

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА КІБЕРНЕТИКА

УДК 628.162

О. В. Голтвяницька, асп.; Т. О. Шаблій, канд. техн. наук, доц.;
В. С. Камаєв, канд. техн. наук; М. Д. Гомеля, д-р. техн. наук, проф.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАГЕНТНОГО ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛЮМІНІЙМІСТКИХ КОАГУЛЯНТІВ

Проведено оцінку ефективності лужних реагентів при пом'якшенні води. Показано, що мінералізовані води слабо пом'якшуються традиційними реагентами — вапном, содою або лугом. Але за одночасного використання цих сполук з алюмініймісткими коагулянтами ступінь пом'якшення води збільшується в кілька разів. Ефективність пом'якшення води залежить від співвідношення між реагентами.

Вступ

Не дивлячись на широке застосування сьогодні сучасних методів кондиціонування води, таких як нанофільтрація, зворотний осмос, електродіаліз, іонний обмін, реагентні методи не втрачають свого значення. Головною перевагою реагентного пом'якшення є те, що іони жорсткості при цьому утворюють осад. Мембранні методи очищення води призводять до утворення рідких концентратів, використання іонообмінних методів супроводжується утворенням високомінералізованих нейтральних, кислих або лужних рідких відходів. Найчастіше концентрати після мембранного кондиціонування води і відпрацьовані регенераційні розчини іонного обміну після нейтралізації з порушенням норм екологічної безпеки скидаються в каналізацію або у природні водойми. Але навіть після упарювання таких розчинів утилізація отриманих в твердому вигляді солей є складним завданням.

З іншого боку, існуючі реагентні методи пом'якшення природних вод недостатньо ефективні за використання традиційних реагентів — вапна, соди, лугу або їх композицій [1, 2]. Неefективним є використання натрію орто-фосфату [3]. Зі застосуванням натрій гідроксоалюмінату відбувається істотне збільшення залишкової лужності води.

Тому *метою цієї роботи* було вивчення впливу різних реагентів на ефективність пом'якшення води, визначення умов глибокого пом'якшення води і зниження її лужності.

2. Методика експерименту

При вивченні процесів реагентного пом'якшення води поряд з лугом, вапном, содою використовували алюмініймісткі коагулянти РИКС-А0, РИКС-А1, РИКС-А2, а також ферум (II), сульфат (II), аніонний флокулянт «Поліакрілат», гідролізований на 70 % поліакриламід, катіонний флокулянт ВПК-402 (полідіалілдиметиламоній хлорид).

Об'єктами дослідження були води з підвищеною жорсткістю і мінералізацією з р. Сіверський Донець, які були відібрані в районі м. Сєверодонецька і м. Лисичанська (табл. 1, 3).

У цих дослідженнях використовувалися розчини реагентів з відомою концентрацією, включаючи і суспензію вапна. Проводити дослідження, задаючись початковими значеннями рН досить складно, оскільки рівень рН у разі внесення основних реагентів нестабільний. Спочатку із введенням основного реагенту рівень рН зростає. Але у міру перетворення кальцію гідрокарбонату на нерозчинний кальцій карбонат або гідролізу іонів магнію рівень рН падає. Оскільки ці два протилежно направлених процеси проходять одночасно, то досягнення максимального рівня рН залежатиме від дози реагенту, а також від швидкості його введення в реакційну суміш. У разі повільного введення реагенту початкове значення рН може бути нижчим з більшою дозою реагенту, ніж у разі швидкого додавання меншої дози реагенту. Тому більшої збіжності результатів можна досягти при чіткому дозуванні реагентів з контролем

pH середовища. Після відстоювання протягом двох годин воду фільтрували і визначали залишкове значення pH середовища, вміст іонів жорсткості, лужність. Використовуючи РИКС, визначали залишковий вміст алюмінію, а використовуючи ферум (II) сульфату визначали залишковий вміст іонів-феруму (II). Результати ефективності реагентів при пом'якшенні води з р. Сіверський Донець (м. Северодонецьк) показані в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність ефективності пом'якшення води від типу і дози реагентів

Реагент	Витрата мг/дм ³	Жорсткість мг-екв/дм ³	Концентрація мг-екв/дм ³		[Al ³⁺], мг/дм ³	Лужність мг-екв/дм ³		pH середовище		Z %
			Ca ²⁺	Mg ²⁺		гідрокар- бонатна	зага- льна	почат- кова	кін- цева	
CaO	262	5,9	2,5	3,4	–	–	2,5	10,0	8,6	34,4
CaO	298	5,8	2,8	3,0	–	–	2,6	10,5	8,3	35,6
CaO; NaOH	260; 61	3,5	1,6	1,9	–	–	2,1	11,0	9,9	61,1
CaO; Na ₂ CO ₃	260; 160	3,7	1,7	2,0	–	–	4,0	10,5	8,5	58,9
CaO; Na ₂ CO ₃	280; 160	2,6	1,5	1,1	–	–	2,7	11,1	9,5	71,1
NaOH	137	4,3	1,5	2,8	–	–	5,0	10,0	9,2	52,2
NaOH	186	3,8	0,8	3,0	–	–	5,0	10,5	9,3	57,8
NaOH	298	2,2	0,1	2,1	–	–	6,0	11,1	9,7	75,6
CaO; РИКС-А0	260; 118	2,9	2,3	0,6	0,5	–	2,5	10,7	7,6	67,8
NaOH; РИКС-А0	137; 118	1,9	0,3	1,6	1,4	–	4,0	10,3	8,3	78,9
NaOH; РИКС-А0	186; 118	0,9	0,1	0,8	0,3	–	4,0	10,8	8,2	90,0
CaO; Na ₂ CO ₃ ; РИКС-А0	260; 240; 130	0,5	0,0	0,5	7,5	2,5	7,3	10,5	9,5	94,4
СаО; РИКС-А0; Поліакрілат	260; 118; 2	3,1	2,7	0,4	6,8	–	1,0	10,5	8,7	65,6
CaO; РИКС-А0; ВПК-402	260; 118; 2	2,9	2,9	0,0	4,8	–	0,8	10,5	9,1	67,8
NaOH; Na ₃ PO ₄ ; РИКС-А0	137; 20; 40	1,4	1,3	0,1	2,0	0,0	7,0	10,5	8,1	84,4
NaOH; Na ₃ PO ₄ ; РИКС-А0	190; 25; 5	1,3	1,2	0,1	3,5	0,0	7,5	10,8	8,4	85,6
NaOH; Na ₂ CO ₃ ; РИКС-А0	140; 20; 40	0,6	0,3	0,3	6,5	0,0	6,6	10,5	8,8	93,3
NaOH; Na ₂ CO ₃ ; РИКС-А0	190; 25; 60	0,5	0,3	0,2	14,0	0,0	9,6	10,8	10,0	94,4

Примітка: вода взята з р. Сіверський Донець (м. Северодонецьк) – pH = 8,1; Ж = 9,0 мг-екв/дм³; [Ca²⁺] = 5,8 мг-екв/дм³; [Mg²⁺] = 3,2 мг-екв/дм³; Л = 6,0 мг-екв/дм³; [SO₄²⁻] = 50 мг/дм³.

3. Результати та їх обговорення

Як впливає з табл. 1, використання вапна, луку, композицій вапна і соди, вапна і луку при $pH < 10,5$ було недостатньо ефективним. В цьому випадку залишкова жорсткість була не нижчою $3,7$ мг-екв/дм³, а залишкова лужність — не нижче $2,5$ мг-екв/дм³. Зниження жорсткості до $2,6$ мг-екв/дм³ досягнуто при pH 11 (доза вапна 260 мг/дм³, соди 160 мг/дм³), але лужність при цьому досягла $4,0$ мг-екв/дм³. З дозою луку 298 мг/дм³ залишкова жорсткість знижувалася до $2,2$ мг-екв/дм³ при залишковій загальній лужності $6,0$ мг-екв/дм³.

Кращі результати досягнуто з використанням алюмініймістких коагулянтів РИКС. Зі спільним використанням вапна, соди і РИКС-АО досягнуто зниження жорсткості до $0,5$ мг-екв/дм³. Проте, загальна лужність досягла $7,5$ мг-екв/дм³, гідратна лужність — $2,5$ мг-екв/дм³, а вміст алюмінію у воді досягав $7,5$ мг/дм³. У разі використання луку, соди і коагулянту РИКС-АО лужність становила $9,6$ мг-екв/дм³, а концентрація іонів алюмінію 14 мг/дм³. В цілому, цей результат не можна вважати за задовільний. Якщо таку воду використовувати для підживлення систем охолодження, то можна припустити, що гідратна лужність знизиться у міру поглинання CO_2 з повітря. При цьому іони алюмінію виступатимуть інгібіторами корозії сталі [4]. Проте, у разі подальшого пом'якшення або знесолення води на іонітах, особливо при натрій-катионному пом'якшенні води, іони алюмінію будуть отруювати катіоніт, оскільки іони алюмінію будуть гідролізуватися і накопичуватися в іоніті, блокуючи зони гелів смоли. При регенерації іоніту натрій хлоридом алюміній гідроксид вимиватися з іоніту не буде.

Використовуючи флокулянти разом з вапном і коагулянтом РИКС-АО, досягнуто зниження лужності до $0,8...1,0$ мг-екв/дм³, але ступінь пом'якшення води при цьому знизився до $65...67\%$. Неefективним було використання в композиціях натрій фосфату при pH $10,5$ і $10,8$.

Кращих результатів досягнуто з використанням реагентів РИКС-А1, РИКС-А2 із вапном і окремо (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність ефективності пом'якшення води

Реагент	Витрата мг/дм ³	Жорсткість мг-екв/дм ³	Концентрація мг-екв/дм ³		[Al ³⁺], мг/дм ³	Лужність мг-екв/дм ³		pH середовище		Z %
			Ca ²⁺	Mg ²⁺		гідрокарбонатна	загальна	початкова	кінцева	
CaO; РИКС-А1	260; 90	2,6	1,2	1,4	0,0	0,0	3,0	10,5	8,6	71,1
CaO; РИКС-А2	260; 210	2,0	0,7	1,3	0,0	0,0	1,5	10,5	8,6	77,8
CaO; РИКС-А2	260; 245	0,7	0,4	0,3	25,0	0,0	2,7	10,8	9,7	92,2
CaO; РИКС-А2	260; 280	0,5	0,2	0,3	24,0	0,0	3,5	11,1	9,9	94,4
РИКС-А1	208	1,7	0,4	1,3	0,0	0,0	3,4	10,0	8,4	81,1
РИКС-А1	340	0,5	0,1	0,4	0,0	0,0	3,7	10,5	9,2	94,4
РИКС-А2	210	4,9	1,9	3,0	8,0	0,0	3,3	9,5	8,2	45,5
РИКС-А2	280	1,6	0,5	1,1	5,4	0,0	3,1	10,0	8,6	82,2
РИКС-А2	340	0,3	0,3	0,0	8,0	0,0	3,7	10,5	9,3	96,7

Примітка: вода взята з р. Сіверський Донець (м. Северодонецьк) — $pH = 8,1$; Ж = $9,0$ мг-екв/дм³; Л = $6,0$ мг-екв/дм³.

Як впливає з таблиці, використовуючи коагулянт РИКС-А1, досягнуто зниження жорсткості до $0,5$ мг-екв/дм³ при залишковій лужності $3,7$ мг-екв/дм³ за відсутності залишків іонів алюмінію у воді.

Використовуючи тільки коагулянт РИКС-А2, досягнуто зниження жорсткості до $0,3$ мг-екв/дм³, при цьому загальна лужність на рівні $3,7$ мг-екв/дм³, а залишковий вміст іонів алюмінію досягав 8 мг/дм³. Застосовуючи реагент РИКС-А2 спільно з вапном, жорсткість понизилася до $0,5$ мг-екв/дм³ при залишковій лужності $3,5$ мг-екв/дм³. Проте вміст іонів

алюмінію досягав 24 мг/дм³.

Зниження залишкової лужності води було досягнуто у разі сумісного використання реагентів РИКС-А1 або РИКС-А2 і ферум (II) сульфату.

В цілому можна зазначити, що у разі використання ферум (II) сульфату в композиції з вапном і реагентів РИКС-А1 або РИКС-А2 відбувалось зниження лужності і залишкового вмісту іонів алюмінію із збільшенням витрати ферум (II) сульфату. Це можна пояснити процесом гідролізу ферум (II) сульфату, коли сульфатна кислота, що виділилася, взаємодіє з карбонатом або натрій гідроксоалюмінатом. Останній утворюється з іонів алюмінію в лужному середовищі. Проте при підкисленні води зі збільшенням дози ферум (II) сульфату відбувається збільшення залишкової жорсткості пом'якшеної води внаслідок розчинення іонів кальцію і магнію. До кращих результатів можна віднести дані, отримані при використанні вапна, РИКС-А1 і ферум (II) сульфату, коли жорсткість знижується до 0,5...0,9 мг-екв/дм³ із залишковою загальною лужністю 0,9...2,0 мг-екв/дм³ і вмістом іонів алюмінію 0,5...1,6 мг/дм³.

В разі використання РИКС-А2 в окремих дослідах лужність знижувалась тільки до 3,0...4,0 мг-екв/дм³ при вмісті іонів алюмінію до 7 мг/дм³. В окремих випадках виявлено зниження жорсткості до 0,6...0,9 мг-екв/дм³ при лужності 1,8...3,0 мг-екв/дм³ і вмісті іонів алюмінію 0,0...5,0 мг/дм³.

Висновки

В роботі вивчено процеси пом'якшення води з рівнем жорсткості 3...8 мг-екв/дм³ і показано, що істотного підвищення ефективності процесу можна досягти, використовуючи спільно з вапном або лугом алюмініймістких коагулянтів РИКС-А1, РИКС-А2. Ефективності пом'якшення води при відносно невисокій залишковій лужності води і низькому залишковому вмісті іонів алюмінію можна досягти, підбираючи оптимальні співвідношення вапно—коагулянт і з використанням ферум (II) сульфату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пилипенко А. Т. Методы предотвращения накипеобразования при опреснении соленых вод / А. Т. Пилипенко, Н. Т. Вахник, В. И. Максин и др. // Химия и технология воды. — 1991. — Т. 13, № 11. — С. 996—1013.
2. Гнусин Н. П. Соосаждение кальция и магния при щелочном умягчении пресных вод / Н. П. Гнусин, И. А. Тихонова, И. Г. Лукьянец // Химия и технология воды. — 1989. — Т. 11, № 5. — С. 421—424.
3. Шаблій Т. А. Разработка эффективной технологии умягчения воды для промышленного водопотребления / Т. А. Шаблій, И. Н. Макаренко, Е. В. Голтвяницкая // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 1. — С. 53—58.
4. Гомеля М. Д. Вплив іонів кальцію, магнію і алюмінію на корозію сталі у воді / М. Д. Гомеля, Т. О. Шаблій, О. В. Смола // Екотехнології і ресурсозбереження. — 2000. — № 2. — С. 18—21.

Рекомендована кафедрою хімії та хімічної технології

Стаття надійшла до редакції 8.11.11
Рекомендована до друку 21.11.11

Голтвяницька Олена Володимирівна — аспірантка, **Шаблій Тетяна Олександрівна** — доцент, **Камаєв Віктор Сергійович** — доцент, **Гомеля Микола Дмитрович** — завідувач кафедри.

Кафедра екології та технології рослинних полімерів інженерно-хімічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ