

*Е.В. ГОЛТВЯНИЦКАЯ*, асп., НТУ «КПИ», Киев,  
*Т.А. ШАБЛИЙ*, канд. техн. наук, доц., НТУ «КПИ», Киев,  
*Н. Д. ГОМЕЛЯ*, д-р, техн. наук, проф., зав. каф., НТУ «КПИ», Киев

## **ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩИХ КОАГУЛЯНТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАГЕНТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ДОНБАССА**

В роботі приведена оцінка ефективності лужних реагентів при пом'якшенні води. Показано, що сумісне використання алюмініймістких коагулянтів і лужних реагентів значно збільшує ефективність пом'якшення води. Ефективність процесу залежить від співвідношення реагентів. Ключові слова: реагентне пом'якшення води, алюмініймісткі коагулянти.

В работе приведена оценка эффективности щелочных реагентов при умягчении воды. Показано, что совместное использование алюминийсодержащих коагулянтов и основных реагентов существенно увеличивает эффективность умягчения воды. Эффективность процесса зависит от соотношения реагентов.

Ключевые слова: реагентное умягчение воды, алюминийсодержащие коагулянты.

The effectiveness of alkaline reagents for water softening was estimated in this work. It is shown that simultaneous usage of aluminium-containing coagulants with alkaline reagents significantly increases the efficiency of water softening. Efficiency of the process depends on the ratio of the reactants.

Key words: reagent water softening, aluminum-containing coagulants.

### **Введение**

Несмотря на широкое применение сегодня современных методов кондиционирования воды, таких как нанофильтрация, обратный осмос, электродиализ, ионный обмен, реагентные методы не теряют своего значения. Главным преимуществом реагентного умягчения является то, что ионы жесткости переводятся в нерастворимое состояние и утилизируются в виде нерастворимых осадков. С другой стороны, существующие реагентные методы умягчения природных вод недостаточно эффективны при использовании традиционных реагентов – извести, соды, щелочи или их композиций [1,2]. При умягчении пресных вод остаточная жесткость воды достигает 1.5-2.5 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а при умягчении вод с повышенным уровнем минерализации (> 1000 мг/дм<sup>3</sup>), как известно с опыта эксплуатации станций реагентного умягчения воды на предприятиях Донбасса, остаточная жесткость достигает 3-4 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а в некоторых случаях превышает 10 мг-экв/дм<sup>3</sup> [3]. Неэффективным было использование о-фосфата натрия [4]. При использовании алюмината натрия происходит существенное увеличение остаточной щелочности воды.

Поэтому целью данной работы было изучение влияния различных реагентов на эффективность умягчения воды, определение условий глубокого умягчения воды и снижения ее щелочности.

### **Методы и результаты эксперимента**

При изучении процессов реагентного умягчения воды наряду со щелочью, известью, содой использовали алюминийсодержащие коагулянты РИКС-А0,

РИКС-А1, РИКС-А2, сульфат железа (II), анионный флокулянт «Полиакрилат» - гидролизированный на 70 % полиакриламид, и катионный флокулянт ВПК-402 (полидиаллилдиметиламмоний хлорид).

Объектами исследования были выбраны воды с повышенной жесткостью и минерализацией из р. Северский Донец, отобранные в области г. Северодонецк.

Воду умягчили при обработке ее основными реагентами. После введения реагентов при перемешивании определяли начальные значения pH среды. После отстаивания в течении двух часов воду фильтровали и определяли остаточное pH среды, содержание ионов жесткости и щелочность. При использовании РИКС определяли остаточное содержание алюминия, а при использовании сульфата железа определяли остаточное содержание железа.

Результаты по оценке эффективности реагентов при умягчении воды из р. Северский Донец приведены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость эффективности умягчения воды из р. Северский Донец ( $J = 9.0$  мг-экв/дм<sup>3</sup>,  $[Ca^{2+}] = 5.8$  мг-экв/дм<sup>3</sup>,  $[Mg^{2+}] = 3.2$  мг-экв/дм<sup>3</sup>,  $Щ = 6.0$  мг-экв/дм<sup>3</sup>) от типа и дозы реагентов, дозы коагулянта РИКС-А0

№ п/п	Реагент	Расход, мг/дм <sup>3</sup>	Ж, мг-экв/дм <sup>3</sup>	С, мг-экв/дм <sup>3</sup>		[Al <sup>3+</sup> ], мг/дм <sup>3</sup>	Щ, мг-экв/дм <sup>3</sup>		pH		Z, %
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		гидр.	общ.	нач.	кон.	
1.	CaO	262	5.9	2.5	3.4	-	-	2.5	10.0	8.6	34.4
2.	CaO	298	5.8	2.8	3.0	-	-	2.6	10.5	8.3	35.6
3.	CaO;NaOH	260;61	3.5	1.6	1.9	-	-	2.1	11.0	9.9	61.1
4.	CaO;Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	260;160	3.7	1.7	2.0	-	-	4.0	10.5	8.5	58.9
5.	CaO;Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	280;160	2.6	1.5	1.1	-	-	2.7	11.1	9.5	71.1
6.	NaOH	137	4.3	1.5	2.8	-	-	5.0	10.0	9.2	52.2
7.	NaOH	186	3.8	0.8	3.0	-	-	5.0	10.5	9.3	57.8
8.	NaOH	298	2.2	0.1	2.1	-	-	6.0	11.1	9.7	75.6
9.	CaO;РИКС-А0	260;118	2.9	2.3	0.6	0.5	-	2.5	10.7	7.6	67.8
10.	NaOH; РИКС-А0	137;118	1.9	0.3	1.6	1.4	-	4.0	10.3	8.3	78.9
11.	NaOH; РИКС-А0	186;118	0.9	0.1	0.8	0.3	-	4.0	10.8	8.2	90.0
12.	CaO;Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ; РИКС-А0	260;240;130	0.5	0.0	0.5	7.5	2.5	7.3	10.5	9.5	94.4
13.	CaO;РИКС-А0; Полиакрилат	260;118;2	3.1	2.7	0.4	6.8	-	1.0	10.5	8.7	65.6
14.	CaO;РИКС-А0; ВПК-402	260;118;2	2.9	2.9	0.0	4.8	-	0.8	10.5	9.1	67.8
15.	NaOH;Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ; РИКС-А0	137;20; 40	1.4	1.3	0.1	2.0	0.0	7.0	10.5	8.1	84.4
16.	NaOH;Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ; РИКС-А0	190;25; 55	1.3	1.2	0.1	3.5	0.0	7.5	10.8	8.4	85.6
17.	NaOH;Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ; РИКС-А0	140;20; 40	0.6	0.3	0.3	6.5	0.0	6.6	10.5	8.8	93.3
18.	NaOH;Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ; РИКС-А0	190;25; 60	0.5	0.3	0.2	14.0	0.0	9.6	10.8	10.0	94.4

Как видно из таблицы 1 использование извести, щелочи, композиций извести и соды, извести и щелочи было не достаточно эффективным при pH <10.5. В этом

случае остаточная жесткость была не ниже 3.7 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а остаточная щелочность не ниже 2.5 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Снижение жесткости до 2.6 мг-экв/дм<sup>3</sup> было достигнуто при рН 11 (доза извести 260 мг/дм<sup>3</sup>, соды 160 мг/дм<sup>3</sup>), но щелочность при этом достигла 4.0 мг-экв/дм<sup>3</sup>. При дозе щелочи 298 мг/дм<sup>3</sup> остаточная жесткость снижалась до 2.2 мг-экв/дм<sup>3</sup> при остаточной общей щелочности 6.0 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Лучших результатов было достигнуто при использовании алюминийсодержащих коагулянтов РИКС. При совместном использовании извести, соды и РИКС-А0 достигнуто снижение жесткости до 0.5 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Однако при этом общая щелочность достигла 7.5 мг-экв/дм<sup>3</sup>, гидратная щелочность достигла 2.5 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а содержание алюминия в воде достигло 7.5 мг/дм<sup>3</sup>. При использовании щелочи, соды и коагулянта РИКС-А0 щелочность достигла 9.6 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а концентрация алюминия 14 мг/дм<sup>3</sup>. В целом, этот результат нельзя считать удовлетворительным. Если данную воду использовать для подпитки систем охлаждения, то можно предположить, что гидратная щелочность снизится по мере поглощения СО<sub>2</sub> из воздуха. При этом алюминий будет выступать ингибитором коррозии стали [5].

При использовании флокулянтов наряду с известью и коагулянтом РИКС-А0 было достигнуто снижение щелочности до 0.8-1.0 мг-экв/дм<sup>3</sup>, но степень умягчения при этом снизилась до 65-67 %. Неэффективным было использование в композиции фосфата натрия при рН 10.5 и 10.8.

Несколько лучших результатов было достигнуто при использовании реагентов РИКС-А1, РИКС-А2 с известью и индивидуально (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость эффективности умягчения воды из р. Северский Донец (г. Северодонецк) (Ж = 9.0 мг-экв/дм<sup>3</sup>, Щ = 6.0 мг-экв/дм<sup>3</sup>) от дозы извести и коагулянтов РИКС-А1 и РИКС-А2

№ п/п	Реагент	Расход, мг/дм <sup>3</sup>	Ж, мг-экв/дм <sup>3</sup>	С, мг-экв/дм <sup>3</sup>		[Al <sup>3+</sup> ], мг/дм <sup>3</sup>	Щ, мг-экв/дм <sup>3</sup>		рН		Z, %
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		гидр.	общ.	нач.	кон.	
1.	СаО;РИКС-А1	260;90	2.6	1.2	1.4	0.0	0.0	3.0	10.5	8.6	71.1
2.	СаО;РИКС-А2	260;210	2.0	0.7	1.3	0.0	0.0	1.5	10.5	8.6	77.8
3.	СаО;РИКС-А2	260;245	0.7	0.4	0.3	25.0	0.0	2.7	10.8	9.7	92.2
4.	СаО;РИКС-А2	260;280	0.5	0.2	0.3	24.0	0.0	3.5	11.1	9.9	94.4
5.	РИКС-А1	208	1.7	0.4	1.3	0.0	0.0	3.4	10.0	8.4	81.1
6.	РИКС-А1	340	0.5	0.1	0.4	0.0	0.0	3.7	10.5	9.2	94.4
7.	РИКС-А2	210	4.9	1.9	3.0	8.0	0.0	3.3	9.5	8.2	45.5
8.	РИКС-А2	280	1.6	0.5	1.1	5.4	0.0	3.1	10.0	8.6	82.2
9.	РИКС-А2	340	0.3	0.3	0.0	8.0	0.0	3.7	10.5	9.3	96.7

Как видно из таблицы, при использовании коагулянта РИКС-А1 было достигнуто снижение жесткости до 0.5 мг-экв/дм<sup>3</sup> при остаточной щелочности 3.7 мг-экв/дм<sup>3</sup> при отсутствии остатков алюминия в воде. При использовании только коагулянта РИКС-А2 достигнуто снижение жесткости до 0.3 мг-экв/дм<sup>3</sup>, однако при этом общая щелочность была на уровне 3.7 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а остаточное

содержание алюминия достигало  $8 \text{ мг/дм}^3$ . При использовании реагента РИКС-А2 совместно с известью жесткость снизили до  $0.5 \text{ мг-экв/дм}^3$  при остаточной щелочности  $3.5 \text{ мг-экв/дм}^3$ . Однако содержание алюминия достигло  $24 \text{ мг/дм}^3$ .

Снижения остаточной щелочности воды было достигнуто при совместном использовании реагентов РИКС-А1 и сульфата железа. В целом можно отметить, что при использовании сульфата железа в композиции с известью и реагентом РИКС-А1 происходит снижение щелочности и остаточного содержания алюминия с увеличением расхода сульфата железа. Это можно объяснить процессом гидролиза сульфата железа, когда выделившаяся серная кислота взаимодействует с карбонатом или алюминатом натрия. Последний образуется из алюминия в щелочной среде. Однако при подкислении воды с увеличением дозы сульфата железа происходит увеличение остаточной жесткости умягченной воды вследствие растворения ионов кальция и магния. К лучшим результатам можно отнести данные, полученные при использовании извести, РИКС-А1 и сульфата железа, когда жесткость снижается до  $0.5-0.9 \text{ мг-экв/дм}^3$  при остаточной общей щелочности  $0.9-2.0 \text{ мг-экв/дм}^3$  при содержании алюминия  $0.5-1.6 \text{ мг/дм}^3$ .

В случае использования РИКС-А2 в отдельных опытах щелочность снижалась только до  $3.0-4.0 \text{ мг-экв/дм}^3$  при содержании алюминия до  $7 \text{ мг/дм}^3$ . В отдельных случаях отмечено снижение жесткости до  $0.6-0.9 \text{ мг-экв/дм}^3$  при щелочности  $1.8-3.0 \text{ мг-экв/дм}^3$  и содержании алюминия  $0.0-5.0 \text{ мг/дм}^3$ .

### **Выводы**

Изучены процессы умягчения воды с уровнем жесткости  $3-8 \text{ мг-экв/дм}^3$  и показано, что существенного повышения эффективности процесса можно достичь при использовании совместно с известью или щелочью алюминийсодержащих коагулянтов РИКС-А1, РИКС-А2. Эффективность умягчения воды при относительно невысокой остаточной щелочности воды и низком остаточном содержании алюминия можно достичь при подборе оптимальных соотношений известь-коагулянт и при использовании сульфата железа.

**Список 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. *Макаренко И.Н.* Применение гидроксоалюмината натрия при кондиционировании воды для систем охлаждения в промышленности и энергетике / И.Н. Макаренко, Т.А. Шаблий, Т.В. Крысенко // Химия и технология воды. – 2009. – Т.31, № 5. – С.542–551. 4. *Шаблий Т.А.* Разработка эффективной технологии умягчения воды для промышленного водопотребления / Т.А. Шаблий, И.Н. Макаренко, Е.В. Голтвяницкая // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. - № 1. – С. 53–58. 5. *Гомеля Н.Д.* Влияние ионов кальция, магния и алюминия на коррозию стали в воде / Н.Д. Гомеля, Т.А. Шаблий, О.В. Смола // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 2. – С.18–21.

*Поступила в редколлегию 25.04.2011*