

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26 сентября 2025 г., № 7

О присуждении Овсеенко Галине Анатольевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы обеспечения достоверности измерений при проточном экспресс-контроле характеристик нефти методом протонного магнитного резонанса» по специальности 2.2.8. «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды» принята к защите 19 марта 2025 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.310.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, приказ № 717/нк от 09.11.2012.

Соискатель Овсеенко Галина Анатольевна, 05 января 1980 года рождения,

в 2020 году соискатель окончила магистратуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки «Приборостроение»,

в 2024 году окончила очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,

работает в должности старшего преподавателя кафедры «Цифровые системы и модели» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Приборостроение и мехатроника» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук Кашаев Рустем Султанхамитович, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», кафедра «Приборостроение и мехатроника», профессор.

Официальные оппоненты:

Астапов Владислав Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», кафедра «Автоматизация и управление технологическими процессами», профессор;

Фаттахов Яхъя Валиевич, кандидат физико-математических наук, Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН», лаборатория методов медицинской физики, ведущий научный сотрудник,

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, в своем положительном отзыве, подписанном Евдокимовым Юрием Кирилловичем, доктором технических наук, профессором, кафедра «Радиоэлектроника и информационно-измерительная техника», профессором и Шахтуриным Денисом Владимировичем, кандидатом технических наук, доцентом, кафедра «Радиоэлектроника и информационно-измерительная техника», заведующим кафедрой, указала, что диссертационная работа Овсеенко Г.А. посвящена актуальной теме – разработке методов повышения достоверности измерений релаксационных параметров и характеристик нефти

методом протонного магнитного резонанса (ПМР) и применением искусственного интеллекта при проточном экспресс-анализе на технологических объектах добычи и подготовки нефти, внедрение которых может внести значительный вклад в развитие нефтяной отрасли страны, в развитие петроинформатики и цифровизацию нефтяных месторождений. Работу отличает глубина исследования рассматриваемых вопросов, последовательная аргументация выводов. Выводы представляются обоснованными, отличаются научной достоверностью, которая обеспечена использованием апробированных методов, в числе которых использовались системный метод, структурно-функциональный метод, теоретическая основа разработанных методик и репрезентативная экспериментальная база. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям по пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а ее автор Овсеенко Галина Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

Соискатель имеет 94 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации 14 работ общим объемом 7,2 п.л. и авторским вкладом 3,7 п.л.: работ, опубликованных в отечественных рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и SCOPUS (и приравненных к публикациям в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК К1) – 2, общим объемом 1,5 п.л. и авторским вкладом 0,6 п.л.; в зарубежных рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS – 2, общим объемом 1,5 п.л. и авторским вкладом 0,6 п.л.; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по смежным специальностям – 2, общим объемом 1,7 п.л. и авторским вкладом 0,8 п.л.; опубликованных в материалах международных, всероссийских и национальных конференций – 8, общим объемом 2,5 п.л. и

авторским вкладом 1,7 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Kashaev R.S., Kozelkova V.O., Ovseenko G.A., Karachin V.I., Kozelkov O.V. Multiparametric Flow-Through Measuring Complex for Express Control of Oil Quality Using a Proton Magnetic Resonance Relaxometry Method // Measurement Techniques. 2023. V. 66. № 5. P. 349-358. DOI: 10.1007/s11018-023-02234-5 (статья в отечественном рецензируемом научном издании МБД WoS и SCOPUS, приравнено к ВАК К1, вклад соискателя – 50%).

2. Kozelkov O.V., Mikhailov A.G., Kozelkova V.O., Ovseenko G.A., Van Tung T., Kien N.Ch., Kashaev R.S. Technologies for Rapid Monitoring and Treatment of Oil to Remove Impurities in a Mechatronic Plant Controlled by a Hardware and Software System Using PMR Relaxometry // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2023. V. 57. № 5. P. 1249-1253. DOI: 10.1134/s0040579523310044 (статья в отечественном рецензируемом научном издании МБД WoS и SCOPUS, приравнено к ВАК К1, вклад соискателя – 40%).

3. Ovseenko G.A., Kashaev R.S., Kozelkov O.V., Filimonova T.K., Evdokimova T.S., Mardanova A.M. Improving the information veracity of the complex of multiparametric control of the relaxometer based on a neural network // Proceedings of the 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2023. 2023. 10086740. DOI: 10.1109/REEPE57272.2023.10086740 (статья в рецензируемом научном издании МБД SCOPUS, вклад соискателя – 50%).

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов. Из них положительных – 5. С замечаниями и вопросами – 5. Отзывы прислали:

1. Программист-аналитик отдела разработки программных продуктов ООО «ДАТАДЖАЙЛ», г. Санкт-Петербург, кандидат технических наук Горячев М.П. Замечания: 1) в работе подробно описаны методы обработки

данных и управления измерениями, однако недостаточно раскрыты вопросы устойчивости алгоритмов искусственных нейронных сетей к изменению состава нефти и наличию примесей, которые могут влиять на точность идентификации релаксационных кривых; 2) следует уточнить, как предлагаемые методы адаптируются к работе в условиях сильных электромагнитных помех, характерных для промысловых условий; 3) не полностью раскрыты возможности масштабирования предложенных решений для применения на крупных месторождениях с разнородными характеристиками нефтей.

2. Доцент кафедры «Медицинская инженерия» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, кандидат технических наук, доцент Жукова И.В. Замечание и вопрос: в диссертации 1) недостаточно полно представлено описание испытаний разработанных методов в условиях, максимально приближенных к реальным эксплуатационным; 2) в тексте присутствуют опечатки, некоторые предложения слишком большие; 3) какие именно алгоритмы машинного обучения и в каких частях системы используются?

3. Доцент кафедры Систем автоматизации и управления технологическими процессами ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань, кандидат технических наук, доцент Кузьмин В.В. Вопросы: 1) каковы предполагаемые затраты на внедрение системы в промышленных условиях и её окупаемость? 2) планируется ли разработка типовых метрологических процедур на основе предложенных методов?

4. Профессор кафедры Радиоастрономии Института физики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, доктор физико-математических наук, профессор Хуторова О.Г. Замечание: в автореферате не раскрыты возможности применения разработанных методов на крупных месторождениях с разнородными типами нефти, включая вопросы стандартизации, тиражирования технологии, замены импортного

лицензионного программного обеспечения на российское.

5. Доцент кафедры Информационных систем ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, кандидат физико-математических наук, доцент Широкова О.А. Вопросы: 1) какова устойчивость предложенных алгоритмов к изменчивости химического состава нефти, включая высокое содержание смол, парафинов или минеральных примесей? 2) планируется ли разработка типовых метрологических процедур на основе предложенных методов? 3) насколько масштабируемо предложенное решение для применения на морских платформах?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Оппонент Астапов Владислав Николаевич является известным ученым в области исследования и разработки систем управления и приборов контроля качества в нефтеперерабатывающей промышленности, имеет соответствующие научные публикации.

Оппонент Фаттахов Яхъя Валиевич является известным специалистом в области радиоспектроскопии и применения магниторезонансных методов в различных областях науки и техники, имеет соответствующие научные публикации.

Ведущая организация, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ», является крупным научным центром, занимающимся научной деятельностью по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий. Сотрудники кафедры Радиоэлектроники и информационно-измерительной техники занимаются разработкой и созданием автоматизированных систем измерения, контроля, диагностики и управления, скважинной геолого- и нефтеразведочной аппаратуры и приборов, нефтяных расходомеров, методов обработки сигналов, решения обратных операторных задач математической

физики и их приложений в радиоэлектронике, датчиках, теплофизике, электрохимии, акустике и сейсморазведке, создания киберфизических и интеллектуальных систем, имеют соответствующие научные публикации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработаны методика и алгоритм повышения достоверности проточного экспресс-контроля характеристик нефти методом протонного магнитного резонанса (ПМР) с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ), позволяющие снижать неопределенность измерений релаксационных параметров (амплитуд A_i и времен релаксации T_{2i}) за счет выбора из базы данных релаксационных кривых, наиболее соответствующих экспериментально измеряемым, и последующей точной настройки режимов работы релаксометра ПМР;

предложены методы контроля готовности каналов измерений релаксометра ПМР к работе с применением технологий искусственных нейронных сетей (ИНС) и статистического «метода 3σ »;

доказано наличие зависимостей дисперсий σ измеряемых ПМР-параметров от соотношений их амплитуд и времен релаксации, длительности радиочастотных импульсов, наличия шума и внешних условий, а также возможность значительного снижения этих дисперсий путем адаптивной настройки параметров измерений;

предложены граничные условия и алгоритмы для классификации состояния релаксометра ПМР («Норма», «Не определено», «Неисправно»); архитектура многослойного персептрона (МЛП 9-5-3) для реализации алгоритма контроля; методики вычисления характеристик нефти (плотности, объемного коэффициента) на основе ПМР-параметров в программной среде LabView.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Доказан и обоснован перечень контролируемых ПМР-параметров (A_i , T_{2i} , P_i) и режимов измерений, достаточный для достоверного определения

характеристик нефти в потоке;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы метод обратного преобразования Лапласа L^{-1} для получения точных теоретических параметров ПМР, метод искусственного интеллекта (градиентный спуск) для поиска в базе данных релаксационных кривых, а также методы математического моделирования для прогнозирования точности измерений и снижения неопределенностей;

определена архитектура многослойной нейросетевой модели (МЛП 9-5-3) для контроля состояния релаксометра ПМР, отличающаяся высокой точностью и чувствительностью к определению режимов его работы;

раскрыты возможности и ограничения применения метода ПМР в сочетании с технологиями искусственного интеллекта для проточного экспресс-контроля на технологических объектах цифрового месторождения;

изучены и математически смоделированы зависимости между дисперсиями измерений ПМР-параметров, соотношениями их амплитуд и времен релаксации, что позволяет прогнозировать и повышать точность измерений.

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

разработаны и внедрены (имеются акты внедрения) в научно-исследовательскую деятельность НОЦ «Исследование и моделирование материалов» Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, а также в образовательный процесс кафедр «Приборостроение и мехатроника» и «Цифровые системы и модели» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ) методы обеспечения достоверности измерений при проточном экспресс-контроле характеристик нефти методом протонного магнитного резонанса.

по результатам выполнения исследований и разработок, представленных

в диссертации, **подтверждена** работоспособность предложенного алгоритма повышения достоверности измерений и метода контроля состояния релаксометра;

определены перспективы практического применения разработанных методов для создания систем дистанционного контроля и управления кустом нефтедобывающих скважин МАЦИС (многофункциональные автоматизированные цифровые интеллектуальные скважины): полный уход от импортных технологий, расширение базы данных, автоматизация диагностики и измерений. Эти меры направлены на повышение точности, надежности и автономности систем контроля и управления в нефтедобыче.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с использованием аттестованных методик измерений, сертифицированного программного обеспечения (LabView, UpenWin, Advanced Grafer) и статистических методов обработки данных, показана воспроизводимость результатов;

теоретические основы определения и снижения неопределенностей измерений методом ПМР не противоречат известным литературным данным и согласуются с опубликованными теоретическими и экспериментальными результатами других авторов;

идея разработанных методов **базируется** на анализе фундаментальных работ отечественных и зарубежных ученых в области ядерного магнитного резонанса и технологий искусственных нейронных сетей;

установлена непротиворечивость экспериментальных результатов, выводов и моделей известным теоретическим положениям;

использованы современные методики математического моделирования, сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в проведении теоретических и экспериментальных исследований, разработке математических моделей и алгоритмов, программной реализации в среде LabView, участии в обсуждении полученных результатов и их представлении в

публикациях и докладах.

Диссертационный совет рекомендует использование результатов в приборостроении для создания нового поколения отечественных проточных ПМР-анализаторов для нефтегазовой отрасли, в существующих и перспективных системах контроля и управления технологическими процессами на цифровых месторождениях, а также в учебном процессе для подготовки специалистов в области приборостроения и метрологического обеспечения.

Полученные результаты имеют интерес для широкого круга специалистов и могут быть использованы эксплуатирующими организациями и производителями диагностического и технологического оборудования для нефтегазовой отрасли, такими как ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Газпром», ПАО «Лукойл», ПАО «Татнефть», а также научно-исследовательскими и образовательными учреждениями.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. У вас происходило обучение искусственной нейронной сети на вашей выборке, может, вы пропустили некоторые варианты, которые вашей системой будут определяться как неисправное состояние прибора, а на самом деле это особенная нефть, из-за которой состояние вашей системы неправильно показано? Все ли результаты предыдущих измерений вносятся в базу данных, или делается выборка? Что будет, если релаксационная кривая какого-то нового образца настолько отличается от имеющихся в базе данных, что ваш алгоритм сочтет это за неисправное состояние системы? Перед первым использованием на скважине нужно вносить в базу данных новые параметры нефти этой скважины? (*члены совета Гарифуллин М.Ш., Калимуллин Р.И., Касимов В.А.*)

2. В работе недостаточно нашло отражение описание испытаний разработанных методов в реальных условиях эксплуатации (*ведущая организация*).

3. Недостаточно раскрыт вопрос адаптации предложенных алгоритмов для нефти других месторождений, не рассмотренных в процессе работы над

диссертацией (*ведущая организация*).

4. Не представлена информация о влиянии внешних факторов (температуры окружающей среды, электромагнитного поля и т.д.) на оценку технического состояния релаксометра по их корреляции с параметрами измерительной последовательности в методике ПМР (*ведущая организация*).

5. Желательно дополнить исследование анализом влияния внешних факторов (температура, электромагнитные помехи) на работу релаксометра (*ведущая организация*).

6. Следовало бы более подробно описать вопросы подготовки данных для обучения и тестирования разработанных нейросетевых алгоритмов (*ведущая организация*).

7. В работе не рассмотрен вопрос выборки и переобучения искусственной нейронной сети для работы ПМРА-IV с нефтью других месторождений (*оппонент Астапов В.Н.*).

8. В п. 5.4 диссертационной работы на рис. 5.6 структурная схема контроля через ИНС в интернет пространстве плохо читается и недостаточно полно описана (*оппонент Астапов В.Н.*).

Соискатель Овсеенко Г.А. ответила на замечания следующим образом:

1. В базу данных вносятся все имеющиеся результаты предыдущих измерений. В решаемых задачах прописан алгоритм, в котором говорится, что если система будет определять состояние прибора «не определено», то новая релаксационная кривая вносится в базу данных. Измеряемый параметр должен многократно (делается 9 измерений) повторяться, чтобы по нему идентифицировалась готовность системы к измерениям («норма», «неисправность» или «не определено»). Перед первым использованием прибора на новой для него скважине необходимо взять набор данных релаксационных кривых для образцов нефти из этой скважины, т.е. пополнить базу данных и переобучить нейросетевую модель.

2. В работе описаны теоретические основы, математические модели, алгоритмы и лабораторные эксперименты (включая моделирование на стендах,

использование программного обеспечения Statistica, LabView, UpenWin и др.), практические испытания на реальных объектах нефтедобычи (например, на действующих скважинах, установках подготовки нефти, в условиях промысла), согласна, представлены фрагментарно.

3. В работе используется база данных релаксационных кривых (РК), полученных для более чем 50 нефтей (~3000 образцов), накопленная за 40 лет. Основное содержание работы сфокусировано на разработке универсального алгоритма и методов (использование ИИ, обратного преобразования Лапласа, ИНС) для повышения достоверности измерений. В работе доказывается эффективность применения данных методов на имеющейся выборке. В перспективе планируется расширить базу данных РК нефтей Поволжья и Западной Сибири, включив в неё РК нефтей Восточной Сибири и Казахстана.

4, 5. С замечаниями согласна, в работе влияние внешних факторов (температуры, электромагнитного поля) упоминается лишь как источник погрешности в общем виде. В дальнейших исследованиях работа будет продолжена в части повышения устойчивости системы в реальных условиях эксплуатации.

6. В рамках диссертации подготовка данных для обучения и тестирования ИНС включала: 1) сбор и предобработку данных: использование базы экспериментальных релаксационных кривых (более 3000 образцов), очистку от шумов и промахов, нормализацию; 2) формирование обучающих и тестовых выборок: разделение данных на обучающую ($\approx 70\%$) и тестовую ($\approx 30\%$) части с учётом репрезентативности по типам нефтей и условиям измерений; 3) верификацию данных: использование обратного преобразования Лапласа для получения точных эталонных параметров ПМР, применяемых как метки при обучении с учителем; 4) аугментацию данных: искусственное расширение выборки за счёт вариации параметров (шум, соотношения T_{2i} , A_i) для повышения устойчивости моделей. Это обеспечило высокую достоверность и обобщающую способность разработанных нейросетевых моделей.

7. Вопрос выборки и переобучения ИНС для работы с нефтью других

месторождений в работе напрямую не рассмотрен. Однако предложенный алгоритм подразумевает постоянное пополнение базы данных релаксационных кривых и уточнение параметров, что позволяет адаптировать систему к новым типам нефти. Для работы с другими месторождениями потребуется расширить базу данных релаксационных кривых, включив в неё образцы новых нефтей, и провести дообучение нейронной сети на этом расширенном наборе данных.

8. Структурная схема на рис. 5.6 описывает систему дистанционного контроля и управления работой куста скважин через Интернет с использованием релаксометра ПМР в составе комплекса ПМРА-IV и искусственной нейронной сети. Ключевые элементы схемы, которые могут быть плохо читаемы или требуют уточнения: релаксометр ПМР (в составе ПМРА-IV) на скважине является источником данных (измеряет ПМР-параметры СКЖ); модем (iRZ ATM2-485) подключен к релаксометру по интерфейсу RS-485, выполняет роль шлюза, преобразуя данные для передачи по сотовой сети (GSM/GPRS); канал связи – передача данных в Интернет через сотового оператора (технологии GSM/GPRS); сервер (Веб-сервер / ПК с ПО) принимает данные из Интернета, на нем работает программное обеспечение (типа iRZ-Server), которое собирает, обрабатывает данные и обеспечивает веб-доступ; искусственная нейронная сеть реализована на сервере, она анализирует поступающие данные ПМР для: контроля состояния релаксометра («Норма», «Неисправно»), затем определяются характеристики нефти (влажность, плотность и др.), далее происходит выработка управляющих сигналов; клиентские рабочие места (АРМ) – компьютеры диспетчеров или технологистов, которые через браузер или специальное ПО (iRZ-Dispatcher) подключаются к серверу по Интернету для мониторинга и управления процессом. Суть работы системы: данные с релаксометра по скважинам передаются через модем и Интернет на центральный сервер, серверная ИНС обрабатывает их, определяет состояние системы и параметры продукции, а результаты в реальном времени становятся доступны удаленным операторам для контроля и принятия решений.

На заседании 26 сентября 2025 года **диссертационный совет принял решение** за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, присудить Овсенко Галине Анатольевне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 13 против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Ившин Игорь Владимирович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Калимуллин Рустем Ирекович

26 сентября 2025 г.



Ившин И. В. *Калимуллин Р. И.*
подпись
Специалист ОК *И. А. Кабирова*