

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.11
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 27.09.2023 № 3

О присуждении Карякиной Екатерине Денисовне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка технологического процесса транспортировки сжиженного природного газа по полимерным трубопроводам» по специальности 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ принята к защите 26.07.2023, протокол заседания № 2, диссертационным советом ГУ.11 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 03.07.2023 № 1024 адм, с изменениями от 31.08.2023 № 1193 адм, от 05.09.2023 № 1227 адм.

Соискатель, Карякина Екатерина Денисовна, 28 марта 1995 года рождения, в 2019 году с отличием окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело.

С 01.10.2019 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры транспорта и хранения нефти и газа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре транспорта и хранения нефти и газа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, **Шаммазов Ильдар Айратович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра транспорта и хранения нефти и газа, профессор.

Официальные оппоненты:

Кутуков Сергей Евгеньевич – доктор технических наук, доцент, Научно-технический центр общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта», Управление математического моделирования и технологий трубопроводного транспорта, главный научный сотрудник;

Зайцев Андрей Викторович – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы», доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет»**, г. Уфа в своем положительном отзыве, подписанном **Валеевым Анваром Рашитовичем**, доктором технических наук, доцентом, доцентом кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», председателем заседания, **Ташбулатовым Радмиром Расульевичем**, кандидатом технических наук, доцентом, доцентом той же кафедры, секретарем заседания и утвержденном **Ибрагимовым Ильдусом Гамировичем**, доктором технических наук, профессором, проректором по НИР, указала, что Результаты диссертационного исследования дополняют теоретические основы трубопроводного транспорта сжиженного природного газа, характера разрушения полимерных материалов при криогенных температурах. Практическая значимость исследования заключается в возможном использовании разработанного способа транспортировки СПГ по полимерным трубопроводам, алгоритма теплового и гидравлического расчетов подземного трубопровода, предложенной адаптации существующих стандартов по оценке напряженно-деформированного состояния подземного СПГ трубопровода в деятельности нефтегазовых компаний и профильных научных организаций.

Практическая значимость работы подтверждается полученными патентом и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также полученным актом внедрения результатов исследования.

Соискатель имеет 5 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ, в том числе в 1 статье - в издании из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы

основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus, Web of Science), в 1 статье – в издании, относящимся к прочим публикациям. Получен 1 патент и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 4,15 печатных листов, в том числе 2,51 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Воронов, В.А. Анализ технических решений в области транспорта и хранения сжиженного природного газа / В.А. Воронов, Е.Д. Карякина, Э.В. Ахмеров // Вестник Международной академии холода. - 2019. - № 3. С. 15–22. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-15-22. (ВАК-МБД СА (pt), № 359, ред. 24.07.2019).

Соискателем проведен анализ особенностей трубопроводной транспортировки сжиженного природного газа, описаны различные типы материалов трубопроводов, и предложено использование полимеров в качестве материала трубопровода для транспорта СПГ при низких отрицательных температурах. Приведена адаптация классического гидравлического расчета под условия перекачки сжиженного природного газа.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus, Web of Science):

2. Karyakina, E.D. The Simulation of Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Cryogenic Pipeline Stress-Strain State / E.D. Karyakina, I.A. Shammazov, V.A. Voronov, A.V. Shalygin // Materials Science Forum. – 20 May 2021. - Volume 1031, PP. 132–140. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.1031.132 (Scopus) (рус.: Моделирование напряженно-деформированного состояния криогенного трубопровода из сверхвысокомолекулярного полиэтилена).

Соискателем проводилось исследование механизмов разрушения полимерных материалов в криогенных условиях, выполнено компьютерное имитационное моделирование и теоретическая оценка напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода для транспортировки сжиженного природного газа, изготовленного из сверхвысокомолекулярного полиэтилена по специально разработанной методике.

3. Shammazov, I.A. The LNG flow simulation in stationary conditions through a pipeline with various types of insulating coating / I.A. Shammazov, E.D.

Karyakina // Fluids/ - 2023. - 8(2). - 68; DOI: 10.3390/fluids8020068 (Web of Science) (рус.: Моделирование течения СПГ в стационарных условиях по трубопроводу с различными типами изоляционного покрытия).

Соискателем проведено исследование влияние различных типов изоляционного покрытия на характер распределения температуры СПГ по длине трубопровода, изготовленного из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и стали AISI 321 путем моделирования течения СПГ в стационарных условиях с последующей аппроксимацией и экстраполяцией полученных результатов для протяженных участков трубопроводов.

4. Karyakina, E.D. Main aspects of liquefied natural gas process line thermal and hydraulic calculations / E.D. Karyakina, I.A. Shammazov, A.V. Shalygin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 15 March 2021. - Volume 677. - Issue 5. 052056. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052056 (Scopus) (рус.: Основные аспекты теплогидравлического расчета технологической линии сжиженного природного газа).

Соискателем разработана модель для проведения теплового и гидравлического расчетов подземного трубопровода, перекачивающего криогенную жидкость, с учетом изменения ее основных теплофизических параметров, на основании которой показана эффективность сооружения трубопровода из сверхвысокомолекулярного полиэтилена в сравнении с аналогичным трубопроводом, изготовленным из стали AISI 321.

Публикации в прочих изданиях:

5. Карякина, Е.Д. Анализ возможности применения полимерных материалов в области трубопроводного транспорта сжиженного природного газа. / Е.Д. Карякина, В.А. Воронов, А.В. Шалыгин // 74-я международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2020»: Сборник тезисов, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 28 сентября – 02 октября 2020 года. – Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. – С. 410-411. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46461460>.

Соискателем предложено применение полимерных материалов для трубопроводного транспорта криогенных жидкостей, выполнен анализ проблем, препятствующих его распространению. Показано сравнение эффективности сооружения трубопровода из полимерных материалов и стали, которая достигается за счет снижения металлоемкости системы, увеличения расстояния транспортировки, возможности применения труб с меньшим внутренним диаметром при одинаковой пропускной способности.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

6. Патент РФ № RU 2761148 Российская Федерация, МПК F16L 9/12 (2006.01), F17D 1/14 (2006.01). Способ транспортировки криогенных

жидкостей: № 2021114128: заявл. 19.05.2021: опубл. 06.12.2021 / Карякина Е.Д., Шаммазов И.А., Шалыгин А.В.; заявитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 10 с.: ил.

Соискателем проведен патентный поиск, а также разработан способ транспортировки криогенных жидкостей, включающий в себя предварительно охлажденный трубопровод, изготовленный из сверхвысокомолекулярного полиэтилена в изоляционном покрытии, в котором достигается снижение гидравлических сопротивлений при движении криогенной жидкости путем применения труб, изготовленных из сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РФ № RU 2021665688 Российская Федерация. Программа для теплового и гидравлического расчетов подземного трубопровода сжиженного природного газа. № 2021664592: заявл. 21.09.2021, дата регистрации: 30.09.2021 / Карякина Е.Д., Шаммазов И.А., Дониц И.Е. заявитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 7 кб.

Соискателем произведена разработка алгоритма проведения теплового и гидравлического расчетов с учетом изменения теплофизических параметров криогенной жидкости по ранее разработанной специальной методике.

Апробация работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

- IV International Conference «AGRITECH IV - 2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies», ноябрь 2020, Красноярск;
- III International Conference on Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering, ноябрь 2020, Красноярск;
- 74-я международная молодежная научная конференция «Нефть и газ - 2020», сентябрь-октябрь 2020, Москва;
- Ежегодная научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение», Санкт-Петербургский горный университет, апрель 2023, Санкт-Петербург.

В диссертации Карякиной Екатерины Денисовны отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующего кафедрой промышленной теплоэнергетики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», д.т.н., профессора

И.Р. Байкова; доцента кафедры проектирования и эксплуатации магистральных газонефтепроводов ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», к.т.н., доцента **М.В. Терентьевой;** член-корреспондента Российской академии образования ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», д.х.н., профессора **Э.М. Мовсумзаде;** начальника отдела организации научно-исследовательских и опытно-конструкционных работ АО «Газпром диагностика», д.т.н. **О.А. Рыбина;** генерального директора ООО «Перфобур», к.т.н. **И.А. Лягова.**

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. В тексте автореферата не приведены формулы по расчету продольных и кольцевых напряжений, возникающих в полимерном трубопровода (д.т.н. **И.Р. Байков**);
2. Не представлена информация о количестве испытанных образцов в тексте автореферата (д.т.н. **И.Р. Байков**);
3. Не описаны вопросы математического планирования натурального эксперимента (к.т.н. **М.В. Терентьева**);
4. Не в полной мере отражена информация о верификации полученных результатов экспериментального исследования (к.т.н. **М.В. Терентьева**);
5. В тексте автореферата не в полном объеме раскрыты особенности осуществления перекачки СПГ по трубопроводам (к.т.н. **М.В. Терентьева**);
6. Несмотря на несомненную научную новизну, название работы сформулировано достаточно широко, возможно, следовало бы ее конкретизировать. Основное внимание в работе уделяется повышению эффективности технологического процесса транспортировки сжиженного природного газа за счет применения труб из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, о чем свидетельствует поставленная цель диссертационного исследования. (д.х.н. **Э.М. Мовсумзаде**);
7. В текст автореферата также следовало бы включить данные из диссертации по расчету распределения температуры и перепада давления в трубопроводе небольшой протяженности, что наиболее часто встречается в условиях производства сжиженного природного газа (д.х.н. **Э.М. Мовсумзаде**);

8. В тексте автореферата не дано объяснение причинам, лежащим в основе наблюдаемого явления увеличения показателей ударной вязкости (д.х.н. Э.М. Мовсумзаде);

9. В тексте автореферата приведена диаграмма разрушения материала при проведении испытаний на растяжение, при этом не указаны пределы погрешностей полученных результатов, а также не предоставлены сведения о том, являются ли данные диаграммы результатом конкретного одного эксперимента или диаграмма получена статической обработки полученных экспериментальных данных (к.т.н. И.А. Лягов);

10. В связи с тем, что сверхвысокомолекулярный полиэтилен является частично-кристаллическим полимерным материалом, за счет каких процессов в структуре материала происходит сохранение материалом вязкого характера разрушения? (к.т.н. И.А. Лягов);

11. В текст автореферата следовало включить диаграмму фазовых состояний сжиженного природного газа для подтверждения выбранных параметров транспортировки СПГ (д.т.н. О.А. Рыбин);

12. В рамках исследования не оговорены вопросы осуществления монтажа и создания равнопрочных сварных соединений труб из полимерных материалов (д.т.н. О.А. Рыбин);

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан технологический процесс транспортировки сжиженного природного газа по полимерным трубопроводам, включающий в себя предварительно охлажденный трубопровод, изготовленный из сверхвысокомолекулярного полиэтилена в изоляционном покрытии, в котором термобарические условия выбираются таким образом, что позволяет исключить возможность образования двухфазного потока по всей длине трубопровода;

предложена оригинальная идея по усовершенствованию технологий транспортировки сжиженного природного газа, заключающаяся в применении сверхвысокомолекулярного полиэтилена в качестве несущего материала трубопровода для транспортировки сжиженного природного газа;

доказана перспективность предложенных технических решений по повышению эффективности технологического процесса трубопроводной транспортировки сжиженного природного газа по полимерным

трубопроводам, что способствует увеличению дальности его транспортировки, повышению безопасности эксплуатации трубопроводных систем и потенциально влечет к увеличению срока эксплуатации технологических линий за счет снижения напряжений в материале, вызванных внутренним давлением в трубопроводе.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны явление увеличения прочностных свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена при криогенных температурах с сохранением материалом вязкого характера разрушения, что расширяет границы применимости материала в область криогенных температур и подтверждает необходимость выполнения исследований в данной области; эффективность использования сверхвысокомолекулярного полиэтилена в разработанном процессе трубопроводной транспортировки сжиженного природного газа;

использованы современные методы компьютерного и математического моделирования, статистического и теоретического анализа, экспериментальных и аналитически-расчетных методик.

изложены актуальные существующие технические решения по осуществлению трубопроводной транспортировки сжиженного природного газа, методические подходы к проведению тепловых и гидравлических расчетов подземных трубопроводов для транспортировки криогенных жидкостей, оценке напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода, выявлены особенности осуществления перекачки криогенных жидкостей по трубопроводам и механизмы поведения полимерных материалов в условиях криогенных температур;

раскрыты условия применения и ограничения подходов к оценке прочности полимерных материалов и существующих методик по проведению теплогидравлических расчетов трубопроводов, обнаружено отсутствие систематизированной методики выполнения тепловых и гидравлических расчетов трубопроводов криогенных жидкостей, а также отсутствие методических указаний по оценке напряженно-деформированного состояния трубопроводов из полимерных материалов в условиях их работы при криогенных температурах;

изучены механизмы разрушения полимерных материалов, генезис внутренних процессов в структуре материала, способствующих его упрочнению в криогенных условиях, особенности движения сжиженного природного газа по трубопроводам, что позволило определить необходимые начальные условия для разработки технологического процесса транспортировки сжиженного природного газа;

проведена модернизация существующих методик тепловых и гидравлических расчетов трубопроводов, методических подходов к оценке их напряженно-деформированного состояния, что обеспечило получение новых результатов по теме диссертации, позволяющих разработать новый научно-обоснованный технологический процесс транспортировки сжиженного природного газа.

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

разработаны и планируются к внедрению в ООО «Газпром СПГ технологии» в 2024 году на этапе разработки проектной документации по объекту «Комплекс по производству и отгрузке сжиженного природного газа на ГРС «Обская» (КСПГ «Обская») (акт внедрения от 29.05.2023) в виде технических предложений по включению в технологическую схему процесса производства сжиженного природного газа технологического трубопровода из сверхвысокомолекулярного полиэтилена на участке после блока сжижения природного газа, включая узел хранения СПГ, до выхода из блока отгрузки СПГ; методических рекомендаций по расчету параметров течения СПГ по технологическим трубопроводам из полимерных материалов;

определены перспективы использования разработанного технологического процесса транспортировки сжиженного природного газа по полимерным трубопроводам, расширены границы применения сверхвысокомолекулярного полиэтилена в область криогенных температур;

создан алгоритм теплового и гидравлического расчетов трубопровода из полимерных материалов с учетом изменения теплофизических параметров криогенной жидкостей (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665688), технологический процесс транспортировки криогенных жидкостей, включающий в себя предварительно охлажденный трубопровод, изготовленный из сверхвысокомолекулярного полиэтилена в изоляционной покрытии (Патент РФ № RU 2761148);

представлены методические рекомендации по проведению теплогидравлических расчетов и оценке прочности полимерных трубопроводов и в условиях их работы при криогенных температурах, результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для применения в деятельности компаний нефтегазовой отрасли при проектировании и сооружении технологических линий сжиженного природного газа, которые будут обеспечивать снижение тепловых и гидравлических потерь по сравнению со стальными трубопроводами, снижение металлоемкости системы, за счет возможности использования труб

меньшего диаметра при одинаковой пропускной способности, а также на научно-производственных предприятиях полимерной промышленности при изготовлении труб из сверхвысокомолекулярного полиэтилена за счет расширения диапазона применения данного материала в область криогенных температур.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты экспериментальных исследований получены на сертифицированном, прошедшем поверку оборудовании, показана воспроизводимость и высокая сходимость результатов исследования в различных условиях и на образцах, изготовленных в разное время;

теория построена на известных, проверяемых данных, фактах, согласуется с теоретическими и экспериментальными результатами общепризнанных исследований в области трубопроводного транспорта криогенных жидкостей и прочностных свойств полимерных материалов;

идея базируется на анализе существующих экспериментальных данных по прочностным характеристикам сверхвысокомолекулярного полиэтилена, обобщении исследований, посвященных перекачке криогенных жидкостей по трубопроводам и направлена на расширение научного знания в области трубопроводной транспортировки сжиженного природного газа и исследованию прочностных свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена;

использованы научные методы сравнения и аналогий с существующими исследованиями по теме диссертации, системного анализа, а также инструменты экспериментального и теоретического исследований, методы статистики, математического и имитационного моделирования для подтверждения выдвинутых гипотез;

установлено соответствие полученных результатов диссертационного исследования поставленной цели, а также отсутствие противоречий полученных результатов (качественно), выводов и рекомендаций соискателя результатам, представленным в независимых научных источниках, положениям теоретической и экспериментальной базы, существующим методическим подходам по теме диссертации;

использованы современные методики сбора, анализа и обработки производственных и научных данных, размещенных в открытых источниках, по существующим техническим решениям в области осуществления трубопроводного транспорта криогенных жидкостей, характере разрушения полимерных материалов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном личном участии на всех этапах процесса подготовки диссертации, а именно:

постановке цели и задач научного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы; личном проведении экспериментальных и теоретических исследований, необходимых для подтверждения эффективности предлагаемых решений с последующей самостоятельной обработкой полученных результатов; научном обосновании применения полимерных материалов в технологическом процессе транспортировки сжиженного природного газа по трубопроводам; подготовке основных публикаций по теме диссертации под руководством научного руководителя, личном участии в апробации результатов исследования.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний.

Соискатель Карякина Е.Д. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 27.09.2023 диссертационный совет принял решение присудить **Карякиной Екатерине Денисовне** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи по вопросу развития трубопроводных транспортных систем сжиженного природного газа путем повышения эффективности технологического процесса транспортировки сжиженного природного за счет использования труб из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, что имеет существенное значение для развития нефтегазовой отрасли и полимерной промышленности.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 10 человек, из них 9 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 9, против - нет, недействительных бюллетеней – нет, не участвовал в голосовании – 1.

Председатель
диссертационного совета



Ищипачев
Андрей Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Фетисов
Вадим Георгиевич

27.09.2023 г.