



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕССОЛИВАНИЯ КОНЦЕНТРАТА УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА ОТХОДОМ ЭНЕРГЕТИКИ

Л.А. Николаева, Э.Р. Зайнуллина

Казанский государственный энергетический университет»,
Казань, Россия
larisanik16@mail.ru

Резюме: ЦЕЛЬ. исследовать процесс очистки концентрата установок обратного осмоса (УОО) отходом энергетики. Получить и определить его показатели качества. Изучить механизм адсорбции сульфат и хлорид-ионов сорбционным материалом, изготовленным на основе отхода энергетики. Рассмотреть процесс адсорбции сульфат- и хлорид-ионов этим сорбционным материалом в статических и динамических условиях. МЕТОДЫ. Для определения адсорбционной емкости материала использовался метод переменных навесок. При определении показателей качества воды применяли методы титриметрического, фотоколориметрического анализа. РЕЗУЛЬТАТЫ. В работе изучена технология обессоливания концентрата УОО методом адсорбции. Построена изотерма адсорбции в статических условиях. На основе мелкодисперсного шлама разработан гранулированный сорбционный материал. Представлена выходная кривая для процесса адсорбции. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработан сорбционный материал для очистки концентрата УОО на основе отхода энергетики. Построены изотермы адсорбции сульфат и хлорид-ионов. Получен гранулированный сорбционный материал для изучения очистки концентрата в динамических условиях. Представлена адсорбционная технология очистки концентрата УОО от сульфат- и хлорид-ионов отходом энергетики. Проведена сравнительная характеристика технологических показателей и адсорбционной емкости гранулированного сорбционного материала по сульфат- и хлорид-ионам с применением промышленно-выпускаемыми адсорбентами.

Ключевые слова: адсорбционная технология; концентрат установки обратного осмоса; шлам химводоподготовки; сульфат-ионы; хлорид-ионы; сорбционный материал.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №18-79-10136 <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>

Для цитирования: Николаева Л.А., Зайнуллина Э.Р. Исследование процесса обессоливания концентрата установок обратного осмоса отходом энергетики // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т. 24. № 2. С. 186-195. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-2-186-195.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF DESALINATION OF THE CONCENTRATE OF REVERSE OSMOSIS PLANTS BY ENERGY WASTE

LA. Nikolaeva, ER. Zainullina

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
larisanik16@mail.ru

Abstract: PURPOSE. To investigate the cleaning process of the reverse osmosis water filtration system (ROWFS) concentrate with energy waste, to obtain and determine its quality indicators, to study the mechanism of sulfate and chloride ions adsorption by sorption material on the basis of energy waste, to consider the process of sulfate and chloride ion adsorption by this sorption material under static and dynamic conditions. METHODS. The method of variable weights was used to determine the adsorption capacity of the sorption material. Methods of titrimetric and photocolorimetric analysis were used during determining of water quality indicators. RESULTS. In this paper the technology of desalination of the ROP concentrate by the adsorption method was studied. Under static conditions the adsorption isotherm has been constructed. On the basis of

ground sludge the granular sorption material has been developed. The possibility of using ion-exchange filters with granular loading has been considered, the adsorption curve under dynamic conditions has been constructed. **CONCLUSION.** The sorption based on energy waste - carbonate sludge material for the purification of ROWFS concentrate has been developed. Adsorption isotherms of sulfate and chloride ions were constructed on the basis of experimental data. For investigation the purification of the ROWFS concentrate under dynamic conditions the granular sorption material was obtained. The adsorption technology of ROWFS concentrate purification from sulfate and chloride ions by energy waste is presented.

Keywords: adsorption technology; reverse osmosis plant concentrate; concentrate of the reverse osmosis plant for chemical water treatment; chemical water treatment sludge; сульфат-ионы; chloride ions; sorption material.

Acknowledgments: The study was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation №18-79-10136 <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>

For citation: Nikolaeva LA, Zainullina ER. Investigation of the process of desalination of the concentrate of reverse osmosis plants by energy waste. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2022; 24(2):187-195. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-2-186-195.

Введение

На долю теплоэнергетики приходится 65 % выработки электроэнергии в России. Принцип работы ТЭС основан на использовании химической энергии органического топлива, которая путем его сжигания превращается в тепловую энергию, а затем преобразуется в механическую (вращение вала турбины, а за ним и вала электрогенератора).

В энергетике РФ масштабно реализуются проекты по внедрению парогазовых установок (ПГУ), в которых пар, образующийся за счёт нагрева воды в пароводяном тракте, является основным рабочим телом процесса получения электроэнергии. Во избежание повреждения оборудования, а также его быстрого износа, важно соблюдать нормы качества питательной воды, которая подается в пароводяной тракт. Для этого на тепловых электростанциях используются водоподготовительные установки (ВПУ).

Существует ряд схем ВПУ, выбор которых зависит от водоисточника и требований к качеству подаваемой воды в пароводяной тракт. Так как часть основного оборудования на многих ТЭС в России устарело, стали проводиться реконструкции, модернизации и ввод нового оборудования в рамках стратегической программы развития электроэнергетики России. Предпочтение отдавалось установкам, работающим на сверхкритических параметрах, а значит и требования к качеству питательной воды стали строже. Поэтому замена основного оборудования предполагает реконструкцию водоподготовительных установок с применением современных и перспективных методов очистки [1].

Выбор метода подготовки воды зависит от химического состава исходной воды, а также от конечной цели – качества обессоленной воды. Самыми распространенными технологиями обессоливания добавочной воды являются: ионитовое химическое обессоливание; электродиализ; обратный осмос.

Одной из наиболее широко используемых технологий является ионитовое химическое обессоливание. Данная технология является наиболее надежной для вод малой и средней минерализации и применяется уже много лет. [2].

Ионитовое химическое обессоливание включает в себя обработку воды на Н-катионитовых и ОН-анионитовых фильтрах. Принцип работы таких фильтров основан на методе ионного обмена. Метод заключается в ионном обмене функциональных групп ионитов на катионные и анионные примеси в воде.

На Н-катионитовых фильтрах происходит очистка воды от основных солей жесткости. На ОН-анионитовых фильтрах вода очищается от анионов сильных (SO_4^{2-} ; NO_3^- ; Cl^-) и анионов слабых кислот (HCO_3^- ; CO_3^{2-} ; HSiO_3^- ; SiO_3^{2-}). Основным недостатком этой технологии является большой расход растворов кислоты и щелочи, применяемых для регенерации катионитов и анионитов соответственно.

Электродиализ – это процесс, который происходит в многокамерном аппарате, исходный раствор поступает во все камеры. Под действием постоянного электрического поля катионы перемещаются к катоду, а анионы солей к аноду через мембраны. При этом в нечетных камерах, происходит концентрирование, а в четных деминерализация водного

раствора. В катодной камере раствор подщелачивается, а в анодной – подкисляется. В результате образуется концентрат и пермеат [3].

Одними из основных методов современной водоподготовки ТЭС являются технологии мембранного осмоса. Мембрана представляет собой перегородку, которая имеет свойство пропускать через себя компоненты жидких сред [4].

На этапе обессоливания применяют блок обратноосмотической установки. Обратный осмос (ОО) широко используется для обессоливания воды в системах водоподготовки ТЭС и предприятий различных отраслей промышленности. Установка ОО включает последовательно соединенные модули, эксплуатирующиеся под высоким давлением. Преимущества очистки сточных вод обратным осмосом:

- отсутствие перехода вещества из одной термодинамической фазы в другую при небольшом расходе энергии;

- отсутствие химических реагентов;

- невысокая температура процесса;

- простая конструкция установки обратного осмоса.

Наряду с преимуществами, метод ОО имеет недостатки:

- возрастание солевого содержания у поверхности мембраны;

- невысокий срок службы мембран в установках ОО;

- уменьшение степени ионитного разделения. [5]

Качество мембран применяемых в баке обратного осмоса выявляют не эффективность обессоленной воды. Поэтому мембраны должны иметь высокую селективность, проницаемость, быть устойчивыми к химическим реагентам, обладать достаточной механической прочностью, иметь невысокую стоимость.

Для современных обратноосмотических мембранных элементов степень извлечения растворенных в воде солей (селективность) составляет – 99,8%.

При обратноосмотическом обессоливании образуется пермеат высокого качества, преимуществами мембранных установок является простота в эксплуатации, отсутствие применения реагентов. Серьезную проблему ОО составляет наличие сбросных расходов концентрата, который имеет высокое содержание, что делает невозможным его возврат в оборотный цикл, и сброс в городской коллектор.

В зарубежной литературе описаны и рассмотрены существующие методы обработки концентратов обратного осмоса, такие как сброс, минимизация отходов, переработка, проанализирована перспектива утилизации. Так в Австралии осуществлялся прямой сброс в поверхностные воды или море, так как, этот метод считался наиболее простым, удобным и экономически выгодным. Однако, сброс представлял опасность для водных организмов из-за высокой концентрации в нем ионов металлов и солей. Прямой сброс в глубокую скважину является еще одним эффективным методом утилизации концентратов, если позволяют местные географические условия. Также рассматривался метод возврата концентрата обратно в поток сырья, что может увеличить извлечение воды, а также уменьшить объем концентратов. Тем не менее, если скорость обратного потока слишком высока, соответственно увеличивается соленость поступающего потока, что приводит к сокращению срока службы мембраны. Процесс испарения применим к местности малым годовым количеством осадков [6].

Одной из актуальных проблем является поиск путей утилизации многотоннажных производственных отходов в качестве адсорбционных материалов для очистки обратноосмотического концентрата от различных видов загрязнителей. Такими отходами являются отходы энергетики, агропромышленного комплекса, коксохимического производства, строительства.

В статье впервые научно обоснованы технологические решения обессоливания концентрата установок обратного осмоса, гранулированным карбонатным шламом, образующимся на стадии предварительной очистки воды на объектах теплоэнергетики, до значений нормативно-допустимого сброса, для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Изучен механизм адсорбции сульфат- и хлорид ионов в статических и динамических условиях, построены изотермы адсорбции, установлены закономерности этих процессов.

Практическая значимость экспериментального исследования заключается в предложенном комплексном ресурсосберегающем решении проблемы на топливно-энергетическом комплексе: очистка концентрата после установок обратного осмоса и утилизация отхода энергетики – шлама ХВО.

Материалы и методы

Материалы, используемые для лабораторного исследования, являются: отход энергетики – шлам химводоподготовки, концентрат установки обратного осмоса. Для проведения лабораторных исследований были применены следующие методы исследования: метод переменных навесок для определения адсорбционной емкости сорбционного материала; турбидиметрический метод для определения количественного содержания сульфат-анионов в модельных растворах, меркуриметрический метод для определения количественного содержания хлорид-анионов в модельных растворах.

Экспериментальные данные обработаны методами математической статистики. Выводы подкреплены убедительными экспериментальными и литературными данными, все это подтверждает достоверность и обоснованность полученных результатов.

Основные результаты

Изучен процесс обессоливания обратноосмотического концентрата отходом энергетики методом адсорбции [7].

Экспериментальные исследования по получению обратноосмотического концентрата проводились на лабораторной установке компании «Медиана-фильтр».

Лабораторная установка представлена в виде стенда, которая включает в себя механический и угольные фильтры. Мембранный блок состоит из одного или нескольких мембранных модулей, соединенных между собой. Исходная вода разделяется на два потока, концентрат (с высоким содержанием) и пермеат (частично обессоленная вода). Объем сливаемого в канализацию концентрата регулируется с помощью крана.

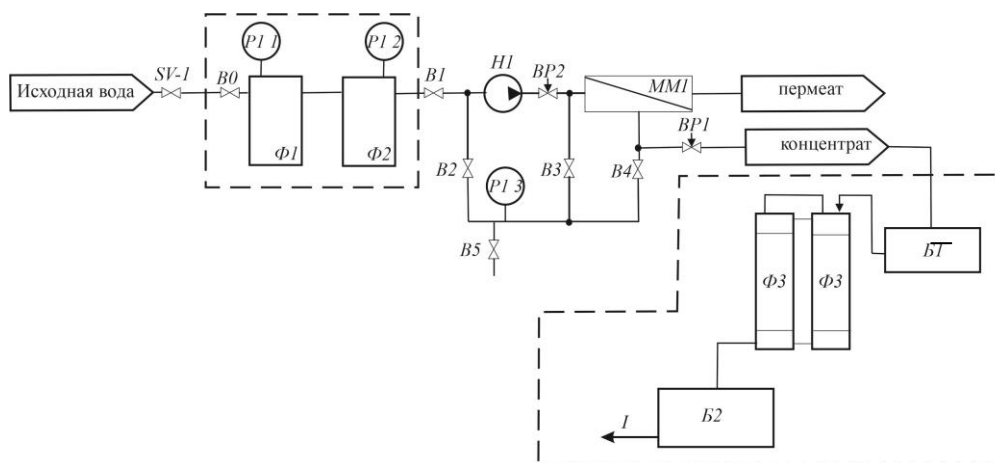


Рис. 1 Гидравлическая схема одноступенчатой установки Ф1 – микрофильтр; Ф2 – угольный фильтр; Ф3 – адсорбционный фильтр; Н1 – насос; Б1 – бак сбора концентрата; Б2 – бак сбора стоков; I – сток в канализацию.

Fig. 1 Hydraulic scheme of a one-stage plant F1 - microfilter; F2 - carbon filter; F3 - adsorption filter; H1 - pump; B1 - concentrate collection tank; B2 - waste collection tank; I - drain into the sewer.

В настоящей работе предлагается проводить очистку обратноосмотического концентрата сорбционным материалом, изготовленным на основе отхода энергетики, шламом химводоподготовки. [8].

Для эксперимента использовался шлам Казанской ТЭЦ-1. Карбонатный шлам представляет собой порошок от светло-желтого до бурого цвета. В процессе исследований использовали фракцию с размером зерен от 0,09 до 0,5 мм. Рентгенографический качественный фазовый анализ шлама на дифрактометре D8 ADVANCE фирмы Bruker показал следующий химический состав: кальцит CaCO_3 – 73%, брусит $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 8%, портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ < 1%, кварц SiO_2 – 0.4%, остальные прочие вещества – 17.6%.

В ранних работах [9] представлен полный химический состав шлама и показатели качества водной вытяжки. Экспериментально определена адсорбционная емкость шлама по отношению к сульфат- и хлорид анионам.

Исследования проводилась на исходной водопроводной воде, которая удовлетворяет требованиям для мембранных модулей. Показатели качества исходной воды, пермеата, концентрата приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Показатели качества воды обратноосмотической установки			
Показатели	Исходная вода	Пермеат	Концентрат
pH	7,91	6,4	6,58
Cl^- мг/дм ³	5,23	1,77	10,64
Mg^{2+} мг-экв/дм ³	5,85	2,5	7,2
SO_4^{2-} мг/дм ³	68,32	0,95	324,24
Ca^{2+} мг-экв/дм ³	2,8	1,9	8,5

Для определения адсорбционной емкости карбонатного шлама по отношению к сульфат- и хлорид-ионам построены изотермы адсорбции методом переменных навесок [10].

Исходная концентрация модельных водных растворов по сульфат-анионам – 324,24 мг/дм³; по хлорид-анионам – 10,64 мг/дм³.

Изотермы адсорбции представлены на рисунке 2 (а, б)

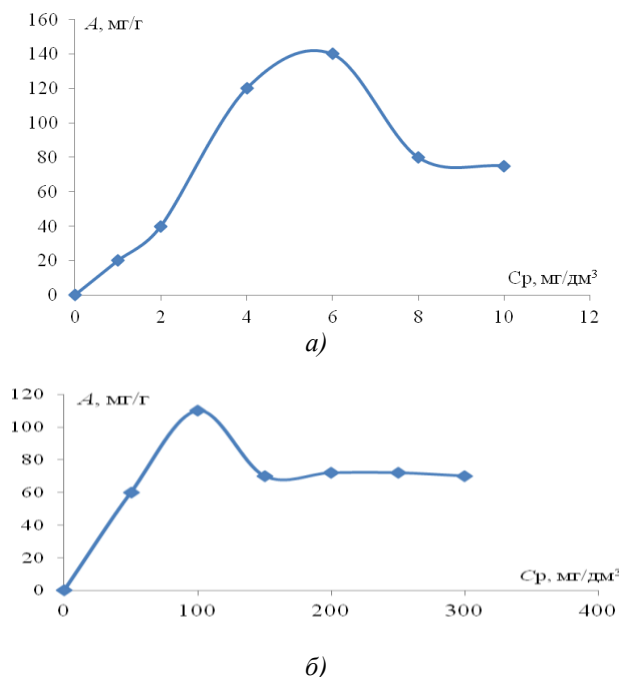
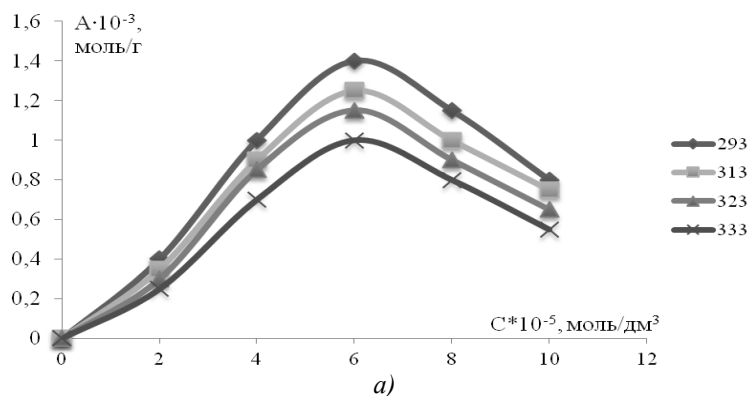


Рис. 2. Изотермы адсорбции сульфат- (а) и хлорид-ионов (б) карбонатным шламом Казанской ТЭЦ-1

1

По классификации Смита изотермы адсорбции относятся к Н-типу и описывают протекание процесса хемосорбции. Построены изотермы адсорбции при разных температурах, рассчитаны энтальпия, энергия Гиббса процесса адсорбции [11].

Изучен механизм процесса адсорбции. Проведен эксперимент в статических условиях при следующих температурах: 293, 313, 323, 333 К, построены изотермы сульфат- и хлорид-ионов карбонатным шламом (рис. 3 а, б)



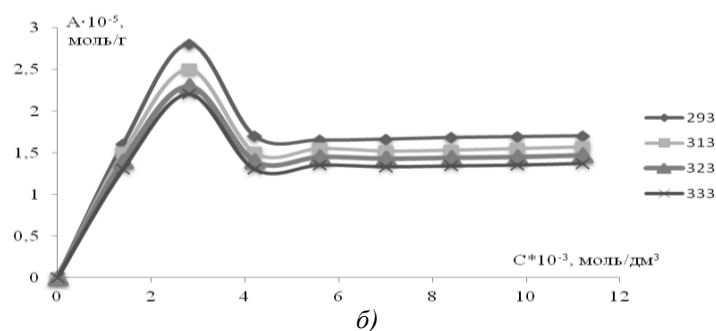


Рис. 3 Изотермы адсорбции при разных температурах а) сульфат- ионы; б) хлорид-ионы карбонатным шламом

Fig. 3 Adsorption isotherms at different temperatures a) sulfate ions; b) chloride ions by carbonate sludge

Дифференциальная теплота адсорбции рассчитывается по уравнению:

$$\Delta H = -R \frac{\Delta \ln C}{\Delta(1/T)}$$

Определена энергия Гиббса адсорбции по уравнению

$$\Delta G = -RT \ln K_d,$$

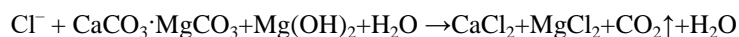
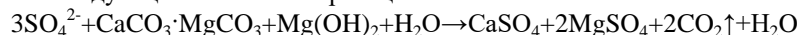
где ΔG – энергия Гиббса, Дж/моль; T – температура, К; K_d – константа адсорбционного равновесия. Результаты по расчетам, кДж/моль, и энергии Гиббса ΔG , кДж/моль представлены в таблице 2 [12].

Таблица 2

Значения энтальпии и энергии Гиббса

Сульфат-анионы		Хлорид-анионы	
ΔH , кДж/моль	+62.3	ΔH , кДж/моль	+65.4
ΔG , кДж/моль	-21.5	ΔG , кДж/моль	-20.08

Высокие значения энтальпии адсорбции свидетельствуют об образовании связи между SO_4^{2-} и Cl^- ионами и функциональными группами шлама, в результате чего протекает следующая химическая реакция:



Одним из наиболее эффективных методов очистки обратного осмотического концентрата является адсорбционная очистка в динамических условиях, где применяется гранулированный сорбционный материал. Для получения гранул мелкодисперсный шлам с размерами частиц 0,01...0,09 мм смешивается с жидким натриевым стеклом при массовом и объёмном соотношении 2:1 соответственно. Смесь доводится до однородной массы, окатывание смеси осуществляется вручную с получением гранул, гранулы в течение 3 ч выдерживают в печи при температуре 400°C [13]. Далее проводится охлаждение гранул до комнатной температуры в эксикаторе. Характеристики гранул при средней гидрофильности следующая: размер 0,5...2,5 мм; прочность на истирание – 78% [14].

В лабораторных условиях проведен эксперимент определения адсорбционной емкости карбонатного шлама по отношению к сульфат- и хлорид-ионам в динамических условиях.

Предложено обессоливание обратного осмотического концентрата с помощью ионообменного фильтра с гранулированной загрузкой. Предлагается лабораторная установка в виде стеклянной колонки диаметром 2,5 см, загрузка осуществляется полученным гранулированным сорбционным материалом (рис. 4).

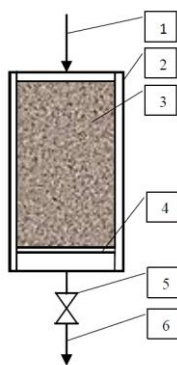


Рис. 4 Лабораторная установка: 1 – подвод модельной смеси, 2 – стеклянная колонка, 3 – сорбционный материал, 4 – перфорированное дно, 5 – кран регулирования расхода жидкости, 6 – патрубок отвода фильтрата.

Fig. 4 Laboratory installation: 1 – model mixture supply, 2 – glass column, 3 – sorption material, 4 – perforated bottom, 5 – liquid flow control valve, 6 – filtrate outlet pipe.

По экспериментальным данным адсорбционная емкость гранулированного сорбционного материала: по сульфат-ионам – 130 мг/г; по хлорид-ионам – 116 мг/г; суммарный объем пор – 0,592 см³/г; удельная поверхность – 46,2 м²/г.

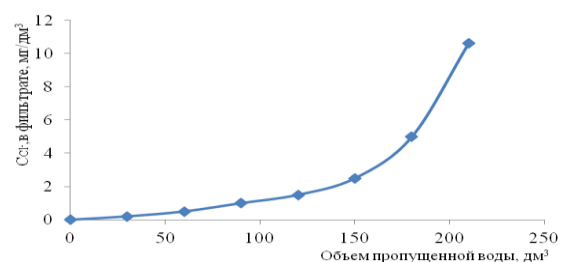
На лабораторном адсорбционном фильтре с диаметром 2,5 см, высота загрузки слоя – 20 см, масса гранул – 52,24 г, скорость фильтрования – 3 м/ч. «Проскок» Cl⁻ и SO₄²⁻ ионов фиксируется при 0,1 мг/дм³. Рассчитаны значения динамической и полной объемная емкости гранул (ДОЕ, ПОЕ, мг/г) представлены в таблице 3.

Таблица 3

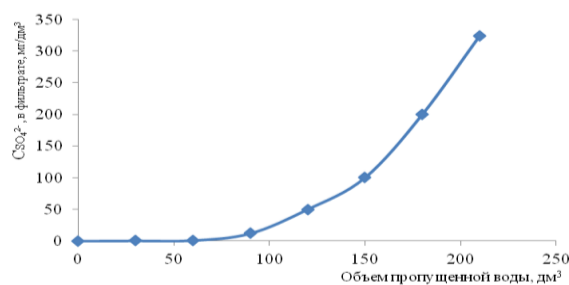
Динамическая и полная обменная емкость гранул по Cl⁻ и SO₄²⁻ ионам

Показатель	Cl ⁻ , мг/г	SO ₄ ²⁻ , мг/г
ДОЕ	1328,7	648,5
ПОЕ	1615,7	879,2

На основе полученных результатов можно сделать выводы, что ДОЕ гранул сорбционного материала по отношению к хлорид-ионам составляет 96 %, по сульфат-ионам 97 % от полной обменной емкости. Построены кривые адсорбции хлорид- и сульфат- ионов гранулированным сорбционным материалом в динамических условиях рисунок 5.



а)



б)

Рис. 5 Кривая адсорбции гранулированным сорбционным материалом в динамических условиях: а) сульфат-ионов; б) хлорид-ионов

Fig. 5 Curve of adsorption by granulated sorption material under dynamic conditions: а) sulfate ions; б) chloride ions

Результаты

Рассчитано время и коэффициент защитного действия слоя загрузки гранулированным сорбционным материалом при адсорбционной очистке от SO_4^{2-} , Cl^- ионов по уравнению Шилова [15] (табл. 4).

$$\tau = KL - \tau_0,$$

где τ – время защитного действия слоя загрузки, ч; K – коэффициент защитного действия слоя загрузки, ч/м; L – высота слоя загрузки, м; τ_0 – потеря внешнего защитного действия слоя загрузки, ч.

Таблица 4

Результаты расчета по уравнению Шилова

	Cl^-	SO_4^{2-}
τ , ч	130,4	69,2
K , ч/м	707,3	354,8

В динамических условиях при пропускании различных объемов концентрата обратноосмотической установки определены показатели качества фильтрата [16]. Показатели сульфат- и хлорид-ионов соответствуют ПДК нормам веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, что свидетельствует о том, что вторичное загрязнение водных объектов сорбционным материалом не происходит.

Показатели качества фильтрата в зависимости от пропущенного обратноосмотического концентрата 02–06 дм³:

- $J_{\text{общ}}$, мг-экв/дм³15,7–14,7
- $\Sigma_{\text{общ}}$, мг-экв/дм³10,8–9,9
- Железо общее, мг/дм³0,58–0,5
- Кремний, мг/дм³0,043–0,04

Рассмотрены сравнительные характеристики разработанного гранулированного сорбционного материала с используемыми в промышленности адсорбентами (табл. 5).

Таблица 5

Сравнительная характеристика гранулированного сорбционного материала с промышленными адсорбентами

Характеристика	АН-31	Вофатит	Варион	Амберлайт	Гранулированный сорбционный материал
Удельная поверхность, м ² /г					46,2
Размер гранул, мм	0,35-1,25	0,63-2,0	0,5-1,2	0,3-085	1,0-2,5
Насыпная плотность, кг/м ³	750-680	730-500	620-560	570-400	560
Адсорбционная емкость по сульфат-ионам, кг/кг	0,3	0,34	0,28	0,35	0,13
Адсорбционная емкость по хлорид-ионам, кг/кг	0,5	0,52	0,47	0,46	0,116
Эффективность адсорбции по сульфат-ионам, %	до 99,7	до 98,8	до 99,4	до 99,5	до 97
Эффективность адсорбции по хлорид-ионам, %	до 99,8	до 98,4	до 99,2	до 99,3	до 96
Прочность на истирание, %	92	85	82	85	78
Стоимость 1 кг сорбента, руб.	251	421	378	356	12,1

Выводы

Предложена адсорбционная технология очистки концентрата от сульфат- и хлорид-ионов твердым отходом энергетики, шламом химводоподготовки. Впервые исследован процесс обессоливания обратноосмотического концентрата отходом энергетики, в литературных данных в настоящее время такие технологии не изучались.

По экспериментальным данным построены изотермы адсорбции, сульфат- и хлорид-ионов карбонатным шламом, которые по классификации Смитта относятся к Н-типу, что свидетельствует о протекании хемосорбции.

Получены гранулы на основе карбонатного шлама для очистки концентрата установок обратного осмоса от сульфат- и хлорид-ионов. Определены оптимальные условия получения этих гранул.

Рассмотрен метод обессоливания обратноосмотического концентрата в динамических условиях с помощью лабораторного фильтра загруженного гранулированным сорбционным материалом.

Определены значения ДОЕ и ПОЕ гранулированного сорбционного материала по отношению к сульфат-ионам составили: ДОЕ= 648,5 мг/г; ПОЕ =897,2 мг/г; к хлорид-ионам ДОЕ= 1328,7 мг/г; ПОЕ =1615,7 мг/г.

В литературном обзоре рассмотрены методы получения обратноосмотического концентрата, теоретические и экспериментальные исследования ученых адсорбционной очистки сточных вод производственными и растительными отходами.

Литература

1. Zakiya Tabassum, Rajalakshmi Mudbidre Treatment and Disposal Methods of Concentrate Stream of Seawater Reverse // Nature Environment and Pollution Technology. 2021, V. 20, No.4, pp. 1403-1414.
2. Reverse Osmosis Concentrate Physicochemical Characteristics Environmental Impact and Technologies // Membranes 2021. V 11, pp. 3-21.
3. Khan Q., Maraqa M.A., Mohamed A.M.O. Inland desalination: Techniques, brine management, and environmental concerns // Pollut. Assess. Sustain. Pract. Appl. Sci. Eng. 2021, 871–918.
4. Пантелеев А.А., Рябчиков Б.Е., Хоружий О.В., Громов С.Л., Сидоров А.Р. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке. М.: ДеЛи плюс, 2012. 429 с.
5. Kim S., Joo H., Moon T., Kim S.H., Yoon J. Rapid and selective lithium recovery from desalination brine using an electrochemical system. Environ. Sci. Process Impacts 2019, 21, 667–676.
6. Xinyang Li, Liwei Zhang, Chengwen wang review of disposal of concentrate streams from nanofiltration (NF) or reverse Osmosis (RO) membrane process // Advanced Materials Research. 2017, V. 518-523, pp 3470-3475.
7. Geethakarathi A., Phanikumar B. R. Industrial sludge based adsorbents/ industrial byproducts in the removal of reactive dyes // Global Science Research Journals. 2014. V. 1 (1), pp. 1-9.
8. Жилинский В.В., Слесаренко О.А.. Электрохимическая очистка сточных вод и водоподготовка: Минск : БГТУ, 2014. 85 с.
9. Николаева Л.А., Хамитова ЭГ. Использование отхода энергетики в качестве сорбционного материала при очистке обратноосмотического концентрата // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2019. Т. 55. № 5-6. С. 427-432.
10. Кучкарова А.Р. Улучшение качества обессоленной воды для котлов-утилизаторов парогазовой установки в связи с модернизацией казанской ТЭЦ-1 // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2015. № 3 (27). С. 83-93.
11. Николаева Л.А., Бородай Е.Н., Голубчиков М.А. Сорбционные свойства шлама осветлителей при очистке сточных вод электростанций от нефтепродуктов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 1-2. С. 132-136.
12. Николаева Л.А., Хамзина Д.А. Замазученный шлам химводоочистки – вторичный энергетический ресурс на объектах малой энергетики // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2016. № 5–6. С. 50–54.
13. Николаева Л.А., Миннеярова А.Р. Адсорбционная очистка обратноосмотического концентрата водоподготовительных установок ТЭС // Теплоэнергетика. 2019. № 5. С. 95-100.
14. Sulyman M., Namiesnik J., Gierak A. Low-cost Adsorbents Derived from Agricultura By-products/Wastes for Enhancing Contaminant Uptakes from Wastewater: A Review. Pol. J. Environ. Stud. 2017. V. 26, No. 2, 479-510.
15. Олькова А.С. Условия культивирования и многообразие тестфункций *Daphnia magna straus* при биотестировании // Вода и экология 2017. №1. С. 63-82.

Авторы публикации

Николаева Лариса Андреевна – профессор, д.т.н., профессор кафедры «Технологии в энергетике и нефтегазопереработке», Казанский государственный энергетический университет.

Зайнуллина Элеонора Райнуровна – аспирант, Казанского государственного энергетического университета.

References

1. Zakiya Tabassum, Rajalakshmi Mudbidre. Treatment and Disposal Methods of Concentrate Stream of Seawater Reverse. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2021;20(4):1403-1414.
2. Reverse Osmosis Concentrate: Physicochemical Characteristics, Environmental Impact, and Technologies. *Membranes*. 2021;11:3-21.
3. Khan Q, Maraqa MA, Mohamed AMO. Inland desalination: Techniques, brine management, and environmental concerns. *Pollut. Assess. Sustain. Pract. Appl. Sci. Eng.* 2021, pp. 871–918.
4. Panteleev AA, Ryabchikov BE, Khoruzhiy OV. *Membrane separation technologies in industrial water treatment*. M.: DeLi plus, 2012. 429 p.
5. Kim S, Joo H, Moon T, et al. Rapid and selective lithium recovery from desalination brine using an electrochemical system. *Environ. Sci. Process Impacts* 2019;21:667–676.
6. Xinyang Li, Liwei Zhang, Chengwen wang review of disposal of concentrate streams from nanofiltration (NF) or reverse Osmosis (RO) membrane process. *Advanced Materials Research*. 2017;518-523:3470-3475.
7. Geethakarathi A, Phanikumar BR. Industrial sludge based adsorbents. Industrial byproducts in the removal of reactive dyes. *Global Science Research Journals*. 2014;1 (1):1-9
8. Zhilinskiy. VV, Slesarenko OA. *Electrochemical wastewater treatment and water treatment: textbook.-method*. Allowance. Minsk: BSTU, 2014. 85 p.
9. Nikolaeva LA, Khamitova EG. The use of energy waste as a sorption material in the purification of reverse osmosis concentrate. *Chemical and oil and gas engineering*. 2019;55(5-6):427-432.
10. Kuchkarova AR. Improving the quality of demineralized water for waste heat boilers of a steam-gas plant in connection with the modernization of the Kazan CHPP-1. *Bulletin of the Kazan State Energy University*. 2015;3 (27):83-93.
11. Nikolaeva LA, Borodai EN, Golubchikov MA. Sorption properties of clarifier sludge in the treatment of wastewater from power plants from oil products. *Energy problems*. 2011;1-2:132-136.
12. Nikolaeva LA, Khamzina DA. Oil-contaminated sludge of chemical water treatment - a secondary energy resource at small power facilities. *Izvestiya VUZov. Energy problems*. 2016;5-6:50-54.
13. Nikolaeva LA, Minneyarova AR. Adsorption treatment of reverse osmosis concentrate of TPP water treatment plants. *Teploenergetika*. 2019;5:95-100.
14. Sulyman M, Namiesnik J, Gierak A. Low-cost Adsorbents Derived from Agricultura By-products. *Wastes for Enhancing Contaminant Uptakes from Wastewater: A Review. Pol. J. Environ. Stud.* 2017;26(2):479-510.
15. Olkova AS. Cultivation conditions and variety of test functions of *Daphnia magna* straus during biotesting. *Water and ecology*. 2017;1:63-82.

Autor of the publication

Larisa A. Nikolaeva – Kazan State Power Engineering University.

Eleonora R. Zainullina – Kazan State Power Engineering University.

Получено

26. 03.2022г.

Отредактировано

28.03.2022г.

Принято

28.03.2022г.