

для чего обычно ограничивается количество летучего материала (не более 60%), которое отгоняется из пека при температуре ниже 300° С.

Для получения максимального количества изделий на единицу объема связующего желательно иметь пек большой плотностью и ($\rho \geq 1,18 \text{ г/см}^3$) и с высоким выходом кокса (65-69%). Содержание золы должно быть не более 0,5% и влаги не более 3%. Каменноугольные пеки из смол, получаемых при коксовании угля при высокой температуре, соответствуют всем указанным выше требованиям и наиболее подходят для применения в качестве связующего. Все приведенные показатели отражают технологические свойства пека, определяющие его поведение при использовании в качестве электродного связующего.

Таким образом, важно обеспечить постоянство требуемых теплофизических и технологических свойств пека путем создания соответствующего температурного режима при его хранении и транспортировке. Несоблюдение данных требований приведет к ухудшению качества конечной продукции.

Список литературы: 1. Обзор рынка каменноугольного пека в СНГ [Электронный ресурс].— Режим доступа : \www/ URL: <http://infomine.ru> - 10.09.2010 г. — Загл. с экрана. 2. Санников А.К. Экономика и производство углеграфитовых изделий./ Санников А.К., Бабенко Э.М., Гладышева Л.Н., Левин И.С. Челябинск: Южно – Уральское книжное изд-во, 1969. - 164с. 3. Авдеенко М.А. Конструкционные материалы и изделия на основе углерода. /Авдеенко М.А., Белогорский В.Д, Багров Г.Н. и др. М.: Металлургия, 1970. – 64с. 4. Привалов В. Е. Каменноугольный пек./ В. Е. Привалов, М. А.Степаненко. М.: Металлургия, 1981. – 387с. 5. Хайрудинов И.Р. и др. Опыт производства и применения нефтяных пеков. Тематический обзор. М.: ЦНИИТЭНеф-техим, 1994. - 48 с.

Поступила в редколлегию 13.10.2011

УДК 622.793.5;669.2

Т.О. ШАБЛИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУУ “КПІ”, Київ

В.В. РИСУХІН, директор ТОВ «Технології природи», Алчевськ

М.Д. ГОМЕЛЯ, докт. техн. наук, проф., зав. каф., НТУУ “КПІ”, Київ

ОЧИЩЕННЯ МІНЕРАЛІЗОВАНИХ СТИЧНИХ ВОД ВІД СУЛЬФАТІВ ТА ЇХ ПОМ’ЯКШЕННЯ

Приведено результати досліджень по очищенню розчинів від сульфатів з одночасним пом’якшенням води при використанні вапна та металевого алюмінію. Показано, що при високій ефективності очищення води від сульфатів перевагою методу є відсутність вторинного забруднення води при невисокій витраті реагентів.

Ключові слова: сульфати, металевий алюміній, мінералізовані води, пом’якшення води

Приведены результаты исследований по очистке растворов от сульфатов с одновременным умягчением воды при использовании извести и металлического алюминия. Показано, что при высокой эффективности очистки воды от сульфатов преимуществом метода является отсутствие вторичного загрязнения воды при невысоком расходе реагентов.

Ключевые слова: сульфаты, металлический алюминий, минерализованные воды, умягчение воды

The results of studies of sulphates removal from the solutions with the simultaneous softening of water using lime and aluminium metal are given. It is shown that with the high efficiency of water purification from sulphates the advantage of this method is the absence of secondary pollution of water while consumption of reagents is low.

Key words: sulphate, aluminium metal, mineralized water, water softening

1. Вступ

В гірничодобувній, нафтогазовій та хімічній промисловості, на підприємствах чорної та кольорової металургії, теплоенергетики та комунальних господарствах актуальною є проблема очищення стічних вод від сульфатів, їх демінералізація.

Підприємства вугільної промисловості відкачують великі об'єми шахтних вод. В гідрологічну мережу скидається близько $3\div 10$ м³ шахтних вод на тону здобутого вугілля. Проблема не вирішується і при закритті шахт. Надлишкові шахтні води відкачуються і з непрацюючих шахт.

Великі об'єми мінералізованих вод утворюються і на інших підприємствах внаслідок утворення стоків різних концентрацій, забруднених мінеральними солями. Це технологічні води, регенераційні розчини іонообмінного пом'якшення води, концентрати термічного та баромембранного опріснення води, нейтралізовані травильні розчини та багато інших.

Внаслідок техногенного впливу поверхневі водойми в промислових регіонах характеризуються високим рівнем мінералізації, лужності та жорсткості. При цьому в більшості випадків спостерігається підвищений вміст сульфатів, що обумовлено окисленням піриту та інших сульфідів, які присутні в більшості випадків в породах, що видобуваються з шахт.

Тому проблема очищення води від сульфатів та її пом'якшення для забезпечення ефективної демінералізації є досить актуальною.

2. Постановка проблеми, мета роботи

На сьогодні опубліковано багато робіт, присвячених очищенню води від сульфатів. Найбільш перспективними з них є реагентні методи, тому що інші процеси, такі як іонний обмін, зворотній осмос, дистиляція призводять до утворення високомінералізованих концентратів, що скоріше ускладнює проблему, а не вирішує.

Серед реагентних методів найбільш перспективними є способи, які ґрунтуються на виділенні сульфатів у вигляді малорозчинних гідроксосульфоалюмінатів кальцію, що утворюються при обробці води вапном та гідроксохлоридами алюмінію [1-4], гідроксосульфатом алюмінію [5], алюмінатом натрію [4] або аморфним свіжевисадженим гідроксидом алюмінію [6].

Головним недоліком використання алюмінату натрію та хлориду або гідроксохлоридів алюмінію є вторинне забруднення води іонами натрію або хлоридами. В разі використання гідроксосульфату алюмінію витрата вапна та коагулянту зростає більше як на 70 % через необхідність вилучення сульфатів, що вносяться з коагулянтом. Використання аморфного свіжевисадженого гідроксиду алюмінію передбачає суттєве ускладнення процесу через необхідність гідролізу солей алюмінію при отриманні його гідроксиду та відділення

останнього з водного розчину. Крім того, виникає проблема утилізації засолених розчинів, які утворилися при отриманні аморфного гідроксиду алюмінію.

В усіх випадках поза увагою залишилися процеси пом'якшення води, хоча вони відіграють значну роль при її демінералізації.

Тому метою даної роботи було вивчення процесів очищення води від сульфат-іонів при одночасному її пом'якшенні без внесення вторинних іонів у розчин, а також визначення умов ефективної демінералізації води.

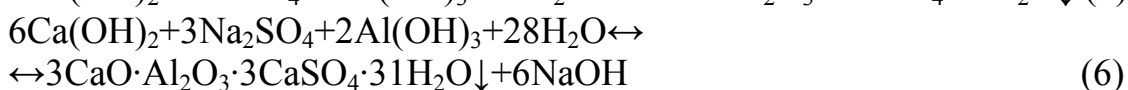
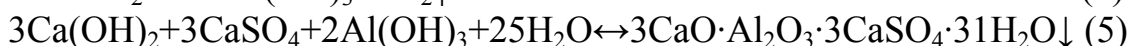
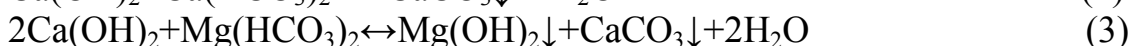
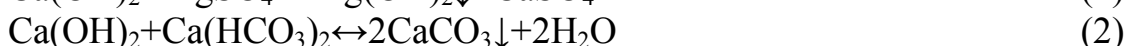
3. Виконання досліджень, аналіз отриманих результатів

При проведенні досліджень використовувались концентрати нанофільтраційного очищення мінералізованих вод (Ісакіївське водосховище, м. Алчевськ) та модельні розчини із вмістом сульфатів 29-65 мг-екв/дм³, жорсткістю 21,5-36,0 мг-екв/дм³, лужністю 7,5-19,0 мг-екв/дм³. Для обробки води використовували вапно у вигляді суспензії із чітко визначеною концентрацією активного компоненту за жорсткістю та лужністю. Концентрацію сульфатів контролювали фотометричним методом, жорсткість та лужність за стандартними методиками.

Воду обробляли розрахованою кількістю вапна та додавали до неї наважку металевого алюмінію у вигляді фольги. Розчин перемішували протягом 2^x годин при температурі 20-25 °С. Осад відстоювали та відділяли від води на фільтрі. Освітлену воду аналізували на вміст сульфатів, визначали жорсткість, гідратну та загальну лужність. В ряді випадків освітлену воду нейтралізували СО₂ (рН 7,0÷8,0), фільтрували і аналізували на вміст сульфатів, іонів жорсткості, визначали гідратну та загальну лужність.

В даному випадку очищення води від сульфатів відбувається за рахунок висадження останніх у вигляді гідроксосульфоалюмінатів кальцію загального складу 3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·31H₂O [5].

При цьому протікають наступні реакції:



Тому при розрахунках витрати вапна слід враховувати процеси пом'якшення води (реакції 1-3) та процеси вилучення сульфатів (реакції 5,6). Витрату металевого алюмінію розраховували, виходячи з процесів, що описуються реакціями (4-6).

Результати очищення розчину від сульфатів вапном та металевим алюмінієм приведено в таблиці 1.

Як видно з табл.1, ефективність очищення води від сульфатів зростає із збільшенням дози вапна та витрати металевого алюмінію. Очевидно, що висадження гідроксосульфоалюмінату кальцію покращується при певному надлишку реагентів, що зміщує рівновагу реакції (5) вправо. Проте при

збільшенні витрати реагентів зростає жорсткість та лужність води, що в основному обумовлено надлишком вапна. Хоча в цілому відмічено значне пом'якшення води в основному за рахунок гідролізу іонів магнію (реакції 1,3) та частково за рахунок висадження карбонату кальцію. Ступінь пом'якшення води сягає 55-86 %. Ступінь вилучення сульфатів сягає 48-86 %.

Таблиця 1. Вплив дози вапна та металевого алюмінію на ефективність вилучення сульфатів та іонів жорсткості при обробці розчину ($[\text{SO}_4^{2-}] = 29$ мг-екв/дм³; Ж=21,5 мг-екв/дм³; $[\text{Ca}^{2+}] = 1,75$ мг-екв/дм³; $[\text{Mg}^{2+}] = 19,75$ мг-екв/дм³; Л=9,0 мг-екв/дм³)

вапном та алюмінієм

№	Доза CaO , мг-екв/дм ³	Доза металевого алюмінію, мг/дм ³	SO_4^{2-} , мг-екв/дм ³		Ж, мг-екв/дм ³	Лужність, мг-екв/дм ³ (ОН ⁻ ; загальна)	Ступінь вилучення іонів SO_4^{2-} , %	Ступінь пом'якшення, %
			мг-екв/дм ³	мг/дм ³				
1	99,25	260,0	17,92	860	7,5	15,2; 23,5	38,2	65,1
2	128,25	260,0	20,31	975	19,0	29,5; 40,0	30,0	11,6
3	157,25	260,0	14,90	715	10,0	28,5; 45,0	48,6	53,5
4	99,25	520,0	15,2	730	3,0	12,5; 35,0	47,6	86,0
5	110,85	520,0	12,2	585	3,6	6,0; 29,0	57,9	83,3
6	128,25	520,0	13,8	664	7,0	13,0; 31,0	52,4	67,4
7	146,65	520,0	13,4	643	8,1	16,5; 29,0	53,8	62,3
8	157,25	520,0	13,9	699	9,0	19,5; 33,0	52,1	58,1
9	168,85	520,0	4,1	195	9,5	24,5; 36,0	85,9	55,8

Обидва показники покращуються при обробці очищеної води вуглекислим газом (табл. 2, рис. 1). Насамперед слід відмітити, що при обробці розчину вуглекислим газом значно знизилась жорсткість води до значень 0,7÷3,1 мг-екв/дм³ за рахунок висадження карбонату кальцію. Ступінь пом'якшення сягає 85,6÷96,7 %.

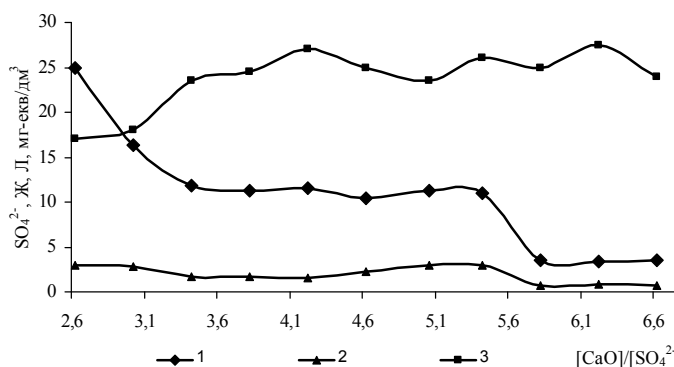


Рис. 1. Залежність залишкової концентрації сульфатів (1), жорсткості (2) та лужності (3) модельного розчину ($[\text{SO}_4^{2-}] = 29,0$ мг-екв/дм³; Ж=21,5 мг-екв/дм³; $[\text{Ca}^{2+}] = 1,8$ мг-екв/дм³; $[\text{Mg}^{2+}] = 19,7$ мг-екв/дм³; Л=19,0 мг-екв/дм³) від відносної витрати вапна $[\text{CaO}]/[\text{SO}_4^{2-}]$ при концентрації металевого алюмінію 520 мг/дм³ при обробці розчину CO_2

В очищеній воді відсутня гідратна лужність, яка, очевидно, була обумовлена надлишком гідроксиду кальцію. Проте загальна лужність залишилась досить високою. Це на перший погляд дивно, тому що, на відміну від алюмінату натрію, з металевим алюмінієм не відбувається внесення луку в розчин. Але насправді підвищення лужності в розчині при висадженні сульфатів пояснюється реакціями

(5) та (6). При осадженні сульфат-аніонів, протиіонами яких є іони жорсткості (реакції 1 та 5), не відбувається підлучення води. В разі осадження сульфатів при наявності сульфату натрію (реакція 6) утворюється луг в кількості, пропорційній концентрації сульфату натрію.

Якщо взяти розчин, використаний при отриманні результатів, приведених в табл. 2, то шляхом нескладних розрахунків можна визначити, що вміст сульфату натрію в ньому буде приблизно 26,5 мг-екв/дм³. Очевидно, що приблизно така ж кількість гідроксиду натрію утвориться при висадженні сульфатів, або така ж кількість гідрокарбонату натрію утвориться при обробці розчину вуглекислим газом. Загальна лужність буде нижчою при неповному вилученні сульфатів.

Таблиця 2. Вплив дози вапна та металевого алюмінію на ефективність вилучення сульфатів та іонів жорсткості при обробці розчину ($[\text{SO}_4^{2-}] = 29$ мг-екв/дм³; Ж=21,5 мг-екв/дм³; $[\text{Ca}^{2+}] = 1,8$ мг-екв/дм³; $[\text{Mg}^{2+}] = 19,7$ мг-екв/дм³; Л=19,0 мг-екв/дм³) вапном, алюмінієм та CO₂

№	Доза СаО, мг-екв/дм ³	Доза металевого алюмінію, мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг- екв/дм ³		Ж, мг-екв/дм ³	Лужність, мг-екв/дм ³ (ОН ⁻ ; загальна)	Ступінь вилучення іонів SO ₄ ²⁻ , %	Ступінь пом'якшення, %
			мг- екв/дм ³	мг/дм ³				
1	76,05	260	27,92	1340	3,1	0,0; 15,9	3,7	85,6
2	87,65	260	19,31	927	2,4	0,0; 18,4	33,4	88,8
3	99,25	260	20,30	974	3,3	0,0; 22,7	30,0	84,7
4	110,85	260	14,90	715	1,9	0,0; 24,5	48,7	91,2
5	128,25	260	12,70	610	2,8	0,0; 23,6	56,2	87,0
6	157,25	260	15,10	725	1,8	0,0; 25,1	47,9	91,6
7	168,85	260	13,21	634	2,4	0,0; 24,8	54,4	88,8
8	76,05	390	25,33	1216	2,2	0,0; 17,3	12,7	89,8
9	99,25	390	14,67	704	2,0	0,0; 22,7	49,4	90,7
10	110,85	390	12,30	590	1,6	0,0; 23,6	57,6	92,6
11	128,25	390	11,92	572	1,7	0,0; 24,8	58,9	92,1
12	157,25	390	10,95	527	2,4	0,0; 25,1	62,2	88,8
13	76,05	520	25,0	1200	3,0	0,0; 17,0	13,8	86,0
14	87,65	520	16,4	786	2,8	0,0; 18,0	43,4	87,0
15	99,25	520	11,8	569	1,7	0,0; 23,5	59,3	92,1
16	110,85	520	11,2	540	1,7	0,0; 24,5	61,4	92,1
17	122,45	520	11,5	550	1,5	0,0; 27,0	60,3	93,0
18	134,05	520	10,4	500	2,2	0,0; 25,0	64,1	89,8
19	146,65	520	11,2	536	3,0	0,0; 23,5	61,4	86,0
20	157,25	520	11,0	529	3,0	0,0; 26,0	62,1	86,0
21	168,85	520	3,5	170	0,7	0,0; 25,0	87,9	96,7
22	180,45	520	3,4	165	0,8	0,0; 27,5	88,3	96,3
23	192,05	520	3,5	170	0,7	0,0; 24,0	87,9	96,7

Як видно з табл. 2, отримані експериментально результати по лужності близькі до розрахованих.

Цікаво відмітити, що при обробці води вуглекислим газом до певної міри зростає ефективність вилучення сульфатів (табл. 1,2; рис. 1). Очевидно, це обумовлено зміщенням рівноваги реакції (6) вправо при підкисленні розчинів.

При вивченні процесів очищення води від сульфатів було проведено оцінку впливу температури та перемішування на ефективність вилучення сульфатів та пом'якшення води (рис. 2).

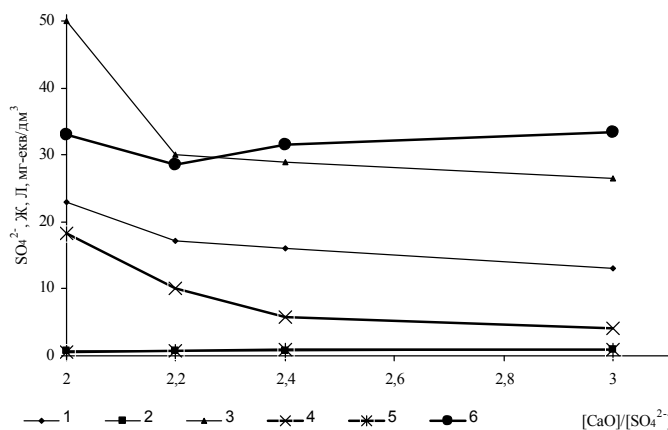


Рис.2. Залежність залишкової концентрації сульфатів (1,4), жорсткості (2,5) та лужності (3,6) від відносної витрати вапна $[CaO]/[SO_4^{2-}]$ при концентрації металевого алюмінію 702 мг/дм³ в умовах термостатування $T=60^{\circ}C$ (1,2,3) та за умов перемішування при $T=20^{\circ}C$ (4,5,6) при обробці модельного розчину ($[SO_4^{2-}]=52,0$ мг-екв/дм³; $Ж=13,0$ мг-екв/дм³; $[Ca^{2+}]=3,5$ мг-екв/дм³; $[Mg^{2+}]=9,5$ мг-екв/дм³; $Л=7,5$ мг-екв/дм³) вапном в присутності алюмінію та при обробці розчину CO_2 після висадження сульфатів

Як видно з рис. 2, при обробці води вапном та алюмінієм при температурі $60^{\circ}C$ без перемішування процес висадження сульфатів проходить менш ефективно, аніж при перемішуванні при $20^{\circ}C$. Очевидно це обумовлено утворенням осаду на поверхні металевих пластинок за відсутності перемішування. Також, очевидно, що лімітуючою стадією даного гетерогенного процесу є дифузія реагентів і води до поверхні твердої фази з розчину. Слід відмітити, що залишкоа жорсткість води в обох випадках була на рівні $0,6 \div 1,0$ мг-екв/дм³, лужність в межах розрахованих значень – $30 \div 40$ мг-екв/дм³.

Перевага запропонованого методу суттєво зростає в порівнянні з розробленими раніше [1-5] в разі, коли збільшується концентрація сульфатів в розчині. Адже із збільшенням концентрації сульфатів

зростає витрата коагулянтів.

При певних витратах реагентів концентрація вторинних забруднень – хлоридів, іонів натрію - буде перевищувати допустимий рівень. В той же час з металевим алюмінієм не вносяться ні хлориди, ні натрій, а ефективність вилучення сульфатів є досить високою (табл. 3).

В даному випадку при початковій концентрації сульфатів 65 мг-екв/дм³ (3120 мг/дм³) їх залишковий вміст в ряді дослідів нижче 100 мг/дм³. Іще більше випадків, коли концентрація сульфатів <500 мг/дм³. В цілому, як і в попередніх дослідях, ефективність очищення розчину від сульфатів зростає із підвищенням витрати вапна при збільшенні дози алюмінію. Жорсткість та лужність очищеної води визначались ефективністю обробки води вуглекислим газом та вмістом у воді сульфату натрію. Про вплив даного процесу на ефективність очищення даного розчину можна судити по результатах, приведених на рис. 3.

Таблиця 3. Вплив дози вапна та металевого алюмінію на ефективність вилучення сульфатів та іонів жорсткості при обробці розчину ($[\text{SO}_4^{2-}] = 65$ мг-екв/дм³; Ж=36,0 мг-екв/дм³; $[\text{Ca}^{2+}] = 3,2$ мг-екв/дм³; $[\text{Mg}^{2+}] = 32,8$ мг-екв/дм³; Л=10 мг-екв/дм³) вапном, алюмінієм та CO₂

№	Доза СаО, мг-екв/дм ³	Доза металевого алюмінію, мг/дм ³	[SO ₄ ²⁻]		Ж, мг-екв/дм ³	Л, мг-екв/дм ³ (ОН; загальна)	Ступінь вилучення іонів SO ₄ ²⁻ , %	Ступінь пом'якшення, %
			мг-екв/дм ³	мг/дм ³				
1	166	585,0	27,75	1332	3,5	21,6	57,3	90,3
2	218	585,0	19,43	933	3,4	27,4	70,1	90,6
3	270	585,0	17,53	841	4,1	28,9	73,0	88,6
4	332	585,0	14,35	689	2,9	34,7	77,9	91,9
5	374	585,0	11,7	562	3,0	35,0	82,0	91,7
6	166	877,5	21,25	1020	2,0	0,0; 22,5	67,3	94,4
7	218	877,5	17,71	850	2,4	0,0; 28,0	72,8	93,3
8	270	877,5	13,54	650	1,1	0,0; 29,0	79,2	96,9
9	332	877,5	9,69	465	1,8	0,0; 32,0	85,1	95,0
10	374	877,5	1,88	90	3,8	0,0; 37,0	97,1	77,8
11	166	1170,0	14,94	717	1,1	0,0; 29,0	77,0	96,9
12	218	1170,0	14,12	678	4,8	0,0; 32,0	78,3	86,7
13	270	1170,0	14,38	690	3,0	0,0; 39,0	77,9	91,7
14	322	1170,0	13,33	640	4,9	0,0; 39,0	79,5	86,4
15	374	1170,0	16,10	773	2,6	0,0; 31,5	75,2	92,8
16	166	1462,5	5,73	275	0,8	0,0; 34,0	91,2	97,8
17	218	1462,5	4,48	215	1,2	0,0; 36,0	93,1	96,7
18	270	1462,5	1,22	59	1,6	0,0; 40,0	98,1	95,6
19	332	1462,5	0,65	31	3,7	0,0; 46,0	99,0	89,7
20	374	1462,5	4,74	228	2,7	0,0; 38,5	92,7	92,5
21	166	1755,0	5,00	240	1,5	0,0; 40,0	92,3	95,8
22	218	1755,0	3,33	160	1,5	0,0; 38,0	94,9	95,8
23	270	1755,0	0,73	35	4,3	0,0; 41,0	98,9	88,1
24	332	1755,0	0,42	20	2,8	0,0; 50,0	99,4	92,2
25	374	1755,0	0,42	20	4,3	0,0; 52,0	99,4	88,1
26	426	1755,0	0,43	21	4,9	0,0; 61,0	99,3	86,4

Як видно з рисунку, при обробці води вуглекислим газом відбувається не лише значне зниження жорсткості та лужності розчину (криві 3,4 та 5,6), але і суттєве підвищення ефективності вилучення сульфатів. При цьому відмічено зниження концентрації сульфатів до 1,73-7,91 мг-екв/дм³. Якщо покращення пом'якшення води та зниження лужності води можна пояснити зв'язуванням надлишку вапна в нерозчинний карбонат кальцію, то підвищення ефективності вилучення сульфатів можна пояснити зниженням гідратної лужності води, що сприяє кращому зв'язуванню сульфатів із розчину натрію.

Таким чином, запропонований метод дозволяє успішно вирішувати проблему реагентного очищення води від сульфатів та іонів жорсткості без вторинного забруднення води.

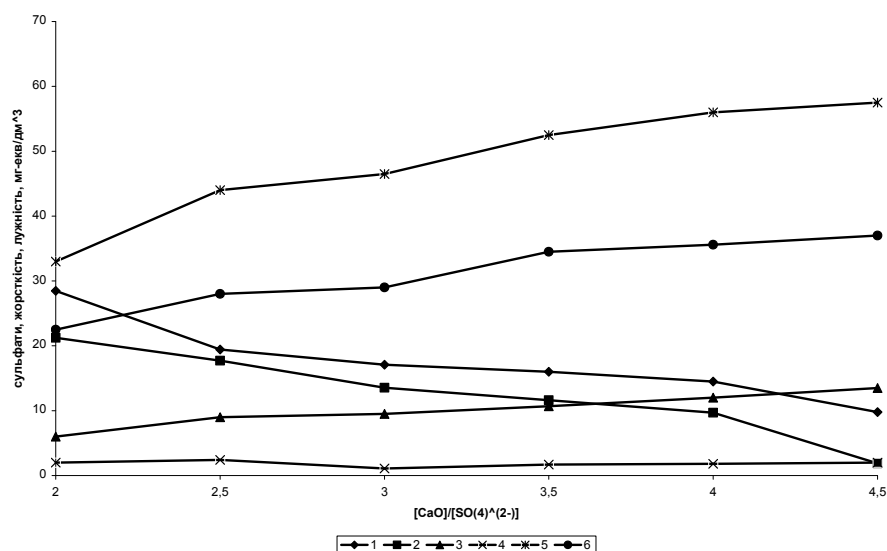


Рис. 3. Вплив витрати вапна по відношенню до кількості сульфатів в розчині ($[\text{SO}_4^{2-}] = 65,0$ мг-екв/дм³; $\text{Ж} = 36,0$ мг-екв/дм³; $\text{Л} = 10,9$ мг-екв/дм³) $[\text{CaO}] / [\text{SO}_4^{2-}]$ на залишкові концентрації сульфатів (1,2), жорсткість (3,4) та лужність (5,6) в разі обробки модельного розчину вапном при дозі алюмінію 877,5 мг/дм³ без нейтралізації (1,3,5) та з нейтралізацією розчину з допомогою CO_2 (2,4,6)

4. Висновки

Вивчено процеси очищення води від сульфатів з одночасним її пом'якшенням при обробці вапном та металевим алюмінієм. Показано, що ефективність процесу зростає при збільшенні надлишку вапна та алюмінію, а також при видаленні залишку вапна з допомогою вуглекислого газу.

Встановлено, що лімітуючою стадією процесу є дифузія розчину до поверхні металу, а ступінь вилучення сульфатів досягає високого значення при температурі 20 °С незалежно від початкової їх концентрації у воді.

Список літератури: 1. Буцева Л. Н. Очистка сточных вод от сульфатов известкованием и коагуляцией с применением оксихлорида алюминия / Л. Н. Буцева, Л. В. Потапова // Очистка природных и сточных вод: Сборник научных трудов, Москва, 2009: Юбилейный выпуск. М.: ГНЦ «НИИВОДГЕО». – 2009. – С. 49–51. 2. Серпокрылов Н. С. Применение оксихлоридов алюминия в очистки и доочистке сточных вод / Н. С. Серпокрылов, Е. В. Вильсон, М. Н. Царева, В. Н. Горин, П. А. Коропец, М. Н. Рудик, А. Ф. Садовников // ВСТ: Водоснабж. и сан. техн. – 2003. – №2. – С.32 – 35. 3. Сальникова Е. О. Осаждение сульфатов из сточных вод в виде сульфоалюминатов кальция / Е. О. Сальникова, О. Г. Передерий, В. В. Пушкарев // Цветные металлы. – 1979. – № 9. – С. 41–43. 4. Сальникова Е. О. Выбор осадителя при очистке сточных вод от сульфата кальция / Е. О. Сальникова, О. Г. Передерий // Цветные металлы. – 1983. – № 12. – С. 22–24. 5. Сальникова Е. О. Очистка сточных вод от сульфат-ионов с помощью извести и оксосульфата алюминия / Е. О. Сальникова, И. Ф. Гофенберг, Е. Н. Туранина и др. // Химия и технология воды. – 1992. – Т.14, № 2. – С. 57-61. 6. Пат. 2322398 Россия, МПК С 02 F 1/66 (2006.01), С 02 F 1/58 (2006.01). Способ очистки сточных вод от сульфат-ионов: ОАО Межотрасл. н.-и. и проект-технол. ин-т экол. топлив-энергетич. Комплекса / Ким М. П., Молодчик Г. Л., Агапов А. Е., Азимов Б. В., Навитый А. М. – № 2006134812/15; заявл. 02.10.2006; опубл. 20.04.2008.

Поступила в редколлегию 12.10.2011