

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ПДС 2022.014
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА
ЛУМУМБЫ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26 декабря 2024 г., протокол № 3-з

О присуждении Гафаровой Элизе Багаутдиновне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Подбор эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве СПГ» по специальности 2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ в виде рукописи принята к защите 14 ноября 2024 г., протокол № 3-пз, диссертационным советом ПДС 2022.014 федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; приказ от 24 июля 2023 года № 418).

Соискатель Гафарова Элиза Багаутдиновна 1987 года рождения, в 2009 году окончила Государственное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина» по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов».

В период подготовки диссертации являлась старшим преподавателем кафедры оборудования нефтегазопереработки Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», где и работает по настоящее время.

Диссертация выполнена на кафедре оборудования нефтегазопереработки факультета инженерной механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

Научный руководитель – доктор химических наук **Мельников Вячеслав Борисович**, профессор, профессор кафедры оборудования нефтегазопереработки

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина».

Официальные оппоненты:

- **Нестеренко Павел Николаевич**, гражданин РФ, доктор химических наук (02.00.02 – Аналитическая химия), профессор, ведущий научный сотрудник НИЛ адсорбции и катализа, кафедра физической химии, химический факультет ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
- **Каратун Ольга Николаевна**, гражданка РФ, доктор технических наук (05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ), профессор, профессор кафедры химической технологии нефти и газа ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»
- **Файзуллина Зульфия Рустамовна**, гражданка РФ, кандидат технических наук (2.6.12 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ), доцент кафедры газохимии и моделирования химико-технологических процессов, технологический факультет ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
дали положительные отзывы о диссертации.

Соискатель имеет 21 опубликованную работу, все по теме диссертации, из них 11 работ за последние пять лет опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных «Перечнем РUDN, «Перечнем ВАК, в рецензируемом научном издании, индексируемом в международной базе данных «Scopus», в рецензируемом научном издании, индексируемом в международной базе данных «Web of Science». Общий объем публикаций 6,375 п.л.

Авторский вклад 86 %.

Наиболее значимые публикации:

1. Fedorova E.B., Mel'nikov V.B., **Gafarova E.B.**, Fedorova V.A. Optimal thermobaric parameters determination of natural gas dehydration in LNG production // IOP conference series: materials science and engineering 27 – 29 november 2019 г. – Stavanger, Norway – 2019. – С. 012014.
2. Мельников В.Б., Федорова Е.Б., **Гафарова Э.Б.** Сравнительная оценка адсорбентов для осушки газа при производстве сжиженного природного газа // Химия и технология топлив и масел. – 2020. – № 1(617). – С.23–25.
3. **Гафарова Э.Б.**, Мельников В.Б., Макарова Н.П., Федорова Е.Б. Исследование регенерации цеолитсодержащих адсорбентов // Нефтепромысловое дело. – 2021. – № 7(631). – С. 46–48.
4. **Гафарова Э.Б.**, Мельников В.Б. Сравнительный анализ основных показателей процесса адсорбционной осушки при производстве сжиженного

природного газа // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2022. – № 2(150). – С. 31–41.

5. **Гафарова Э.Б., Мельников В.Б.** Исследование пористой структуры промышленных адсорбентов осушки и очистки газов на основе изотерм адсорбции – десорбции азота // Южно-сибирский научный вестник. – 2022. – № 6(46). – С. 318–323.

6. **Гафарова Э.Б., Мельников В.Б., Макарова Н.П., Федорова Е.Б.** Анализ основных показателей процесса адсорбционной осушки при производстве сжиженного природного газа // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 1(637). – С. 61–65.

7. Мельников В.Б., Федорова Е.Б., Макарова Н.П., **Гафарова Э.Б.** Исследование динамической адсорбционной активности силикагелей в осушке газов // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 5(641). – С. 51–53.

8. **Гафарова Э.Б., Мельников В.Б., Макарова Н.П.** Исследование термической стабильности адсорбентов // Нефтепромысловое дело. – 2023. – № 2(650). – С. 52–57.

9. **Гафарова Э.Б., Мельников В.Б., Федорова Е.Б., Макарова Н.П.** Исследование применения отечественных адсорбентов в процессе адсорбционной осушки газа при производстве сжиженного природного газа // Научный журнал российского газового общества. – 2023. – № 3(39). – С. 52–63.

10. Мельников В.Б., **Гафарова Э.Б., Макарова Н.П., Федорова Е.Б.** Исследования отечественных и зарубежных адсорбентов в промысловой осушке нефтяного газа // Нефтяное хозяйство. – 2024. – № 2. – С. 112–116.

11. **Гафарова Э.Б., Мельников В.Б., Федорова Е.Б., Макарова Н.П.** Комплексное исследование свойств отечественных и зарубежных адсорбентов для глубокой осушки природного газа // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2024. – № 1(314). – С. 108–119.

На автореферат диссертации поступили положительные, не содержащие критических замечаний отзывы:

– **Копылов Сергей Николаевич**, гражданин РФ, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России, доктор технических наук (05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (технические науки). Отрасль – Химическая и нефтехимическая промышленность). По содержанию автореферата имеется следующее замечание: не представлена информация по обоснованию выбора адсорбентов.

– **Долгаев Сергей Иванович**, гражданин РФ, кандидат физико-математических наук (01.04.21 – Лазерная физика), ведущий научный сотрудник, Центр промысловых технологий добычи газа, Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий ООО «Газпром ВНИИГАЗ». По

содержанию автореферата имеются следующие вопросы: 1. На каком оборудовании проводили исследования по термодесорбции влаги из адсорбентов и каким образом осуществлялась подготовка адсорбентов для исследований? 2. При экспериментальном определении динамической активности адсорбентов учитывалась ли их насыпная плотность?

– **Шаммазов Ильдар Айратович**, гражданин РФ, доктор технических наук (25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазоводов, баз и хранилищ), доцент, заведующий кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа», нефтегазовый факультет ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». По содержанию автореферата имеются следующие замечания: 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.

– **Саубанов Оскар Маратович**, гражданин РФ, кандидат технических наук (2.8.5. – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ), заместитель начальника службы по управлению техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Томск». По 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.

– **Бегишев Ильдар Рафатович**, гражданин РФ, доктор технических наук (05.26.01 – Охрана труда (технические науки)), профессор, профессор кафедры горения и экологической безопасности Академии ГПС МЧС России, доктор технических наук (05.26.01 – Охрана труда (технические науки)). По содержанию автореферата имеется следующее замечание: введение содержит общее описание важности темы, но не хватает конкретных примеров и фактов, подтверждающих ее актуальность.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией, наличием научных трудов и публикаций, соответствующих теме оппонируемой диссертации:

– **Нестеренко Павел Николаевич**

1. Lanin S. N., Vinogradov A.E., Lanina K.S., Nesterenko P.N., Platonova S.A., Nesterenko E.N. Comparative study of different polar adsorbents for adsorption of

water soluble vitamins // Adsorption. – 2020. – Vol. 26, No. 3. – P. 339-348. – DOI 10.1007/s10450-019-00186-3.

2. Laptev A.Y., Rozhmanova N.B., Tikhomirova T.I., Lanin S.N., Nesterenko P.N. Adsorption of Synthetic Dyes Under the Conditions of Capillary Zone Electrophoresis // Moscow University Chemistry Bulletin. – 2021. – Vol. 76, No. 2. – P. 127-132. – DOI 10.3103/S0027131421020061.

3. Tikhomirova, T.I. Nesterenko P. N. Specific Features of Complexation on the Surface of Modified Silica Sorbents: Sorption and Complexation Chromatography of Metals // Russian Journal of Coordination Chemistry. – 2022. – Vol. 48, No. 10. – P. 631-640. – DOI 10.1134/s1070328422100074.

4. Лузанова В. Д., Рожманова Н. Б., Ланин С. Н., Нестеренко П. Н. Применение цеолитов в высокоэффективной жидкостной хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2023. – Т. 23, № 4. – С. 691-704. – DOI 10.17308/sorpchrom.2023.23/11576.

– **Каратун Ольга Николаевна**

1. Драчевский С.В., Каратун О.Н., Танаянц О.В., Шардыко В.В. Влияние газа регенерации процесса осушки обессеренного газа Астраханского ГПЗ на содержание сероводорода и сернистых соединений в товарном газе в "холодный" период года // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2020. – № 8. – С. 10-13.

2. Драчевский С.В., Каратун О.Н., Танаянц О.В. [и др.] Исследование поглотительной способности цеолитов NaA-Y по сероводороду, меркаптанам и общей сере в процессе осушки обессеренного газа Астраханского ГПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2020. – № 10. – С. 15-17.

3. Драчевский С.В., Каратун О.Н., Федулаева Т.Н. [и др.] Анализ работы цеолитных адсорбентов MSA4-5, NaLN4, NaA на максимальных нагрузках установки осушки и отбензинивания углеводородного газа Астраханского ГПЗ филиала ООО "Газпром переработка" // Химическая промышленность сегодня. – 2020. – № 2. – С. 24-29.

4. Каратун О.Н., Драчевский С.В., Федулаева Т.Н. [и др.] Подбор эффективных адсорбентов для осушки обессеренного газа Астраханского ГПЗ // Газовая промышленность. – 2020. – № 3(798). – С. 58-66.

5. Тугельтаев М.М., Каратун О.Н., Танаянц О.В., Шардыко В.В. Возможность использования цеолитов различных производителей для осушки углеводородного газа Астраханского ГПЗ филиала ООО "Газпром переработка" // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2021. – Т. 17, № 2(24). – С. 43-51. – DOI 10.34708/GSTOU.2021.70.61.005.

6. Каратун О. Н., Лаврентьева Т. А. Получение сырья для производства

полимеров из пропана в присутствии пентасилсодержащих катализаторов // Научный журнал Российского газового общества. – 2022. – № 4(36). – С. 94-105. – DOI 10.55557/2412-6497-2022-4-94-104.

7. Камышникова А. С., Охлобыстин А. О., Каратун О. Н. [и др.] Разработка принципиальной технологической схемы процесса адсорбционной сероочистки бензиновой фракции в присутствии силикагеля, модифицированного пивалатом цинка (II) // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2023. – Т. 66, № 2. – С. 92-99. – DOI 10.6060/ivkkt.20236602.6705.

8. Каратун О. Н., Лаврентьева Т. А. Каталитический пиролиз бутановой фракции в присутствии пентасилсодержащих катализаторов // Научный журнал Российского газового общества. – 2023. – № 4(40). – С. 56-65.

9. Каратун О. Н., Лаврентьева Т. А., Горбунова С. А. Влияние концентрации цеолита на выход низкомолекулярных олефинов в процессе пиролиза пропана // Научный журнал Российского газового общества. – 2024. – № 2(44). – С. 97-105.

10. Каратун О. Н., Ишмухамедов Р.Р., Лаврентьева Т. А., [и др.] Анализ современного состояния и перспективы развития пиролизных комплексов в России // Вестник ГГНТУ. Технические науки, Том XX, №2 (36), 2024. – С. 55-66.

11. Каратун О. Н., Горбунова С. А. Пиролиз. Состояние и перспективы развития // Научный журнал Российского газового общества. – 2024. – № 3(45). – С. 120-127.

– **Файзуллина Зульфия Рустамовна**

1. Agliullin M. R., Kutepov B. I., Khairullina Z. R. Crystallization of a Pelletized High-Crystallinity SAPO-11 Molecular Sieve with a Hierarchical Pore Structure // Catalysis in Industry. – 2020. – Vol. 12, No. 4. – P. 273-279. – DOI 10.1134/S2070050420040029.

2. Agliullin M. R., Kuvatova R. Z., Kutepov B. I., Khairullina Z. R. Effect of the Aging Temperature of Gel on the Synthesis and Properties of the Silicoaluminophosphate Molecular Sieve SAPO-11 // Catalysis in Industry. – 2020. – Vol. 12, No. 2. – P. 89-94. – DOI 10.1134/S2070050420020026.

3. Аглиуллин М. Р., Хайруллина З. Р., Кутепов Б. И. Кристаллизация гранулированного молекулярного сита SAPO-11 высокой степени кристалличности с иерархической пористой структурой // Катализ в промышленности. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 167-173. – DOI 10.18412/1816-0387-2020-3-167-173.

4. Аглиуллин М.Р., Серебренников Д.В., Халилов Л.М., Файзуллина З.Р. [и др.] Изучение свойств молекулярных сит, полученных из гелей, содержащих слоистые 2D-силикоалюмофосфаты с различным соотношением $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ // Кинетика и катализ. – 2023. – Т. 64, № 3. – С. 326-335. – DOI 10.31857/S0453881123030012/

5. Файзуллин Э. А., Осипенко М. В., Файзуллина З. Р. Цеолитные материалы - области применения и перспективы их использования // Вестник молодого ученого УГНТУ. – 2023. – № 2(22). – С. 71-77.

6. Файзуллина З. Р., Сидоров Д. В. Очистка водородосодержащего газа от кислых примесей // Вестник молодого ученого УГНТУ. – 2024. – № 2(26). – С. 126-135.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– установлены 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;

– получены кинетические зависимости процесса глубокой осушки газа с использованием отечественных адсорбентов на основе цеолитов А и Х в сравнении с применяемыми зарубежными цеолитными адсорбентами и установлена эффективность использования отечественных промышленных адсорбентов;

– 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;

– установлены особенности дегидроксилирования структуры отечественных и зарубежных адсорбентов на основе цеолитов А и Х методом дифференциально-термического анализа.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– установлена 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 и значимая роль межмолекулярных водородных связей в обеспечении высокой адсорбционной

активности сорбентов в глубокой осушке газа. При температурах регенерации адсорбентов более 350 °С доля ОН-групп в их структуре уменьшается за счет дегидроксилирования структуры, адсорбционная активность по влаге снижается, а кристаллическая структура цеолитов сохраняется;

- предложены модельные схемы механизма осушки газа и регенерации адсорбента при одновременном участии межмолекулярных водородных связей и донорно-акцепторных центров в структуре адсорбентов на основе комплексных исследований кинетики адсорбции влаги и регенерации адсорбента, пористой и кристаллохимической структуры, термофазовых превращений адсорбентов;
- установлены особенности дегидроксилирования структуры отечественных и зарубежных адсорбентов на основе цеолитов А и Х, обусловленные различным количеством и распределением ОН-групп в их структуре по энергетическому состоянию методом дифференциально-термического анализа.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- адсорбционными кинетическими и технологическими исследованиями процесса глубокой осушки газа при производстве СПГ показано, что отечественные адсорбенты на основе цеолитов А и Х в сравнении с применяемыми зарубежными цеолитными адсорбентами (например, фирмы Линде, выпускаемые компанией BASF) могут эффективно использоваться в отечественной промышленности. Это обусловлено в основном меньшим удельным расходом адсорбента и более высокой активностью отечественных адсорбентов;
- установлено, что отечественные адсорбенты на основе цеолитов NaA и NaX по адсорбционной активности в осушке газа не только не уступают зарубежным цеолитным адсорбентам, выпускаемым компанией BASF, а в некоторых случаях превосходят их. Так, например, в интервале температур от 5 до 50 °С и объемных скоростях осушаемого газа от 2000 ч⁻¹ до 12500 ч⁻¹ адсорбенты NaX-БС и NaA-БС проявляют более высокую динамическую адсорбционную активность в осушке воздуха и метана, чем остальные адсорбенты; незначительно меньшая сорбционная емкость отмечена для образцов 13X BASF и 4A BASF;
- установлено, что из всех исследованных отечественных и зарубежных адсорбентов, отечественный цеолитный адсорбент NaA-БС обладает наибольшей динамической активностью, его использование в технологической схеме глубокой адсорбционной осушки газа уменьшают энергетические затраты на осушку 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;

- установлены оптимальные технологические условия регенерации отечественных промышленных адсорбентов при их использовании в осушке газа при производстве СПГ;

- Внедрены в ООО «Сахалинская Энергия» при проведении работ по анализу технологий глубокой осушки природного газа отдельные результаты научных исследований, а именно:

- рекомендации по подбору эффективных отечественных адсорбентов для глубокой осушки природного газа при производстве СПГ;

- рекомендации по оптимальным условиям регенерации адсорбентов для обеспечения максимальной эффективности и продления срока их службы, а также минимизации негативного влияния на их активность при проведении многократных стадий регенерации при высоких температурах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что экспериментальные данные были получены на сертифицированном оборудовании, проведены необходимые калибровки, подтверждена воспроизводимость результатов в разных условиях. Теоретические положения основаны на известных и проверенных данных, согласуются с опубликованными экспериментальными данными как по теме диссертации, так и по смежным областям. Идеи исследования базируются на анализе существующих практик и обобщении передового опыта применения адсорбентов. Использовались современные методики подбора и тестирования адсорбционных материалов. Установлены качественные и количественные совпадения авторских результатов с независимыми источниками по данной тематике, что подтверждает обоснованность примененной методологии и сделанных выводов. В работе применены современное лабораторное оборудование и методы сбора и обработки данных, которые обеспечивают точность и надежность полученных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в постановке и реализации задач диссертационной работы, анализе литературных данных, выборе методики исследования, в подготовке программы экспериментальных испытаний, проведении и получении результатов исследования. Вклад автора является определяющим и заключается в непосредственном проведении исследований на всех его этапах: от постановки задач и их реализации до обсуждения результатов в научных публикациях и докладах на конференциях.

Заключение диссертационного совета подготовлено доктором технических наук, профессором, профессором кафедры недропользования и нефтегазового дела инженерной академии РУДН им. Патриса Лумумбы Капустиным Владимиром Михайловичем; доктором химических наук, профессором, профессором кафедры химии нефти и органического катализа Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова Егазарьянцем Сергеем Владимировичем; доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры недропользования и нефтегазового дела РУДН им. Патриса Лумумбы Ершовым Михаилом Александровичем.

На заседании 26 декабря 2024 г. диссертационный совет ПДС 2022.014 принял решение присудить Гафаровой Элизе Багаутдиновне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председательствующий на заседании:
Председатель диссертационного
совета ПДС 2022.014, доктор геолого-
минералогических наук

П.Н. Страхов

Ученый секретарь диссертационного
совета ПДС 2022.014, кандидат геолого-
минералогических наук, доцент

В.М. Бугина



26 декабря 2024 г.