

Разработка эффективной технологии умягчения воды для промышленного водопотребления

Шаблій Т.А., Макаренко И.Н., Голтвяницкая Е.В.

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

Изучены процессы умягчения воды с использованием извести, фосфата, фторида и гидроксоалюмината натрия. Показано, что фосфат и фторид натрия малоэффективны для умягчения воды при использовании в дозах 0,5–4,0 мг-экв/дм³. Они малоэффективны и при использовании в композициях с известью при pH 9,0–10,5. Установлено, что алюминат натрия обеспечивает эффективное умягчение воды, однако существенно способствует вторичному загрязнению ее ионами алюминия. При использовании алюмината натрия в композиции с известью достигнута высокая эффективность умягчения воды при снижении остаточных концентраций алюминия в умягченной воде до 0,0–6,5 мг/дм³. Показано, что при использовании магнетита, насыщенного ионами жесткости, повышается эффективность осветления воды при ее умягчении.

Ключевые слова: умягчение воды, известь, фосфат натрия, фторид натрия, гидроксоалюминат натрия.

Вивчено процеси пом'якшення води з використанням вапна, фосфату, фториду та гідроксоалюмінату натрію. Показано, що фосфат та фторид натрію малоефективні для пом'якшення води при використанні в дозах 0,5–4,0 мг-екв/дм³. Вони малоефективні й при використанні в композиціях з вапном при pH 9,0–10,5. Встановлено, що алюмінат натрію забезпечує ефективне пом'якшення води, проте суттєво спричиняє вторинне забруднення її іонами алюмінію. При застосуванні алюмінату натрію в композиції з вапном досягнуто високої ефективності пом'якшення води при зниженні залишкових концентрацій алюмінію в пом'якшеній воді до 0,0–6,5 мг/дм³. Показано, що при застосуванні магнетиту, насиченого іонами жорсткості, підвищується ефективність освітлення води при її пом'якшенні.

Ключові слова: пом'якшення води, вапно, фосфат натрію, фторид натрію, гідроксоалюмінат натрію.

Водные экосистемы Украины несмотря на снижение объемов производства испытывают постоянно возрастающие антропогенные нагрузки. Экологическое благополучие водных экосистем в значительной мере определяется стойким водным менеджментом, направленным на создание и развитие малоотходных замкнутых систем водопотребления, предотвращение сброса загрязняющих веществ в водные объекты, создание ресурсосберегающих технологий.

В значительной мере рациональное использование воды в промышленности и энергетике зависит от эффективности подготовки воды, в частности, от эффективности умягчения и осветления воды. Использование природной воды без предварительного кондиционирования в системах охлаждения приводит к преждевременному выходу из строя теплообменников, конденсаторов, трубопроводов. При этом значи-

тельное количество воды сбрасывается в водоемы при продувке системы, что приводит к тепловому загрязнению водоемов, кроме того, резко возрастает забор природной воды.

В случае неэффективного реагентного умягчения воды, которая подается на ионообменные установки умягчения и обессоливания, возрастает нагрузка на ионообменные фильтры, резко повышается расход реагентов на регенерацию ионообменных смол и значительно возрастают объемы жидких отходов, которые образуются за счет отработанных регенерационных растворов и промывных вод. В связи с этим актуальной является задача создания высокоэффективной технологии реагентного умягчения воды. Эта задача является довольно важной, если учесть, что действующие технологии позволяют снижать жесткость воды до 1,5–2,0 мг-экв/дм³, а в отдельных случаях при умягчении высокоминерализованной воды лишь до 3,5–4,0 мг-экв/дм³. Целе-

сообразность усовершенствования технологии реагентного умягчения воды заключается еще и в том, что соли жесткости в данном случае выделяются в виде нетоксичных легко утилизирующихся осадков, тогда как при ионообменном обессоливании или умягчении воды образуются значительные объемы кислых растворов или растворов хлорида натрия, которые перерабатывать значительно сложнее.

Цель работы — определение эффективности умягчения воды разными реагентами, оценка их влияния на эффективность умягчения и осветления воды, создание эффективной технологии реагентного умягчения воды.

В качестве реагентов в данном случае использовались известь, о-фосфат натрия, фторид натрия и гидроксоалюминат натрия. Выбор реагентов обусловлен тем, что фосфат натрия образует малорастворимые соли кальция и магния в слабощелочной и щелочной среде, фториды кальция и магния практически нерастворимы в воде, а алюминат натрия может быть осадителем ионов жесткости, а также коагулянтом. Гидроксоалюминат натрия получали при растворении гидроксида алюминия в 70 %-м растворе щелочи при использовании 15–20 %-го избытка щелочи.

Процессы умягчения воды изучали на киевской водопроводной воде, которая имела сле-

дующие характеристики: рН 7,34; жесткость — 5,0 мг-экв/дм³; щелочность — 4,5 мг-экв/дм³; содержание хлоридов — 22 мг/дм³; сульфатов — 34 мг/дм³; железа — 0,5 мг/дм³; общее содержание солей — 270 мг/дм³.

При проведении исследований в пробы воды добавляли рассчитанное количество реагента при перемешивании. Определяли рН воды. Смесь отстаивали на протяжении 2 ч. Определяли остаточную мутность (М), рН, жесткость (Ж) воды, концентрацию ионов алюминия, фторидов, фосфатов. В отдельных опытах рН воды доводили до заданного значения известью, а потом воду обрабатывали как описано выше. На основе полученных данных рассчитывали степень умягчения воды (Z). Для интенсификации осветления в воду после внесения реагентов добавляли магнетит. Смесь отстаивали 15 мин. Определяли остаточную мутность и жесткость воды. Концентрации ионов, мутность, жесткость воды определяли по известным методикам [1].

Наиболее распространенными методами реагентного умягчения воды являются методы, основанные на использовании щелочи, соды и извести [2, 3]. Из указанных реагентов значительную эффективность умягчения обеспечивает щелочь при рН 11. Однако при этом происходит значительное подщелачивание воды, что усложняет ее дальнейшую обработку.

В работе [4] описано использование алюмината натрия в процессах умягчения воды. При этом щелочные отходы травления алюминия использовали для доведения рН воды до заданных значений. Высокую эффективность процесса в данном случае можно объяснить не только переходом гидрокарбонатов в карбонаты и гидролизом солей магния, но и образованием малорастворимых алюминатов кальция и магния. Поэтому в данной работе была определена эффективность умягчения водопроводной воды в зависимости от дозы алюмината натрия. Для сравнения были использованы фторид и фосфат натрия, которые также с ионами жесткости образуют нерастворимые соединения. Как видно из табл.1, алюминат натрия был малоэффективным при использовании в дозах до 2,0 мг-экв/дм³. Очевидно, это связано с низкими значениями

Таблица 1. Влияние типа и дозы реагента на эффективность умягчения и осветления воды

Доза реагента, мг-экв/дм ³	рН		Ж, мг-экв/дм ³	Остаточная концентрация, мг/дм ³			М, мг/дм ³	Z, %
	начальный	конечный		Al ³⁺	F ⁻	PO ₄ ³⁻		
Реагент NaAl(OH) ₄								
0,1	8,48	8,00	4,5	2,05	—	—	0,0	10,0
0,3	8,91	8,65	3,5	3,10	—	—	11,0	30,0
0,5	9,34	9,01	3,4	6,50	—	—	8,0	32,0
1,0	9,79	9,52	3,3	15,50	—	—	8,5	34,0
2,0	10,36	9,76	1,5	35,50	—	—	19,5	70,0
4,0	11,27	10,50	0,2	105,00	—	—	39,0	96,0
Реагент Na ₃ PO ₄								
0,5	7,82	7,76	4,0	—	—	1,35	0,0	20,0
1,0	8,18	8,10	4,0	—	—	2,37	0,0	20,0
2,0	8,47	8,32	4,0	—	—	93,45	0,0	20,0
4,0	8,88	8,49	2,5	—	—	123,01	5,0	50,0
Реагент NaF								
0,5	7,48	7,52	5,0	—	12,30	—	0,0	0,0
1,0	7,38	7,59	3,8	—	8,70	—	2,5	24,0
2,0	7,58	7,73	3,8	—	15,20	—	0,0	24,0
4,0	7,60	7,77	3,8	—	53,75	—	0,0	24,0

Примечание. Начальная жесткость Ж_н = 5,0 мг-экв/дм³

pH (8,48–9,79). Лишь при pH 10,36 степень умягчения достигла 70 %, а при увеличении pH до 11,27 – 96 %.

Относительно низкую эффективность алюмината натрия при pH < 10,0 можно объяснить тем, что при этих условиях происходил гидролиз алюмината с образованием гидроксида алюминия. Количество образованной при гидролизе щелочи было недостаточное для эффективного умягчения воды, а количество алюмината, который способен связывать ионы жесткости, также снижалось в результате гидролиза. При дозе алюмината натрия 4,0 мг-экв/дм³ (pH 11,27), очевидно, происходили эффективное преобразование гидрокарбонатов кальция в нерастворимые карбонаты и гидролиз солей магния с образованием нерастворимого гидроксида магния. Концентрация алюмината была достаточной для связывания остальных ионов жесткости в нерастворимые соединения.

Значительно менее эффективным реагентом для умягчения воды был о-фосфат натрия. Лишь при добавлении 4,0 мг-экв/дм³ реагента степень умягчения достигала 50 %. Очевидно, это связано с низкими значениями pH, которые не превышали 8,88 при использовании фосфата натрия. В данном случае не происходило существенного превращения гидрокарбонатов в карбонаты, не проходил и гидролиз солей магния. Для данного процесса необходимо pH ≈ 11,0.

Умягчение происходило лишь за счет образования малорастворимых фосфатов кальция и магния.

При использовании фторида натрия pH воды практически не изменялось при повышении дозы от 0,5 до 4,0 мг-экв/дм³. Незначительное умягчение воды происходило за счет образования малорастворимых фторидов кальция и магния. При этом степень умягчения не превышала 24 %. После умягчения воды наблюдалось определенное повышение pH среды, что связано с частичным переходом гидрокарбонатов кальция и магния в гидрокарбонат натрия.

В целом использованные реагенты характеризовались невысокой эффективностью умягчения воды (за исключением алюмината натрия) и значительным вторичным загрязнением воды. При использовании алюмината натрия остаточная концентрация алюминия с повышением дозы реагента достигла 105 мг/дм³. При применении фосфата натрия остаточная концентрация фосфатов достигла 123 мг/дм³, а при применении фторида натрия концентрация фторидов достигла 54 мг/дм³. Если фосфаты или ионы алюминия могут быть ингибиторами коррозии металлов в системах охлаждения [5, 6], то наличие фторидов совсем нежелательно. При снижении pH воды возможен гидролиз ионов алюминия с повышением мутности воды за счет образования гидроксида алюминия. Присутст-

Таблица 2. Влияние соотношения реагентов на эффективность умягчения и осветления воды

Доза реагента, мг-экв/дм ³			pH		Ж, мг-экв/дм ³	Остаточная концентрация, мг/дм ³			M, мг/дм ³	Z, %
NaAl(OH) ₄	Na ₃ PO ₄	NaF	начальный	конечный		Al ³⁺	F ⁻	PO ₄ ³⁻		
0,1	0,5	–	8,29	8,09	4,8	1,5	–	47,5	4,5	4,0
0,5	0,5	–	9,05	8,89	4,2	3,3	–	46,3	15,0	16,0
1,0	0,5	–	9,54	9,07	4,0	10,5	–	48,4	21,6	20,0
2,0	0,5	–	10,17	9,21	1,5	32,0	–	41,3	25,5	70,0
4,0	0,5	–	11,09	9,88	0,8	65,0	–	40,4	36,5	84,0
0,1	2,0	–	8,31	8,35	4,6	0,0	–	170,5	0,0	8,0
0,5	2,0	–	9,26	8,85	4,0	0,0	–	140,3	6,6	20,0
1,0	2,0	–	9,73	9,10	3,8	2,5	–	93,1	14,8	24,0
2,0	2,0	–	10,20	9,54	1,3	13,0	–	40,4	14,3	74,0
4,0	2,0	–	11,01	9,92	0,6	33,0	–	41,9	28,3	88,0
0,1	–	0,5	8,61	8,34	4,3	2,5	10,1	–	15,5	14,0
0,5	–	0,5	9,30	8,86	4,2	3,0	3,7	–	22,0	16,0
1,0	–	0,5	9,79	9,25	4,1	15,0	7,3	–	15,5	18,0
2,0	–	0,5	10,36	10,13	4,0	38,0	6,5	–	19,5	20,0
4,0	–	0,5	11,18	10,63	1,5	140	0,5	–	32,5	70,0
0,1	–	2,0	8,92	8,29	3,8	5,5	27,5	–	9,5	24,0
0,5	–	2,0	9,46	9,24	3,8	4,5	28,1	–	17,5	24,0
1,0	–	2,0	9,84	9,70	2,8	11,0	10,5	–	29,0	44,0
2,0	–	2,0	10,39	10,16	2,6	38,0	7,5	–	19,5	48,0
4,0	–	2,0	11,15	10,84	1,0	50,0	6,2	–	15,0	80,0

Таблица 3. Зависимость эффективности умягчения воды известью от дозы фторида, фосфата натрия и щелочи

Доза реагента, мг-экв/дм ³	рН			Ж, мг-экв/дм ³	М, мг/дм ³	Z, %
	I	II	III			
Реагент NaF						
0,0	9,0	–	8,93	4,5	7,0	10,0
0,1	9,0	9,00	8,46	4,5	160,0	10,0
0,3	9,0	9,02	8,73	4,4	65,0	12,0
0,5	9,0	9,00	8,77	4,4	45,0	12,0
1,0	9,0	9,00	8,96	4,2	35,0	16,0
0,0	9,5	–	8,56	3,2	9,0	36,0
0,1	9,5	9,50	8,61	3,8	87,5	24,0
0,3	9,5	9,73	9,08	3,5	140,0	30,0
0,5	9,5	9,50	8,73	3,3	35,0	34,0
1,0	9,5	9,55	8,85	3,0	45,0	40,0
0,0	10,0	–	9,36	2,4	97,5	52,0
0,1	10,0	10,03	9,27	2,5	65,0	50,0
0,3	10,0	10,00	8,88	2,4	150,0	52,0
0,5	10,0	10,04	9,14	2,1	410,0	58,0
1,0	10,0	9,95	8,87	2,0	175,0	60,0
0,0	10,5	–	9,39	2,2	65,0	56,0
0,1	10,5	10,68	8,89	1,9	245,0	62,0
0,3	10,5	10,65	8,97	1,7	925,0	66,0
0,5	10,5	10,60	8,93	1,6	175,0	68,0
1,0	10,5	10,60	9,56	1,3	325,0	74,0
Реагент Na ₃ PO ₄						
0,1	9,0	9,15	8,84	4,8	27,5	4,0
0,3	9,0	9,18	9,14	4,7	24,5	6,0
0,5	9,0	9,18	8,94	4,2	26,0	16,0
1,0	9,0	9,19	8,96	3,8	27,5	24,0
0,1	9,5	9,57	8,99	4,2	24,5	16,0
0,3	9,5	9,58	9,27	4,2	34,5	16,0
0,5	9,5	9,64	9,35	4,2	50,0	16,0
1,0	9,5	9,66	9,14	4,1	52,7	18,0
0,1	10,0	10,00	8,84	3,9	65,0	22,0
0,3	10,0	10,15	9,34	3,5	35,0	30,0
0,5	10,0	10,17	9,62	3,0	37,5	40,0
1,0	10,0	10,35	9,43	2,8	47,3	44,0
0,1	10,5	10,56	8,71	2,6	225,0	48,0
0,3	10,5	10,57	9,37	2,5	300,0	50,0
0,5	10,5	10,60	9,47	2,3	195,0	54,0
1,0	10,5	10,62	9,77	2,0	175,0	60,0
Реагент NaOH						
0,1	10,0	10,15	8,91	2,0	75,0	60,0
0,3	10,0	10,32	9,01	1,8	215,0	64,0
0,5	10,0	10,46	9,14	1,6	195,0	68,0
1,0	10,0	10,55	9,52	1,4	110,0	72,0

Примечание. I – После добавления извести; II – после добавления реагента; III – после отстаивания.

вие о-фосфатов также нежелательно из-за возможности интенсификации отложений на поверх-

ностях теплообмена и интенсификации процессов биообращения.

Как видно из табл.1, при применении фторида и фосфата натрия мутность воды изменялась мало, так как не происходило значительного умягчения воды. При использовании алюмината натрия с увеличением дозы реагента происходило повышение мутности воды до 39 мг/дм³. Очевидно, это связано с высокой эффективностью умягчения воды, с переходом основной массы солей жесткости в нерастворимое состояние. При этом за счет частичного гидролиза алюмината натрия происходило коагулирование нерастворимых примесей. Именно поэтому со снижением рН, когда гидролиз проходил эффективнее, мутность отстоявшейся воды уменьшалась.

Учитывая то, что ионы алюминия образуют нерастворимые фосфаты и фториды, целесообразно было изучить эффективность композиций алюмината натрия с фосфатом или фторидом натрия при умягчении воды. В этом случае можно надеяться наряду с умягчением воды достичь снижения остаточной концентрации ионов алюминия. Как видно из табл.2, использование алюмината натрия с фторидом натрия позволило в определенной мере снизить остаточное содержание алюминия, тем не менее эффективность умягчения воды снизилась. Неэффективным было использование алюмината натрия и в композиции с фосфатом натрия.

Так как при использовании фосфата натрия мало возрастал рН среды при применении в дозах от 0,5 до 4,0 мг-экв/дм³, а при использовании фторида натрия рН практически не изменялся при использовании в тех же дозах, то было интересным оценить влияние этих реагентов при разных рН среды. Поэтому эти реагенты добавляли в воду в дозах от 0,1 до 1,0 мг-экв/дм³ при доведении рН до 9,0; 9,5; 10,0; 10,5 с помощью извести.

Как видно из табл.3, фторид натрия мало повышал эффективность умягчения воды известью. При рН 9,0–10,0 повышение эффективности умягчения достигает лишь 4–8 %, а при рН 10,5 – 18 %. Так же малоэффективным было использование о-фосфата натрия при рН 9,0–10,5. При добавлении щелочи к воде, доведенной известью до рН 10,0, было отмечено повышение эффективности умягчения воды до 72 % при достижении рН 10,55, а при рН 11,16 степень умягчения воды достигала 86,0 % при снижении жесткости воды до 0,7 мг-экв/дм³. Очевидно, что использование фосфата и фторида натрия для умягчения воды нецелесообразно. Более эффективным является использование композиций извести и щелочи.

Значительно лучшие результаты получены при использовании композиций извести и алюмината натрия (табл.4). При добавлении алю-

Таблица 4. Влияние алюмината натрия на эффективность умягчения воды известью

Доза реагента, мг-экв/дм ³	рН			Ж, мг-экв/дм ³	[Al ³⁺], мг/дм ³	М, мг/дм ³	Z, %
	I	II	III				
0,0	9,0	–	8,93	4,5	–	7,0	10,0
0,1	9,0	9,38	8,79	3,8	2,5	0,0	24,0
0,3	9,0	9,67	8,76	2,4	2,5	43,0	52,0
0,5	9,0	9,90	8,81	2,3	4,0	75,0	54,0
1,0	9,0	10,04	9,08	1,9	4,5	20,0	62,0
0,0	9,5	–	8,56	3,2	–	9,0	36,0
0,1	9,5	9,60	8,60	3,1	0,0	28,0	38,0
0,3	9,5	9,85	8,64	2,0	2,5	97,5	60,0
0,5	9,5	10,14	9,16	1,5	2,5	30,0	70,0
1,0	9,5	10,34	9,51	1,2	5,0	35,0	76,0
0,0	10,0	–	9,36	2,4	–	97,5	52,0
0,1	10,0	10,27	8,35	2,0	3,5	97,7	60,0
0,3	10,0	10,43	8,70	1,6	4,5	87,5	68,0
0,5	10,0	10,79	8,82	1,0	3,5	87,5	80,0
1,0	10,0	10,89	9,40	0,5	6,5	110,0	90,0
0,0	10,5	–	9,39	2,2,	–	65,0	56,0
0,1	10,5	10,85	8,95	1,2	0,0	75,0	76,0
0,3	10,5	10,68	9,15	1,0	0,0	225,0	80,0
0,5	10,5	11,02	9,64	0,8	1,5	220,5	84,0
1,0	10,5	11,32	10,17	0,2	5,2	74,7	96,0

Примечание. I – После добавления извести; II – после добавления алюмината натрия; III – после отстаивания.

мината натрия в дозах 0,1–1,0 мг-экв/дм³ в воду, рН которой был доведен известью до 9,0–10,5, эффективность умягчения воды повысилась на 40–50 % и была достигнута степень умягчения 96,0 % при начальном рН воды 10,5 и дозе алюмината натрия 1,0 мг-экв/дм³. В этом случае было достигнуто снижение жесткости воды до 0,2 мг-экв/дм³. Такую воду можно использовать в котлах низкого давления без дополнительного умягчения. При обессоливании такой воды значительно снижается нагрузка на катионные фильтры 1-й ступени, регенерация которых обычно требует большого расхода кислоты. Удельный расход кислоты при регенерации таких фильтров составляет 2,5–3,5 г-экв на 1 г-экв емкости катионита.

Важным является существенное снижение остаточного содержания алюминия при умягчении воды известью и алюминатом натрия. В отдельных случаях ионы алюминия в умягченной воде отсутствовали. Максимальное содержание алюминия в обработанной воде не превышало 6,5 мг/дм³. Это относительно невысокие концентрации для технической воды. Кроме того, при снижении рН воды за счет абсорбции из воздуха углекислоты концентрация ионов снижалась до значений менее 0,5 мг/дм³. В невысоких концентрациях ионы алюминия в системах охлаждения являются ингибиторами корро-

зии металлов [5]. При использовании умягченной воды в системах охлаждения отпадает необходимость в сбрасывании воды в водоемы при продувке системы. В данном случае переходят к работе в замкнутом режиме, поэтому исключается вредное влияние ионов алюминия на природные водоемы.

Несмотря на то, что алюминат натрия может выступать как коагулянт, мутность воды при его использовании после обработки воды известью возрастает. Конечно, это обусловлено значительным повышением эффективности умягчения воды. В отдельных случаях мутность воды настолько высокая, что это может создавать определенные проблемы при осветлении воды. При использовании магнетита эффективность осветления воды при ее умягчении существенно возрастает [7]. Поэтому нами проведено умягчение воды известью и алюминатом натрия при использовании магнетита в дозах

Таблица 5. Зависимость эффективности умягчения и осветления воды известью от дозы алюмината натрия и магнетита

NaAl(OH) ₄ , мг-экв/дм ³	рН		Ж, мг-экв/дм ³	[Al ³⁺], мг/дм ³	М, мг/дм ³	Z, %
	I	II				
Доза магнетита 0,10 г/дм ³						
0,0	9,97	8,72	2,8	–	290,0	44,0
0,1	10,03	8,82	2,2	0,0	320,0	56,0
0,3	10,11	9,07	2,1	2,0	195,0	58,0
0,5	10,17	9,31	1,3	5,5	520,0	74,0
1,0	10,42	9,89	1,2	12,0	345,0	76,0
Доза магнетита 0,25 г/дм ³						
0,0	10,02	9,26	2,2	–	260,0	56,0
0,1	10,23	9,55	2,1	0,5	430,0	58,0
0,3	10,31	9,83	1,5	2,5	730,0	70,0
0,5	10,56	10,14	1,3	7,0	450,0	74,0
1,0	10,75	10,21	0,5	14,5	365,0	90,0
Доза магнетита 7,00 г/дм ³						
0,0	10,16	8,44	3,4	–	195,0	32,0
0,1	10,31	8,32	2,6	0,0	172,0	48,0
0,3	10,32	8,43	2,3	0,0	141	54,0
0,5	10,44	8,64	1,2	0,0	475,0	76,0
1,0	10,54	8,72	1,0	0,0	365,0	80,0
Доза магнетита 7,00* г/дм ³						
0,0	9,92	9,74	3,5	–	45,0	30,0
0,1	10,04	9,57	2,5	2,0	120,0	50,0
0,3	10,26	9,93	1,5	2,6	87,0	70,0
0,5	10,30	9,99	1,2	2,7	75,0	76,0
1,0	10,50	10,03	0,7	7,5	107,0	86,0

Примечание. Везде после добавления извести рН 10; I – после добавления реагента; II – после отстаивания. * Магнетит, насыщенный ионами жесткости.

0,1; 0,25; 7,0 г/дм³ (табл.5). Время отстаивания в данном случае сократили до 15 мин.

По всей видимости, эффективность осветления воды мало зависит от дозы магнетита, а эффективность умягчения воды при его применении немного снижается. При высокой дозе магнетита отмечено полное удаление из воды ионов алюминия. Очевидно, значительное количество алюмината в данном случае сорбируется магнетитом, что является причиной снижения эффективности умягчения воды. Лучшие результаты получены при применении магнетита, полученного в присутствии ионов кальция и магния. При обработке щелочью раствора солей железа (II) и железа (III) в присутствии в высоких концентрациях ионов кальция и магния образовался магнетит, насыщенный ионами жесткости. При использовании такого магнетита была достигнута высокая эффективность умягчения и осветления воды. Концентрация ионов алюминия достигала 2,0–7,5 мг/дм³.

Из полученных результатов видно, что при использовании алюмината натрия для умягчения воды методом известкования возможно снизить остаточную жесткость воды с 2,0–2,5 до 0,2–0,7 мг-экв/дм³. При этом возможно достичь значительного повышения эффективности умягчения воды без смены оборудования и без существенных изменений режима работы на предприятии осветлителей воды.

Таким образом, в результате исследований была проведена оценка эффективности разных реагентов при умягчении воды. Было показано, что при использовании фосфата и фторида натрия не отмечено существенного повышения эффективности умягчения воды при использовании их в дозах от 0,1 до 4,0 мг-экв/дм³ при

pH воды 9,0–10,5. Значительно высокую эффективность умягчения воды обеспечивает алюминат натрия, который снижает жесткость воды до 0,2–0,7 мг-экв/дм³ при дозе 1,0 мг-экв/дм³ и pH воды 10,0–10,5. Установлено, что магнетит мало влияет на эффективность осветления. Эффективность осветления существенно возрастает при использовании магнетита, насыщенного ионами жесткости.

Список литературы

1. Когановский Л.А., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. — Киев : Наук. думка, 1980. — Т. 1. — 680 с.
2. Пилипенко А.Т., Вахнин И.Г., Максин В.И., Самченко З.А. Методы предотвращения накипеобразования при опреснении соленых вод // Химия и технология воды. — 1991. — Т. 13, № 11. — С. 996–1013.
3. Гнусин Н.П., Тихонова И.А., Лукнаец И.Г. Соосаждение кальция и магния при щелочном умягчении пресных вод // Там же. — 1989. — Т. 11, № 5. — С. 421–424.
4. Гомеля М.Д., Шаблій Т.О., Находько Ю.В. Пом'якшення води відпрацьованими лужними розчинами травлення алюмінію // Екотехнології і ресурсосбереження. — 1999. — № 4. — С. 43–46.
5. Гомеля М.Д., Шаблій Т.О., Смола О.В. Вплив іонів кальцію, магнію та алюмінію на корозію сталі у воді // Там же. — 2000. — № 2. — С. 18–21.
6. Гомеля М.Д., Шаблій Т.О., Тищенко Т.С. Зниження корозійної агресивності води при її пом'якшенні // Наук. вісті НТУУ «КПІ». — 1999. — № 1. — С. 156–160.
7. Терновцев В.Е., Пухачев В.М. Очистка промышленных сточных вод. — Киев : Будивэльнык, 1986. — 120 с.

Поступила в редакцию 19.02.09

The Efficient Technology of Water Demineralization for Industrial Water Consumption Development

Shabliy T.A., Makarenko I.M., Goltvianyska O.V.

National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev

The processes of water demineralization with lime, phosphate, fluoride and sodium aluminium hydroxide application are investigated. It is displayed, that phosphate and sodium fluoride are ineffective for water demineralization in doses from 0,5 to 4,0 mg-eq/dm³. They are also ineffective at use in compositions with lime at pH 9,0–10,5. It is determined that sodium aluminate provides effective water demineralization but essentially promotes the secondary pollution by aluminium ions. High performance of water demineralization by sodium aluminate with lime composition application is achieved. The residual aluminium concentration in demineralized water ranged between 0,0–6,5 mg/dm³. It is exhibited that magnetite saturated with rigidity ions application increases water clarification and demineralization efficiency.

Key words: water demineralization, lime, sodium phosphate, sodium fluoride, sodium aluminium hydroxide.

Received February 19, 2009