

сброса позволяют легитимно и корректно применять Методику в системегосударственного контроля для определения убытков от сброса загрязняющих веществ с возвратной водой.

**Список литературы:**1. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів (затв. наказом Мінприроди України 20.07.2009 № 389, зареєстр. в Мінюсті України 14 серпня 2009 р. за № 767/16783). 2. Зміни до Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів (затв. наказом Мінприроди України 30.06.2011 № 220, зареєстр. в Мінюсті України 15 липня 2011 р. за № 881/19619). 3. Інструкція про порядок розробки та затвердження граничнодопустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотнимиводами (затв. наказом Мінприроди України 15.12.1994 р. № 116, зареєстр. в Мінюсті України 22 грудня 1994 р. за № 313/523).

*Поступила в редколлегию 15.06.2012*

**УДК 628.164.081.312.32**

**В.В. РИСУХІН**, директор ТОВ «Технології природи», Алчевськ,  
**О.В. ГЛУШКО**, канд. техн. наук, ст. викл, НТУУ «КПІ», Київ,  
**І.М. МАКАРЕНКО**, канд. техн. наук, н. с., НТУУ «КПІ», Київ

## **ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНІВ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ, ФОРМИ КАТІОНІТУ DAWEX-МАС-3 НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО РЕГЕНЕРАЦІЇ**

Досліджено процеси пом'якшення води з використанням катіоніту DAWEX-МАС-3. Показано, що іоніт є більш селективним при сорбції іонів кальцію, в порівнянні з магнієм. Визначено вплив форми іоніту, концентрації сірчано-кислих регенераційних розчинів на ефективність десорбції іонів кальцію та магнію, ступінь регенерації іоніту. Запропоновано методи переробки відпрацьованих регенераційних розчинів.

**Ключові слова:** іонний обмін, катіоніт, регенерація, опріснення води.

Исследованы процессы умягчения воды при использовании катионита DAWEX-МАС-3. Показано, что ионит более селективен при сорбции ионов кальция по сравнению с ионами магния. Установлено влияние формы ионита, концентрации сернокислых регенерационных растворов на эффективность десорбции ионов кальция и магния, степень регенерации ионита. Предложены методы переработки отработанных регенерационных растворов.

**Ключевые слова:** ионный обмен, катионит, регенерация, обессоливание воды.

Processes of an umyagcheniye of water when using cationite are investigated by DAWEX-МАС-3. It is shown that the ionite is more selective at a sorbtsiya of ions of calcium in comparison with magnesium ions. Influence of a form of an ionite, concentration of sernokisly regeneration solutions on efficiency of a desorption of ions of calcium and magnesium, extent of regeneration of an ionite is established. Methods of processing of the fulfilled regeneration solutions are offered.

**Keywords:** ionic exchange, cationite, regeneration, water desalting.

### **1. Вступ**

На сьогодні наряду з іншими проблемами забруднення водних об'єктів досить гостро стоїть проблема різкого підвищення рівня мінералізації води в поверхневих водоймах. Ця тенденція досить чітко виражена в промислових

густонаселених регіонах. Частіше за все підвищення солевмісту відбувається внаслідок скиду шахтних та промислових стічних вод. Крім того, значну кількість засолених стоків скидають теплоенергетичні об'єкти та підприємства комунальних служб. Радикальним способом вирішення даної проблеми є масове впровадження замкнених водоциркуляційних систем як на промислових підприємствах, так і в комунальних господарствах. А для цього необхідно вирішити проблему створення маловідходних процесів демінералізації води при її підготовці для промислових підприємств, об'єктів теплоенергетики та комунальних господарств, при очищенні стічних вод [1]. На сьогодні до високоефективних методів знесолення води, які все ширше застосовуються як в промисловості, так і в комунальних господарствах можна віднести баромембранні процеси, такі як зворотній осмос та нанофільтрування. При застосуванні даних методів гостро стоїть проблема стабілізаційної обробки води перед стадією мембранного очищення, для запобігання осадковідкладення на мембранах. Головною причиною осадкоутворення є відкладення карбонату кальцію при перевищенні допустимого вмісту карбонатів та іонів кальцію в концентратах.

Проблему стабілізації можна вирішувати як за рахунок пом'якшення води, так і за рахунок її декарбонізації. При натрій-катионному пом'якшенні води суттєво підвищується її лужність [2], що навіть за невисоких концентрацій кальцію призводить до відкладення осадів. З іншої сторони, повне видалення іонів жорсткості з води на стадії попередньої обробки економічно недоцільне. Тому кращим вирішенням проблеми може бути застосування слабокислотних катіонітів в кислій формі перед мембранним очищенням води. При такій обробці буде відбуватись часткове пом'якшення води з повною її декарбонізацією при зниженні рН до 3÷4 [3], що ніяк не впливатиме на роботу мембран. За таких умов в процесах нанофільтрації вихід перміату можна підвищити з 75÷80 % до 90÷95 % без суттєвого ризику осадкоутворення на мембранах. Обмеження можуть бути лише з точки зору селективності та продуктивності мембран, зростання осмотичного опору та робочого тиску процесу.

Кислотна регенерація катіонітів не є складною проблемою [4,5], проте регенерація з допомогою сірчаної кислоти вивчена недостатньо, так саме як і процеси утилізації відпрацьованих сірчаноокислих розчинів.

Метою даної роботи було вивчення процесів стабілізаційної обробки води з допомогою слабокислотного катіоніту DAWEX-МАС-3, вивчення процесів його регенерації розчинами сірчаної кислоти, визначення умов переробки та утилізації регенераційних розчинів.

## **2.Методи та результати досліджень**

В процесах іонообмінного пом'якшення та стабілізаційної обробки води з допомогою слабокислотного катіоніту DAWEX-МАС-3 використовували водопровідну воду ( $J=4.0$  мгекв/дм<sup>3</sup>,  $C_{Ca^{2+}}=2.90$  мгекв/дм<sup>3</sup>,  $C_{Mg^{2+}}=1.10$  мгекв/дм<sup>3</sup>,  $L= 3.95$  мгекв/дм<sup>3</sup>). При вивченні процесів регенерації для переведення іоніту іоніту в Са, Mg- форму використовували розчини суміші хлоридів кальцію та магнію з концентраціями по кальцію 50÷200 мгекв/дм<sup>3</sup>, концентраціями по магнію 25÷150 мгекв/дм<sup>3</sup>. Для регенерації іоніту використовували розчини

сірчаної кислоти концентрацією 200÷600 мгекв/дм<sup>3</sup> (~1÷3%). При переведенні іоніту в Са, Mg- форму модельними розчинами його попередньо переводили в Na<sup>+</sup>- форму з допомогою 2 %-ного розчину луку. Для пом'якшення відпрацьованих регенераційних розчинів їх обробляли 10 %-ним розчином соди та 2 %-ним розчином луку.

Таблиця 1 - Зміна характеристик води (Ж=4.0 мгекв/дм<sup>3</sup>, C<sub>Ca<sup>2+</sup></sub>=2.90 мгекв/дм<sup>3</sup>, C<sub>Mg<sup>2+</sup></sub>=1.10 мгекв/дм<sup>3</sup>, Л= 3.95 мгекв/дм<sup>3</sup>, рН=7.40) при послідовній її обробці на Н<sup>+</sup>-катіонному фільтрі DAWEX-МАС-3 при нанофільтруванні та повторному фільтруванні перміату через даний катіоніт в Са, Mg- формі

Стадія обробки	Характеристики води					ОДЄ, гекув/дм <sup>3</sup>		Z, %	
	Ж, мгекв/дм <sup>3</sup>	С, мгекв/дм <sup>3</sup>		Л, мгекв/дм <sup>3</sup>	рН	повна	робоча		
		Са <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>						
Н <sup>+</sup> -катіонування (DAWEX-МАС-3 в Н <sup>+</sup> -формі)	1.15	0.28	0.87	0.00	4.35	3950	3135	-	
нанофільтрування	перміат	0.37	0.12	0.25	0.12	5.32	-	-	-
	концентрат	7.92	1.57	6.35	-	3.58	-	-	-
Катіонування перміату (DAWEX-МАС-3 в Са, Mg- формі)	1.70	1.26	0.44	1.65	7.20	-	-	50.1	
Катіонування перміату (DAWEX-МАС-3 в Na <sup>+</sup> - формі.)	0.00	0.00	0.00	1.67	7.3	-	-	47.3	

Про ефективність стабілізаційної обробки води з допомогою слабокислотного катіоніту DAWEX-МАС-3 в кислій формі можна судити по результатах приведених в табл.1. В даному випадку через іонообмінний фільтр, заповнений слабокислотним катіонітом в кислій формі пропустили 150 дм<sup>3</sup> води. Оброблену воду пропустили через нанофільтраційний фільтр, відібравши 90 % перміату. Отриманий перміат пропускали через катіоніт DAWEX-МАС-3 в Са, Mg- формі.

Як видно з таблиці, при пропусканні води через кислий катіоніт лужність води знизилась до нуля, що свідчить про повне видалення карбонатів та гідрокарбонатів з води. При цьому рН води знизився до 4.35, а жорсткість до 1.15 мгекв/ дм<sup>3</sup> при залишковому вмісті іонів кальцію 0.28 мгекв/дм<sup>3</sup>. Це дозволило досягти виходу перміату на рівні 90 % без будь-якого ризику осадковідкладень на мембрані. Цей ризик мінімальний і по тій причині, що рН концентрату, в порівнянні з вихідною катіонованою водою знизився з 4.35 до 3.58, а вміст кальцію в концентраті досяг лише 1.57 мгекв/дм<sup>3</sup>. Навіть при високих концентраціях сульфатів відкладення осадів з такого концентрату неможливе, тому що розчинність сульфату кальцію (~200 мг/дм<sup>3</sup>) значно вища його можливих концентрацій – 1.57 мгекв/дм<sup>3</sup>.

В даному випадку рН перміату досягав 9.32, що значно нижче допустимих рівнів. Для питної води для корегування рН можна використати мінеральні домішки на основі доломіту, крейди і т.д. проте в даному випадку краще використати відпрацьований катіоніт в Са, Mg- формі. При фільтруванні води через даний катіоніт рН води зростав до 7.2, а лужність сягала 1.7 мгекв/дм<sup>3</sup>, що відповідає вимогам до якості питної води. Для промислових вод можна використати іоніт в Na<sup>+</sup>-формі. Результати аналогічні до попередніх, за винятком того, що жорсткість води знижується до нуля, при цьому лужність зростає до 1.67 мгекв/дм<sup>3</sup>, а рН до 7.3. Слід відмітити, що при пропусканні перміату через катіоніт в сольовій формі можна досягти переведення його в кислоту форму на 50 %, що суттєво скоротить витрату кислоти на його регенерацію. Слід відмітити, що даний підхід забезпечує зниження об'ємів відходів (концентратів) при опрісненні води в 2÷3 рази.

Проте не дивлячись на всі переваги процесу стабілізаційної обробки води на слабокислотному катіоніті в кислій формі, проблема регенерації катіоніту та переробки регенераційних розчинів існує. Враховуючи те, що сульфатмісткі розчини переробляти в кислоту та луг електрохімічним методом простіше, в порівнянні з розчинами, що містять хлориди [6], регенерацію проводили розчинами сірчаної кислоти. Але спочатку, враховуючи низьку розчинність сульфату

кальцію, визначили ефективність сорбції іонів кальцію та магнію на вибраному катіоніті. Результати сорбції приведені на рис.1 та в табл.2.

В даному випадку відмічено високу ємність іоніту по іонах жорсткості та дещо вищу його селективність по іонах кальцію, в порівнянні з іонами магнію. Для обробки води це позитивний момент, так як її стабільність тим вища, чим менший вміст кальцію. Проте при регенерації іоніту сірчаною кислотою це може призвести до ускладнень процесу через випадання осаду сульфату кальцію та загіпсовування іоніту. Тому при регенерації іоніту використовували розведені розчини сірчаної кислоти ~ 1÷3%.

Результати регенерації іоніту в Са, Mg- формі ~1 %-ним розчином сірчаної кислоти (K=200 мгекв/дм<sup>3</sup>) приведені на рис.2,3.

Як видно з рисунку 2 десорбція іонів жорсткості визначається концентрацією кислоти та витратою кислою розчину. В даному випадку вміст іонів жорсткості залежить лише від концентрації кислоти, а співвідношення концентрації кальцію

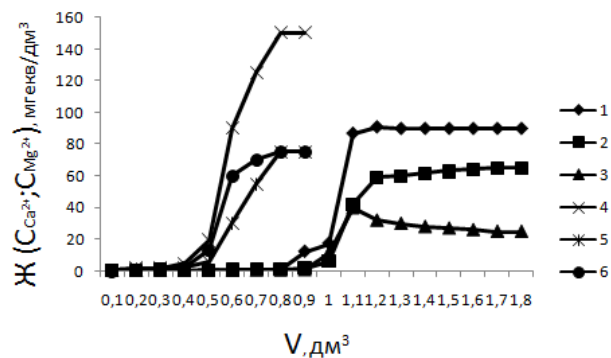


Рис.1. Залежність вихідної жорсткості (1;4), концентрації іонів кальцію (2;5) та магнію (3;6) від пропущеного об'єму розчину (Ж=90 мгекв/дм<sup>3</sup>, C<sub>Ca<sup>2+</sup></sub>=65мгекв/дм<sup>3</sup>, C<sub>Mg<sup>2+</sup></sub>=25мгекв/дм<sup>3</sup>)(1;2;3) та розчину (Ж=150 мгекв/дм<sup>3</sup>, C<sub>Ca<sup>2+</sup></sub>=75мгекв/дм<sup>3</sup>, C<sub>Mg<sup>2+</sup></sub>=75мгекв/дм<sup>3</sup>)(4;5;6) через іоніт DAWEX-МАС-3 в Na<sup>+</sup>- формі (V<sub>i</sub>=20 см<sup>3</sup>)(E<sub>1</sub>=4.412 гекв/дм<sup>3</sup>, E<sub>2</sub>=3.400 гекв/дм<sup>3</sup>, E<sub>3</sub>=1.012 гекв/дм<sup>3</sup>, E<sub>4</sub>=4.038 гекв/дм<sup>3</sup>, E<sub>5</sub>=2.148 гекв/дм<sup>3</sup>, E<sub>6</sub>=1.890 гекв/дм<sup>3</sup>)

та магнію в регенераційних розчинах в основному визначається масою сорбованих іонів кальцію ( $m_{Ca}^c$ ) або магнію ( $m_{Mg}^c$ ) на іоніті, який регенерується.

Таблиця 2- Вплив співвідношення концентрацій іонів кальцію і магнію на величину їх сорбції на катіоніті DAWEX-МАС-3 в  $Na^+$ - формі ( $V_i=20 \text{ см}^3$ )

№ п.п.	Ж мге кв/д м <sup>3</sup>	[Ca <sup>2+</sup> ], мгекв/ дм <sup>3</sup>	[Mg <sup>2+</sup> ], мгекв/ дм <sup>3</sup>	Кількість сорбованих іонів, мгекв			ПОДС, гекв/дм <sup>3</sup> по іонах		
				$\Sigma Ca^{2+},$ $Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$\Sigma Ca^{2+},$ $Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$
1	150	75	75	77.00	39.75	37.25	3.850	1.988	1.862
2	160	80	80	89.50	45.00	44.50	4.475	2.250	2.225
3	100	50	50	76.30	56.90	19.40	3.815	2.845	0.970
4	160	120	40	76.50	58.30	18.00	3.825	2.915	0.910
5	150	50	100	79.10	32.30	46.80	3.955	1.615	2.340
6	200	100	100	97.55	68.17	29.38	4.878	3.399	1.469
7	250	125	125	75.90	53.04	22.86	3.832	2.690	1.143
8	300	150	150	84.09	58.73	25.31	4.202	2.936	1.266
9	200	120	80	75.50	58.64	16.85	3.776	2.932	0.844
10	300	200	100	84.55	69.56	14.99	4.228	3.478	0.750
11	320	240	80	77.98	66.78	11.20	3.899	3.339	0.560
12	150	50	100	75.91	40.77	35.14	3.795	2.038	1.757

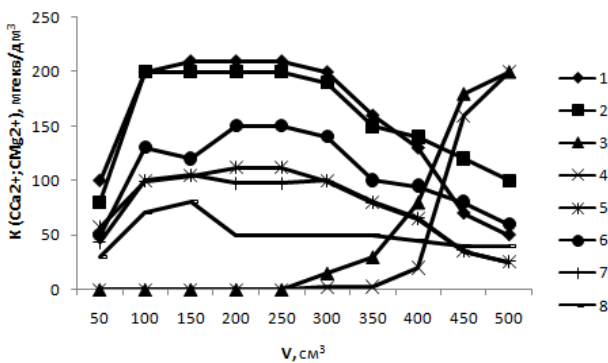


Рис.2. Залежність жорсткості (1;2), кислотності (3;4), концентрації кальцію (5;6) та магнію (7;8) від пропущеного об'єму сірчаної кислоти ( $K=200 \text{ мгекв/дм}^3$ ) через слабокислотний катіоніт DAWEX-МАС-3 в кальцій-магній формі ( $V_i=20 \text{ см}^3$ ) при ємності іоніту по іонах жорсткості  $3.950 \text{ гекв/дм}^3$  (1;3;5;7) ( $m_{Ca}^c=39.75 \text{ мгекв}$ ,  $m_{Mg}^c=37,25 \text{ мгекв}$ ) та  $3.958 \text{ гекв/дм}^3$  (2;4;6;8) ( $m_{Ca}^c=54.35 \text{ мгекв}$ ,  $m_{Mg}^c=24.80 \text{ мгекв}$ )

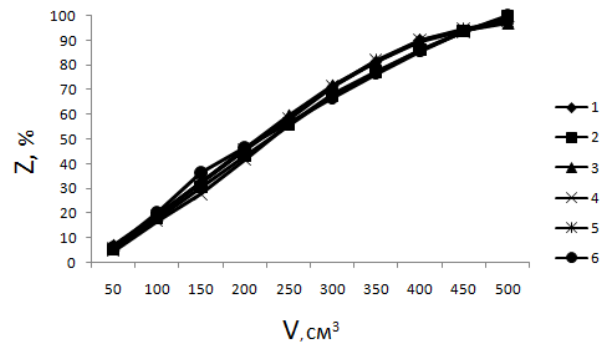


Рис.3. Залежність ступеню регенерації катіоніту катіоніт DAWEX-МАС-3 в Ca, Mg- формі (1;2) ( $V_i=20 \text{ см}^3$ ), ступеню десорбції іонів кальцію (3;4) та магнію (5;6) від пропущеного об'єму розчину сірчаної кислоти ( $K=200 \text{ мгекв/дм}^3$ ) через катіоніт при ємності іоніту по іонах жорсткості  $3.950 \text{ гекв/дм}^3$  (1;3;5) ( $m_{Ca}^c=39.75 \text{ мгекв}$ ,  $m_{Mg}^c=37,25 \text{ мгекв}$ ) та  $3.958 \text{ гекв/дм}^3$  (2;4;6) ( $m_{Ca}^c=54.35 \text{ мгекв}$ ,  $m_{Mg}^c=24.80 \text{ мгекв}$ )

При повторному використанні відпрацьованих кислих регенераційних розчинів та переробці нейтральних елюатів можна досягти повної регенерації катіоніту з утворенням нейтральних розчинів сульфатів кальцію та магнію.

При цьому не відмічено випадання осадів сульфату кальцію навіть у випадку високого вмісту іонів кальцію в іоніті (~54 мгекв на 20 см<sup>3</sup> іоніту) та в розчині ~150 мгекв/дм<sup>3</sup> (10.2 г/дм<sup>3</sup>). Ступінь регенерації іоніту був достатньо високий як по іонах кальцію та магнію, так і по іонах жорсткості взагалі (рис.3). При цьому кислотність розчину була рівна нулю або була не більшою 5 мгекв/дм<sup>3</sup> при досягненні ступеню регенерації 55÷71 %.

Проблемою є те, що при низькій концентрації кислоти питома витрата реагенту на регенерацію іоніту ( $q_p$ , дм<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>) сягає 25 дм<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>, при необхідності переробки нейтральних розчинів виходячи з їх витрати 12-15 см<sup>3</sup> на 1 см<sup>3</sup> іоніту.

Зменшити питому витрату розчину реагенту на регенерацію іоніту можна за рахунок підвищення його концентрації. Результати по регенерації катіоніту в Ca, Mg- формі приведені на рис.4. Ступеню регенерації ~56÷58 % досягнуто при  $q_p = 7.5$  дм<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup> ( $K=0.00$  мгекв/дм<sup>3</sup>), повної регенерації досягнуто при  $q_p = 15$  дм<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>. Особливістю процесу є те, що в регенераційних розчинах, отриманих при обробці іоніту з вищим вмістом кальцію ( $m_{Ca}^c=55.55$  мгекв на 20 см<sup>3</sup> іоніту) в пробах з високим вмістом іонів жорсткості спостерігалось висадження сульфату кальцію з відповідним зниженням його вмісту в розчинах.

Тому для даної проби іоніту розрахований ступінь регенерації не перевищував 77 %, а ступінь десорбції кальцію –67 %. Так як магній не утворює нерозчинних осадів і десорбується практично повністю незалежно від концентрації кислоти, то в даному випадку криві десорбції по магнію не приводились.

Слід відмітити, що і у випадку регенерації іоніту з кількістю сорбованого кальцію 44.80 мгекв на 20 см<sup>3</sup> іоніту, коли досягнуто ступеню регенерації ~100 %, і при  $m_{Ca}^c=55.55$  мгекв на 20 см<sup>3</sup> іоніту, коли розрахований ступінь регенерації сягав ~77%, реально було досягнуто повного переведення іоніту в кислу форму, що було підтверджено сорбцією іонів натрію при обробці іоніту розчином луку. Зниження показників по регенерації іоніту у другому випадку обумовлено висадженням сульфату кальцію з регенераційних розчинів.

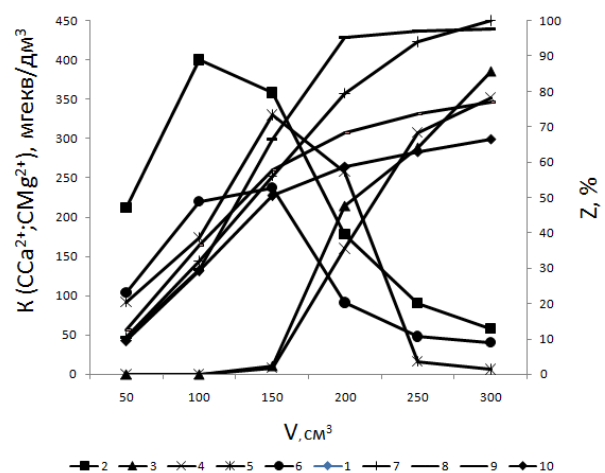


Рис.4. Вплив витрати розчину сірчаної кислоти ( $K=400$  мгекв/дм<sup>3</sup>) на жорсткість (1;2), кислотність (3;4) розчину, концентрацію іонів кальцію (5;6), ступінь регенерації іоніту (7;8) DAWEX-МАС-3 в Ca, Mg- формі, ступінь десорбції іонів кальцію (9;10) при пропусканні його через іоніт ( $V_i=20$  см<sup>3</sup>) з ємністю іоніту по іонах жорсткості 4.360 мгекв/дм<sup>3</sup> (1;3;5;7;9) ( $m_{Ca}^c=44.80$  мгекв,  $m_{Mg}^c=42.40$  мгекв) та з ємністю 4.203 мгекв/дм<sup>3</sup> (2;4;6;8) ( $m_{Ca}^c=55.55$  мгекв,  $m_{Mg}^c=28.50$  мгекв)



При використанні 3%-ного розчину сірчаної кислоти випадання сульфату кальцію спостерігалось як при регенерації катіоніту з ємністю по іонах кальцію  $\sim 2.88$  гекв/дм<sup>3</sup>, так і з ємністю 2.048 гекв/дм<sup>3</sup> (рис.5). Кількість осадів зростала з підвищенням концентрації іонів кальцію. При ємності іоніту по кальцію  $\sim 1.426$  гекв/дм<sup>3</sup> (криві 3;6;9) осадкоутворення не спостерігалось. В даному випадку зниження розрахованого ступеню регенерації (рис.6), як і в попередньому випадку, обумовлене не зниженням ефективності десорбції, а випаданням осаду сульфату кальцію, що не дає можливості правильно розрахувати реальний ступінь регенерації іоніту.

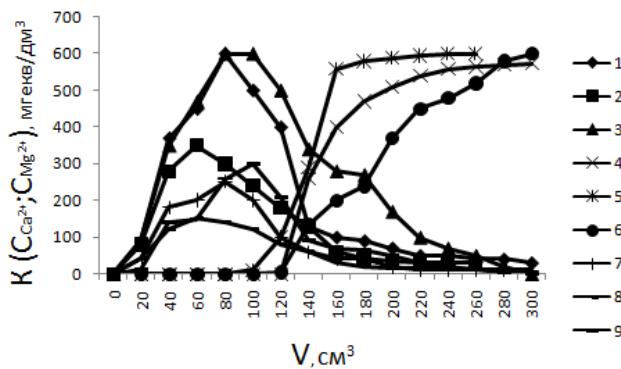


Рис.5. Залежність жорсткості (1;2;3), кислотності (4;5;6), концентрації іонів кальцію (7;8;9) від пропущеного об'єму розчину сірчаної кислоти ( $K=600$  мгекв/дм<sup>3</sup>) через катіоніт Dawex MAC-3 в Ca, Mg-формі ( $V_i=20$  см<sup>3</sup>) при ємності іоніту 4.030 гекв/дм<sup>3</sup> (1;4; 7) ( $m_{Ca}^c=40.95$  мгекв,  $m_{Mg}^c=39.65$  мгекв), 3.850 гекв/дм<sup>3</sup> (2;5;8) ( $m_{Ca}^c=57.60$  мгекв,  $m_{Mg}^c=19.40$  мгекв) та 3.925 гекв/дм<sup>3</sup> (3;6;9) ( $m_{Ca}^c=28.51$  мгекв,  $m_{Mg}^c=49.99$  мгекв)

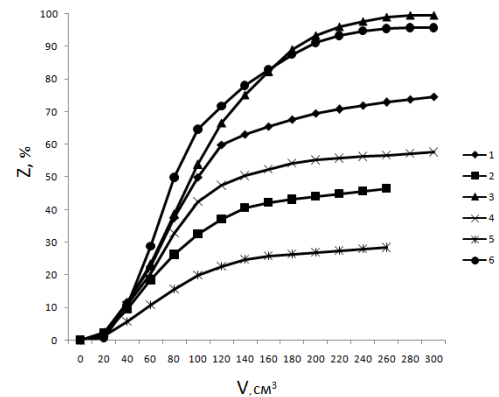


Рис.6. Залежність ступеню регенерації катіоніта Dawex MAC-3 в Ca, Mg-формі (1;2;3) та ступеню десорбції іонів кальцію (4;5;6) від пропущеного об'єму розчину сірчаної кислоти ( $K=600$  мгекв/дм<sup>3</sup>) через 20 см<sup>3</sup> іоніту при ємності катіоніту по іонах жорсткості: 4.030 гекв/дм<sup>3</sup> (1;4) ( $m_{Ca}^c=40.95$  мгекв,  $m_{Mg}^c=39.65$  мгекв), 3.850 гекв/дм<sup>3</sup> (2;5) ( $m_{Ca}^c=57.60$  мгекв,  $m_{Mg}^c=19.40$  мгекв) та 3.925 гекв/дм<sup>3</sup> (3;6;) ( $m_{Ca}^c=28.51$  мгекв,  $m_{Mg}^c=49.99$  мгекв)

Випадання осаду сульфату кальцію з однієї сторони спрощує процес переробки відпрацьованих елюатів, з іншої сторони це може спричинити загіпсовування іоніту і втрати його ефективності. Очевидно, що при сірчано-кислотній регенерації іоніту на першій стадії недоцільно використовувати розчини кислоти з концентрацією більше ніж 2 %.

При переробці відпрацьованих регенераційних розчинів методом електролізу необхідно видалити з них іони жорсткості, так як при жорсткості  $>5$  мгекв/дм<sup>3</sup> різко знижується електропровідність катіонних мембран та зменшується вихід за струмом сірчаної кислоти та лугу.

Для пом'якшення відпрацьованих регенераційних розчинів використовували розчини соди та лугу, додаючи соду в еквівалентній кількості вмісту іонів магнію в регенераційному розчині.

Результати по пом'якшенню відпрацьованих регенераційних розчинів приведені в табл.3. Як видно із таблиці при використанні лише соди, без додавання лугу

хороші результати по пом'якшенню розчину отримано при низькому вмісті іонів магнію в відпрацьованому елюаті (I), при додаванні соди та лугу отримано високу ефективність пом'якшення відпрацьованих регенераційних розчинів, незалежно від вмісту іонів кальцію та магнію.

Таблиця 3- Ефективність пом'якшення відпрацьованих регенераційних розчинів ( Ж= 39 мгекв/дм<sup>3</sup>, [CaSO<sub>4</sub>] = 31 мгекв/дм<sup>3</sup>, [MgSO<sub>4</sub>]= 8 мгекв/дм<sup>3</sup>) (I) та ( Ж= 69 мгекв/дм<sup>3</sup>, [CaSO<sub>4</sub>] = 40 мгекв/дм<sup>3</sup>, [MgSO<sub>4</sub>]= 29 мгекв/дм<sup>3</sup>) (II) при обробці розчинами соди та лугу

Витрата Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , мгекв/дм <sup>3</sup>		Витрата NaOH, мгекв/дм <sup>3</sup>		Ж, мгекв/дм <sup>3</sup>		[Ca <sup>2+</sup> ], мгекв/дм <sup>3</sup>		[Mg <sup>2+</sup> ], мгекв/дм <sup>3</sup>		Л, мгекв/дм <sup>3</sup>	
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
31	40	-	-	4.0	22.4	0.8	20.0	3.2	20.4	4.9	6.0
31	40	8	29	2.7	4.3	0.2	1.5	2.5	2.8	8.5	9.3

При електролізі отриманих розчинів сульфату натрію, як описано в [6], можна отримати луг та сірчану кислоту, в концентраціях 5÷10 %, що цілком достатньо для регенерації іоніту та обробки відпрацьованих регенераційних розчинів. Це дає можливість організувати замкнені цикли де мінералізації води при використанні слабо кислотного катіоніту DAWEX-МАС-3 в кислій формі.

### 3. Висновки

1. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність застосування слабокислотного катіоніту DAWEX-МАС-3 в кислій формі для стабілізаційної обробки води перед нанофільтраційним опрісненням. Показано, що при цьому жорсткість води знижується до 1.5 мгекв/дм<sup>3</sup>, вміст кальцію до 0.28 мгекв/дм<sup>3</sup> при повному видаленні карбонат та гідрокарбонат аніонів.

2. Визначено вплив концентрації та витрати розчинів сірчаної кислоти на ефективність регенерації слабокислотного катіоніту в Са, Mg формі. Встановлено, що при концентрації кислоти 1-3 % можна досягти повної регенерації катіоніту з отриманням нейтральних відпрацьованих елюатів. При цьому з підвищенням вмісту кальцію в іоніті та вихідної концентрації кислоти зростає інтенсивність випадання осаду сульфату кальцію та ймовірність загіпсовування іоніту.

3. Визначено напрямки переробки відпрацьованих регенераційних розчинів. Показано, що при обробці цих розчинів содою та лугом забезпечується ефективно пом'якшення елюатів, що забезпечує ефективну їх переробку електродіалізом з отриманням сірчаної кислоти та лугу придатних для використання в процесах водоочищення.

**Список літератури:** 1. Беличенко Ю.П. Замкнутые системы водообеспечения химических производств // Ю.П. Беличенко. – М.: Химия, 1990. – 208 с. 2. Гомеля И.Н. Оценка эффективности катионитов КУ-2-8 и Aqualite R-100 FC при умягчении воды в присутствии ионов железа / И.Н. Гомеля, Ю.А. Омельчук, В.М. Радовенчик // Экологические и ресурсосбережение. –2008. – № 3. – С.62-65. 3. Голтвяницкая Е.В. Оценка эффективности использования слабокислотного катионита Dawex МАС-3 в катионном умягчении воды /Е.В.



Голтвяницкая, Т.А. Шаблій, Н.Д. Гомеля, С.С. Ставская // Вісник НТУУ «КПІ» Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2011. – № 2(8). – С. 87-92  
4. Гомеля Н.Д. Кондиционирование воды для ресурсосберегающих систем водопользования / Н.Д. Гомеля, Т.А. Шаблій, Ю.В. Носачева // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 4. – С. 55-58  
5. Шаблій Т.А. Разработка эффективной технологии умягчения воды для промышленного водопотребления / Т.А. Шаблій, И.Н. Макаренко, Е.В. Голтвяницкая // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2010. – № 1. – С. 53-58  
6. О.В. Голтвяницкая Електродіалізне отримання сірчаної кислоти та лугу з розчинів сульфату натрію / О.В. Голтвяницкая, Т.О. Шаблій, М.Д. Гомеля // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 3/6 (51). – С. 18-22

Поступила в редколлегию 15.06.2012

УДК 620.193.44–661–94

**Г.О ТАТАРЧЕНКО**, докт.техн.наук, доц., Технологический институт  
Востокукранинского национального университета им. В. Даля,  
Северодонецк,

**И.Н. ШАПОВАЛОВА**, канд.техн. наук, доц., Технологический институт  
Востокукранинского национального университета им. В. Даля,  
Северодонецк,

**Н.Ф. ТЮПАЛО**, акад. УТА, докт. хим. наук, Технологический институт  
Востокукранинского национального университета им. В. Даля,  
Северодонецк,

**А.Г. АРХИПОВ**, докт.техн.наук, доц., Технологический институт  
Востокукранинского национального университета им. В. Даля,  
Северодонецк

## АДСОРБЦИЯ БЕНЗБЕНАЗОЛОВ В СЕРНОЙ КИСЛОТЕ

У статті проаналізовані адсорбційні властивості бензазолів в розчинах сульфатної кислоти середніх концентрацій і їх використання як інгібіторів кислотної корозії неіржавіючої сталі типу «12–18».

**Ключові слова:** адсорбція, бензазоли, сірчана кислота, корозія.

В статье проанализированы адсорбционные свойства бензбензазолов в растворах серной кислоты средних концентраций и их использование в качестве ингибиторов кислотной коррозии нержавеющей стали типа «12–18».

**Ключевые слова:** адсорбция, бензазоли, серная кислота, коррозия.

In the article adsorption properties of benzazolov in solutions of sulphuric acid of middle concentrations and their use are analyzed as inhibitors of acid corrosion of stainless steel of type «12–18».

**Keywords:** adsorption, benzazoly, sulphuric acid, corrosion.

### 1. Введение

В процессах синтеза органических соединений в кислых средах многие из них оказывают существенное влияние на коррозию металлов. При этом весьма часто наблюдается увеличение доли кислородной деполяризации в суммарной катодной реакции выделения водорода и восстановления кислорода, обуславливающей процесс коррозии. Обычно для гетероциклических