

УДК 628.162

## РЕАГЕНТНЕ ПОМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЮМІНІЙМІСТКИХ КОАГУЛЯНТІВ

Т. О. Шаблій, О. В. Голтвяницька, В. С. Камась, М. Д. Гомеля

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

e-mail: [tania1@voliacable.com](mailto:tania1@voliacable.com)

*В роботі приведено результати по визначенню ефективності алюмініймістких коагулянтів при пом'якшенні води. Показано, що при застосуванні вапна, соди та луку ефективність пом'якшення води низька. При застосуванні основних реагентів з алюмініймісткими коагулянтами ступінь пом'якшення зростає в 2-8 разів при невисоких значеннях залишкової лужності. Ефективність процесу залежить від витрати та співвідношення реагентів.*

*Ключові слова: реагентне пом'якшення води, ступінь пом'якшення, алюмініймісткі коагулянти, вапно.*

### Вступ

В ряду відомих сучасних методів кондиціонування води, таких як іонний обмін, нанофільтрування, зворотній осмос та електродіаліз, реагентні методи пом'якшення води займають важливе місце. У випадку застосування іонного обміну та мембранних методів очищення води завжди утворюються значні об'єми рідких відходів (відпрацьованих регенераційних розчинів або концентратів), які складно переробляти. Крім того, дані методи неможливо використовувати принаймні без попереднього ефективного освітлення води. В той же час, при застосуванні реагентних методів освітлення та пом'якшення води домішки виділяються у вигляді нетоксичних нерозчинних осадів, які після зневоднення на фільтр-пресах можна використовувати у виробництві будівельних матеріалів або ж розміщувати на звалищах. Крім того, очисні споруди, що застосовуються при реагентному кондиціонуванні води, характеризуються високою продуктивністю, простотою обслуговування, високою ефективністю, що в цілому забезпечує низьку собівартість очищення води.

З іншої сторони, класичні технології реагентного пом'якшення води недостатньо ефективні [1, 2]. Їх ефективність знижується при підготовці вод з підвищеним рівнем мінералізації. Так, якщо при пом'якшенні прісних вод із застосуванням вапна та соди або луку залишкова жорсткість знижується до 1.5 - 2.5 мг-екв/дм<sup>3</sup>, то при пом'якшенні вод з підвищеним рівнем мінералізації (> 1000 мг/дм<sup>3</sup>), як відомо з досвіду експлуатації станцій водоочиснення ряду підприємств Донбасу, залишкова жорсткість сягає 3 - 4 мг-екв/дм<sup>3</sup>, а ступінь пом'якшення не перевищує 50 % [3]. При проведенні процесу при рН < 11 неефективним є використання фосфату натрію [4]. При використанні алюмінату натрію відбувається суттєве підвищення залишкової лужності води та зростає залишковий вміст алюмінію у пом'якшеній воді [5].

Тому метою даної роботи було визначення впливу алюмініймістких коагулянтів на ефективність реагентного пом'якшення води, визначення умов глибокого пом'якшення води, зниження її лужності.

### Методика експерименту

При дослідженні процесів реагентного пом'якшення води крім луку, вапна та соди використовували алюмініймісткі коагулянти РИКС-А1 та РИКС-А2.

Об'єктами досліджень були вода із р. Сіверський Донець (м. Лисичанськ) (Ж = 7.45 мг-екв/дм<sup>3</sup>, [Ca<sup>2+</sup>] = 4.45 мг-екв/дм<sup>3</sup>, [Mg<sup>2+</sup>] = 3.0 мг-екв/дм<sup>3</sup>, Л = 3.06 мг-екв/дм<sup>3</sup>) та водопровідна вода м. Києва (Ж = 3.10 мг-екв/дм<sup>3</sup>, [Ca<sup>2+</sup>] = 2.24 мг-екв/дм<sup>3</sup>, [Mg<sup>2+</sup>] = 0.86 мг-екв/дм<sup>3</sup>, Л = 3.06 мг-екв/дм<sup>3</sup>, [Cl<sup>-</sup>] = 23 мг/дм<sup>3</sup>, [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] = 33 мг/дм<sup>3</sup>).

Воду пом'якшували при обробці її основними реагентами. Після додавання реагентів при перемішуванні визначали початкові значення рН середовища. Суміш відстоювали протягом 2 годин. Освітлену воду пропускали через паперовий фільтр «синя стрічка» та визначали залишкове значення рН, вміст іонів жорсткості (Ж), лужність (Л). В разі використання коагулянтів типу РИКС-А визначали залишковий вміст алюмінію у воді.

В роботі реагенти використовували в розчиненому стані, включаючи і вапно. У випадку вапна воду змішували з СаО, добре перемішували, відстоювали і в освітленому шарі визначали концентрацію Са(ОН)<sub>2</sub> по вмісту кальцію та по лужності. Розчин зберігали в щільно закритому посуді, щоб уникнути поглинання СО<sub>2</sub> з атмосферного повітря. Це дозволяло чітко дозувати реагенти в воду при її пом'якшенні.

### Результати та їх обговорення

Результати по пом'якшенню водопровідної води приведені в табл. 1. Як видно з табл. 1, ефективність пом'якшення води вапном була невисокою незалежно від дози. Ступінь пом'якшення не перевищувала 38 %. Із збільшенням витрати вапна спостерігалось певне зниження концентрації іонів магнію, проте при максимальній витраті вапна зростає концентрація іонів кальцію та залишкова лужність води. Кращі результати отримано при використанні алюмініймісткого реагенту РИКС-А1, витраті вапна 77 та 83 мг/дм<sup>3</sup> та при витраті коагулянту до 91 мг/дм<sup>3</sup>. В даному випадку жорсткість води знижувалась до 0.15 - 0.85 мг-екв/дм<sup>3</sup> при лужності води 1.5 - 2.0 мг-екв/дм<sup>3</sup> (табл. 1, рис. 1). Залишковий вміст алюмінію не перевищував 1.3 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2). Алюміній не заважає в системах охолодження [6], але при іонообмінному знесоленні води він негативно впливає на роботу катіонообмінних фільтрів.

Таблиця 1. Залежність пом'якшення водопровідної води (Ж = 3.10 мг-екв/дм<sup>3</sup>, Л = 3.06 мг-екв/дм<sup>3</sup>) від витрати вапна та реагенту РИКС-А1

№ п/п	Реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	рН		Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Л, мг-екв/дм <sup>3</sup>	С, мг-екв/дм <sup>3</sup>		[Al <sup>3+</sup> ] <sub>з</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Z, %
			поч.	кінц.			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
1.	СаО	66	10.28	9.60	2.17	1.5	1.33	0.84	-	30.0
2.	СаО	77	10.70	10.32	2.24	1.8	1.50	0.74	-	27.7
3.	СаО	83	10.80	9.95	2.41	2.3	1.80	0.61	-	22.3
4.	СаО	88	10.80	10.55	1.92	1.7	1.23	0.69	-	38.1
5.	СаО	99	10.88	10.10	2.21	2.0	1.54	0.67	-	28.7
6.	СаО	105	10.95	10.25	2.23	2.1	1.54	0.69	-	28.1
7.	СаО	110	10.97	10.35	2.22	1.7	1.70	0.52	-	28.4
8.	СаО	116	11.05	10.25	2.10	1.8	1.65	0.45	-	32.6
9.	СаО	121	11.15	10.40	2.30	2.4	2.00	0.30	-	25.8
10.	СаО; РИКС-А1	66;65	10.80	10.15	0.84	1.9	0.62	0.22	0.0	72.9
11.	СаО; РИКС-А1	66;91	10.95	10.50	1.05	2.4	0.79	0.26	0.5	66.1
12.	СаО; РИКС-А1	66;195	11.25	11.10	0.85	2.8	0.56	0.29	4.5	72.6
13.	СаО; РИКС-А1	77;65	11.10	10.05	0.75	2.0	0.50	0.25	0.0	75.8
14.	СаО; РИКС-А1	77;130	11.40	10.15	0.15	3.3	0.09	0.06	0.3	95.2
15.	СаО; РИКС-А1	77;156	11.50	10.10	0.14	3.8	0.05	0.09	2.5	95.5
16.	СаО; РИКС-А1	83;65	11.10	8.44	0.66	1.5	0.61	0.05	0.2	78.7
17.	СаО; РИКС-А1	83;91	11.12	8.60	0.58	1.9	0.52	0.06	1.3	81.3
18.	СаО; РИКС-А1	83;130	11.23	9.00	0.28	2.2	0.21	0.07	3.5	91.0
19.	СаО; РИКС-А1	88;91	11.25	8.84	0.97	3.0	0.97	0.00	0.0	68.7
20.	СаО; РИКС-А1	88;130	11.29	9.44	0.95	3.5	0.90	0.05	0.0	69.4
21.	СаО; РИКС-А1	88;156	11.32	9.68	0.87	4.9	0.86	0.01	2.0	71.9
22.	СаО; РИКС-А1	110;65	11.11	9.00	2.00	4.8	1.91	0.09	0.0	35.5
23.	СаО; РИКС-А1	110;130	11.42	9.25	1.52	6.4	1.48	0.04	4.5	51.0
24.	СаО; РИКС-А1	110;195	11.55	9.45	1.45	7.7	1.45	0.00	5.0	53.2

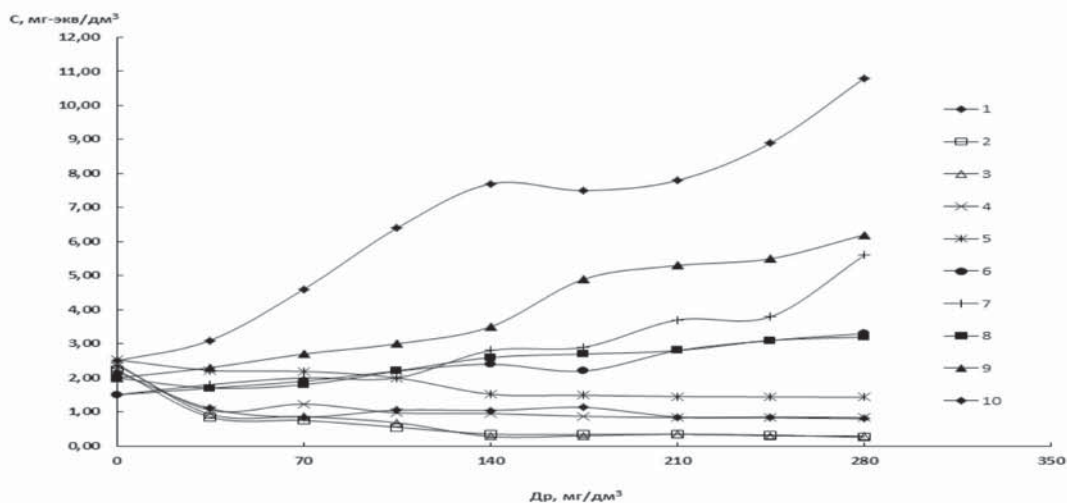


Рис. 1. Залежність залишкової жорсткості (1 - 5) та лужності (6 - 10) водопровідної води від дози реагенту РИКС-А1 при дозі вапна: 66 мг/дм<sup>3</sup> (1; 6); 77 мг/дм<sup>3</sup> (2; 7); 83 мг/дм<sup>3</sup> (3; 8); 88 мг/дм<sup>3</sup> (4; 9); 110 мг/дм<sup>3</sup> (5; 10).



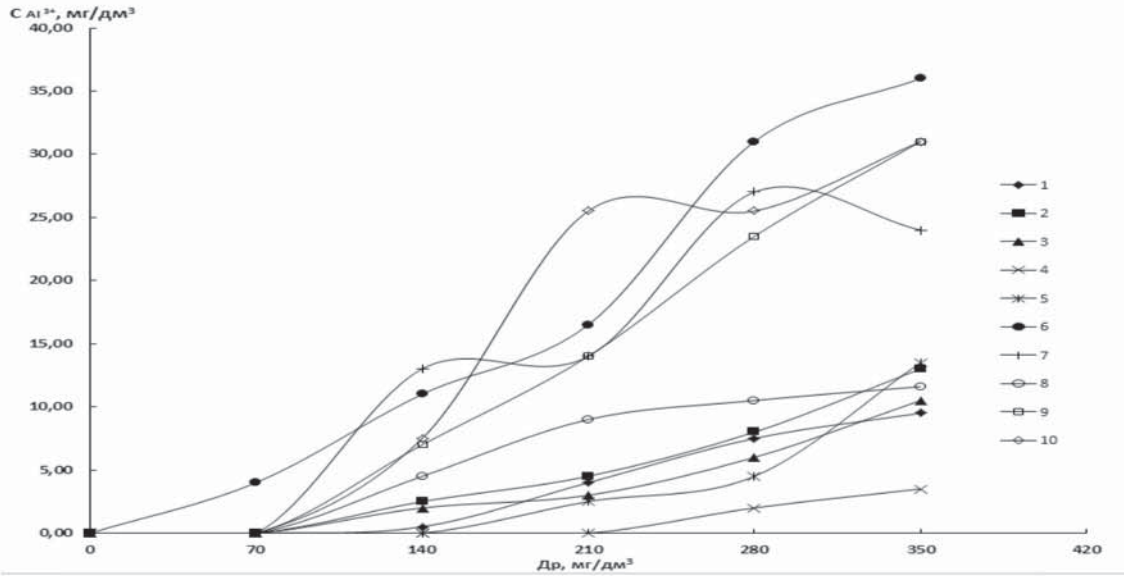


Рис. 2. Вплив реагентів РИКС-А1 (1 - 5) та РИКС-А2 (6 - 10) на залишкові концентрації алюмінію у водопровідній воді в залежності від дози вапна: 66 мг/дм<sup>3</sup> (1; 6); 77 мг/дм<sup>3</sup> (2; 7); 83 мг/дм<sup>3</sup> (3; 8); 88 мг/дм<sup>3</sup> (4; 9); 110 мг/дм<sup>3</sup> (5; 10).

Менш ефективним було використання коагулянту РИКС-А2. В даному випадку при дозах вапна на 77 та 83 мг/дм<sup>3</sup> він забезпечував ефективне пом'якшення води при дозах від 70 до 350 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 2, рис. 3).

Таблиця 2. Вплив витрати вапна та реагенту РИКС-А2 на ефективність пом'якшення водопровідної води (Ж = 3.10 мг-екв/дм<sup>3</sup>, Л = 3.06 мг-екв/дм<sup>3</sup>)

№ п/п	Реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	рН		Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Л, мг-екв/дм <sup>3</sup>	С, мг-екв/дм <sup>3</sup>		[Al <sup>3+</sup> ] <sub>з</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Z, %
			поч.	кінц.			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
1.	СаО; РИКС-А2	66; 70	10.92	10.95	1.07	2.1	0.61	0.46	4.0	65.5
2.	СаО; РИКС-А2	66; 140	11.00	10.60	0.70	3.8	0.65	0.05	11.0	77.4
3.	СаО; РИКС-А2	66; 350	11.40	11.15	0.48	5.5	0.44	0.04	36.0	84.5
4.	СаО; РИКС-А2	77; 70	10.95	9.70	0.90	1.6	0.61	0.29	0.0	71.0
5.	СаО; РИКС-А2	77; 140	11.20	9.68	0.44	2.6	0.44	0.00	13.0	85.8
6.	СаО; РИКС-А2	77; 210	11.30	9.75	0.57	4.0	0.57	0.00	14.0	81.6
7.	СаО; РИКС-А2	77; 280	11.45	9.64	0.27	5.2	0.22	0.05	27.0	91.3
8.	СаО; РИКС-А2	77; 350	11.50	9.62	0.30	5.0	0.23	0.07	24.0	90.3
9.	СаО; РИКС-А2	83; 70	11.00	8.38	1.13	2.0	0.78	0.35	4.5	63.5
10.	СаО; РИКС-А2	83;105	11.10	8.50	0.72	2.3	0.52	0.20	9.0	76.8
11.	СаО; РИКС-А2	83;140	11.20	8.43	0.89	2.9	0.89	0.00	10.5	71.3
12.	СаО; РИКС-А2	88; 70	11.10	10.72	1.49	2.5	1.46	0.03	0.0	51.9
13.	СаО; РИКС-А2	88;140	11.28	10.90	1.29	3.9	1.20	0.09	7.0	58.4
14.	СаО; РИКС-А2	88;210	11.36	10.95	1.17	4.7	1.14	0.03	14.0	62.3
15.	СаО; РИКС-А2	88;280	11.44	10.97	1.11	6.7	1.12	0.00	23.5	64.2
16.	СаО; РИКС-А2	88;350	11.48	10.98	1.13	7.5	1.13	0.00	31.0	63.5
17.	СаО; РИКС-А2	110;70	11.25	10.90	1.98	3.8	1.98	0.00	0.0	36.1
18.	СаО; РИКС-А2	110;140	11.35	11.00	2.13	4.0	2.07	0.06	7.0	31.3
19.	СаО; РИКС-А2	110;210	11.42	11.15	1.93	5.8	1.89	0.04	25.5	37.7
20.	СаО; РИКС-А2	110;280	11.49	11.30	1.70	6.7	1.69	0.01	25.7	45.2
21.	СаО; РИКС-А2	110;350	11.55	11.37	2.06	8.1	1.98	0.08	30.7	33.5

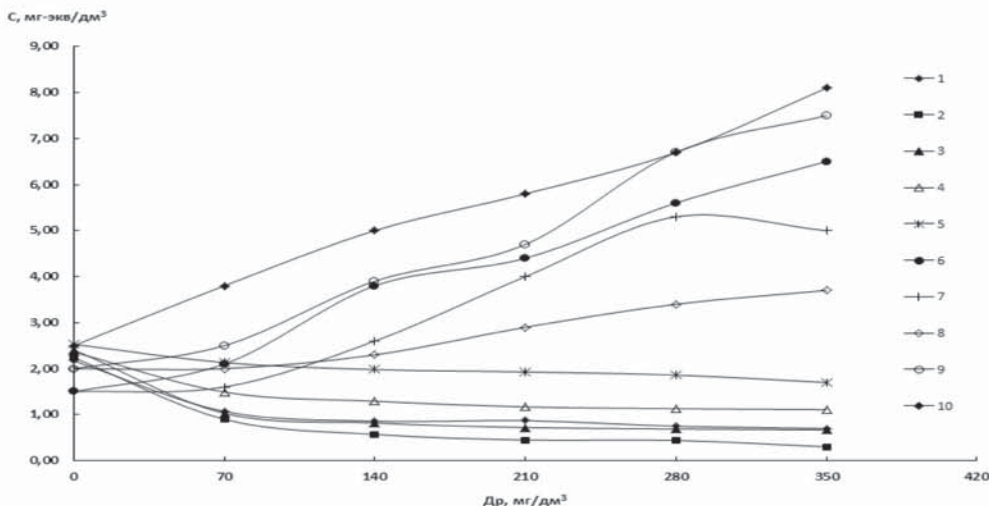


Рис. 3. Вплив витрати реагенту РИКС-А2 на залишкові значення жорсткості (1 - 5) і лужності (6 - 10) водопровідної води при дозі вапна: 66 мг/дм<sup>3</sup> (1; 6); 77 мг/дм<sup>3</sup> (2; 7); 83 мг/дм<sup>3</sup> (3; 8); 88 мг/дм<sup>3</sup> (4; 9); 110 мг/дм<sup>3</sup> (5; 10).

Проте при цьому в ряді випадків процес пом'якшення супроводжувався значним залуженням води, що в свою чергу призводило до підвищення концентрації алюмінію в пом'якшеній воді. Лише при дозі реагенту РИКС-А2 70 мг/дм<sup>3</sup> отримали задовільний результат по пом'якшенню води (Ж = 0.90 мг-екв/дм<sup>3</sup>, Л = 1.6 мг-екв/дм<sup>3</sup>, [Al<sup>3+</sup>] = 0.0 мг/дм<sup>3</sup>).

В цілому, слід відмітити, що при підвищенні витрати вапна відбувається підвищення ефективності пом'якшення води за рахунок гідролізу іонів магнію та утворення карбонатів кальцію.

При рН ≈ 11 з води практично повністю видаляється магній, але починає зростати концентрація іонів кальцію. Карбонати недостатньо ефективно зв'язують кальцій. При використанні реагентів типу РИКС-А при високих рН утворюються нерозчинні алюмінати кальцію. Проте при високих концентраціях вапна та реагентів типу РИКС-А зростає лужність розчину, що призводить до підвищення концентрації алюмінію у воді, внаслідок підвищення його розчинності. Тому при пом'якшенні води в кожному випадку необхідно вибирати співвідношення вапна та реагенту. Як правило оптимальна витрата вапна складає 60 - 70 % від розрахованої за стехіометрією.

Доза вапна залежить від характеристик природної води. В разі використання води із р. Сіверський Донець (табл. 3; 4) оптимальна доза вапна дорівнює 105 мг/дм<sup>3</sup> (50 % від розрахованої за стехіометрією).

Таблиця 3. Вплив витрати основних реагентів на ефективність пом'якшення води із р. Сіверський Донець (м. Лисичанськ) (Ж = 7.45 мг-екв/дм<sup>3</sup>, Л = 5.30 мг-екв/дм<sup>3</sup>)

№ п/п	Реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	рН		Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Л, мг-екв/дм <sup>3</sup>	С, мг-екв/дм <sup>3</sup>		Z, %
			Поч.	кінц.			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
1.	CaO	105	0.98	9.26	4.0	2.1	1.7	2.3	46.3
2.	CaO	125	10.30	9.85	4.9	1.8	2.1	2.8	34.2
3.	CaO	146	10.55	10.28	4.9	2.4	2.7	2.2	34.2
4.	CaO	167	10.60	10.25	4.1	1.7	2.8	1.3	44.9
5.	CaO	188	10.70	10.35	4.2	2.2	3.0	1.1	43.6
6.	CaO	209	10.80	10.42	4.4	2.0	3.4	1.0	40.9
7.	CaO	262	10.92	10.57	4.8	2.5	3.9	0.9	35.6
8.	CaO	292	11.21	10.86	5.8	2.6	5.1	0.7	22.1
9.	CaO; NaOH	209; 61	11.00	9.98	3.5	2.1	1.9	1.6	53.0
10.	CaO; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	209; 160	10.57	8.95	3.7	4.0	1.7	2.0	50.3
11.	CaO; Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	262; 160	11.10	9.75	2.6	2.7	1.5	1.1	65.1
12.	NaOH	137	10.00	9.23	4.3	5.0	1.5	2.8	42.3
13.	NaOH	186	10.93	9.37	3.8	5.1	0.8	3.0	49.0
14.	NaOH	298	11.12	9.75	2.2	6.9	1.2	1.0	70.5



Таблиця 4. Залежність ефективності пом'якшення води із р. Сіверський Донець (м. Лисичанськ) (Ж = 7.45 мг-екв/дм<sup>3</sup>, Л = 5.30 мг-екв/дм<sup>3</sup>)

№ п/п	Реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	рН		Ж, мг-екв/дм <sup>3</sup>	Л, мг-екв/дм <sup>3</sup>	С, мг-екв/дм <sup>3</sup>		[Al <sup>3+</sup> ] <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Z, %
			поч.	кінц.			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
1.	СаО; РИКС А-1	105; 65	10.28	9.17	2.5	2.1	1.3	1.2	0.8	66.4
2.	СаО; РИКС А-1	105; 91	10.45	9.56	1.7	2.3	1.2	0.5	1.5	77.2
3.	СаО; РИКС А-1	105; 130	10.52	9.54	1.4	1.7	1.0	0.4	2.5	81.2
4.	СаО; РИКС А-1	105; 156	10.60	10.00	1.2	1.6	0.9	0.3	2.8	83.9
5.	СаО; РИКС А-1	105; 195	10.70	10.14	0.8	1.4	0.6	0.2	4.0	89.9
6.	СаО; РИКС А-1	105; 260	10.95	10.73	0.7	1.5	0.6	0.1	7.5	90.6
7.	СаО; РИКС А-1	146; 65	10.74	9.94	2.8	2.5	2.3	0.5	0.0	62.4
8.	СаО; РИКС А-1	146; 91	10.86	9.85	1.7	2.2	1.4	0.3	0.0	77.2
9.	СаО; РИКС А-1	146; 130	10.93	10.13	1.3	2.8	1.3	0.0	0.0	82.6
10.	СаО; РИКС А-1	146; 156	10.95	10.10	1.4	1.9	1.2	0.1	0.0	81.2
11.	СаО; РИКС А-1	146; 195	11.10	10.35	1.3	4.2	1.3	0.0	4.0	82.6
12.	СаО; РИКС А-1	146; 260	11.21	10.55	1.3	5.2	1.3	0.0	8.0	82.6
13.	СаО; РИКС А-2	105; 70	10.19	8.85	2.3	1.1	1.2	1.0	4.0	69.1
14.	СаО; РИКС А-2	105; 140	10.33	9.30	1.3	1.0	0.9	0.4	4.5	82.6
15.	СаО; РИКС А-2	105; 210	10.62	9.85	0.9	1.4	0.6	0.3	7.0	87.9
16.	СаО; РИКС А-2	105; 280	10.72	10.15	0.6	2.7	0.4	0.1	13.5	91.9
17.	СаО; РИКС А-2	105; 350	10.90	10.43	0.5	4.2	0.3	0.2	21.0	93.3
18.	СаО; РИКС А-2	146; 70	10.60	9.30	2.6	1.7	2.0	0.6	0.0	65.1
19.	СаО; РИКС А-2	146; 140	10.48	9.70	1.6	2.5	1.5	0.1	4.5	78.5
20.	СаО; РИКС А-2	146; 210	10.98	10.25	1.1	3.3	1.1	0.0	12.0	85.2
21.	СаО; РИКС А-2	146; 280	11.09	10.34	1.0	4.5	1.0	0.0	17.5	86.6
22.	СаО; РИКС А-2	146; 350	11.18	10.48	1.0	5.9	1.0	0.0	29.5	86.6

Як і у випадку пом'якшення водопровідної води, використання вапна в даному разі було неефективним. Деяко кращі результати було отримано при одночасному використанні вапна та соди. Підвищення ефективності пом'якшення води лугом супроводжується значним залуженням води. Кращі результати отримано при використанні реагентів типу РИКС-А.

При дозі вапна 105 мг/дм<sup>3</sup> оптимальні витрати РИКС-А1 складають 195 - 260 мг/дм<sup>3</sup>, а РИКС-А2 – 210 - 280 мг/дм<sup>3</sup>.

Слід відмітити, що при зниженні дози вапна зростає вміст магнію. При використанні вапна із основними реагентами РИКС-А1 та РИКС-А2 ефективність пом'якшення зростає при збільшенні витрати останніх за рахунок зв'язування іонів кальцію у вигляді нерозчинних алюмінатів та гідролізу іонів магнію при підвищенні рН до 11. Проте при високих дозах реагентів типу РИКС-А зростає лужність води та залишковий вміст алюмінію. В даному випадку низьких значень лужності та концентрацій алюмінію у пом'якшеній воді досягнуто при витраті РИКС-А1 130 - 200 мг/дм<sup>3</sup> та 70 - 210 мг/дм<sup>3</sup> для РИКС-А2.

**Висновки**

Показано, що традиційні реагенти – вапно, сода та луг недостатньо ефективні при пом'якшенні води. При збільшенні витрати луку підвищення ефективності пом'якшення води супроводжується залуженням води.

Встановлено, що алюмініймісткі реагенти підвищують ефективність пом'якшення води, а при певних співвідношеннях реагентів сприяють також зниженню лужності пом'якшеної води.

**РЕАГЕНТНОЕ УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩИХ КОАГУЛЯНТОВ**

**Т. А. Шаблій, Е. В. Голтвяницкая, В. С. Камаев, Н. Д. Гомеля**  
 Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев  
 e-mail: [tania1@voliacable.com](mailto:tania1@voliacable.com)

*В работе приведены результаты по определению эффективности алюминийсодержащих коагулянтов при умягчении воды. Показано, что при использовании извести, соды и щелочи эффективность умягчения низкая. При использовании основных реагентов с алюминийсодержащими коагулянтами степень умягчения возрастает в 2 - 8 раз при невысоких значениях остаточной щелочности. Эффективность процесса зависит от расхода и соотношения реагентов.*

*Ключевые слова: реагентное умягчение воды, степень умягчения, алюминийсодержащие коагулянты, известь.*

## REAGENT WATER SOFTENING WITH USE OF ALUMINUM-CONTAINING COAGULANTS

**T. Shabliy, O. Goltvianyska, V. Kamaev, M. Gomelya**  
National Technical University of Ukraine "KPI", Kiev  
e-mail: [tania1@voliacable.com](mailto:tania1@voliacable.com)

*The results of determine the effectiveness of aluminum-containing coagulants for water softening was presented. It is shown that the use of lime, soda and alkali the efficiency of softening is low. With using basic reagents with aluminum-containing coagulants degree of softening increases 2 - 8 times at low values of residual alkalinity. Efficiency of the process depends on the consumption and the ratio of reagents.*

*Key words: reagent water softening, degree of softening, aluminum-containing coagulants, lime.*

### 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. Шаблій, Т.В. Крысенко // Химия и технология воды. — 2009. — Т.31, № 5. — С.542 — 551.
4. *Шаблій Т.А.* Разработка эффективной технологии умягчения воды для промышленного водопотребления / Т.А. Шаблій, И.Н. Голтвяницкая Е.В. Макаренко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 1. — С. 53 — 58.
5. *Гомеля М.Д.* Пом'якшення води відпрацьованими лужними розчинами травлення алюмінію / М.Д. Гомеля, Т.О. Шаблій, Ю.В. Находько // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 1999. — № 6. — С. 60 — 64.
6. *Гомеля Н.Д.* Влияние ионов кальция, магния и алюминия на коррозию стали в воде / Н.Д. Гомеля, Т.А. Шаблій, О.В. Смола // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2000. — № 2. — С.18 — 21.