# 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 25 сентября 2026 г., № 8

О присуждении Нгуен Дык Ань, гражданину Социалистической Республики Вьетнам, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка блоков проточного анализатора и методик экспресс-контроля характеристик нефти и газоконденсата методом ПМР» по специальности 2.2.8 – «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды» принята к защите 19 июня 2026 г. (протокол заседания № 3) 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 Нгуен Дык Ань, 15 августа 1991 года рождения,

в 2021 году соискатель окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств»,

с октября 2022 г. по настоящее время Нгуен Дык Ань обучается в аспирантуре ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический

университет» по специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

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:

**Скирда Владимир Дмитриевич,** ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, заведующий кафедрой физики молекулярных систем, доктор физико-математических наук, профессор;

**Давыдов Роман Вадимович,** ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, доцент Высшей школы управления кибер-физическими системами, кандидат физико-математических наук,

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 Нгуен Дык Аня посвящена актуальной теме разработки методики и технических средств автоматизированного проточного экспресс-контроля характеристик нефти и газоконденсата методом ПМР в условиях цифровых месторождений. Решение поставленных задач направлено на повышение достоверности, оперативности и автоматизации измерений, развитие отечественного

приборостроения и внедрение современных технологий промышленного Интернета вещей в нефтегазовой отрасли. Научная новизна диссертации не вызывает сомнений, поскольку она определяется не только постановкой исследуемой проблемы и выбором темы, но и оригинальными авторскими решениями и содержанием предложенных подходов. Результаты диссертационного исследования обладают несомненной теоретической и прикладной значимостью. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, обеспечивается корректной постановкой задач исследования, использованием современных методов моделирования, схемотехнического проектирования и экспериментальных исследований, а также применением современной элементной базы и средств цифровой обработки сигналов. Достоверность результатов подтверждается экспериментальной апробацией разработанного анализатора ПМРА-IV, повторяемостью полученных данных, практической реализацией разработанных технических решений, а также внедрением результатов работы в производственную и учебную деятельность. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему и содержащую новые научно обоснованные технические и методические решения в области проточного ПМР-контроля характеристик нефти и газоконденсата, имеющие существенное значение для развития методов и средств неразрушающего контроля, цифровизации нефтегазовой отрасли и развития отечественного приборостроения. Диссертация соответствует требованиям пп. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Нгуен Дык Ань 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 39 опубликованных работ по теме диссертации общим объёмом 14,95 п.л. и авторским вкладом 6,89 п.л.: работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах

данных Web of Science и SCOPUS – 3, общим объёмом 1,88 п.л. и авторским вкладом 0,55 п.л.; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК (К1 и К2) – 4, общим объёмом 2,50 п.л. и авторским вкладом 1,21 п.л.; свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ – 3, общим объёмом 0,19 п.л. и авторским вкладом 0,05 п.л.; патентов на изобретение – 3, общим объёмом 2,50 п.л. и авторским вкладом 0,96 п.л.; работ, опубликованных в прочих рецензируемых научных изданиях – 3, общим объёмом 1,0 п.л. и авторским вкладом 0,53 п.л.; работ, опубликованных в материалах международных, всероссийских и национальных конференций – 23, общим объемом 6,88 п.л. и авторским вкладом 3,59 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., Anh N.D, Kozelkova V., Kozelkov O., Dudkin V. Online Multiphase Flow Measurement of Crude Oil Properties Using Nuclear (Proton) Magnetic Resonance Automated Measurement Complex for Energy Safety at Smart Oil Deposits // Energies. 2023. Vol. 16. No. 3. P. 1080. DOI 10.3390/en16031080 (МБД SCOPUS Q2, приравнено к публикации ВАК К1, вклад соискателя – 20%).

2. Кашаев Р.С., Нгуен Дык Ань, Козелков О.В. Проточный экспресс-анализатор проточного магнитного резонанса в составе промышленного Интернета вещей // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2024. Т. 67. № 5. С. 425–434. DOI 10.17586/0021–3454–2024–67–5–425–434 (ВАК К1, вклад соискателя – 30%)

3. Нгуен Д. А., Кашаев Р.С., Козелков О.В. Разработка многослойных усовершенствованных магнитных сборок Хальбаха для ПМР-релаксометра на основе оптимизации параметров магнита // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2025. Т. 27. № 2. С. 20–32. DOI 10.30724/1998–9903–2025–27–2–20–32 (ВАК К2, вклад соискателя – 60%).

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов. Из них положительных – 7. С замечаниями – 7. Отзывы прислали:

1. Заведующий лабораторией физико-химии и механики пласта отдела МУН И НИОКР АО «Союз научно-промышленной химии», г. Казань, кандидат химических наук Былинкин Р.А. Вопросы: 1) Как, по мнению автора, оцениваются современное состояние и перспективы практического применения метода протонной магнитной релаксометрии в нефтегазовой отрасли Вьетнама? 2) Планируется ли дальнейшее расширение экспериментальной базы за счёт исследований нефтей с существенно отличающимся групповым составом и более широким диапазоном физико-химических свойств?

2. Директор АО «Волжский научно-исследовательный институт углеводородного сырья», г. Казань, доктор технических наук, профессор Вильданов А.Ф. Замечание: В автореферате целесообразно было бы более подробно представить процедуру метрологической оценки разработанных методик: количество исследованных образцов, показатели повторяемости и воспроизводимости, условия проведения сравнительных измерений и результаты сопоставления с референтными лабораторными методами.

3. Профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», г. Казань, доктор химических наук, профессор Новиков В.Ф. Замечание и вопрос: 1) На стр.11 автореферата показано, что магнитное поле постоянного магнита *NdFeB-N*35 уменьшается с повышением температуры. Однако непонятно, в каком интервале температур происходят эти изменения и какие зависимости в данном случае наблюдаются, линейная или аномальная. Кроме того, не указана погрешность определения температуры эксперимента; 2) В автореферате приведены экспериментальные данные зависимости параметров ПМР-релаксации сырой нефти от концентрации асфальтенов. Однако в сырой нефти содержатся такие парафиновые углеводороды и смолистые вещества, которые также могут оказывать влияние на процесс релаксации. Кроме того, в сырой нефти содержатся сернистые

соединения, которые относятся к коррозионно-активным компонентам. Каким образом в процедуре пробоподготовки определяются эти группы компонентов от исследуемой матрицы?.

4. Начальник научно-исследовательского отдела метрологического обеспечения средств и систем измерений расхода и количества нефти и нефтепродуктов, сжиженного природного газа и низкотемпературных жидкостей ВНИИР – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Казань, кандидат технических наук Нурмухаметов Р.Р. Замечания: 1) При работе ПМРА-IV сырая нефть поступает из трубопровода в емкость, в которой за счет перепада давления между трубопроводом и емкостью поток турбулизируется, при этом может наблюдаться кавитация с выделением газа и нарушением однородности потока; 2) Пробоотбор ПМРА-IV реализован подвижным патрубком, который отбирает порцию нефти для измерений. Рекомендуется для обеспечения представительности отбираемой пробы контролировать условие изокинетичности (равенство скоростей потока на входе в патрубок и средней скорости потока в трубопроводе).

5. Заведующая лаборатория квантовой магнитометрии ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, кандидат физико-математических наук Сапунов В.А. Замечания: 1) В обзорной части работы отсутствует изложение методов импульсного ЯМР, нет, например, упоминания уравнений Блоха, и собственно поведения намагниченности протонов в магнитном поле, а упоминание «Эха Хана» без пояснений не позволит отчётливо понять проблематику и оценить одно из важнейших достижений представленной работы, а именно разработку, оптимизацию, изготовление и апробацию современной магнитной системы – магнита Халбаха с уникальными характеристиками по весу и однородности магнитного поля; 2) Исследование однородности магнитного поля созданной магнитной системы на основе магнита Халбаха проведено с помощью датчиков Холла, которые требуют тщательной ориентации, т.к. являются векторными датчиками, а также они не отличаются высокой точностью. Почему не

использовались скалярные магнитометры на методе ЯМР, тем более что автором работы проведена разработка импульсного ЯМР, т.е. аппаратные средства имелись в распоряжении? 3) Отмечая тщательность проектирования и изготовления электронных блоков ПМР-релаксометра, а также стабилизатора температуры магнитной системы, вызвало удивление, что анализ затухания сигналов спинового эха, т.е. процесса поперечной магнитной релаксации, проводится только для быстрой и медленной экспонент затухания, т.е. двух фазы эмульсии. Почему не используется многоэкспоненциальный анализ, находящий сейчас применение в ЯМР-релаксометрии и ЯМР-каротаже? Очевидно, это будет направлением развития данной перспективной работы.

6. Ведущий научный сотрудник – заведующий Лабораторией методов медицинской физики Казанского физико-технического института имени Е.К. Завойского – обособленного структурного подразделения ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН», г. Казань, кандидат физико-математических наук Фаттахов Я.В. Замечание: по работе можно отметить наличие нескольких опечаток в тексте.

7. Преподаватель Высшей школы электротехники и электроники Ханойского университета промышленности, г. Ханой, Вьетнам, кандидат технических наук Чан Ван Тунг. Вопросы: 1) На рисунке 4 автореферата в структурной схеме блока передатчика релаксометра предусмотрен блок «Предусилитель мощности». Каково его функциональное назначение и почему сигнал импульсной последовательности после блока фильтрации не подается непосредственно на усилитель мощности? 2) В автореферате приведена формула (1). Каким образом получена данная зависимость? Каков физический смысл коэффициента 4,47 и чем обусловлено его значение?

**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 **Скирда Владимир Дмитриевич** является известным ученым в

области ядерного магнитного резонанса, исследования структурно-динамических свойств молекулярных систем и применения магнитно-резонансных методов, имеет соответствующие научные публикации.

Оппонент **Давыдов Роман Вадимович** является специалистом в области математического моделирования физических процессов, разработки измерительных систем, контроля состояния жидких сред и применения ядерного магнитного резонанса, 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, решением обратных операторных задач математической физики и их приложений в радиоэлектронике, датчиках, теплофизике, электрохимии, акустике и сейсморазведке, созданием киберфизических и интеллектуальных систем, имеют соответствующие научные публикации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Разработаны** магнитная система на основе структуры Хальбаха для проточного ПМР-анализатора, обеспечивающая уменьшение габаритов и массы магнитной системы, увеличение области однородности и повышение стабильности магнитного поля в рабочем зазоре; автоматический проточный анализатор ПМРА-IV, включающий усовершенствованные электронные блоки релаксометра, алгоритмы управления измерительным процессом и модуль пробоотбора с управляемым позиционированием; методики экспресс-контроля физико-химических характеристик нефти и газоконденсата на основе анализа параметров ПМР-релаксации;

**предложены** методика оптимизации магнитных систем проточного ПМР-анализатора на основе магнитной сборки Хальбаха; архитектура релаксометра в составе проточного анализатора ПМРА-IV с модернизированными электронными блоками повышенной чувствительности и температурной стабильности; аппаратно-программное решение для дистанционного мониторинга и управления ПМРА-IV посредством его интеграции в инфраструктуру промышленного Интернета вещей;

**подтверждена** экспериментально возможность экспресс-контроля физико-химических характеристик нефти и газоконденсата на основе анализа параметров ПМР-релаксации.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** влияние предварительного подмагничивания потока анализируемой жидкости на повышение отношения сигнал/шум водной фазы в водонефтяных смесях;

**применительно к проблематике диссертации результативно** (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы низкополевой ПМР-релаксометрии, численного моделирования магнитного поля, схемотехнического проектирования с применением прямого цифрового синтеза, цифровой обработки сигналов и экспериментальных исследований при разработке аппаратной части проточного анализатора ПМРА-IV;

**изложены** принципы построения аппаратной части проточного анализатора ПМРА-IV, включающие расчет и оптимизацию магнитной системы, модернизацию электронных блоков релаксометра, организацию автоматизированного пробоотбора и управление измерительным процессом;

**раскрыты** особенности формирования и регистрации ПМР-сигналов, влияние неоднородности магнитных полей, параметров радиочастотных импульсов, резонансных контуров и температурной стабильности на чувствительность и достоверность измерений;

**изучены** особенности применения параметров ПМР-релаксации для

экспресс-контроля физико-химических характеристик нефти и газоконденсата, а также влияние конструктивных и схемотехнических параметров магнитной системы и электронных блоков релаксометра на характеристики измерительного процесса;

**проведена модернизация** электронных блоков и программно-алгоритмического обеспечения релаксометра ПМР в составе автоматического проточного анализатора ПМРА-IV.

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

**разработаны и внедрены** (имеются акты внедрения) в деятельность предприятий ООО «ANAN» и ООО «ТХАНЬ ТАМ» во Вьетнаме технические и программно-алгоритмические решения проточного анализатора жидкостей на основе метода ПМР-релаксометрии, включающие релаксометр ПМР–*NP*3, анализатор потоков жидкости, основанный на методе измерения протонной ПМР-релаксации, систему пробоотбора и средства дистанционного мониторинга и управления с интеграцией в промышленный Интернет вещей; результаты исследований также используются в учебном процессе кафедры «Приборостроение и мехатроника» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;

**определены** перспективы практического применения разработанных технических средств и методик для автоматизированного проточного экспресс-контроля характеристик нефти и газоконденсата, а также дистанционного мониторинга технологических процессов на объектах цифрового месторождения;

**создана** аппаратно-программная основа автоматического проточного анализатора ПМРА-IV, включающая многослойную магнитную систему Хальбаха, модернизированные электронные блоки релаксометра, автоматическую систему пробоотбора и средства дистанционного управления;

**представлены** технические решения по построению магнитной системы и электронных блоков ПМР-релаксометра, методики экспресс-контроля

характеристик нефти и газоконденсата, а также решения по интеграции анализатора ПМРА-IV в инфраструктуру промышленного Интернета вещей.

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены с применением разработанного и апробированного оборудования ПМР-релаксометрии, современных средств измерений, схемотехнического моделирования и цифровой обработки сигналов; экспериментальные исследования выполнены на образцах нефти месторождений России и Вьетнама, а также газоконденсата Вьетнама, показана согласованность экспериментальных данных с результатами расчетов;

**теория** построения магнитных систем, формирования и регистрации сигналов ПМР-релаксации, разработки электронных блоков релаксометра и определения характеристик углеводородных сред по параметрам ПМР основывается на известных и проверяемых положениях ядерного магнитного резонанса, радиофизики, схемотехники, цифровой обработки сигналов и не противоречит опубликованным результатам других исследователей;

**идея** разработки автоматизированного проточного ПМР-анализатора **базируется** на использовании зависимости параметров ПМР-релаксации от физико-химических характеристик исследуемых углеводородных сред, совершенствовании магнитной системы и электронных блоков релаксометра, автоматизации пробоотбора и измерительного процесса;

**использовано** сравнение результатов численного моделирования магнитных систем и электронных схем с результатами экспериментальных исследований, а также сопоставление полученных зависимостей и измерительных данных с известными теоретическими положениями и результатами других авторов;

**установлено** соответствие экспериментальных результатов расчетным данным и непротиворечивость полученных результатов, выводов и разработанных технических решений фундаментальным положениям ПМР-релаксометрии и опубликованным результатам исследований в данной области;

**использованы** современные методы и программные средства численного моделирования, схемотехнического и конструкторского проектирования, включая *ANSYS Maxwell*, *Proteus*, *SolidWorks* и *Altium Designer*, методы цифровой обработки сигналов и программной реализации измерительных алгоритмов, а также образцы нефти месторождений России и Вьетнама и газоконденсата Вьетнама.

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии во всех этапах выполнения исследования; в разработке и исследовании многослойной магнитной структуры Хальбаха; в разработке схемотехнических решений и конструкции электронных блоков релаксометра ПМР; в создании и изготовлении проточного анализатора ПМРА-IV с автоматической системой пробоотбора и системой термостатирования; в разработке аппаратных и программно-алгоритмических средств управления измерительным процессом и дистанционного взаимодействия анализатора с промышленным Интернетом вещей; в проведении экспериментальных исследований образцов нефти и газоконденсата, обработке и анализе полученных результатов; в участии в разработке методик экспресс-контроля характеристик исследуемых сред, обсуждении результатов исследований, подготовке публикаций, патентов и программ для ЭВМ и представлении результатов работы на научных конференциях.

**Диссертационный совет рекомендует использование результатов** в приборостроении при разработке и совершенствования отечественных проточных ПМР-анализаторов для нефтегазовой отрасли, в системах экспресс-контроля физико-химических характеристик нефти и газоконденсата, а также в системах дистанционного мониторинга и управления технологическими процессами на цифровых месторождениях.

Полученные результаты могут быть использованы в научно-исследовательской и образовательной деятельности при подготовке специалистов в области приборостроения, методов и приборов контроля и диагностики. Результаты диссертационной работы рекомендуются к внедрению

и использованию в ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина» (г. Москва), ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (г. Казань), ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» (г. Уфа), ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт» (г. Альметьевск).

**В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания**:

1. В диссертационной работе недостаточно подробно рассмотрены вопросы метрологического обеспечения разработанного проточного ПМР-анализатора ПМРА-IV, в частности влияние внешних факторов и нестабильности параметров измерительного тракта на точность определения характеристик нефти и газоконденсата (*ведущая организация*).

2. В работе недостаточно подробно рассмотрены вопросы точности изготовления, подбора магнитов и долговременной стабильности характеристик многослойной магнитной структуры Хальбаха при длительной эксплуатации в промышленных условиях (*ведущая организация*).

3. В диссертации ограниченно представлены результаты сравнительных исследований разработанного анализатора ПМРА-IV с современными зарубежными ПМР-анализаторами аналогичного назначения (*ведущая организация*).

4. В работе недостаточно подробно раскрыты вопросы адаптации разработанного программно-измерительного комплекса к различным архитектурам цифровых месторождений и промышленного Интернета вещей (*ведущая организация*).

5. В диссертации указано пять пунктов паспорта специальности, раскрыть которые в рамках кандидатской диссертации затруднительно (*ведущая организация*).

6. Вызывает сомнение, что представленный на рис. 3.4 анализатор ПМРА-IV при весе 30 кг обеспечивает производительность 254 м$^3$/ч (таблица 3.1) (*ведущая организация*).

7. Из текста диссертации не ясна методика идентификации параметров математических моделей (4.1) и (4.2) (*ведущая организация*).

8. При описании переменных, входящих в формулу (2.16), при оценке эквивалентной емкости используется формула для последовательного соединения емкостей, тогда как на рисунке 2.34 они включены параллельно. Правомерно ли использование этой формулы (*ведущая организация*).

9. Автор классифицирует систему как «проточную» и вводит формулы динамического расхода фаз через скорости их непрерывного движения $\upsilon_i$ (подраздел 3.3, стр. 97). Однако из описания конструкции пробоотборного модуля (стр. 96-98) однозначно следует, что измерение характеристик КПМГ выполняется дискретно, в порционном квазистатическом режиме (в покое), после циклического отсечения и полной остановки флюида внутри датчика. В условиях статического измерения отдельных порций флюида введение индивидуальных скоростей *i*-ых фаз и использование формулы расхода в виде $Q_i = \upsilon_i S/t$ теряют физический смысл. Кроме того, сама формула расхода содержит размерную ошибку (*оппонент Скирда В.А.*).

10. Автор строит эмпирические зависимости концентрации асфальтенов (Асф) от времени релаксации так называемой «фазы В» ($T_{2B}$), значения которого лежат в диапазоне сотен миллисекунд (подраздел 4.1, стр. 111-112). Однако истинное время ($T_2$) твердых агрегированных асфальтенов составляет не более 20 – 30 микросекунд. С учетом того, что шаг ($\tau_1$) в применяемой автором последовательности КПМГ равен 300-500 мкс (стр. 114), ЯМР-сигнал от самих асфальтенов полностью затухал внутри «мертвого времени» прибора и соискателем не регистрировался. Таким образом, регистрируемая «фаза В» представляет собой не асфальтены, а, в лучшем случае, протоны подвижной сольватной оболочки смол и масел *(оппонент Скирда В.А.)*

11. Разработанная автором схема дистанционного мониторинга (п. 4.5 и 4.6), согласно которой выгрузка технологических данных о параметрах добычи нефти осуществляется на сторонний бесплатный зарубежный хостинг Somee.com (стр. 127), представляет собой опасную уязвимость и напрямую

противоречит требованиям ФЗ-187 «О безопасности КИИ РФ». Предложенный в п. 3.5 экономический анализ носит сугубо декларативный и умозрительный характер, в котором не учитываются реальные затраты на взрывозащиту и метрологическую сертификацию (*оппонент Скирда В.А.*)

12. Автору следует учесть, что законы масштабирования Фрида, приведённые в подразделе 1.6.4 (стр. 29-30) носят сугубо идеализированный характер, в которых игнорируются реальные межмолекулярные взаимодействия (*оппонент Скирда В.А.*)

13. В подразделе 3.2 (рис. 3.3, стр. 94) автор ошибочно именует силовую характеристику поля – магнитную индукцию (в Тл) – «намагниченностью потока», которая в системе СИ измеряется в А/м (*оппонент Скирда В.А.*)

14. Иллюстративный график на рисунке 4.4 (стр. 118) выполнен без указания номеров кривых, а приводимая кривая проявления минимума ($T_{1A}$) никак не пояснена в тексте. Эмпирическая формула (4.2) для образцов нефти Вьетнама выведена на основе обработки результатов измерения всего трех образцов, что снижает статистическую репрезентативность тренда (*оппонент Скирда В.А.*)

15. Описывая температурную зависимость времен релаксации (рис. 4.3, стр. 117), соискатель ошибочно классифицирует результирующую кривую «в виде суммы низкотемпературных и высокотемпературных времен». Хотя на самом деле линейному суммированию подлежат скорости релаксации (величины ($1/T_{1,2}$)), но не сами времена (*оппонент Скирда В.А.*)

16. В работе подробно рассмотрены отдельные источники погрешностей и факторы, влияющие на устойчивость измерений, однако было бы полезно дополнить изложение анализом, показывающим вклад неоднородности магнитного поля, температурного дрейфа, параметров ПМР-датчика, усилительных трактов и цифровой обработки в итоговую неопределенность измерений (*оппонент Давыдов Р.В.*)

17. При описании разработанных методик экспресс-контроля нефти и газоконденсата целесообразно более четко выделить границы их применимости

для образцов с различной вязкостью, содержанием асфальтенов, воды и минеральных примесей, а также для различных режимов потока в условиях промышленной эксплуатации (*оппонент Давыдов Р.В.*)

18. В чём заключается самостоятельность разработки измерителя магнитной индукции на основе датчика Холла и стандартной схемы *Analog Devices*? *(член диссертационного совета Гарифьянов Н.Н.).*

**Соискатель** Нгуен Дык Ань **ответил на замечания** следующим образом:

1. С замечанием согласен. В диссертационной работе вопросы метрологического обеспечения анализатора ПМРА-IV рассматривались преимущественно применительно к отдельным функциональным узлам и не были объединены в самостоятельный раздел с комплексным анализом всех составляющих погрешности измерительного тракта.

2. С замечанием согласен.

3. С замечанием согласен.

4. С замечанием согласен. В работе реализована возможность дистанционного управления ПМРА-IV и его интеграции в инфраструктуру промышленного Интернета вещей и цифрового месторождения. Однако адаптация комплекса к различным архитектурам, протоколам обмена данными и системам АСУ ТП требует отдельной проработки с учётом инфраструктуры конкретного месторождения и является направлением дальнейших исследований.

5. В диссертации не ставилась задача полностью раскрыть содержание пяти пунктов паспорта, а показано соответствие конкретных результатов работы отдельным направлениям специальности. **Пункту 1** соответствует научное обоснование и совершенствование метода и аппаратных средств ПМР-контроля; **пункту 3** — разработка и испытания измерителя магнитной индукции, релаксометра и ПМРА-IV; **пункту 4** — разработка методического, программного, технического и приборного обеспечения; **пункту 6** — моделирование, алгоритмическая и программно-техническая обработка сигналов; **пункту 7** — автоматизация ПМРА-IV и его интеграция в цифровые

информационные технологии. Поэтому соответствие результатов диссертации указанным пунктам паспорта специальности считаю обоснованным.

6. Значение 254 м³/ч в таблице 3.1 относится не к производительности анализатора как отдельного прибора, а к расходу контролируемого потока в трубопроводе диаметром 0,3 м при скорости 1 м/с. В ПМРА-IV измерение выполняется через пробоотборный модуль и внутренний байпас, поэтому масса анализатора 30 кг непосредственно не связана с указанным расходом основного потока.

7. С замечанием согласен. Параметры моделей (4.1) и (4.2) определялись методом аппроксимации экспериментальных данных зависимости содержания асфальтенов от времени спин-спиновой релаксации $T_{2B}$. Коэффициенты моделей подбирались по критерию наилучшего соответствия экспериментальным данным, а качество аппроксимации оценивалось по коэффициенту детерминации $R^2$ и среднеквадратическому отклонению. Получены значения $R^2 = 0.99$ для модели (4.1) и $R^2 = 0.995$ для модели (4.2).

8. Согласен. На рисунке 2.34 конденсаторы включены параллельно, поэтому их эквивалентная ёмкость должна определяться как сумма отдельных ёмкостей. Использование в формуле (2.16) выражения для последовательного соединения является технической ошибкой в тексте диссертации и не влияет на результаты экспериментальных исследований, поскольку при настройке реального резонансного контура использовалась фактическая схема параллельного включения конденсаторов.

9. С замечанием согласен частично. Согласен, что принцип работы пробоотборного модуля описан недостаточно ясно, а в формуле расхода содержит размерную ошибку. Однако не согласен с утверждением, что ПМРА-IV работает только в квазистатическом режиме и поэтому введение индивидуальных скоростей *i*-ых фаз и использование формулы расхода теряют физический смысл. ПМРА-IV разработан как проточный анализатор с автоматическим пробоотборным модулем, обеспечивающим подачу исследуемой среды из технологического потока в измерительный тракт ПМР-

датчика для определения характеристик потока. Вместе с тем анализатор может применяться для экспресс-контроля параметров жидких смесей в квазистатическом режиме. Экспериментально получены калибровочные зависимости амплитуды спинового эха от скорости потока для исследованных жидкостей и водонефтяных смесей, что позволяет по измеренной амплитуде оценивать скорость и определять объёмный расход потока.

10. С замечанием согласен частично. Действительно, при $\tau_1$=300–500 мкс сигнал от протонов твердого ядра агрегированных асфальтенов непосредственно не регистрируется, поэтому $T_{2B}$ не является временем релаксации самого асфальтенового ядра. Однако асфальтены в нефти существуют в составе структурных образований с подвижной протонсодержащей сольватной оболочкой, молекулярная подвижность которой зависит от содержания и агрегатного состояния асфальтенов. Поэтому $T_{2B}$ используется как косвенный корреляционный параметр, что подтверждается экспериментальной зависимостью от содержания асфальтенов с ($R^2$ = 0.99-0.995).

11. С замечанием согласен частично. Использование сервиса Somee.com носило исключительно экспериментальный характер для проверки работоспособности разработанной архитектуры дистанционного мониторинга и не предполагалось для хранения реальных технологических данных при промышленной эксплуатации. При внедрении ПМРА-IV передача и хранение данных должны осуществляться в защищённом информационном контуре предприятия с соблюдением требований информационной безопасности, в том числе ФЗ-187.

С замечанием по экономической части согласен: приведённый расчёт является предварительной оценкой экономической целесообразности, а не полным технико-экономическим обоснованием. При промышленном внедрении необходимо дополнительно учитывать затраты на взрывозащиту, метрологическое обеспечение и сертификацию.

12. С замечанием согласен

13. С замечанием согласен

14. С замечанием согласен, что проявление минимума на рисунке 4.4 недостаточно подробно пояснено в тексте диссертации. Что касается формулы (4.2), экспериментальные исследования были выполнены на доступных образцах нефти, поэтому количество экспериментальных точек действительно ограничено. Вместе с тем формула (4.2) является эмпирической зависимостью, и область её применимости для исследованных образцов в диссертации указана. Расширение выборки позволит в дальнейшем уточнить эту зависимость и оценить возможность её применения к другим нефтям.

15. С замечанием согласен.

16. С замечанием согласен. В диссертации влияние неоднородности магнитного поля, температурного дрейфа, параметров ПМР-датчика и измерительного тракта рассмотрено в соответствующих разделах применительно к отдельным источникам погрешности. Однако их совокупный вклад в итоговую неопределённость измерений представлен недостаточно систематизированно. В дальнейших исследованиях целесообразно дополнить такой обобщающий анализ с учётом вклада отдельных факторов и применяемых технических решений по их минимизации.

17. С замечанием согласен. Разработанные методики экспресс-контроля исследованы и апробированы для образцов и условий, представленных в экспериментальной части диссертации. Вместе с тем границы их применимости с учётом вязкости, содержания асфальтенов, воды, минеральных примесей и различных режимов потока определены недостаточно полно. Расширение диапазона исследуемых образцов и условий, а также уточнение границ применимости разработанных методик требуют дополнительных экспериментальных исследований и будут учтены в дальнейшей работе.

18. Разработанный измеритель магнитной индукции включает не только датчик Холла и типовую схему *Analog Devices*, но также разработанную аппаратную часть, включая печатную плату, алгоритмы и программное обеспечение для считывания, расчёта и коррекции измеренных значений, а

также интерфейс отображения результатов.

На заседании 25 сентября 2026 года **диссертационный совет принял решение** за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, присудить Нгуен Дык Ань 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 13 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

25 сентября 2026 г.