
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 628.477.6; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-143-152

СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРАТА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

✉ Николаева Лариса Андреевна;

Зайнуллина Элеонора Райнуровна;

Сафина Гульшат Галлямутдиновна.

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

✉ Larisanik16@mail.ru

Аннотация. В настоящее время наибольший вклад в производство электроэнергии вносят тепловые электрические станции. С целью восполнения потерь пара и конденсата многие тепловые электрические станции осуществляют подготовку добавочной воды мембранными методами, в частности на обратноосмотических установках. Однако использование обратноосмотических установок приводит к образованию высокоминерализованного концентрата, сброс которого в поверхностные водоемы или канализационную сеть без предварительной очистки недопустим.

В статье рассмотрена возможность применения обратноосмотического концентрата тепловых электрических станций в качестве минерализованной воды для закачки в нефтяные пласты с целью увеличения коэффициента вытеснения нефти.

Ключевые слова: обратноосмотический концентрат, нефтяной пласт, утилизация сточных вод

Для цитирования: Николаева Л.А., Зайнуллина Э.Р., Сафина Г.Г. Способ утилизации обратноосмотического концентрата тепловых электрических станций // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 3 (75). С. 143–152. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-143-152.

Scientific article

METHOD FOR DISPOSAL OF REVERSE OSMOSIS CONCENTRATE OF THERMAL POWER PLANTS

✉ Nikolaeva Larisa A.;

Zainullina Eleonora R.;

Safina Gulshat G.

Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

✉ Larisanik16@mail.ru

Abstract. Currently, thermal power plants make the largest contribution to the production of electricity. In order to compensate for the loss of steam and condensate, many thermal power plants use membrane methods, such as reverse osmosis systems, to prepare additional water. However, the use of reverse osmosis systems results in the production of highly mineralized concentrate, which cannot be discharged into surface water bodies or sewage systems without prior treatment. The article discusses the possibility of using reverse osmosis concentrate from thermal power plants as mineralized water for injection into oil reservoirs in order to increase the oil displacement coefficient.

Keywords: reverse osmosis concentrate, oil reservoir, wastewater treatment

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2025

For citation: Nikolaeva L.A., Zainullina E.R., Safina G.G. Method for disposal of reverse osmosis concentrate of thermal power plants // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 3 (75). P. 143–152. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-143-152.

Введение

Тепловые электрические станции (ТЭС) являются одними из основных потребителей природной воды. Вода необходима и в системах генерации пара, и в качестве охлаждающей воды для конденсаторов турбин, и при гидрозолоудалении и т.д. Наличие примесей в питательной воде оказывает крайне негативное влияние на состояние оборудования. По этой причине требования к качеству питательной воды, подаваемой в энергетические котлы, строго регламентированы Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭС). Для обеспечения соответствия этим нормам на ТЭС применяют комплексные системы водоподготовки, включающие различные технологии и методы, в результате чего образуются жидкие отходы, определяемые как сточные воды. Их качество и количество зависит от типа и мощности основного оборудования ТЭС, химического состава исходной воды, системы водоподготовки.

Благодаря высокой эффективности очистки воды и небольшим расходам реагентов технология обратного осмоса получила широкое применение в процессах промышленной водоподготовки. Кроме того, согласно Международной ассоциации водоснабжения [1], технологии обессоливания методом обратного осмоса представляют особую ценность при решении проблемы нехватки воды, особенно в районах с засушливым климатом и доступными источниками энергии при минимально возможных затратах [2].

При обессоливании воды методом обратного осмоса в системе водоподготовки на ТЭС образуется большое количество высокоминерализованного концентрата, в состав которого могут входить также химические вещества, используемые на стадии предварительной очистки воды (биоциды, антинакипины, различные ингибиторы и др.), следы тяжелых металлов. Это исключает его сброс в канализационные сети городов или в поверхностные водоемы, что создает серьезную проблему при использовании данной технологии.

Большой интерес представляют пути прямой утилизации солевого концентрата. Так, в работе [3] продемонстрировано использование солевого концентрата в качестве воды для затвердения при производстве цементных кирпичей. Авторами работы [4] установлено, что солевой концентрат обратноосмотических установок представляет собой нетоксичную, экономически эффективную и богатую питательными веществами среду для выращивания водорослей. В работе [5] показано, что извлечение хлорида натрия из солевого концентрата может значительно снизить стоимость производства питьевой воды при сочетании ее очистки с системами термической обработки.

В работах [9, 10] рассмотрены методы очистки обратноосмотического концентрата (ООК). Предложена технология его адсорбционной доочистки от сульфат- и хлорид-ионов твердыми отходами энергетики.

Таким образом, предлагаются различные методы утилизации концентрата, среди которых можно выделить применение сорбентов или коагулянтов, затравку на кристаллах, выпаривание концентрата, Na-катионитовое умягчение. Одни из них требуют значительных энергозатрат, другие – затраты на реагенты (табл. 1) [6].

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов утилизации ООК [6]

Параметры	Применение сорбентов	Применение коагулянтов	Заправка на кристаллах	Выпарка концентрата	Накатионирование	Прямая утилизация
Влияние на окружающую среду	–	–	–	–	–	Значительное влияние при сбросе солевого стока
Затраты на реагенты	Минимальные, так как используются природные сорбенты или отходы промышленности	Затраты на коагулянты, флокулянты	Затраты на карбонат кальция и гидроксид магния	–	Затраты на едкий натр	–
Энергозатраты	–	–	–	Увеличение, так как процесс многоэтапный с применением большого количества оборудования	Увеличение, так как процесс многоэтапный с применением большого количества оборудования	–
Применимость к растворам низкой концентрации	Сорбенты способны взаимодействовать с растворами низкой концентрации и низкой активности	СКИФ 300 способен взаимодействовать с растворами низкой концентрации	–	–	–	Сброс применим к растворам низкой концентрации
Применимость отработанных растворов	–	–	–	Получение вторичного сырья – сухих солей	–	Вторичное использование солевого концентрата
Степень очистки	82–90 %	88–96 %	80 %	79 %	89 %	–

При сравнении существующих методов утилизации ООК невозможно выбрать конкретную более экономичную и эффективную технологию. Должно проводиться сравнение себестоимости очистки 1 м³ ООК, экономического эффекта и предотвращенного экологического вреда при сбросе сточной воды в поверхностные водоемы.

Применение ООК для повышения нефтеотдачи – перспективное направление в современной нефтедобыче, позволяющее существенно улучшить показатели извлечения углеводородов из пласта.

Традиционно для поддержания пластового давления и увеличения нефтеотдачи широко используется закачка воды в нефтеносные пласты. Этот метод, известный как заводнение, действительно остается наиболее распространенным способом разработки нефтяных месторождений, обеспечивая высокую производительность скважин и, как следствие, значительный коэффициент извлечения нефти. Однако эффективность заводнения во многом зависит от качества закачиваемой воды [7]. Использование пресной воды может приводить к ряду проблем, включая засоление пласта, закупорку поровых каналов и снижение проницаемости.

Среди причин популярности этой технологии можно выделить доступность солевых растворов; относительную простоту процесса нагнетания, обусловленную наличием гидравлического давления в столбе жидкости; способность воды легко распространяться по нефтенасыщенным пластам; высокую эффективность вытеснения нефти.

Методы исследования

В рамках данного исследования рассматривались продуктивные пласты Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения, расположенного в Иркутской обл., а также сточные воды ТЭС в виде концентрата обратноосмотических установок (ООУ). Применялись методы повышения нефтеотдачи в пластах данного месторождения. Кроме того, особое внимание уделялось регулированию процесса разработки и поддержанию заданных уровней добычи нефти с помощью закачки солевого концентрата.

Результаты исследования и их обсуждение

Для закачки в нефтяные пласты рассматривается возможность использования ООК ТЭС, образующегося при обессоливании исходной воды. На рис. 1 представлена принципиальная технологическая схема обессоливания, состоящая из этапов подготовки обессоленной воды для подпитки котлов производительностью 300 м³/ч и воды для подпитки теплосети производительностью 300 м³/ч.

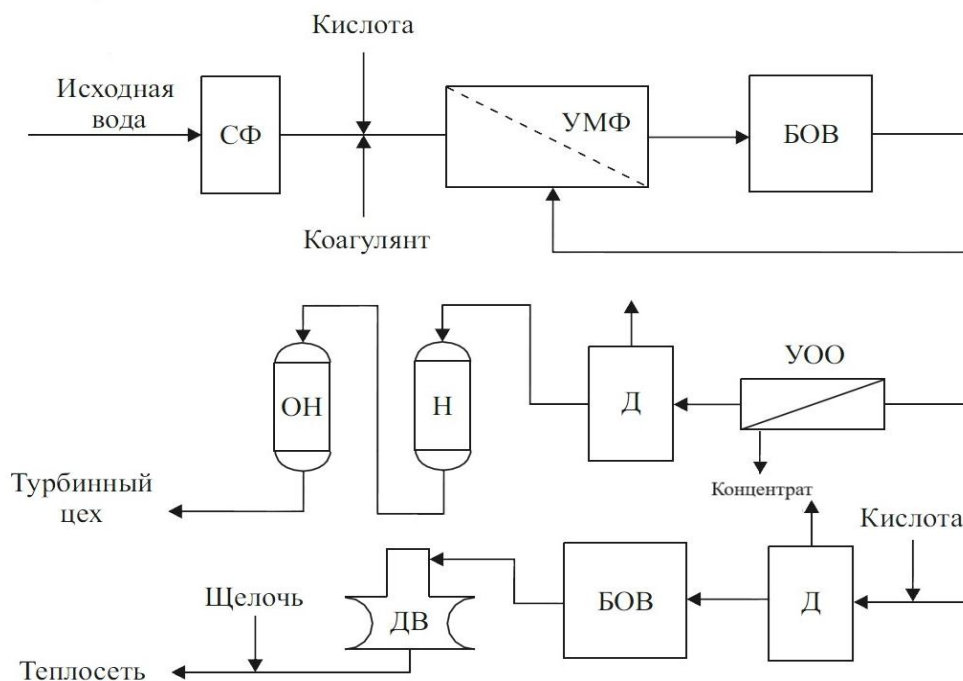


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема блока УОО:

СФ – сетчатые фильтры; УМФ – установка микрофльтрации; БОВ – бак осветленной воды;
УОО – установка обратного осмоса; Д – декарбонизатор; ДВ – вакуумный деаэратор;
Н – фильтры; ОН – фильтры

Исходная сырая вода с температурой в диапазоне 20–30 °С подается на СФ. Сразу после фильтров в трубопровод добавляется раствор коагулянта – оксихлорида алюминия, доза коагулянта составляет от 10 до 24 мг $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{дм}^3$, который подвергается гидролизу в кислой среде. Для достижения необходимого уровня рН (6,0–6,9) дополнительно вводится серная кислота. Далее исходная вода подается на УМФ. Процесс УМФ включает девять модулей, каждый из которых способен обрабатывать 100 м³/ч. Использование технологии микрофильтрации дает возможность задерживать взвешенные и коллоидные частицы, размер которых превышает 0,1 мкм, что обеспечивает высокую эффективность очистки воды. Мембранная фильтрация ведется в «тупиковом режиме». Очищенная вода направляется в БОВ и из него подается на УОО, часть воды направляется на установку подпитки теплосети.

ООУ состоит из шести параллельных модулей, и производительность одного модуля составляет 60 м³/ч. Фильтрационные модули работают по принципу тангенциальной фильтрации, в ходе которой осветленная вода под давлением делится на два потока: чистый пермеат (60 м³/ч) и концентрат (20 м³/ч). Чтобы избежать формирования отложений из малорастворимых солей кальция, магния и органических соединений на мембранах обратного осмоса, в исходную воду перед системой добавляются специальные вещества – антискалянты. Далее, частично обессоленная вода поступает в декарбонизаторы.

Для получения обессоленной воды, которая соответствует стандартам ПТЭ для питания энергетических котлов, требуется дополнительная очистка на установке ионного обмена. Эта установка предназначена для доочистки воды, полученной после процесса обратного осмоса, с целью достижения необходимых качественных характеристик обессоленной воды. Установка ионного обмена включает систему, состоящую из параллельно работающих противоточных фильтров с Н-катионитом и аналогичных фильтров с ОН-анионитом.

Система подготовки подпиточной воды для теплосети работает следующим образом: часть осветленной воды из накопительного бака направляется на обработку в декарбонизаторы для удаления избытка углекислоты. Одновременно в напорный трубопровод насосов добавляется серная кислота для регулировки кислотности. После декарбонизации вода собирается в БОВ. Затем насосами ее подают в вакуумные деаэратеры, где происходит удаление остатков свободной углекислоты и растворенного кислорода. Однако после деаэрации уровень рН воды составляет всего 6,5–7,5, что ниже допустимого для теплосети (8,3–9,5). Поэтому перед подачей воды в теплосеть в поток перед подпиточными насосами добавляется щелочь для повышения рН до требуемых значений (8,3–9,5). Таким образом, обеспечивается защита оборудования теплосети от коррозии.

Показатели качества частично обессоленной воды на УОО при максимальном содержании солей в исходной воде приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели качества воды после ООУ

Показатель	Исходная	Концентрат	Пермеат	ПДК*
Na^+ , мг/дм ³	24,68	111,12	0,28	120
Mg^{2+} , мг/дм ³	5,47	24,75	0,03	40–50
Ca^{2+} , мг/дм ³	60,12	272,01	0,32	180
CO_3^{2-} , мг/дм ³	0,18	4,14	0,0	10,0
HCO_3^- , мг/дм ³	150,74	673,37	1,61	–
Cl^- , мг/дм ³	18,00	81,39	0,11	300
SO_4^{2-} , мг/дм ³	73,86	334,57	0,28	100
SiO_2 , мг/дм ³	7,00	31,48	0,09	1,0
CO_2 , мг/дм ³	12,73	14,34	12,76	–
TDS, мг/дм ³	340,05	1532,84	2,72	–
рН	7,20	7,72	5,32	6,5...7,5

Примечание: ПДК – предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения

Для получения обессоленной воды, соответствующей нормам ПТЭ для питания энергетических котлов, проводится дальнейшая ее очистка на установке ионитного химического обессоливания (ИХО), которая заключается в последовательном фильтровании частично обессоленной воды (ЧОВ) через Н-катионитные и ОН-анионитные фильтры. Система ИХО состоит из четырех параллельно подключенных противоточных Н-катионитных фильтров и четырех аналогичных ОН-фильтров. Далее обессоленная вода поступает в резервуары для ее сбора.

Как видно из табл. 2, концентрат по ряду показателей не соответствует нормативам ПДК сброса загрязняющих веществ в водоемы рыбохозяйственного назначения.

С целью снижения негативного воздействия стоков на природные водоемы предлагается использовать ООК для закачивания в нефтяные пласты.

В настоящее время проводится много исследований по изучению влияния минерализации закачиваемой воды на проницаемость глинодержающих пород. Авторами [12, 13] исследовано влияние степени минерализации на процесс вытеснения высоководных нефтей. Максимальное влияние на проницаемость пласта оказывает вода с минерализацией до 30 г/дм³. Более высокие значения солесодержания в воде не приводят к значительному повышению проницаемости [11].

Проведены фильтрационные исследования по определению эффективности вытеснения нефти Ярактинского месторождения пресной водой (дистиллированной) и ООК.

Результаты фильтрационных исследований

Исследование нефти из Ярактинского горизонта скважины 243 выявило ряд важных характеристик, указывающих на ее уникальный состав и свойства. Анализ, проведенный на основе первичных данных [14], показал, что нефть в пластовых условиях находится в однофазном жидком состоянии.

В результате физико-химического анализа установочного интервала (2 945–3 308 м) скважины № 243 продемонстрированы следующие характеристики нефти Ярактинского горизонта: низкое содержание серы (0,115 %), что указывает на экологическую безопасность нефти и меньшие затраты на переработку; низкая парафинистость (1,95 % твердых парафинов), снижающая риск образования парафиновых отложений в добывающих скважинах и трубопроводах; низкая вязкость (11,67 мм²/с при 20 °С), облегчающая добычу и транспортировку; минимальное количество смол (1,78 % силикагелиевых смол), что также позитивно сказывается на технологических процессах; невысокая плотность (0,833 г/см³ при 20 °С), соответствующая легкой нефти. Молекулярная масса исходной нефти составила 229,59 г/моль, что классифицирует ее как легкую нефть. Низкая температура замерзания (-29 °С) расширяет возможности транспортировки и переработки в холодных климатических условиях. Минимальное содержание асфальтенов (0,12 %) указывает на меньшую вероятность коксования и засорения оборудования при переработке. Разгонка нефти по методу Энглера показала температуру начала кипения 53,5 °С, а доля фракций до 300 °С составила 43 %. Это свидетельствует о преобладании легких фракций в нефти, что делает ее ценным сырьем для получения бензинов и других легких нефтепродуктов.

Первоначальный анализ однократного отделения компонентов выявил низкое содержание легких углеводородов: метан (0,036 %), этан (0,196 %), пропан (0,288 %), при этом пропан являлся основным компонентом с концентрацией 0,827 %. Примечательно полное отсутствие в составе нефти неорганических газов, таких как углекислый газ и азот. После дегазации доля легких углеводородов резко возрастает: метан – 71,23 %, этан – 12,66 %, пропан – 6,44 %. Это указывает на наличие значительного количества растворенного газа в нефти, который при снижении давления переходит в газовую фазу. Такое резкое изменение компонентного состава подчеркивает важность учета пластовых условий при анализе нефти. Молекулярная масса разгазированной нефти составила 190 г/моль, что значительно ниже, чем у исходной нефти, подтверждая значительное количество растворенного в ней газа. К основным характеристикам нефти относятся: давление насыщения, равное 20,8 МПа, коэффициент

сжимаемости – $61,4 \times 10^{-4}$ 1/МПа, плотность – 850 кг/м^3 и вязкость – $0,74 \text{ мПа}\cdot\text{с}$. В табл. 3 показано, как минерализация воды сказывается на проницаемости и нефтеотдаче коллекторов при извлечении нефти с использованием метода заводнения.

Таблица 3

Влияние минерализации воды на проницаемость и нефтеотдачу коллекторов

Объект	Агент воздействия	Характеристики линейных моделей пласта			Основные результаты		
		Пористость, %	Проницаемость по воздуху, $\cdot 10^{-3} \text{ мк м}^2$	Начальная нефтенасыщенность, %	Коэффициент вытеснения, д.ед.	Остаточная нефтенасыщенность, %	Прирост коэффициента вытеснения, п.п.
Ярактинское месторождение	Пресная вода	10,3	8,3	82,0	0,395	49,61	–
	Минерализованная вода	17,4	8,9	82,0	0,398	49,36	0,3

Для определения степени количественных параметров выполнены лабораторные исследования с имитацией пластовых условий. Проводились стандартные исследования образцов керна на установке СМП-ФЕС2А – это полностью автоматизированная лабораторная установка для комплексного проведения экспериментов по двухфазной фильтрации в пластовых условиях в соответствии с ОСТ 39-235–89 и ОСТ 39-195–86.

При определении коэффициента вытеснения ($K_{\text{выт}}$) нефти водой на визуальном сепаратор-измерителе в потоковом режиме в пластовых условиях производит разделение выходящей водо-газо-нефтяной смеси и измеряется объем вышедшего флюида для расчета текущей насыщенности образца керна.

Технические характеристики:

- максимальное рабочее давление – 40 МПа;
- время работы под давлением не лимитировано;
- рабочий объем – 50 или 100 см^3 ;
- материал – сапфир, 316Ti.

Для сравнения эффективности пресной воды и ООК принято значение прироста коэффициента вытеснения нефти, получаемое разницей найденной величины и базовым значением коэффициента. В качестве базовой величины коэффициента вытеснения нефти принято значение, полученное при вытеснении нефти ООК как минерализованной водой. Результаты фильтрационных исследований показывают, что применение ООК приводит к увеличению прироста коэффициента вытеснения нефти. Это объясняется разрушением мостиковых связей между пленочной нефтью и породой через катиониты Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Заключение

Представлена принципиальная схема водоподготовки на ТЭС с образованием ООК. Приведена сравнительная характеристика методов утилизации и очистки ООК ТЭС.

Предложен способ утилизации ООК в качестве солевого раствора для повышения нефтеотдачи пластов. Показано, что применение высокоминерализованной воды приводит к увеличению коэффициента вытеснения нефти.

Список литературы

1. Высоцкий С.П., Печенога А.А. Совершенствование обратноосмотического обессоливания воды // Научный вестник НИИ Респиратор. 2020. № 2 (57). С. 82–89.
2. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. 352 с.
3. Recycling of reverse osmosis (ro) reject water as a mixing water of calcium sulfoaluminate / H. Lee [et al.] // (CSA) Cement for Brick Production. Appl. Sci. 2019. Vol. 9. P. 2–15.
4. Potential of reverse osmosis reject water as a growth medium for the production of algal metabolites—A state-of-the-art review. J. / M.S. Rana [et al.] // Water Process. Eng. 2020. Vol. 40. P. 2214–7144.
5. Metal recovery from reverse osmosis concentrate. J. / T. Jeppesen [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2009. Т. 17. № 7. С. 703–707.
6. Шилкина Д.А., Гонопольский А.М. Технология обращения с концентратом обратноосмотических установок // Система управления экологической безопасностью: сб. науч. тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УрФУ, 2023. С. 305–310.
7. Гудков Н.О., Бурлаков И.А., Корягина Т.Ф. Выбор воды для заводнения нефтяных пластов месторождений Ставропольского Края // Нефтепромысловое дело. 1965. № 2. С. 23–27.
8. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования: производственно-практическое издание. М.: ДеЛи принт, 2004. 301 с.
9. Николаева Л.А., Зайнуллина Э.Р., Саяхов Р.И. Очистка обратноосмотического концентрата золошлаковыми отходами ТЭС // Экология и промышленность России. 2024. Т. 28. № 9. С. 10–15.
10. 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.
11. Ступоченко В.Е. Научное обоснование методов интенсификации разработки глиносодержащих коллекторов и усовершенствованных полимерных технологий с целью повышения нефтеотдачи пласта: дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВНИИнефть, 2000. 438 с.
12. LoSalTM Enhanced Oil Recovery: Evidence of Enhanced Oil Recovery at the Reservoir Scale / A. Lager [et al.] // SPE 113976. 2008. Vol. 63. № 1. P. 9–19.
13. Максимова Р.А. Технология и техника для повышения производительности скважин и нефтеотдачи пластов. М.: ВНИИнефть, 1991. 191 с.
14. Галеев Р.Г. Повышение выработки трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья. М.: КУБК-а, 1997. 352 с.

References

1. Vysockij S.P., Pechenoga A.A. Sovershenstvovanie obratnoosmoticheskogo obessolivaniya vody // Nauchnyj vestnik NII Respirator. 2020. № 2 (57). S. 82–89.
2. Dytnerskij Yu.I. Obratnyj osmos i ul'trafil'traciya. M.: Himiya, 1978. 352 s.
3. Recycling of reverse osmosis (ro) reject water as a mixing water of calcium sulfoaluminate / H. Lee [et al.] // (CSA) Cement for Brick Production. Appl. Sci. 2019. Vol. 9. P. 2–15.

4. Potential of reverse osmosis reject water as a growth medium for the production of algal metabolites—A state-of-the-art review. J. / M.S. Rana [et al.] // *Water Process. Eng.* 2020. Vol. 40. P. 2214–7144.
5. Metal recovery from reverse osmosis concentrate. J. / T. Jeppesen [et al.] // *Journal of Cleaner Production.* 2009. T. 17. № 7. C. 703–707.
6. Shilkina D.A., Gonopol'skij A.M. Tekhnologiya obrashcheniya s koncentratom obratnoosmoticheskikh ustanovok // *Sistema upravleniya ekologicheskoy bezopasnost'yu: sb. nauch. tr. XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ekaterinburg: UrFU, 2023. S. 305–310.*
7. Gudkov N.O., Burlakov I.A., Koryagina T.F. Vybor vody dlya zavodneniya neftyanyh plastov mestorozhdenij Stavropol'skogo Kraja // *Neftepromyslovoe delo.* 1965. № 2. S. 23–27.
8. Ryabchikov B.E. Sovremennye metody podgotovki vody dlya promyshlennogo i bytovogo ispol'zovaniya: proizvodstvenno-prakticheskoe izdanie. M.: DeLi print, 2004. 301 c.
9. Nikolaeva L.A., Zajnullina E.R., Sayahov R.I. Ochistka obratnoosmoticheskogo koncentrata zoloshlakovyimi othodami TES // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2024. T. 28. № 9. S. 10–15.
10. Nikolaeva L.A., Zajnullina E.R. Issledovanie processa obessolivaniya koncentrata ustanovok obratnogo osmosa othodom energetiki // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy energetiki.* 2022. T. 24. № 2. S. 186–195.
11. Stupochenko V.E. Nauchnoe obosnovanie metodov intensivifikacii razrabotki glinosoderzhashchih kollektorov i usovershenstvovannyh polimernyh tekhnologij s cel'yu povysheniya nefteotdachi plasta: dis. ... d-ra tekhn. nauk. M.: VNIIneft', 2000. 438 s.
12. LoSalTM Enhanced Oil Recovery: Evidence of Enhanced Oil Recovery at the Reservoir Scale / A. Lager [et al.] // *SPE 113976.* 2008. Vol. 63. № 1. P. 9–19.
13. Maksutova R.A. Tekhnologiya i tekhnika dlya povysheniya proizvoditel'nosti skvazhin i nefteotdachi plastov. M.: VNIIneft', 1991. 191 c.
14. Galeev R.G. Povysenie vyrabotki trudnoizvlekaemyh zasobov uglevodorodnogo syr'ya. M.: KUBK-a, 1997. 352 c.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 11.03.2025; одобрена после рецензирования: 16.07.2025;
принята к публикации: 18.08.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 11.03.2025; approved after review: 16.07.2025;
accepted for publication: 18.08.2025

Информация об авторах:

Николаева Лариса Андреевна, заведующая кафедрой «Инженерная экология и безопасность труда» Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), доктор технических наук, профессор, e-mail: Larisanik16@mail.ru, SPIN-код: 9652-0146

Зайнуллина Элеонора Райнуровна, аспирант кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: my-elechka@mail.ru, SPIN-код: 2030-1380

Сафина Гульшат Галлямутдиновна, доцент кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» Казанского государственного энергетического университета (420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51), кандидат химических наук, доцент, e-mail: safgoulshat@mail.ru, SPIN-код: 3462-0439

Information about the authors:

Nikolaeva Larisa A., head of the department of engineering ecology and occupational safety at Kazan state power engineering university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), doctor of technical sciences, professor, e-mail: Larisanik16@mail.ru, SPIN: 9652-0146

Zainullina Eleonora R., postgraduate student of the department of engineering ecology and occupational safety at Kazan state power engineering university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), e-mail: my-elechka@mail.ru, SPIN: 2030-1380

Safina Gulshat G., associate professor of the department of engineering ecology and occupational safety at Kazan state power engineering university (420066, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), candidate of chemical sciences, associate professor, e-mail: safgoulshat@mail.ru, SPIN: 3462-0439