

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.357.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.11.2024 № 20

О присуждении Гудковой Екатерине Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование и численное исследование процесса опарафинивания расходомерной трубки кориолисова расходомера» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки) принята к защите 20.09.2024 года (протокол заседания №9), диссертационным советом 24.2.357.03, созданным на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, д. 40, приказ Минобрнауки России № 714/нк от 02.11.2012 (приказ № 561/нк от 03.06.2021).

Соискатель Гудкова Екатерина Александровна, 04 июня 1990 года рождения, в 2014 году окончила магистратуру ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет» по направлению подготовки 230100 «Информатика и вычислительная техника», в 2024 году окончила аспирантуру ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» по направлению подготовки 19.06.01 «Промышленная экология и биотехнологии», работает в должности старшего преподавателя кафедры «Информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель — Таранцева Клара Рустемовна, доктор

технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биотехнологии и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

Официальные оппоненты:

Ковальногов Владислав Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тепловая и топливная энергетика» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»,

Блинков Юрий Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Математического и компьютерного моделирования» ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (г. Казань), в своем положительном отзыве, подписанном Бурмистровым Алексеем Васильевичем, д.т.н., профессором, директором института химического и нефтяного машиностроения, Мухаметзяновой Асией Габдулмазитовной, д.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Инженерная компьютерная графика и автоматизированное проектирование», Поникаровым Сергеем Ивановичем, д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Машины и аппараты химических производств», и утвержденном Казаковым Юрием Михайловичем, д.т.н., доцентом, ректором ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», указала, что диссертация представляет новое, научно обоснованное исследование, в котором установлено влияние неравномерности парафиновых отложений на измерение параметров массового расхода. Ведущая организация считает, что диссертация по содержанию и методам исследования соответствует паспорту специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), полностью отвечает требованиям пп. 9-14 действующего Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, обладающую актуальностью, новизной и внутренним единством, в которой изложены результаты самостоятельно выполненных автором исследований и численных экспериментов, имеющих существенное значение для нефтегазовой отрасли, а ее автор, Гудкова Екатерина Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы

программ (технические науки). Диссертация, автореферат и данный отзыв обсуждены и одобрены на совместном заседании кафедр «Инженерная компьютерная графика и автоматизированное проектирование» и «Машины и аппараты химических производств» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» 17 октября 2024 года, протокол № 10. На заседании присутствовали 28 человек. Результаты голосования: «за» - 28 человек, «против» - нет, «воздержались» - нет.

Соискатель имеет 56 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликована 21 работа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ (5 – в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 1.2.2; 1 – в издании, по смежным научным специальностям; 1 – в издании, индексируемом в международной информационной базе *SCOPUS*), получено 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Объем работ, опубликованных по теме диссертации, – 5,89 п.л. с авторским вкладом от 60 до 90%. Работы посвящены моделированию системы «расходомерная трубка – парафин – жидкость» и исследованию влияния опарафинивания трубки кориолисова расходомера на точность измерения параметров массового расхода. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Содержание публикаций автора отражает научные положения и прикладные результаты диссертационного исследования.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Гудкова, Е.А.** Разработка программного комплекса для проведения вычислительных экспериментов по численному моделированию системы «расходомерная трубка – жидкость» кориолисова расходомера // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2024. – № 2. С. 141–152. doi: 10.21685/2227-8486-2024-2-10

2. **Гудкова, Е.А.** Исследование численными методами влияния опарафинивания кориолисова расходомера на точность измерения массового расхода нефти / Е. А. Гудкова, К. Р. Таранцева // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2024. – № 9.

3. **Гудкова, Е.А.** Алгоритмы для проведения компьютерного моделирования системы «расходомерная трубка – жидкость» кориолисова расходомера и обработки его результатов / Е. А. Гудкова, К. Р. Таранцева // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12, № 2 (45). – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1560>. doi: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.028

4. **Гудкова, Е.А.** Анализ и документирование требований для

программного комплекса по проведению вычислительных экспериментов и численному исследованию системы «расходомерная трубка – жидкость» кориолисова расходомера // Моделирование и анализ данных. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 140–151. doi: <https://doi.org/10.17759/mda.2024140209>

5. **Гудкова, Е.А.** Сравнительный анализ численных и аналитических методов моделирования системы «расходомерная трубка – жидкость» в кориолисовых расходомерах / Е. А. Гудкова, К. Р. Таранцева, М. Ю. Михеев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11, № 3 (59). – С. 57–63. – doi: 10.46548/21vek-2022-1159-0009

6. **Гудкова, Е.А.** Анализ критериев, влияющих на точность измерения массового расхода жидкости / Е. А. Гудкова, К. Р. Таранцева, М. Ю. Михеев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11, № 2 (58). – С. 49–54. – doi: 10.46548/21vek-2022-1158-0008

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов:

из ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» (г. Пенза), составленный д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Математика и математическое моделирование» **И.А. Гарькиной**; из ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (г. Саранск), составленный к.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления» **С.А. Федосиним**; из ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» (г. Рязань), составленный д.т.н., профессором, профессором кафедры «Вычислительная и прикладная математика», заслуженным работником высшей школы РФ **А.Н. Пылькиным**; из ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (г. Белгород), составленный к.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Информационные технологии» **Д.Н. Старченко**; из ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (г. Самара), составленный д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Управление в технических системах» **В.Н. Тарасовым**; из ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк), составленный к.т.н., доцентом, доцентом кафедры прикладных информационных технологий и программирования **П.А. Сеченовым**; из ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (г. Тамбов), составленный д.т.н., профессором, директором Института автоматизации и информационных технологий **Ю.Ю. Громовым**; из ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (г. Москва), составленный д.ф.-м.н, доцентом, заведующим кафедрой процессов и аппаратов химических технологий имени Н.И. Гельперина **А.В. Вязьминым**; из ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»

(г. Москва), составленный д.т.н., профессором, профессором кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств имени профессора М.Б. Генералова» **М.Г. Лагуткиным**.

Все отзывы положительные. В отзывах отмечается актуальность темы диссертации, новизна полученных результатов, их важность для науки и практики и делается заключение о том, что соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Основные замечания:

– не приведены данные о количестве и параметрах проведенных вычислительных экспериментов, например, о влиянии температур окружающей среды и измеряемой жидкости на процесс опарафинивания;

– не рассмотрены возможные оптимизационные методы для уменьшения времени расчета модели; также не обосновано проведение анализа во временной области;

– не приведены параметры начальной настройки модели и характеристики сетки конечных элементов, а также данные по анализу чувствительности модели к изменениям ключевых параметров и возможные ошибки численного моделирования со способами их минимизации;

– недостаточно внимания уделено экономической составляющей предложенного подхода, экономическому эффекту от применения полученных результатов;

– не приведено обоснование выбора метода линейной интерполяции массивов данных, получаемых в результате численного расчета модели;

– на стр. 20 автореферата приведена таблица 1 «Зависимость собственной частоты системы от добавленной массы датчиков». Автор не приводит результаты сравнения этих данных с данными других исследователей;

– в автореферате не приведены результаты моделирования толщины отложений от времени;

– не аргументировано использование для моделирования работы кориолисова расходомера программного пакета *COMSOL*;

– в работе не рассмотрены двухтрубные кориолисовы расходомеры, обладающие большей чувствительностью и более широким распространением;

– почему-то уравнение без номера внизу стр. 12 автореферата записано в полных производных, а не в частных;

– помимо парафинов в формировании отложений могут принимать участие и другие компоненты, входящие в состав нефти. Неясно, как это отражено в модели.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим. Областью исследований **официального**

оппонента д.т.н., профессора **Ковальногова В.Н.** являются прикладная математика и применение численных методов для решения широкого круга задач, в частности, в области тепломассообмена и гидрогазодинамики. **Ковальноговым В.Н.** по тематике диссертации за последние 5 лет опубликованы 11 научных работ. Областью интересов **официального оппонента** д.ф.-м.н, доцента **Блинкова Ю.А.** являются вычислительная математика и математическое моделирование волновых процессов, в т.ч. при течении вязкой несжимаемой жидкости. По тематике диссертации за последние 5 лет Блинковым Ю.А. опубликовано 13 научных работ.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, выполняет исследования в области протекания неньютоновской жидкости, моделирование турбулентной динамики и фазовых переходов жидкости в трубе круглого сечения, численное моделирование кожухотрубчатого теплообменника, *CFD*-моделирование гидродинамики потоков, нейросетевое моделирование гидродинамики потоков. За последние 5 лет сотрудниками организации Е.Р. Бадертдиновой, С.И. Поникаровым, А.А. Салиным, А.Г. Мухаметзяновой, Э.И. Салаховой, Ю.А. Тимошиной, В.В. Харьковым, Т.Н. Мустафиным и др. по тематике, близкой к диссертационному исследованию, опубликовано 12 работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований

разработан вычислительный алгоритм автоматизированного параметрического моделирования системы «расходомерная трубка – парафин – жидкость» с применением спрогнозированной формы парафиновых отложений, являющийся основой взаимодействия компонентов программного комплекса;

предложена методика численного моделирования системы «расходомерная трубка – парафин – жидкость» с автоматическим перестроением геометрии расходомерной трубки в зависимости от значения радиуса кривизны и учетом сопряжения парафиновых отложений с расходомерной трубкой. Методика реализована в виде алгоритмов, ее применение повышает точность и достоверность моделирования процесса опарафинивания в кориолисовых расходомерах;

доказано наличие зависимостей параметров массового расхода жидкости от формы парафиновых отложений при неизменности их массы в трубке кориолисова расходомера;

введены: новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана результативность математического моделирования опарафинивания кориолисова расходомера с сопряжением парафиновых

отложений и внутренней поверхности расходомерной трубки для более точного представления процессов в системе «расходомерная трубка – парафин – жидкость»;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы математического моделирования физических процессов турбулентного течения жидкости в колеблющейся расходомерной трубке, итерационный численный метод решения систем линейных уравнений, методы конечных элементов, линейной интерполяции;

изложены понятия, принципы, методы теории математического моделирования и численного исследования системы «расходомерная трубка – парафин – жидкость»;

раскрыты особенности теории образования парафиновых отложений применительно к кориолисовым расходомерам в случае турбулентного потока жидкости;

изучены факторы, оказывающие влияние на процесс определения параметров массового расхода в кориолисовом расходомере, особенности современных методов математического моделирования взаимодействия колеблющейся расходомерной трубки с протекающим потоком жидкости;

проведена модернизация метода математического моделирования опарафинивания трубопроводов с учетом влияния неравномерности гидравлического давления по сечению расходомерной трубки вследствие действия сил Кориолиса. Модифицированный метод позволяет прогнозировать формы парафиновых отложений на внутренней поверхности расходомерной трубки кориолисова расходомера.

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

разработаны и внедрены: комплекс из трех программ для использования при расчете новых более сложных параметров опарафинивания трубки, защищенный свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ. Результаты диссертации внедрены на предприятии ООО «Газпром добыча Уренгой» и в учебный процесс кафедры «Информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» по дисциплине «Имитационное моделирование информационных систем», что подтверждено актами о внедрении;

определена форма парафиновых отложений с учетом физики процесса работы кориолисовых расходомеров, приводящей к неравномерности распределения гидродинамического давления по сечению расходомерной трубки;

создана модель системы «расходомерная трубка – парафин – жидкость»,

реализующая предложенные алгоритмы и методику численного моделирования;

представлены практические рекомендации для нефтегазовой отрасли по снижению погрешности измерения кориолисова расходомера при измерении расхода высокопарафинистых нефтей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ были получены воспроизводимые экспериментальные данные, обеспечивающие получение оценки влияния опарафинивания на точность определения параметров массового расхода жидкости. Результаты подтверждены соотнесением результатов численных исследований с известными данными других исследователей;

теория основана на общепринятых положениях математического моделирования физических процессов при протекании жидкости по расходомерной трубке, на положениях численного метода конечных элементов, теории упругости, гидродинамики, акустики, аэроакустики, теории дифференциальных уравнений;

идея базируется на анализе передовых отечественных и зарубежных разработок применения высокоточного математического моделирования для изучения процессов, влияющих на измерение массового расхода жидкости кориолисовыми расходомерами, на анализе разработок в области отложения парафинов на стенках измерительной аппаратуры с учетом особенностей ее работы;

использованы сведения, изложенные в известных научных публикациях отечественных и зарубежных авторов по тематике исследования;

установлена непротиворечивость авторских результатов сведениям, представленным в информационных источниках по тематике диссертации и по смежным отраслям;

использованы для реализации предложенных алгоритмов язык *UML* в программном инструменте *Enterprise Architect*, средства языка программирования *Python*, пакет прикладных программ *Matlab*, программный пакет моделирования *COMSOL Multiphysics*.

Личный вклад соискателя состоит в:

решении научных и практических задач на всех этапах проведения диссертационного исследования: в оценке текущего состояния решаемой задачи; формулировке цели и задач исследования, выборе и обосновании способов их решения, положений, выносимых на защиту; в модификации метода опарафинивания; в разработке методики, позволяющей определять параметры массового расхода с учетом совокупного изменения характеристик потока жидкости, толщины и формы парафиновых отложений, конфигурации расходомерной трубки; в разработке программного комплекса и выполнении

вычислительных экспериментов; обработке и обобщении полученных результатов; формулировке основных результатов, выводов и рекомендаций; патентовании результатов интеллектуальной деятельности; подготовке основных научных публикаций по теме диссертации и апробации результатов исследований. Основные научные результаты получены автором самостоятельно.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Объем реферата превышает рекомендуемое значение.
2. При построении графиков абсолютной и относительной погрешностей измерений, вызванных неравномерными формами опарафинивания, выбрано малое количество точек.
3. В тексте встречаются одинаковые обозначения скалярных и тензорных величин.
4. Не раскрыто понятие параметрического моделирования.

Соискатель Гудкова Е.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы, согласилась с замечаниями и привела собственную аргументацию относительно параметрического моделирования.

На заседании 21 ноября 2024 года диссертационный совет 24.2.357.03 принял решение: за решение научной задачи повышения достоверности измерений кориолисовых расходомеров с учетом влияния формы парафиновых отложений в расходомерной трубке на точность определения параметров массового расхода высокопарафинистой нефти, имеющей значение для развития нефтегазовой отрасли, присудить Гудковой Е.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 18, «против» - 0, не проголосовавших - нет.

Председатель диссертационного совета

д.т.н., профессор

Щербаков Михаил Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета

д.т.н., профессор

Косников Юрий Николаевич

Дата оформления заключения: 21 ноября 2024 г.