

Охрана окружающей среды

УДК 621.311.25:543:621.18

**Трус И.Н., аспирант, Грабитченко В.Н., аспирант,
Гомеля Н.Д., докт. техн. наук, проф.**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

пр. Победы, 37, корп. 4, 03056 Киев, Украина, e-mail: inna.trus.m@gmail.com

Малоотходные процессы очистки сточных вод от сульфатов и хлоридов

В связи с ухудшающейся экологической ситуацией, что приводит к загрязнению водных ресурсов, наиболее рациональным решением проблемы их очистки является создание малоотходных технологий деминерализации воды. Это позволит повысить эффективность использования местных водных ресурсов и решить проблему обеспечения предприятий и населения качественной водой. Исследованы процессы ионообменного разделения хлоридов и сульфатов на высокоосновном анионите АВ-17-8 в Cl^- -форме в динамических условиях. Установлена зависимость между эффективностью процесса и величиной и соотношением хлорид- и сульфат-анионов в растворе. Изучены процессы регенерации анионита, а также зависимость степени регенерации от концентрации и удельного расхода регенерационных растворов. Разработан способ восстановления регенерационного раствора хлоридом кальция, что позволяет его повторное использование. Полученные данные позволили разработать эффективный метод очистки минерализованных вод. *Библ. 11, рис. 6, табл. 1.*

Ключевые слова: ионный обмен, анионит, хлориды, сульфаты, регенерация.

В последнее время постоянно ухудшается качество водных ресурсов в результате сброса недостаточно очищенных высокоминерализованных вод. Ситуация осложняется за счет сброса шахтных вод. Очистка шахтных вод, в том числе и шахт угледобычи, является актуальной проблемой, поскольку подземные воды, проходя через породы, обогащаются их минеральными элементами. При сбросе таких вод в водоемы не только снижаются их рекреационно-хозяйственные функции и происходит заболачивание прилегающей местности, но и суще-

ственно ухудшается качество воды, в первую очередь за счет повышения минерализации, что значительно усложняет проблему водообеспечения населения. Особенно это ощущается на Донбассе, что вызвано не только субъективными, но и объективными факторами: дефицит природной питьевой воды в связи с географическим положением; очень низкое качество водных ресурсов, что вызвано наличием различных полезных ископаемых в недрах региона, которые являются источниками загрязнения подземных вод; высокая интенсивность про-

мышленного использования чистой пресной воды; высокий уровень сброса недостаточно очищенных сточных и шахтных вод в естественные водоемы, что приводит к значительному повышению минерализации в них [1]. В связи с этим очистка шахтных вод является необходимым компонентом охраны окружающей среды.

Основными компонентами шахтных вод являются натрий, кальций, магний, бикарбонаты, хлориды и сульфаты. По химической природе в Донбассе треть вод относится к чисто сульфатным, в 54,1 % вод преобладают сульфаты и только в 16,4 % из них преобладают хлориды и гидрокарбонаты [2].

При обессоливании воды баромембранными методами получают концентраты с высоким уровнем минерализации. При низком содержании хлоридов и ионов натрия в воде при применении нанофильтрации в концентрате накапливаются в основном сульфаты, гидрокарбонаты и ионы жесткости, что дает возможность их эффективного обессоливания при реагентном умягчении с помощью высокоосновных алюминиевых коагулянтов [3].

При высоких концентрациях хлоридов и сульфатов необходимо применять обратный осмос. При этом наряду с другими ионами в концентрате присутствуют хлориды и сульфаты, что существенно затрудняет их переработку [4].

При наличии в растворе только сульфатов переработка концентратов электродиализом позволяет получать щелочь, серную кислоту и обессоленный раствор [5–7]. При наличии в растворе только хлорид-анионов, карбонатов и гидрокарбонатов можно получать при электродиализе щелочь и соляную кислоту или гипохлорит натрия [8, 9]. Поэтому разделение хлоридов и сульфатов при деминерализации шахтных или сточных вод является важной и актуальной проблемой.

Цель данной работы — изучение процессов ионообменного разделения сульфатов и хлоридов, определение эффективности регенерации анионита в зависимости от исходной концентрации раствора хлористого натрия, реагентная переработка регенерационных растворов для их повторного использования.

Экспериментальная часть

Процессы ионообменного разделения хлоридов и сульфатов изучали при использовании анионита АВ-17-8 в Cl⁻ форме. Поскольку при предварительной обработке воды возможно ее умягчение на катионите, то для сорбции на анионите использовали модельные растворы хлорида и сульфата натрия с концентрацией сульфатов 200, 800 и 2000 мг/дм³ и хлоридов

0, 100, 200, 300, 500, 1000, 2000 мг/дм³, а так же их композиции. Данные растворы пропускали через анионит АВ-17-8 в Cl⁻ форме объемом 20 см³. Расход раствора при сорбции составил 10–15 см³/мин (скорость фильтрования — 2,12–3,18 м/ч).

Пробы отбирали объемом по 100 см³ и анализировали их на содержание хлоридов и сульфатов. При проведении регенерации отбирали пробы по 20 см³. Расход регенерационного раствора составлял 1–2 см³/мин (скорость фильтрования — 0,2–0,4 м/ч). В каждой пробе определяли содержание хлоридов и сульфатов.

Обменную динамическую емкость до проскока (ОДЕ_{до пр.}) и полную обменную динамическую емкость (ПОДЕ) ионита определяли, исходя из массы сорбированных ионов на анионите:

$$\text{ОДЕ}_{\text{до пр.}} = \sum_{i=1}^m (C_{\text{нач}} - C_i) V_{\text{п}} / V_i; \quad (1)$$

$$\text{ПОДЕ} = \sum_{i=1}^n (C_{\text{нач}} - C_i) V_{\text{п}} / V_i, \quad (2)$$

где $C_{\text{нач}}$ — начальная концентрация ионов в растворе, мг-экв/дм³; C_i — концентрация ионов в i -й пробе после сорбции, мг-экв/дм³; $V_{\text{п}}$ — объем пробы, см³; V_i — объем ионита, см³; m — количество проб, отобранных до проскока сульфатов; n — количество проб, отобранных до исчерпания емкости ионита.

Степень регенерации ионита после пропускания n проб регенерационного раствора рассчитывали как соотношение массы десорбированных и сорбированных ионов:

$$Z_{\text{п}} = \left(\sum_{i=1}^n M_i^{\text{д}} / M_c \right) \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где $M_i^{\text{д}}$, M_c — количество десорбированных ионов с i -й пробой регенерационного раствора и количество сорбированных ионов, мг-экв/дм³.

Результаты и их обсуждение

Об эффективности ионообменного разделения хлоридов и сульфатов на анионите АВ-17-8 в Cl⁻ форме можно судить по выходным кривым сорбции, приведенным на рис.1–3. При реагентном умягчении минерализованных шахтных вод с помощью извести и алюминиевых коагулянтов концентрация сульфатов была снижена до 200 мг/дм³, поэтому именно эта концентрация сульфатов была выбрана за исходную [10, 11].

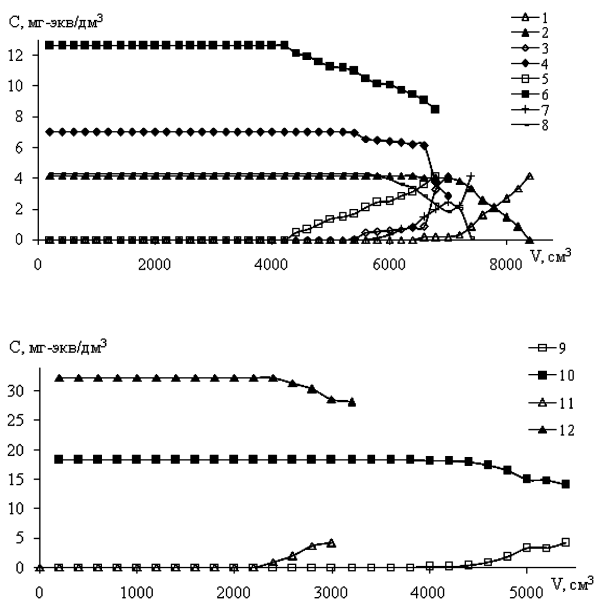


Рис.1. Зависимость концентрации сульфатов (1, 3, 5, 7, 9, 11) и хлоридов (2, 4, 6, 8, 10, 12) от объема пропущенного раствора ($C(\text{SO}_4^{2-}) = 200 \text{ мг/дм}^3$) через анионит АВ-17-8 в Cl^- -форме, мг/дм³: 1, 2 – 0; 3, 4 – 100; 5, 6 – 300; 7, 8 – 100 (после регенерации ионита 10 %-м раствором NaCl); 9, 10 – 500; 11, 12 – 1000.

Изменение обменной емкости до проскока $\text{ОДЕ}_{\text{до пр.}}$ и полной обменной динамической емкости ПОДЕ анионита АВ-17-8 в Cl^- -форме в зависимости от концентраций сульфатов и хлоридов в растворе приведены в таблице.

Из рис.1 и таблицы видно, что при исходной концентрации сульфатов в растворе 200 мг/дм^3 удалось пропустить $6,4 \text{ дм}^3$ раствора до проскока сульфатов, при этом $\text{ОДЕ}_{\text{до пр.}} = 1,33 \text{ г-экв/дм}^3$. При повышении концентрации хлоридов в растворе до 100, 300 и 500 мг/дм^3 при концентрации сульфатов 200 мг/дм^3 $\text{ОДЕ}_{\text{до пр.}}$ уменьшается до 1,08; 0,88 и $0,79 \text{ г-экв/дм}^3$ соответственно.

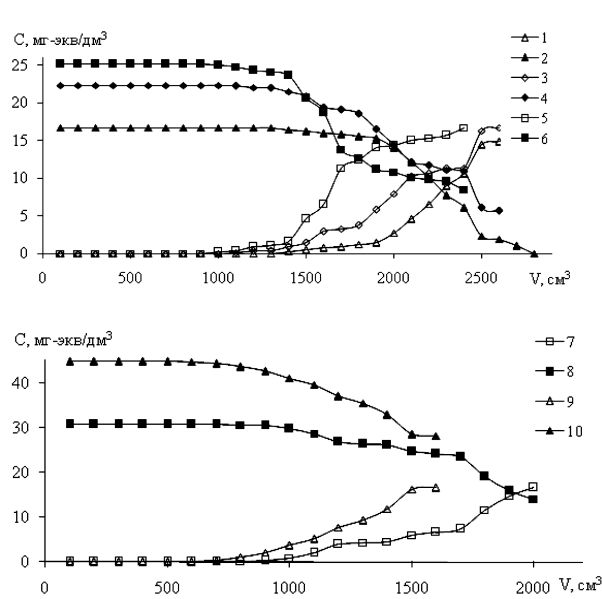


Рис.2. Исходные кривые сорбции сульфатов (1, 3, 5, 7, 9) и десорбции хлоридов (2, 4, 6, 8, 10) от объема пропущенного раствора ($C(\text{SO}_4^{2-}) = 800 \text{ мг/дм}^3$) через анионит АВ-17-8 в Cl^- -форме $C(\text{Cl}^-)$, мг/дм³: 1, 2 – 0; 3, 4 – 200; 5, 6 – 300; 7, 8 – 500; 9, 10 – 1000.

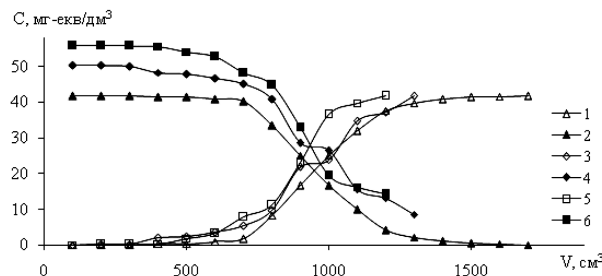


Рис.3. Зависимость концентрации сульфатов (1, 3, 5, 7) и хлоридов (2, 4, 6, 8) от объема пропущенного раствора ($C(\text{SO}_4^{2-}) = 2000 \text{ мг/дм}^3$) через анионит АВ-17-8 в Cl^- -форме, мг/дм³: 1, 2 – 0; 3, 4 – 300; 5, 6 – 500; 7, 8 – 0 (после регенерации восстановленным 15 %-м раствором NaCl).

Изменение $\text{ОДЕ}_{\text{до пр.}}$ и ПОДЕ (мг-экв/дм³) от концентраций сульфатов и хлоридов в растворе

C_{Cl^-} , мг/дм ³	$C_{\text{SO}_4^{2-}} = 200 \text{ мг/дм}^3$		$C_{\text{SO}_4^{2-}} = 800 \text{ мг/дм}^3$		$C_{\text{SO}_4^{2-}} = 2000 \text{ мг/дм}^3$	
	$\text{ОДЕ}_{\text{до пр.}}$	ПОДЕ	$\text{ОДЕ}_{\text{до пр.}}$	ПОДЕ	$\text{ОДЕ}_{\text{до пр.}}$	ПОДЕ
0	1330	1590	1083	1834	630 (625**)	1910 (1710**)
100	1080 (1170*)	1350 (1400*)	–	–	–	–
200	–	–	835	1651	–	–
300	880	1140	750	1351	420	1800
500	790	980	583	1269	210	1680
1000	500	560	420	960	–	–
5000	–	40	–	–	–	–

Примечание. Обменная емкость после регенерации: * – 10 %-м раствором NaCl; ** – реагентно восстановленным 15 %-м раствором NaCl.

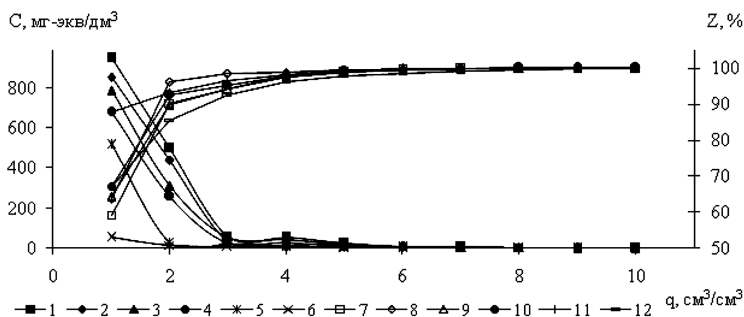


Рис.4. Зависимость концентрации сульфатов (1-6) и степени регенерации Z (7-12) от расхода 10 %-го раствора NaCl, пропущенного через ионит АВ-17-8 в Cl⁻-форме (V_i = 20 см³). Состав раствора при сорбции сульфатов C(SO₄²⁻) = 200 мг/дм³ и C(Cl⁻), мг/дм³: 1, 7 – 0; 2, 8 – 100; 3, 9 – 300; 4, 10 – 500; 5, 11 – 1000, 6, 12 – 5000.

При концентрации хлоридов 1000 мг/дм³ удалось разделить 2,4 дм³ раствора, при этом ОДЕ_{до пр.} составляет 0,5 г-экв/дм³.

При дальнейшем повышении концентрации хлоридов до 5000 мг/дм³ происходит проскок сульфатов уже в первых пробах, что обусловлено десорбцией сульфат-анионов при высоких концентрациях хлоридов. Из полученных результатов видно, что эффективное разделение хлоридов и сульфатов происходит в растворе их смеси с концентрацией хлоридов не более 1 г/дм³.

Интересным было дальнейшее изучение влияния концентрации сульфатов при тех же концентрациях хлоридов. Как видно из рис.2 и таблицы, при повышении концентрации сульфатов от 200 до 800 мг/дм³ в исходном растворе, где отсутствуют хлориды, наблюдается снижение ОДЕ_{до пр.} от 1,33 до 1,08 г-экв/дм³. Изменение ПОДЕ имеет обратный характер при повышении концентрации сульфатов от 200 до 800 мг/дм³. В данном случае емкость увеличивается от 1,59 до 1,83 г-экв/дм³. Аналогичные зависимости наблюдаются в растворах с концентрацией сульфатов 2000 мг/дм³ (рис.3, таблица).

Таким образом, эффективность разделения хлоридов и сульфатов на анионите АВ-17-8 в Cl⁻-форме зависит от исходной концентрации хлоридов и сульфатов. Эффективность разделения в процессе сорбции уменьшается при повышении концентрации и хлоридов, и сульфатов.

При этом при повышении концентрации сульфатов уменьшается обменная динамическая емкость ионита до проскока и существенно возрастает полная обменная динамическая емкость.

Для оценки эффективности ионообменной очистки воды нужно учитывать не только значение сорбционной емкости, но и эффективность регенерации анионита. Для регенерации анионита АВ-17-8 после ионообменного разделения хлоридов и сульфатов были использованы 10 %-е и 15 %-е растворы хлорида натрия.

Как видно из рис.4, 5, эффективность регенерации зависит от удельного расхода раствора хлористого натрия и в незначительной степени зависит от его концентрации. При удельном расходе раствора хлорида натрия 5 см³/см³ степень десорбции сульфатов достигает 99 % для обоих растворов. Рекомендуется применять 10 %-й раствор, который является более экономически целесообразным.

После регенерации обменная емкость ионита практически не меняется. Это видно по данным, приведенным на рис.1 (кривые 7, 8), рис.3 (кривые 7, 8) и в таблице.

Повторное использование регенерационных растворов позволяет значительно сократить затраты на их очистку. На рис.6 приведены результаты обработки отработанных регенерационных растворов хлоридом кальция:



Как видно из рис.6, концентрации сульфатов после реагентной обработки снижаются от 200–800 до 20–60 мг-экв/дм³. С увеличением избытка хлористого кальция остаточное содержание сульфатов снижается, но при этом возрастает содержание ионов кальция в обработанном растворе. Поэтому в дальнейшем применя-

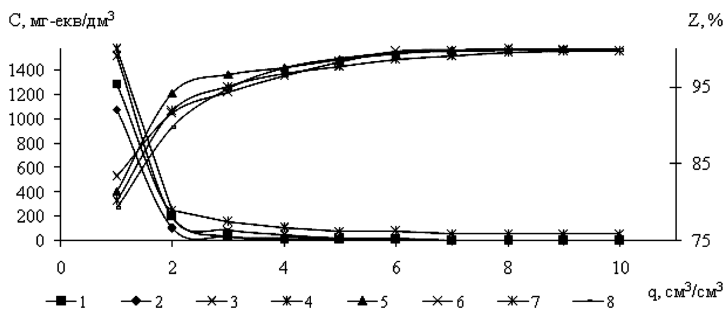


Рис.5. Зависимость концентрации сульфатов (1-4) и степени регенерации Z (5-8) от расхода 15 %-го раствора NaCl, пропущенного через ионит АВ-17-8 в SO₄²⁻-форме (V_i = 20 см³). Регенерационные растворы: 1-3, 5-7 – свежеприготовленные растворы NaCl; 4, 8 – отработанный раствор, восстановленный при обработке CaCl₂. Состав раствора при сорбции сульфатов C(SO₄²⁻) = 800 мг/дм³ и C(Cl⁻), мг/дм³: 1, 5 – 0; 2, 6 – 100; а также C(SO₄²⁻) = 2000 мг/дм³ и C(Cl⁻), мг/дм³: 3, 4, 7, 8 – 0.

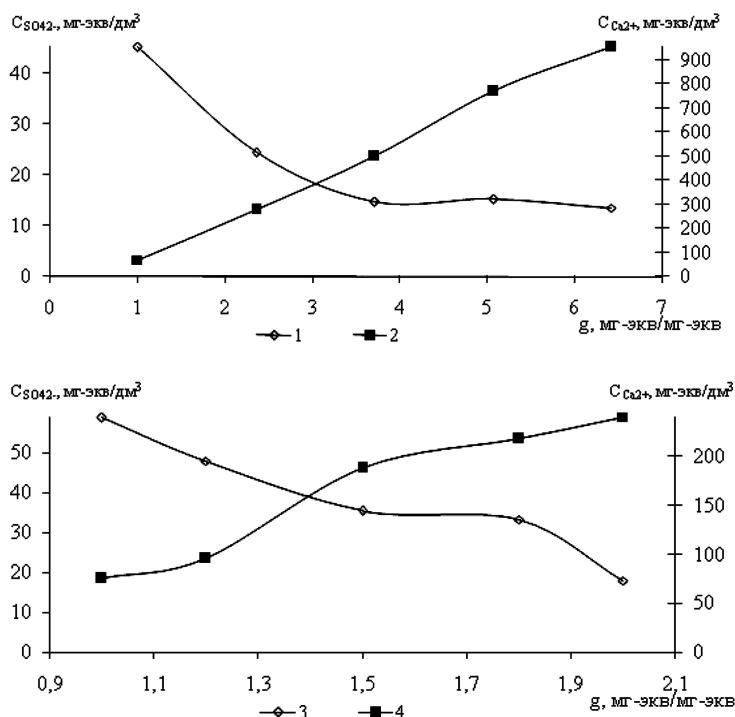


Рис.6. Зависимость остаточной концентрации сульфатов (1, 3) и ионов кальция (2, 4) от расхода раствора CaCl_2 (мг-экв CaCl_2 на мг-экв SO_4^{2-}) при реагентной обработке раствора.

ли растворы, полученные при использовании хлорида кальция в стехиометрическом количестве к содержанию сульфата натрия в регенерационном растворе.

Регенерация ионита АВ-17-8 в дальнейшем проводилась растворами после реагентной обработки, которые содержали остаточные концентрации сульфатов и ионов жесткости (рис.4, 5, кривые 4, 8). В процессе десорбции была достигнута такая же степень регенерации анионита, как в случае использования свежих растворов. После проведения повторной сорбции сорбционная емкость анионита не уменьшилась (рис.3, кривые 7, 8, таблица), что позволяет использовать данные растворы для регенерации.

Таким образом, показано, что сточные и шахтные воды, которые содержат хлориды и сульфаты, можно обессоливать при эффективном разделении хлоридов и сульфатов. При этом сульфаты после сорбции на анионите АВ-17-8, регенерации анионита и обработки регенерационных растворов извлекаются в виде сульфата кальция, который после сушки и прокаливании можно использовать для производства строительных материалов. В обрабатываемой воде остаются хлориды, которые легко извлекаются из воды на обратноосмотической установке в виде концентрированных растворов, из ко-

торых электродиализом можно получить соляную кислоту или гипохлорит натрия.

Выводы

Показано, что шахтные воды и поверхностные слабоминерализованные воды, кроме карбонатов и гидрокарбонатов, содержат в значительных количествах хлорид- и сульфат-анионы. Наличие смеси хлоридов и сульфатов в воде затрудняет процессы электродиализной переработки концентратов и элюатов, которые образуются при баромембранном или ионообменном опреснении воды.

Установлено, что эффективность разделения хлоридов и сульфатов на высокоосновном анионите АВ-17-8 в Cl^- -форме зависит от величины и соотношения их концентраций в воде. В целом с увеличением концентрации сульфатов эффективность разделения хлоридов и сульфатов снижается при увеличении емкости ионита по сульфатам. При увеличении концентрации хлоридов снижаются эффективность разделения ионов и емкость ионита по хлоридам.

Определена зависимость эффективности регенерации анионита АВ-17-8 от концентрации и расхода раствора хлорида натрия. Лучшие результаты получены при концентрации раствора хлорида натрия 10–15 % при удельном расходе 4–5 дм^3 раствора на 1 дм^3 ионита при степени регенерации более 90 %. Высокая эффективность регенерации подтверждена результатами повторной сорбции сульфатов на анионите.

Разработан способ восстановления регенерационных растворов при обработке их хлоридом кальция. В результате получают сульфат кальция, который пригоден для производства строительных материалов, и восстановленный раствор хлорида натрия с невысоким содержанием сульфатов и ионов кальция.

Показано, что многократное использование восстановленных регенерационных растворов обеспечивает эффективность десорбции сульфатов на анионите на уровне свежеприготовленных растворов хлорида натрия.

Список литературы

1. Матлак Е.С., Романова В.Ю. Использование шахтных вод в техническом, хозяйственно-бытовом во-

- доснабженні — новий підхід к решению проблеми дефіцита водних ресурсів Донбасу // Наук.-практ. конф. «Донбас 2020 : Наука і техніка — виробництву» : Тези доп., 5–6 лют. 2002 р. — Донецьк : ДонНТУ, 2002. — С. 841–843.
2. Майдуков Г.Л. Комплексное использование угольных месторождений Донбасу как основа экологической безопасности и энергосбережения в регионе // Экономічний вісник Донбасу. — 2007. — № 4. — С. 12–19.
 3. Рисухін В.В., Шаблій Т.О., Камаєв В.С., Гомеля М.Д. Переробка концентратів, що утворюються при нанофільтраційному очищенні вод з підвищеною мінералізацією // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2011. — № 5/3. — С. 51–55.
 4. Шаблій Т.А. Переработка отработанных щелочных и нейтральных регенерационных растворов ионообменного умягчения воды методом электролиза // Энерготехнологии и ресурсозбережение. — 2010. — № 6. — С. 63–66.
 5. Голтвяницька О.В., Шаблій Т.О., Гомеля М.Д. Електродіалізне отримання сірчаної кислоти та луку з розчинів сульфату натрію // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2011. — № 3/6. — С. 18–22.
 6. Трус І. М., Грабітченко В.М., Гомеля М.Д. Отримання сірчаної кислоти при електрохімічній переробці елюатів, що містять сульфати // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 4/6. — С. 10–13.
 7. Трус І.М., Гомеля М.Д., Радовенчик Я.В. Спосіб концентрування розчинів луку при електрохімічній переробці елюатів, що містять солі натрію // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 5/6. — С. 20–23.
 8. Шаблій Т.О., Іванюк В.В., Гомеля М.Д. Електродіаліз розчину хлориду натрію з одержанням соляної кислоти та луку // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. — 2011. — № 1. — С. 67–71.
 9. Голтвяницька О.В., Шаблій Т.О., Гомеля М.Д., Ставська С.С. Видалення та розділення хлоридів і сульфатів при іонообмінному знесоленні води // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2012. — № 1/6. — С. 40–44.
 10. Трус І. М., Грабітченко В.М., Гомеля М.Д. Застосування алюмінієвих коагулянтів для очищення стічних вод від сульфатів при їх пом'якшенні // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2012. — № 6/10. — С. 13–17.
 11. Трус І.М., Грабітченко В.М., Петриченко А.І., Гомеля М.Д. Очищення високомінералізованих шахтних вод від сульфатів при використанні вапна та металічного алюмінію // Екологічна безпека. — 2012. — № 2. — С. 77–79.

Поступила в редакцію 29.09.14

**Трус І.М., аспірант, Грабітченко В.М., аспірант,
Гомеля М.Д., докт. техн. наук, проф.**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

пр. Перемоги, 37, корп. 4, 03056 Київ, Україна, e-mail: inna.trus.m@gmail.com

Маловідходні процеси очищення стічних вод від сульфатів та хлоридів

У зв'язку з екологічною ситуацією, яка погіршується, що призводить до забруднення водних ресурсів, найбільш раціональним рішенням проблеми їх очищення є створення маловідходних технологій демінералізації води. Це дасть змогу підвищити ефективність використання місцевих водних ресурсів та вирішити проблему забезпечення підприємств та населення якісною питною водою. Досліджено процеси іонообмінного розділення хлоридів та сульфатів на високоосновному аніоніті АВ-17-8 у Cl^- -формі у динамічних умовах. Встановлено залежність між ефективністю процесу та величиною та співвідношенням хлорид- та сульфат-аніонів у розчині. Вивчено процеси регенерації аніоніту, а також залежність ступеню регенерації від концентрації та питомої витрати регенераційних розчинів. Розроблено спосіб відновлення регенераційного розчину хлоридом кальцію, що дозволяє його повторне використання. Отримані дані дали змогу розробити ефективний метод очищення мінералізованих вод. *Бібл. 11, рис. 6, табл. 1.*

Ключові слова: іонний обмін, аніоніт, хлориди, сульфати, регенерація.

**Trus I.M., PhD Student, Grabitchenko V.M., PhD Student,
Gomelya M.D., Doctor of Technical Science, Professor**
National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»
37, Peremohy Ave., build. 4, 03056 Kiev, Ukraine, e-mail: inna.trus.m@gmail.com

Low-Waste Purification Processes of Wastewater From Sulfates and Chlorides

For today, due to the deteriorating environmental situation, which leads to the deterioration of water resources and their quality, the most rational solution is to create a low-waste technologies of water demineralization. The data obtained allowed us to develop an effective method of saline water purification. Processes of chloride and sulfate ion exchange separation on highly basic anionite AV-17-8 in Cl⁻-form at dynamic conditions were studied in this paper. The dependence between process efficiency, size and ratio of chloride and sulfate anions in solution were established. Process of anionite regeneration and the dependence of regeneration degree from concentration and unit consumption of regeneration solutions were studied. Method of restoring regeneration solutions by calcium chloride, which allows them to be reuse, is developed. This will allow more efficient use of local water resources and also solve the problem of enterprises and population supply by quality water. *Bibl. 11, Fig. 6, Table 1.*

Key words: ion exchange, anion resin, chlorides, sulfates, regeneration.

References

1. Matlak E.S., Romanova V.Yu. Ispol'zovanie shahtnyh vod v tehničeskom, hozjajstvenno-bytovom vodosnabzhenii – novyj podhod k resheniju problemy deficita vodnyh resursov Donbassa [The use of mine water in the technical, domestic water supply – a new approach to solving the problem of water scarcity of Donbass]. *Naukovo-praktična konferencija «Donbas 2020 : Nauka i tehnika virobnictvu» : Tezi dop., 5–6 ljutogo 2002.* Donetsk : DonNTU, 2002, pp. 841–843. (Rus.)
2. Majdukov G.L. Kompleksnoe ispol'zovanie ugol'nyh mestorozhdenij Donbassa kak osnova jekologičeskoj bezopasnosti i jenergosberezhenija v region [Complex use of coal deposits in Donbass as a basis for environmental safety and energy saving in the region]. *Ekonomičnij visnik Donbasu*, 2007, (4), p.12–19. (Rus.)
3. Risuhin V.V., Shabl'ij T.O., Kamaev V.S., Gomelja M.D. Pererobka koncentrativ, shho utvorjujut'sja pri nanofil'tracijnomu ochishhenni vod z pidvishheniju mineralizaciju [Processing of concentrates which produced at nanofiltration purification of water with high salinity]. *Shidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tehnologij*, 2011, (5/3), pp. 51–55. (Ukr.)
4. Shabl'ij T.A. Pererobka otrabotannyh shhelochnyh i nejtral'nih regeneracionnyh rastvorov ionoobmenogo umjagchenija vody metodom jekترولriza [Processing of waste alkaline and neutral regeneration solutions of ion exchange water mitigation by electrolysis]. *Jenergotehnologij i resursoberezhenie [Energy Technologies and Recourse Saving]*, 2010, (6), pp. 63–66. (Rus.)
5. Goltvjanic'ka O.V., Shabl'ij T.O., Gomelja M.D. Elektrodializis obtain of sulfuric acid and alkaline from sodium sulfate solutions. *Shidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tehnologij*, 2011, (3/6), pp. 18–22. (Ukr.)
6. Trus I.M., Grabitchenko V.M., Gomelja M.D. Otrimannja sirchanoy kisloti pri elektrohimičnij pererobci eljuativ, shho mistjat' sul'fati [Receipt of sulfuric acid during electrochemical processing of eluates which contains sulfates]. *Shidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tehnologij*, 2013, (4/6), pp. 10–13. (Ukr.)
7. Trus I. M., Gomelja M.D., Radovenchik Yu.V. Spisib koncentruvannja rozchiniv lugu pri elektrohimičnij pererobci eljuativ, shho mistjat' soli natriju [Method of alkali solution concentrating in electrochemical processing of eluate which containing sodium]. *Shidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tehnologij*, 2013,(5/6), pp. 20–23. (Ukr.)
8. Shabl'ij T.O., Ivanjuk V.V., Gomelja M.D. Elektrodializis rozchinu hloridu natriju z oderzhannjam soljanoj kisloti ta lugu [Electrodialysis of sodium chloride solution to produce hydrochloric acid and alkali], *Visnik NTUU «KPI». Himična inženerija, ekologija ta resurso-zberzhennja*, 2011, (1), pp. 67–71. (Ukr.)
9. Goltvjanic'ka O.V., Shabl'ij T.O., Gomelja M.D., Stavs'ka C.S. Removal and separation of chlorides and sulfates at ion-exchange water desalination. *Shidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tehnologij*, 2012, (1/6), pp. 40–44. (Ukr.)
10. Trus I.M., Grabitchenko V.M., Gomelja M.D. The use of aluminum coagulants for water treatment from sulfates in their mitigation. *Shidno-Evropejs'kij zhurnal peredovih tehnologij*, 2012, (6/10), pp. 13–17. (Ukr.)
11. Trus I.M., Grabitchenko V.M., Petrichenko A.I., Gomelja M.D. Treatment of highly mineralized mine water from sulfates with using lime and metallic aluminum. *Ekologična bezpeka*, 2012, (2), pp. 77–79. (Ukr.)

Received September 29, 2014