

**УДК 628.16 (088.8);628.143.23****Н.Д. ГОМЕЛЯ**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,**Е.Н. ПАНОВ**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, **Т.А. ШАБЛИЙ**, к.т.н, доцент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (НТУУ «КПИ»), г. Киев

ГЛУБОКОЕ УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ ГИДРОКСОАЛЮМИНАТОМ НАТРИЯ ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Приведены результаты исследования по снижению жесткости и мутности воды при использовании основных реагентов с гидроксоалюминатом натрия. Показано, что гидроксоалюминат натрия существенно повышает эффективность умягчения воды щелочью в диапазоне рН 9–11 при избытке гидроксоалюмината натрия по отношению к остаточной жесткости – 10–20 %. При этом повышается эффективность осветления воды, как при отстаивании, так и при фильтровании. При содовом умягчении воды гидроксоалюминат натрия незначительно влияет на эффективность умягчения и осветления воды при рН 9–11, независимо от дозы гидроксоалюмината натрия. При совместном использовании извести и гидроксоалюмината натрия существенно возрастает эффективность умягчения воды в диапазоне рН 9–11, независимо от дозы гидроксоалюмината натрия.

коагулянт, флокулянт, жесткость воды, мутность воды, умягчение, осветление

Реагентное умягчение воды сегодня широко используется при водоподготовке для водооборотных систем охлаждения, а также на первой стадии подготовки энергетической воды. Во втором случае предварительное удаление солей жесткости из воды, которое для пресных рек обычно составляет 50–80 % от общего солесодержания, позволяет существенно снизить нагрузку на ионообменные фильтры. Наиболее широко при реагентном умягчении воды используют известь и соду как наиболее дешевые реагенты, реже – щелочь, иногда – фосфаты натрия. Также возможно комбинированное использование реагентов. Для повышения эффективности осветления воды в процессах умягчения используют сульфат железа, который коагулирует при рН 7–9. Недостатком извести является то, что при доведении раствора до рН выше 10 в воде возрастает концентрация ионов кальция вследствие растворения извести, что и приводит к снижению эффективности умягчения, а при рН 11 – к возрастанию жесткости воды выше исходной. Поэтому при использовании извести рН воды редко поднимают выше 9. В этих случаях из воды эффективнее удаляются только гидрокарбонаты кальция, так как соли кальция и магния, в которых анионами являются анионы сильных кислот, достаточно хорошо растворимы в воде. Это касается и карбонатов магния. Гидроокись магния образуется лишь при рН > 11. К недостаткам соды следует отнести ее более низкую основность, по сравнению с известью и щелочью, что повышает ее расход при доведении рН воды.

Следовательно, этот реагент также не подходит для доведения рН воды до высоких значений. Кроме того, при использовании соды из воды в основном выделяются карбонаты кальция и в меньшей мере – соединения магния.

Щелочь является сильным основанием и позволяет повышать рН среды до любых значений. Недостатком ее, по сравнению с известью, является повышение концентрации ионов натрия до высоких значений. Это важно при предварительном умягчении воды перед ионообменным обессоливанием, так как приводит к увеличению нагрузки на катионные фильтры.

К повышению нагрузки на ионообменные фильтры приводит и использование сульфата железа, при гидролизе которого в воду переходят сульфат-анионы. Поэтому при использовании традиционных реагентов, даже при применении такого высокоэффективного оборудования, как осветлители со взвешенным слоем осадка, остаточную жесткость воды удается снизить до 1,2–1,5 мг-экв/дм³, а при использовании обычных отстаивников эффективность умягчения еще ниже. Поэтому актуальным является поиск новых доступных реагентов и совершенствование метода умягчения воды для повышения его эффективности.

Перспективным в этом плане является использование гидроксоалюмината натрия, значительное количество которого получают на начальных стадиях производства и при щелочном травлении алюминия. Особенно важным

является использование щелочных отходов травления алюминия при умягчении воды, так как позволяет успешно решить задачу утилизации агрессивных химических отходов и решить проблему умягчения воды.

В данной работе изучена эффективность использования алюмината натрия в процессах умягчения и осветления воды.

Исследования последних лет показали, что при использовании гидроксоалюмината натрия можно достичь существенного повышения степени умягчения воды [1]. В этих работах гидроксоалюминат в основном использовался в качестве щелочного реагента, поэтому при его применении допускался значительный перерасход реагента при доведении pH воды, так как основность алюмината натрия существенно ниже основности щелочи.

Поскольку гидроксоалюминат натрия реагирует с солями кальция и магния практически в стехиометрических соотношениях с образованием нерастворимых алюминатов кальция и магния, то использовать его в значительном количестве нецелесообразно. Кроме того, избыток реагента приводит к вторичному загрязнению воды ионами натрия. Поэтому в данной работе гидроксоалюминат натрия использовался в количествах, необходимых для связывания ионов жесткости, которые остаются в воде после умягчения обычными реагентами. Для этого артезианскую воду умягчали при обработке щелочью, содой или известью с доведением pH до 9, 10, 11 и определяли при этом остаточную жесткость и мутность воды.

Исходя из остаточной жесткости воды, рассчитывали дозу гидроксоалюмината натрия. Мольные соотношения гидроксоалюмината натрия и солей жесткости выбирали 1:1; 1:1,1; 1:1,2; 1:1,5; 1:2. Кроме остаточной жесткости, в обрабатываемой воде (как в холостых опытах, так и в опытах с использованием гидроксоалюмината натрия) определяли остаточную мутность после отстаивания в течение одного часа и после фильтрования отстаившейся воды через фильтр с песчаной загрузкой высотой 10 см. Расход воды при фильтровании составлял 10 см³/мин. Полученные результаты приведены в табл. 1–3.

Как видно из табл. 1, использование щелочи для умягчения воды при pH 9 и pH 10 малоэффективно: остаточная жесткость составляет 2,4–2,8 мг-экв/дм³. При pH 11 остаточная жесткость снижается до 0,9 мг-экв/дм³ и мутность воды после отстаивания достигает 150–190 мг/дм³, а при фильтровании снижается до 10–17 мг/дм³. При использовании алюмината натрия отмечено повышение эффективности умягчения воды при pH 9–10.

Лучшие результаты по умягчению воды наблюдаются при 20 % избытка гидроксоалюмината натрия по отношению к остаточному количеству солей жесткости. В этом случае уже при pH 9 остаточная жесткость составляет 1,4 мг-экв/дм³, что почти в два раза ниже по сравнению со щелочным умягчением воды. При повышении pH до 10 и 11 использование гидроксоалюмината натрия с 20 % избытка позволяет снизить остаточную жесткость соответственно до 0,9 и 0,6 мг-экв/дм³. При этом остаточная

Таблица 1 – Влияние pH среды и дозы гидроксоалюмината натрия на эффективность умягчения и осветления воды (ж=5,2 мг-экв/дм³) щелочью

Доза NaAl(OH) ₄ мг-экв/дм ³	pH		Мутность, мг/дм ³		Степень осветления, %		Жесткость, мг-экв/дм ³	Степень умягчения Z _y %
	нач	кон	M ₀	M _ф	Z ₀	Z _ф		
0,0	9	8,60	150	17,5	-----	-----	2,78	46,53
0,0	10	9,65	190	15	-----	-----	2,40	53,84
0,0	11	10,55	187	10	-----	-----	0,90	82,69
2,78	9	8,63	125	15	16,66	16,57	1,80	65,38
2,40	10	9,75	157	12,5	17,10	16,66	1,70	67,30
0,90	11	10,80	140	6	25,13	40,00	0,80	84,46
3,06	9	8,87	80	5	46,66	71,42	1,50	71,15
2,64	10	9,85	75	5	60,52	66,66	1,40	73,07
0,99	11	10,85	75	0	59,89	100,00	0,75	85,57
3,24	9	8,86	140	15	6,66	14,28	1,40	73,07
2,88	10	9,82	90	7,5	52,63	50,00	0,90	82,69
1,08	11	10,88	50	0	73,26	100,00	0,60	84,61
4,05	9	8,87	155	17,5	<0	<0	1,85	64,42
3,60	10	9,88	125	10	16,66	33,33	1,20	76,92
1,35	11	10,9	90	7,5	52,63	50,00	0,80	84,46
5,56	9	8,85	275	25	<0	<0	1,95	63,07
4,80	10	9,90	175	25	7,89	<0	1,60	69,23
1,80	11	10,95	105	15	43,85	<0	1,10	78,84



мутность при отстаивании снижается от 140 до 150 мг/дм³ при повышении рН от 9 к 11. Еще более существенное снижение мутности воды при отстаивании отмечается при использовании 10 % избытка алюмината натрия. Уже при рН 9 остаточная мутность после отстаивания составляет 80 мг/дм³, при рН 10 и рН 11 – 78 мг/дм³. При фильтровании мутность воды снижается до 0–5 мг/дм³. Также отмечается существенное снижение – от 15 мг/дм³ (рН 9) до 0 мг/дм³ (рН 11) – мутности воды при фильтровании в случае использования 20 % избытка алюмината натрия.

Практически во всех случаях при использовании гидроксоалюмината натрия при щелочном умягчении воды отмечается некоторое повышение эффективности как умягчения, так и осветления воды. Это можно объяснить тем, что алюминат натрия образует нерастворимые соединения с ионами кальция и магния при повышенных рН. Вероятно, образовавшиеся золи являются коагулянтами для взвеси карбоната кальция и гидроксида магния, которые образуются в обрабатываемой воде. При этом роль самого алюмината натрия как коагулянта незначительна, о чем свидетельствует повышение остаточной мутности воды при значительных избытках гидроксоалюмината натрия (табл. 1).

Вероятно, при щелочном умягчении воды в процессах осветления значительную роль играет взаимная коагуляция, которая происходит между нерастворимыми алюминатами кальция и магния и положительно заряженным золем гидроксида магния. Именно этим можно объяснить снижение остаточной мутности обрабатываемых гидроксоалюминатом натрия растворов при повышении рН с 9 до

11. Возможно, при более высоких рН образуется большее количество положительно заряженных частичек гидроксида магния, которые коагулируют с отрицательно заряженными частичками золь алюмината кальция и магния.

Значительно менее эффективно происходит умягчение воды при использовании соды для повышения рН (табл. 2). В этом случае в холостых опытах степень умягчения достигает 46–52 % при рН 9–11. Особенно малоэффективно умягчение воды при рН 11. Вероятно, в этом случае на процесс умягчения существенное влияние оказывает значительный избыток карбонат-анионов, вносимых в раствор. В целом, избыток карбонат-анионов должен способствовать переводу солей кальция в нерастворимые карбонаты. Значительный избыток карбонат-анионов, предположительно, в данном случае способствует образованию и карбонатов магния, растворимость которых значительно выше по сравнению с карбонатом кальция. При этом значительный избыток карбонат-анионов, возможно, существенно замедляет переход карбоната магния в алюминат магния, поэтому не отмечается существенное повышение эффективности умягчения воды при использовании гидроксоалюмината натрия, как при стехиометрических соотношениях к остаточным солям жесткости воды, так и при 10–100 % избытке гидроксоалюмината натрия. Вероятно, даже при двукратном избытке гидроксоалюмината натрия его количество в растворе существенно ниже количества карбонат-анионов, которые попадают в раствор при доведении рН содой. Вероятно, снижением концентраций золь алюми-

Таблица 2 – Влияние рН среды и дозы гидроксоалюмината натрия на эффективность умягчения и осветления воды (ж=5,2 мг-экв/дм³) содой

Доза NaAl(OH) ₄ мг-экв/дм ³	рН		Мутность, мг/дм ³		Степень осветления, %		Жесткость, мг-экв/дм ³	Степень умягчения Z _y %
	нач	кон	M _н	M _ф	Z _о	Z _ф		
0,0	9	8,75	150	10	----	----	2,80	46,15
0,0	10	9,85	175	12,5	----	----	2,60	50,00
0,0	11	10,90	220	17,5	----	----	2,50	51,92
2,80	9	9,01	125	5	16,66	50,0	2,50	51,92
2,80	10	10,05	150	10	14,28	20,0	2,30	55,76
2,50	11	11,02	175	15	20,45	14,3	2,20	57,69
3,08	9	9,00	125	5	16,66	50,0	2,30	55,76
2,86	10	10,05	125	7,5	28,57	40,0	2,10	59,61
2,75	11	10,95	140	10	36,36	42,8	2,15	58,65
3,36	9	8,85	100	3,75	33,33	62,5	2,20	57,69
3,12	10	9,85	100	5	75,00	60,0	2,05	60,57
3,00	11	10,85	125	7,5	43,18	57,1	1,90	63,46
4,20	9	8,90	130	7	13,33	25,0	2,50	51,92
3,90	10	9,90	130	9	25,71	28,0	2,15	58,65
3,75	11	10,95	130	9	40,90	48,6	2,40	53,84
5,60	9	8,95	135	10	10,00	0,0	3,20	38,46
5,20	10	9,95	140	12	20,00	4,0	2,35	56,73
5,00	11	10,90	150	12,5	31,81	28,6	2,55	50,96

ната кальция и магния можно объяснить снижение эффективности осветления воды при обработке содой в присутствии алюмината натрия. В данном случае с повышением pH происходит повышение остаточной мутности воды, что обусловлено увеличением концентраций нерастворимых соединений при повышении pH. В целом, при содовом умягчении воды использование гидроксоалюмината натрия малоэффективно. При этом использование самой соды также характеризуется низкой эффективностью даже при высоких значениях pH среды.

Наиболее часто для умягчения воды используют известь. Это один из наиболее дешевых основных реагентов. Кроме того, при эффективном его использовании в воду не вносятся другие хорошо растворимые ионы, что важно при предварительной обработке воды перед ионообменным обессоливанием.

Недостатком данного реагента является то, что он позволяет выделять из воды лишь гидрокарбонаты кальция, так как для перевода ионов магния в гидроксид магния необходимо повышать pH до 11, что способствует значительному повышению жесткости воды за счет избытка извести, используемой для доведения pH. Поэтому повышение эффективности умягчения воды данным реагентом с помощью других добавок имеет большое значение.

В значительной мере поставленную задачу можно решить при использовании гидроксоалюмината натрия. При совместной обработке воды гидроксоалюминатом натрия и известью (табл. 3) жесткость воды можно сни-

зить до 1,2–2 мг-экв/дм³ при pH 9–11, что значительно лучше, чем при умягчении воды известью, когда остаточная жесткость при pH 9 составляет 2,5 мг-экв/дм³; при pH 10–2,4 мг-экв/дм³; а при pH 11–2,4 мг-экв/дм³.

Лучший результат по умягчению воды получен при pH 10 и избытке гидроксоалюмината натрия по отношению к остаточным солям жесткости – 20 %. В данном случае, как и при использовании щелочи, избыток гидроксоалюмината натрия в 20 % – оптимальный. В этом случае достигаются и наиболее высокие результаты и по осветлению воды, как при отстаивании (40–90 мг/дм³), так и при фильтровании (2–7,5 мг/дм³) при pH 9–11. Лучшие результаты при отстаивании получаются при pH 9: остаточная жесткость достигает 1,5 мг-экв/дм³. Вероятно, что при умягчении и осветлении воды с использованием извести оптимальные дозы гидроксоалюмината натрия по отношению к остаточным солям жесткости составляют 20 % избыток. В целом, использование гидроксоалюмината натрия при известковании воды, как и при щелочном умягчении воды, обеспечивает повышение эффективности умягчения и осветления воды, как при отстаивании, так и при фильтровании.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что гидроксоалюминат натрия повышает эффективность умягчения воды щелочью при pH 9–10 с избытком гидроксоалюмината натрия по отношению к остаточной жесткости – 10–20 %. При этом повышается эффективность осветления воды, как при отстаивании, так и при фильтровании. При содовом умягчении воды ги-

Таблица 3 – Влияние pH среды и дозы гидроксоалюмината натрия на эффективность умягчения и осветления воды (ж=5.2 мг-экв/дм³) известью

Доза NaAl(OH) ₄ мг-экв/дм ³	pH		Мутность, мг/дм ³		Степень осветления, %		Жесткость, мг-экв/дм ³	Степень умягчения Z _y %
	нач	кон	M _н	M _ф	Z _о	Z _ф		
0,0	9	8,55	190	15	----	----	2,50	51,92
0,0	10	9,70	375	15	----	----	2,40	53,84
0,0	11	10,80	450	20	----	----	2,40	53,84
2,50	9	9,05	100	10	47,36	50,0	2,00	61,53
2,40	10	10,05	175	12,5	53,33	16,7	1,80	65,38
2,40	11	11,20	325	17,5	27,77	12,5	1,70	67,30
2,75	9	9,10	75	6	60,52	60,0	1,80	65,38
2,64	10	10,10	120	7,5	68,16	50,0	1,50	71,15
2,64	11	11,25	175	10	61,11	50,0	1,50	71,15
3,00	9	9,15	40	2	78,94	86,7	1,50	71,15
2,88	10	10,10	50	4	86,66	73,3	1,20	76,92
2,88	11	11,30	90	7,5	80,00	62,5	1,30	75,00
3,75	9	9,20	70	6	63,16	60,0	1,70	67,30
3,60	10	10,25	80	25	52,00	0,0	1,40	73,07
3,60	11	10,35	100	15	77,77	25,0	1,40	73,07
5,00	9	9,25	80	10	57,89	5,0	1,80	65,38
2,80	10	10,20	125	45	66,66	66,7	1,60	69,23
2,80	11	11,35	125	25	72,22	0,0	1,50	71,15



гидроксиалюминат натрия мало влияет на эффективность умягчения и осветления воды при pH 9–11. Установлено, что при известковании воды в присутствии гидроксиалюмината натрия эффективность умягчения возрастает в диапазоне pH 9–11, независимо от дозы последнего. В целом, алюминат натрия можно рекомендовать к использованию при щелочном или известковом умягчении воды для подпитки замкнутых систем охлаждения в энергетике и промышленности.

Приведені результати досліджень щодо зниження твердості та каламутності води при застосуванні лужних реагентів з гідроксиалюмінатом натрію. Показано, що гідроксиалюмінат натрію суттєво підвищує ефективність пом'якшення води лугом у діапазоні pH 9–11 при надлишку гідроксиалюмінату натрію відносно залишкової твердості 10–20 %. При цьому підвищується ефективність освітлення води, як при відстоюванні, так і при фільтруванні. При содовому пом'якшенні води гідроксиалюмінат натрію практично не впливає на ефективність пом'якшення та освітлення води при pH 9–11 незалежно від дози гідроксиалюмінату натрію. При одночасному використанні вапна та гідроксиалюмінату натрію суттєво збільшується ефективність пом'якшення та освітлення води в діапазоні pH 9–11 незалежно від дози гідроксиалюмінату натрію.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гомеля М.Д. Пом'якшення води відпрацьованими лужними розчинами травлення алюмінію / М.Д. Гомеля, Т.О. Шаблій, Ю.В. Находьмо // Экологические и ресурсосбережение. – 1999. – № 4. – С. 43–46.

Поступила в редакцию 03.07.2008

Findings of investigation on lowering water hardness and silt content at using the basic reactants with hydroaluminium sodium are adduced. It is shown, that hydroaluminium sodium essentially increases efficiency of water demineralizing by alkali in the range pH 9–11 at surplus hydroaluminium sodium relatively residual hardness of 10–20 %. Thus, efficacy of water clearing increases both at settling and filtering. At soda water demineralizing hydroaluminium sodium makes low impact on efficacy of water softening and clearing at pH 9–11 irrespective of hydroaluminium sodium dose. At simultaneous use of lime and hydroaluminium sodium efficacy of water demineralizing in the range pH 9–11 increases essentially irrespective of hydroaluminium sodium dose.