

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю.А.»
(СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

ул. Политехническая, 77, г. Саратов, 410054

Телефоны: (8452) 99-88-11;

факс (8452) 99-88-10;

(8452) 99-86-03; факс (8452) 99-86-04

E-mail: sstu_office@sstu.ru

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования

«Саратовский государственный
технический университет имени
Гагарина Ю.А.», доктор физико-
математических наук, профессор

А.И. Землянухин

2025 г.

19.11.2025 № 04/56-4435

На № _____

Отзыв ведущей организации по диссертации

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.» на диссертационную работу Зайнуллиной Элеоноры
Райнуровны «Очистка обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-
ионов сорбентами на основе отходов энергетики» на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 2.10.2. Экологическая безопасность

Актуальность темы диссертации. Диссертационная работа Зайнуллиной Э.Р. посвящена очистке обратноосмотического концентрата (ООК) от сульфат- и хлорид-ионов, которые образуются на стадии обессоливания воды в системах водоподготовки ТЭС. Применяемые сорбенты изготовлены на основе отходов энергетики. Решение этой проблемы имеет как научное, так и практическое значение, так как связано с использованием многотоннажных отходов энергетики в качестве вторичных материальных ресурсов.

По данным Минприроды России, в стране ежегодно на угольных ТЭС образуется более 20 млн. т золы от сжигания твердого топлива – каменного угля. Общий объем золы всех угольных ТЭС составляет более 1,5 млрд т. Также на предприятиях энергетики, в зависимости от производительности, образуется и накапливается от 6,5 до 7 тыс. т карбонатного шлама химводоподготовки. Создание сорбционных материалов на основе золошлаковых отходов (ЗШО) и шлама химводоподготовки для очистки обратноосмотического концентрата от сульфат и хлорид-ионов имеет большое научное и практическое значение.

В связи с этим тема диссертационной работы Зайнуллиной Э.Р., посвященная разработке технологии очистки обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-ионов до уровня ПДК для сброса в водоемы рыбохозяйственного значения, является актуальной и значимой.

Научная новизна

1. Предложена адсорбционная очистка ООК ТЭС от сульфат- и хлорид-ионов шламом химводоподготовки и золошлаковыми отходами до значений нормативно-допустимого сброса.

2. Разработаны и получены гранулированные сорбенты из отходов энергетики с эффективностью до 98,4 % в отношении сульфат- и хлорид-ионов. Определены условия изготовления гранулированных сорбционных материалов на основе отходов энергетики – шлама химводоподготовки Казанской ТЭЦ-1 и жидкого натриевого стекла в соотношении 2:1 (мас.), гранулы диаметром от 0,5 до 2,5 мм при термообработке 500 °С в течение 25 мин; ЗШО и жидкого натриевого стекла в соотношении 3:2 (мас.), при термообработке 300 °С продолжительностью 25 мин, диаметр гранул 0,5-2,5 мм.

3. Экспериментально установлен механизм адсорбции сульфат- и хлорид-ионов разработанными сорбентами на основе отходов энергетики. Химическая адсорбция сульфат- и хлорид-ионов – шламом водоподготовки, физическая адсорбция – ЗШО. Получены изотермы адсорбции. Произведен расчет термодинамических и кинетических показателей. Дифференциальная теплота адсорбции: сульфат-ионов предложенными сорбентами: С1 (17,9-19,16 кДж/моль), С2 (24,11-26,24 кДж/моль); хлорид-ионов сорбентами: С1 (27,5-30,74 кДж/моль), С2 (21,02-22,69 кДж/моль). Энергия Гиббса: сульфат-ионов: С1 (–33,26-(–28,59) кДж/моль, С2 (–63,47-(–59,10) кДж/моль)); хлорид-ионов: С1 (–29,9-(–27,58) кДж/моль, С2 (–30,96-(–30,51) кДж/моль)). Энергия активации: сульфат-ионов: С1 – 74,062 кДж/моль, С2 – 16,045 кДж/моль; хлорид-ионов: С1 – 60,715 кДж/моль; С2 – 18,033 кДж/моль.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Определен характер адсорбции сульфат- и хлорид-ионов ООК сорбционных материалов, изготовленными на основе шлама химводоподготовки и ЗШО. Механизм адсорбции обусловлен термодинамическими и кинетическими показателями.

2. Разработаны и получены сорбционные материалы на основе шлама химводоподготовки и ЗШО с высокой эффективностью очистки обратноосмотического концентрата относительно сульфат-ионов (97,3%) и хлорид-ионов (98,4 %).

3. Разработана технология производства гранулированного сорбционного материала С4 на основе ЗШО.

4. Усовершенствована технологическая схема водоподготовки Казанской ТЭЦ-2 путем добавления блока адсорбционной доочистки ООК от сульфат- и хлорид-ионов наиболее эффективным гранулированным сорбционным материалом С4, изготовленным на основе ЗШО.

5. Результаты работы приняты к применению в научной и проектно-конструкторской деятельности на АО «Татэнерго», Казанская ТЭЦ-1, ООО «КПЭИ».

Степень достоверности результатов исследования

В ходе исследования применялись проверенные и стандартизированные методики, а также данные, полученные от реальных промышленных

предприятий. Экспериментальная часть исследования проводилась с использованием высокоточного оборудования и методов аналитического анализа. Таким образом, достоверность результатов исследования гарантирована строгим соблюдением научной методологии и использованием проверенных данных. Это означает, что исследование выполнено с использованием сертифицированных методик и оборудования, а полученные данные прошли тщательную проверку на точность и воспроизводимость, что соответствует установленным стандартам и требованиям.

Структура диссертационной работы. Диссертационная работа Зайнуллиной Э.Р., выполненная в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», по содержанию и структуре полностью отвечает требованиям научно-квалифицированной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук. Диссертация изложена на 151 странице, содержит 31 рисунок, 26 таблиц. Список литературы включает 175 наименований цитируемых работ.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы. Приведена цель исследования, изложена научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Сформулированы положения, выносимые на защиту. Определены объект исследования, цель и задачи работы, оценена степень научной новизны, теоретической и практической значимости работы, изложены методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, личное участие автора, степень достоверности, апробация и публикации результатов исследования.

В **первой главе** проведен анализ проблемы очистки и утилизации обратноосмотического концентрата. В литературном обзоре рассмотрены методы утилизации обратноосмотического концентрата, представленные в работах отечественных и зарубежных ученых – Гонопольского А.М., Первова А.Г., Тихонова К.В., Hugo Valdés, Sung Hee Joo и др. Рассмотрена возможность использования производственных отходов в качестве адсорбентов для эффективной очистки ООК. Изучены современные экологически безопасные методы решения задачи очистки и утилизации ООК с использованием доступных ресурсов и современных технологий.

Во **второй главе** описаны гостированные методики определения физико-химических показателей качества воды, технологических характеристик разработанных материалов на основе шлама химводоподготовки и ЗШО; адсорбционной емкости полученного сорбента; полной и динамической сорбционной емкости сорбентов, разработанных на основе отходов теплоэнергетики, по отношению к сульфат- и хлорид-ионам; токсичности водной вытяжки сорбентов методом биотестирования.

В **третьей главе** проведен анализ химического состава обратноосмотического концентрата Казанской ТЭЦ-2. Представлены технологические характеристики шлама химводоподготовки Казанской ТЭЦ-1 (сорбционный материал С1), золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2 (сорбционный материал С2). Изучен процесс адсорбции сульфат- и хлорид-

ионов из модельных растворов сорбционными материалами С1 и С2 в статических условиях. Изотермы С1 относятся к V типу, С2 – к IV типу по классификации Смита. Произведен расчет термодинамических и кинетических показателей: дифференциальная теплота адсорбции, энергия Гиббса, энергия активации. Для сорбента С1 энергия активации составляет по сульфат-ионам 74,06 кДж/моль, по хлорид-ионам 60,71 кДж/моль, что характерно для химической адсорбции. По отношению к сорбенту С2 энергия активации по сульфат-ионам составила 10,04 кДж/моль, по хлорид-ионам 18,03 кДж/моль, что характеризует протекание физической адсорбции.

Построена выходная кривая адсорбции сульфат- и хлорид-ионов гранулированными сорбционными материалами С3 (на основе шлама химводоподготовки), С4 (на основе ЗШО) в динамических условиях. Определены оптимальные условия изготовления гранул на основе С1 и С2: перемешивание сорбционного материала С1 со связующим (жидким натриевым стеклом) в соотношении 2:1 (мас.) при температуре 500 °С продолжительность 25 мин, перемешивание сорбционного материала С2 со связующим (жидким натриевым стеклом) в соотношении 3:2 (мас.) при температуре 300 °С 25 мин, диаметр гранул 0,5-2,5 мм. Рассчитаны динамическая и полная сорбционная емкости по сульфат- и хлорид-ионам гранулированными сорбентами С3 и С4.

Изучен процесс адсорбции сульфат- и хлорид-ионов сорбентами С3 и С4 в динамических условиях. Определена эффективность очистки обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-ионов сорбционными материалами С3 и С4, установлено, что сорбционный материал С4 является наиболее эффективным и экономически выгодным.

В четвертой главе представлена технологическая схема водоподготовки Казанской ТЭЦ-2 с блоком адсорбционной доочистки обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-ионов в динамических условиях с загрузкой гранулированного сорбционного материала С4 в адсорбционный фильтр. Произведены расчеты необходимого оборудования. Рассчитан адсорбционный фильтр для очистки обратноосмотического концентрата от сульфат и хлорид ионов с параметрами: производительность – 20 м³/ч; насыпная плотность гранул – 668 кг/м³; удельная поверхность гранул – 149,1 м²/г; перепад давления насыпного слоя – 0,189 кПа; масса сорбента С4 для загрузки одного фильтра – 11857 кг; коэффициент диффузии – 3,28·10⁻¹⁰ м²/с; коэффициент массоотдачи – 6,7·10⁻⁶ м/с; объем коэффициента массоотдачи – 0,047 с⁻¹.

Предложено применение обратноосмотического концентрата в процессе добычи нефти путем его закачки в нефтяные пласты на Ярактинском горизонте.

В пятой главе представлены расчеты капитальных затрат на производственное оборудование для изготовления гранулированного сорбционного материала С4. Определена себестоимость очистки 1 м³ ООК от сульфат- и хлорид-ионов, составившая 25,74 руб./м³, а также стоимость производства сорбционного материала, равная 16 975 руб./т. Предотвращенный экологический вред окружающей среде при очистке обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-ионов гранулированным сорбционным материалом С4 составил 935 595 руб./год.

По теме диссертационной работы опубликовано 19 работ, из них: 1 статья – в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК по специальности диссертации, 1 статья – в научном издании, индексируемом в международной базе данных Scopus, 1 статья – в рецензируемом научном издании, входящем в перечень ВАК, 16 работ – в материалах конференций различного уровня.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы.

При обсуждении диссертации возникли некоторые вопросы и замечания:

1. На рисунках 3.7 и 3.8 (стр. 72, 73) допущены опечатки: единицы измерения величины адсорбции записаны в моль/дм³.

2. На стр. 76 оба уравнения химической реакции записаны неверно.

3. По результатам исследований, представленных в табл. 3.6-3.7 (стр. 79, 80) автор устанавливает, что адсорбция сульфат-ионов и хлорид-ионов сорбентом С1 является физической (неактивированной) адсорбцией. В то время как дальнейшие исследования (рис. 3.13-3.14 стр. 80, 81) показывают, что на сорбенте С1 происходит химическая адсорбция сульфат- и хлорид-ионов. Хотелось бы уточнить, какой вид адсорбции все-таки имеет место при извлечении хлорид- и сульфат-ионов сорбентом С1.

4. Из текста диссертации не ясно, проводились ли производственные испытания сорбента С4 на предприятии. Для практической значимости представляет интерес, как в реальности изменилось содержание других показателей в обратноосмотическом концентрате в результате доочистки.

5. Непонятно, почему на предлагаемую диссертантом технологию получения сорбента не оформлена заявка на патент.

Приведенные выше замечания не снижают научной значимости и практической ценности работы, а имеющиеся недочеты имеют частный характер.

Заключение

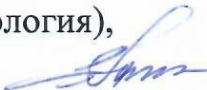
Диссертационная работа Зайнуллиной Элеоноры Райнуровны «Очистка обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-ионов сорбентами на основе отходов энергетики» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, результаты которой посвящены решению важной и актуальной научной проблемы очистки обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-ионов с использованием сорбционных материалов изготовленных на основе многотоннажных отходов энергетики, что имеет существенное значение для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду. Материалы, представленные в работе Зайнуллиной Э.Р., соответствуют паспорту специальности 2.10.2. Экологическая безопасность (по пункту 10 «Разработка и совершенствование методов, технологий и средств снижения негативного воздействия антропогенной хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду»).

Диссертация отвечает требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013, № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её

автор – Зайнуллина Элеонора Райнуровна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.2. Экологическая безопасность.

Диссертация обсуждена, отзыв на диссертационную работу Зайнуллиной Э.Р. рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Экология и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» протокол № 10 от 14 ноября 2025 г.

Заведующий кафедрой «Экология и техносферная безопасность», доктор биологических наук (03.00.16 – Экология, 03.00.07 – Микробиология), профессор

 Тихомирова Елена Ивановна

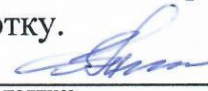
профессор кафедры «Экология и техносферная безопасность», доктор технических наук (05.23.07 – Гидротехническое строительство; 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель), профессор

 Атаманова Ольга Викторовна

профессор кафедры «Экология и техносферная безопасность», доктор химических наук (02.00.05 – Электрохимия), профессор

 Ольшанская Любовь Николаевна

Я, Тихомирова Елена Ивановна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Зайнуллиной Элеоноры Райнуровны, и их дальнейшую обработку.

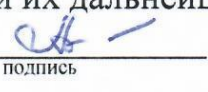

подпись

Тихомирова Елена Ивановна

Подпись д.б.н., профессора Тихомировой Е.И. «ЗАВЕРЯЮ»



Я, Атаманова Ольга Викторовна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Зайнуллиной Элеоноры Райнуровны, и их дальнейшую обработку.


подпись

Атаманова Ольга Викторовна

Подпись д.т.н., профессора Атамановой О.В. «ЗАВЕРЯЮ»



Я, Ольшанская Любовь Николаевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Зайнуллиной Элеоноры Райнуровны, и их дальнейшую обработку.


подпись

Ольшанская Любовь Николаевна

Подписи д.х.н., профессора Ольшанской Л.Н. «ЗАВЕРЯЮ»



Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.).

Почтовый адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, тел. (8452) 99-86-03, (8452) 99-85-30.

Официальный веб-сайт: <https://www.sstu.ru/>

Адрес электронной почты: sstu_office@sstu.ru, ecology@sstu.ru