» [12]. Склад оброблюваної води був таким: загальна жорсткість – 3,2–4,6 мг-екв/кг, лужність – 3–4,2 мг-екв/кг, рН – 7,54–8,00, SO_4^{2-} – 14,5–16,0 мг/кг, Fe_{ar} – 0,60–0,90 мг/кг, SiO_2 – 3,50–8,66 мг/кг, сухий залишок – 185–262 мг/кг, за вислі речовини – 1,15–10,6 мг/кг. Після обробки магнітним полем вода послідовно проходила підігрівачі, освітлювачі, механічні, катіонітові фільтри, декарбонізатор та аніонітові фільтри. Як коагулянт використовували сульфат заліза (II). Попередня магнітна обробка сирі води підвищила об'ємну місткість катіонітових фільтрів на 15–20 %. Під час використання магнітної обробки помічено зростання навантаження на освітлювачі, причому після освітлювачів загальна жорсткість води була нижчою (порівняно з контрольним періодом) на 10–11 % (1,54–1,71 мг-екв/кг без обробки і 1,38–1,52 мг-екв/кг – при обробці).

Виходячи з даних експериментальних досліджень та промислових випробувань, наданих у [4, 12], і враховуючи описані вище моделі [7, 10], можна стверджувати, що причиною змін перебігу процесів коагуляції і седиментації під дією магнітного поля є адсорбція іонів на поверхнях дисперсних часток.

Якщо ж розглянути появу адсорбції іонів під дією сили Лоренца не як причину тих чи інших змін, а як окремий процес, це може бути основою для розробки нового методу очистки стічних вод від катіонів різних металів. Ефективність такої очистки залежатиме від багатьох параметрів магнітної обробки, включаючи напруженість, градієнт і направленість магнітного поля, швидкість розчину, час обробки, а також властивості та склад стічних вод, які піддаються обробці. Критерієм оцінки ефективності стане зміна концентрації іонів до і після обробки магнітним полем.

Обробку стічних вод магнітним полем перспективно використовувати, наприклад, у системах гідрозоловидалення на крупних ТЕС, де зола, що утворюється при спалюванні твердого палива, транспортують гідравлічним способом на золовідвали. Хімічний склад золи при спалюванні різних марок палива змінюється у широких межах: SiO_2 – 10–68 %; Al_2O_3 – 10–40 %; Fe_2O_3 – 2–30 %; CaO – 2–70 %; MgO – 0–10 %. У золі присутні також токсичні сполуки – V, Ge, Be, Hg, F та ін. [13]. При взаємодії з водою частина золи розчиняється у ній, насичуючи воду мінеральними речовинами, а інша частина створює з нею суспензію [13].

Для захисту природних водойм сучасні ТЕС обладнують оборотними системами гідрозоловидалення, при

цьому в результаті багатократного контакту з золюю вода розчиняє велику кількість мінеральних речовин, тому її якість суттєво знижується. Висока мінералізація води призводить до того, що на внутрішніх поверхнях трубопроводів і насосів утворюються важкорозчинні відкладення (в основному карбонату кальцію), що погіршує роботу систем оборотного водопостачання [13].

Можливість використання води із системи гідрозоловидалення в інших технологічних операціях або скиду такої води у природні водойми визначають шляхом порівняння її якості з відповідними нормативними показниками. Наприклад, скид води у природну водойму недопустимий, якщо концентрація в ній хоча б одного з іонів перевищує величину гранично допустимої концентрації цього іону, встановлену для даного типу водойми.

ВИСНОВКИ

Обробка магнітним полем суспензії, яка створюється при транспортуванні золи перед скиданням її у золовідвал, де відбувається осадження дисперсних домішок під дією сили тяжіння, приводить до зниження концентрації катіонів металів в освітленій воді, що значно підвищує ефективність підготовки освітленої води до повторного використання або її очистки перед скиданням у природні водойми.

Зниження концентрації катіонів важких металів в освітленій воді внаслідок адсорбції на поверхнях дисперсних часток і їх сумісного осадження в золовідвалі надає змогу знизити навантаження на очисні споруди та витрати на їх експлуатацію при подальшій доочистці стічних вод, а також підвищити ефективність та продуктивність очисних споруд.

Завдяки зниженню концентрації катіонів кальцію і магнію зменшуються відкладення на внутрішніх поверхнях трубопроводів і насосів та ін.

Отже, розробка методу попередньої очистки стічних вод від іонних та дисперсних домішок, який базується на використанні магнітного поля, є перспективним напрямком наукових досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Яцик А.В., Грищенко Ю.М., Волкова Л.А., Пашенюк І.А. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління : підручник для студентів вищих навч. закладів. – К. : Генза, 2007. – 360 с.
2. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.



3. **Зубик С.В.** Техноекологія. Джерела забруднення і захист навколишнього середовища : навч. посібник. – Львів : Оріана-Нова, 2007. – 400 с.
4. **Баран Б.А.** Фізико-хімічне обґрунтування дії магнітного поля на водні розчини для розробки систем техногенно-екологічної безпеки : автореф. дис. ... докт. хім. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Баран Богдан Андрійович ; Національний авіаційний університет. – К., 2006. – 41 с.
5. **Душкин С.С., Евстратов В.Н.** Магнитная водоподготовка на химических предприятиях. – М. : Химия, 1986. – 144 с.
6. **Классен В.И.** Омагничивание водных систем. – М. : Химия, 1978. – 240 с.
7. **Гамаюнов Н.И.** Воздействие постоянного магнитного поля на движущиеся растворы и суспензии // Коллоидный журнал. – 1994. – Т. 56, № 2. – С. 290–298.
8. **Гамаюнов Н.И.** Коагуляция суспензий после магнитной обработки // Журнал прикладной химии. – 1983. – Т. LVI, № 5. – С. 1038–1047.
9. **Гамаюнов Н.И.** Укрупнение частиц в водных потоках при воздействии скрещенных электрических и магнитных полей // Журнал прикладной химии. – 1984. – Т. LVII, № 9. – С. 1963–1968.
10. **Lipus L.C., Kroppe J. and Crepinsek L.** Dispersion Destabilization in Magnetic Water Treatment // Journal of Colloid and Interface Science. – 2001. – № 236. – P. 60–66.
11. **Сумм Б.Д.** Основы коллоидной химии. – М. : Академия, 2007. – 240 с.
12. **Миненко В.И.** Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике. – Х. : Вища школа, 1981. – 97 с.
13. **Лаптев А.А., Приемов С.И., Родичкин И.Д., Шемшученко Ю.С.** Охрана и оптимизация окружающей среды. – К. : Либідь, 1990. – 256 с.

Поступила в редакцию 12.10.2011

Рассмотрены общие экологические проблемы, связанные с системами водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий. Описана роль технологии магнитной обработки водных растворов для решения экологических задач. Проведенный анализ существующих моделей и результатов экспериментальных исследований позволил разработать основы нового способа применения магнитного поля для повышения уровня экологической безопасности использования водных ресурсов.

Common environmental problems associated with water supply and water drainage of industrial enterprises were considered. Role of technology magnetic treatment of water solutions to solve environmental problems was described. Realized analysis of existing models and results of experimental investigations allowed to develop foundations for new method of applying magnetic field to improve environmental safety of using water resources.