

Отзыв

на автореферат диссертации Гафаровой Элизы Багаутдиновны «Подбор эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве СПГ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

Диссертация Гафаровой Э.Б. посвящена важной и актуальной теме подбора эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве сжиженного природного газа (СПГ). Важность темы исследования обусловлена ростом производства СПГ в Российской Федерации, что диктует необходимость создания отечественных, конкурентноспособных, независимых от импорта технологий и оборудования, предназначенных для сжижения и очистки газа, специальных компрессоров, криогенных агрегатов, автономных СПГ – энергетических комплексов и интегрированных систем управления. Глубокая адсорбционная осушка природного газа является одним из ключевых процессов в производстве СПГ, так как позволяет удалить из газа влагу, наличие которой может способствовать образованию газогидратов и сказываться на безопасности эксплуатации оборудования.

Соискателем выполнен детальный теоретический анализ проблемы, что говорит о глубокой проработке поставленных задач. Большое количество проведённых лабораторных исследований и использование разнообразных методов их проведения позволяет оценить работу как комплексную, учитывающую реальные условия эксплуатации адсорбентов. Высокая публикационная активность указывает на то, что автор активно обсуждает результаты своих исследований с научным сообществом.

Новизна работы заключается в установлении особенности структуры и адсорбционных свойств адсорбентов на основе проведения комплексных сравнительных исследований. Выполнено детальное рассмотрение механизма адсорбции влаги и регенерации адсорбента, что позволило показать ведущую роль ОН-групп в структуре адсорбентов для образования межмолекулярных водородных связей и обеспечения высокой адсорбционной активности сорбентов глубокой осушки газа в сравнении с донорно-акцепторными центрами в адсорбентах. Выявлены оптимальные технологические условия регенерации отечественных промышленных адсорбентов при их использовании в осушке газа при производстве СПГ. Установлено, что двухадсорберная технологическая схема адсорбционной осушки газа обладает в сравнении с трёхадсорберной схемой, применяемой в производстве СПГ.

Диссертационная работа развивает научные основы в понимании технологии осушки

природного газа, позволяя определить дальнейшие направления для совершенствования данной области.

По представленному автореферату необходимо сделать следующее замечание: не представлена информация по обоснованию выбора адсорбентов. Указанное замечание не снижает общей положительной оценки работы.

Диссертационное исследование Гафаровой Элизы Багаутдиновны является законченной научно-квалификационной работой, которая обладает высокой практической, теоретической и научной значимостью. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, согласно 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Гафарова Элиза Багаутдиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России, доктор технических наук (05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (технические науки). Отрасль – Химическая и нефтехимическая промышленность)

Копылов Сергей Николаевич

«02» декабря 2024 г.

Подпись Копылова С.Н. заверяю

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Адрес организации: 143903, микрорайон ВНИИПО, дом 12, город Балашиха, Московская область

Телефон организации: +7 (495) 521-81-31

e-mail: vniipo@vniipo.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гафаровой Элизы Багаутдиновны «Подбор эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве СПГ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

В настоящее время проблема повышения эффективности технологии производства сжиженного природного газа в условиях роста его потребления и диверсификации маршрутов поставок природного газа характеризуется особой **актуальностью** и требует решений, основывающихся на оптимизации основных технологических этапов, в частности в области подготовки газового сырья, в том числе его осушки с использованием адсорбентов отечественного производства. С этой точки зрения, целесообразен и необходим подбор эффективных адсорбентов на основе сравнительного анализа их физико-химических и технологических характеристик, направленный на достижение глубокой осушки добываемого природного газа от паров воды, которые вызывают технологические осложнения при сжижении природного газа. Таким образом, выбор предмета исследований диссертационной работы актуален и обусловлен практическими потребностями газовой промышленности на современном этапе её развития. Создание и эффективное применение адсорбентов для осушки природного газа определяется, прежде всего, на основе результатов исследований адсорбционно-десорбционных свойств, структуры и химического состава адсорбентов, т.е. всех тех исследовательских задач, которые поставлены и решены в диссертации Гафаровой Э.Б.

Научная новизна и практическая значимость работы состоит в том, что диссертанту удалось установить особенности структуры и адсорбционных свойств адсорбентов на основе проведения комплексных сравнительных исследований современными физико-химическими методами состава, кристаллохимической и пористой структуры, термофазовых превращений, адсорбционных свойств промышленных отечественных и зарубежных адсорбентов, применяемых в осушке газов и показана эффективность использования отечественных промышленных адсорбентов при производстве СПГ. Как следствие, на основании проведенных исследований определена роль и значимость межмолекулярных водородных связей и донорно-акцепторных свойств на основе проведенных комплексных исследований структурных особенностей адсорбентов методами дифференциального термического и рентгенофазового анализов и их

адсорбционной активности в осушке газа. Показана ведущая роль межмолекулярных водородных связей в обеспечении высокой адсорбционной активности сорбентов в глубокой осушке газа.

Отметим комплексный подход Гафаровой Э.Б. к решению поставленных научных задач с учётом практического применения исследуемых адсорбентов, а именно, исследуются не только задачи определения их свойств, но и рассматриваются вопросы физико-химического характера: экспериментальное изучение термодесорбции влаги из пористых сред, термодинамическое равновесие при адсорбции влаги из газов, кинетика адсорбции и десорбции, что является важным для решения практических задач по технологии регенерации адсорбентов. Для решения широкого спектра исследовательских задач диссертантом разработана модель механизма адсорбции и регенерации адсорбентов, которая является основой для кинетических исследований и даёт полную физико-химическую картину процесса.

Таким образом, в результате исследовательской работы, проведённой Гафаровой Э.Б., получены новые знания как научной, так и технологической значимости. В ходе диссертационного исследования была выполнена обширная работа по сравнительному анализу как отечественных, так и зарубежных адсорбентов. Диссертант не только описал их физико-химические свойства, но и оценил эффективность в различных условиях эксплуатации, что позволяет делать выводы о целесообразности использования адсорбентов в зависимости от специфики технологического процесса получения СПГ.

Следует отметить использование широкого спектра экспериментальных методик, применяемых для достижения задач диссертационного исследования. Это исследования процессов адсорбции и десорбции методами рентгенофазового и рентгеноспектрального анализа, дифференциального-термического анализа (ДТА), методом низкотемпературной сорбции азота. Таким образом, можно утверждать, что достоверность и обоснованность научных результатов и выводов диссертации Гафаровой Э.Б. обеспечивается применением современных экспериментальных методов.

Существенные недостатки в работе отсутствуют. Однако некоторые положения требуют пояснений:

- На каком оборудовании проводили исследования по термодесорбции влаги из адсорбентов и каким образом осуществлялась подготовка адсорбентов для исследований?

- При экспериментальном определении динамической активности адсорбентов учитывалась ли их насыпная плотность?

Несмотря на указанные замечания, диссертация представляет собой исследование, которое вносит определённый вклад в область технологий подготовки природного газа для производства СПГ. Диссертация является завершённой исследовательской работой в ходе выполнения, которой получен большой объем экспериментальных данных в области изучения сорбционных процессов осушки природного газа с привязкой к практической задачам. Автореферат отражает основные результаты диссертационной работы и обосновывает защищаемые положения. Апробация результатов работы проведена в авторитетных научных изданиях, количество публикаций по теме исследования заметно превышает рекомендуемое.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, согласно 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Гафарова Элиза Багаутдиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Долгаев С.И.

Кандидат физико-математических наук

Ведущий научный сотрудник

Центр промышленных технологий добычи газа

Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий
— ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

2 декабря 2024 г.

Московская обл. пос. Развилка



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гафаровой Элизы Багаутдиновны «Подбор эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве СПГ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

Работа имеет высокую *актуальность*, поскольку проблема глубокой осушки природного газа при производстве сжиженного природного газа (СПГ) остается одной из ключевых задач в газовой отрасли. Эффективные и доступные адсорбенты являются необходимым условием для обеспечения высокого качества конечного продукта и снижения эксплуатационных расходов. Развитие отечественного производства адсорбентов позволит снизить зависимость от импорта и повысить конкурентоспособность российской газовой индустрии.

Актуальность представленного исследования также связана с необходимостью импортозамещения в контексте действующих международных санкций против Российской Федерации. В условиях ограниченного доступа к иностранным технологиям и оборудованию, разработка и внедрение отечественных адсорбентов становится стратегической задачей для поддержания и развития отечественной газовой промышленности.

Практическая значимость. Результаты исследования имеют важное прикладное значение. Они могут быть использованы для разработки рекомендаций по выбору наиболее подходящих адсорбентов для конкретных условий эксплуатации, что приведет к повышению эффективности процесса осушки газа и снижению затрат на производство. Кроме того, полученные данные могут стать основой для создания новых отечественных адсорбирующих материалов, адаптированных к российским условиям.

Теоретическая значимость. Исследование вносит значительный вклад в теорию адсорбционных процессов и материаловедение. Оно расширяет знания о свойствах различных типов адсорбентов и их взаимодействии с природным газом, что может послужить базой для дальнейших фундаментальных исследований в этой области. Результаты работы также могут быть использованы в образовательных целях для подготовки специалистов в области химической технологии и переработки углеводородов.

Автореферат написан на высоком научном уровне, содержит достаточное количество информации для понимания сути проведенной работы и ее значения для отрасли. Текст хорошо структурирован, логика изложения ясна, что облегчает восприятие материала. Представленные данные и выводы подкреплены ссылками на источники, что повышает доверие к результатам исследования.

Однако стоит отметить, что:

1. некоторые разделы могли бы быть расширены за счет включения дополнительных примеров и сравнений с зарубежными аналогами;
2. в работе отсутствует обсуждение возможных ограничений использования выбранных адсорбентов в реальных условиях эксплуатации.

Тем не менее, эти небольшие замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, согласно 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Гафарова Элиза Багаутдиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Заведующий кафедрой
«Транспорт и хранение нефти и газа»
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
горный университет императрицы
Екатерины II»,
доктор технических наук (25.00.19),
доцент



Шаммазов Ильдар Айратович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»
Адрес организации: 199106, город Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2
Телефон организации: +7(812) 328-84-79
e-mail: shammazov_ia@pers.spmi.ru

Подпись Шаммазова И.А. заверяю



Служба управления
производства и
документооборота
Яновицкая
03 ДЕК 2024

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Гафаровой Элизы Багаутдиновны** на тему «Подбор эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве СПГ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

Глубокая осушка природного газа является неотъемлемой частью технологического процесса производства СПГ. Она обеспечивает надежность работы оборудования, предотвращает образование кристаллогидратов и способствует экономической эффективности всего процесса. Импортозамещение зарубежных адсорбентов отечественными в процессе глубокой осушки природного газа является **актуальной** задачей, которая может значительно повысить энергетическую безопасность страны, улучшить экономическую ситуацию и способствовать научно-техническому прогрессу. Разработка и совершенствование отечественных решений в этой области имеет ключевое значение для устойчивого развития энергетической отрасли России.

К **новизне** работы можно отнести разработку модельных схем механизмов адсорбции влаги и регенерации адсорбента на основе комплексных исследований кинетики адсорбции влаги и регенерации адсорбента, пористой структуры, термофазовых превращений адсорбентов и показана ведущая роль ОН-групп в структуре адсорбентов для образования межмолекулярных водородных связей и обеспечения высокой адсорбционной активности сорбентов глубокой осушки газа в сравнении с донорно-акцепторными центрами в адсорбентах. Исследования в этой области способствуют расширению научных и практических знаний о глубокой адсорбционной осушке газа и поглотительных свойствах адсорбентов.

Автореферат содержит четкое описание методологии проведения адсорбционно-десорбционных и физико-химических исследований. Применение современных методов анализа позволяет получить достоверные результаты и сделать обоснованные выводы. Важно отметить, что работа охватывает как теоретические аспекты, так и практические применения, что делает ее всесторонней и проработанной.

Практическая значимость работы заключается в том, что в ходе экспериментальных исследований установлены оптимальные технологические условия регенерации отечественных промышленных адсорбентов при их использовании в осушке газа при производстве СПГ. Проведенными исследованиями установлено, что двухадсорберная технологическая схема адсорбционной осушки газа обладает в сравнении с трехадсорберной схемой, применяемой в производстве СПГ, большей компактностью и более простой схемой управления, меньшим количеством технологических газопроводов обвязки между адсорберами в технологической схеме и соответственно меньшим числом необходимых приборов КИП для измерения температуры, давления, расходов и т.п. При ее использовании меньше тепловые затраты даже без учета тепловых потерь в газопроводах обвязки между адсорберами. Результаты данных исследований могут быть использованы в промышленности для оптимизации технологических процессов осушки газа.

К содержанию автореферата имеются следующие *замечания*:

1. Стоило более детально остановиться на критериях выбора адсорбентов для сравнения;
2. В автореферате отсутствует экономическая оценка применения предложенных адсорбентов. Включение этого аспекта было бы полезным для понимания не только технической, но и экономической целесообразности предложенных решений.

Данные замечания не влияют на общую положительную оценку исследования.

Заключение. Диссертационное исследование Гафаровой Элизы Багаутдиновны на тему «Подбор эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве СПГ» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится большой объем экспериментальных данных по кинетическим зависимостям процесса глубокой осушки газа с использованием отечественных адсорбентов на основе цеолитов А и Х в сравнении с применяемыми зарубежными цеолитными адсорбентами, что имеет важное значение как для промышленности, так и для науки. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, согласно 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а ее автор, Гафарова Элиза Багаутдиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Заместитель начальника службы по управлению техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Томск», кандидат технических наук (2.8.5. – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ)



Саубанов Оскар Маратович
«03» декабря 2024 года

ООО «Газпром трансгаз Томск»

Адрес организации: пр. Фрунзе, д. 9, Томск, 634029, Российская Федерация

Телефон организации: +7 3822 60-32-09

Электронная почта: office@gtt.gazprom.ru/o.saubanov@gtt.gazprom.ru

Подпись Саубанова О.М. заверяю

Заместитель начальника отдела
кадров и трудовых отношений
ООО «Газпром трансгаз Томск»



Авдеева Светлана
Михайловна
03.12.2024

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гафаровой Элизы Багаутдиновны «Подбор эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве СПГ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»

Работа, представленная автором, посвящена важной и актуальной теме подбора эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве сжиженного природного газа (СПГ). В условиях роста мирового спроса на СПГ и ужесточающихся требований к его качеству, исследование в этом направлении имеет стратегическое значение. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности и экологической чистоты процесса осушки газа, а также снижением зависимости от импортных технологий и материалов.

Автор проделал значительную работу, охватывающую как теоретические, так и практические аспекты проблемы. Исследование базируется на применении современных научных методов, включая экспериментальный анализ и математическое моделирование. Особое внимание уделяется влиянию различных факторов, таких как температура и объемная скорость осушаемого газа, на эффективность адсорбции. Результаты экспериментов позволяют сделать аргументированные выводы о выборе оптимальных условий для работы каждого типа адсорбента.

Новизна работы заключается в проведении комплексных сравнительных исследований структуры и адсорбционных свойств отечественных и зарубежных промышленных адсорбентов, применяемых в осушке газов, с использованием современных физико-химических методов. Разработаны модельные схемы механизма адсорбции влаги и регенерации адсорбента на основе комплексных исследований кинетики адсорбции влаги и регенерации адсорбента, пористой структуры, термофазовых превращений адсорбентов и показана ведущая роль ОН-групп в структуре адсорбентов для образования межмолекулярных водородных связей и обеспечения высокой адсорбционной активности сорбентов глубокой осушки газа в сравнении с донорно-акцепторными центрами в адсорбентах. Кроме того, установлены особенности дегидроксилирования структуры отечественных и зарубежных адсорбентов, что углубляет понимание процессов адсорбции и регенерации и способствует разработке более эффективных стратегий их применения в промышленных условиях.

В целом, работа отличается глубокой проработанностью материала, логической структурой и высоким уровнем научной достоверности. Гафарова Э.Б. демонстрирует умение критически оценивать полученные данные и делать обоснованные выводы. Представленная работа вносит существенный вклад в развитие технологий осушки природного газа и имеет

прикладное значение для оптимизации производственных процессов в газовой отрасли.

По представленному автореферату необходимо сделать следующее замечание: введение содержит общее описание важности темы, но не хватает конкретных примеров и фактов, подтверждающих ее актуальность. Указанное замечание не снижает общей положительной оценки работы.

Диссертационное исследование Гафаровой Элизы Багаутдиновны является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено новое решение задачи по выбору отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа в процессе производства СПГ, что играет важную роль в развитии отечественной газовой промышленности и снижении зависимости от импортных технологий. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Гафарова Элиза Багаутдиновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

Профессор кафедры процессов горения
и экологической безопасности
Академии ГПС МЧС России

д.т.н, профессор

105.26.01 – Охрана труда (технические науки)

«12» декабря 2024 г.

И.Р. Бегишев

Подпись руки И.Р. Бегишева заверяю:
Заместитель начальника отдела кадров
Академии ГПС МЧС России



Н.В. Гребенюк

«12» декабря 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Адрес организации: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4

Телефон организации: +7(495) 617-27-27

e-mail: info@academygps.ru