



КГУ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Абдуллазянов Э.Ю.

15.05.2026

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»
(ФГБОУ ВО «КГУ»)

Диссертация «Комплексный метод ПМР-релаксометрии и лазерной спектрофотометрии и измерительный комплекс для контроля характеристик n-парафинов в нефти» выполнена на кафедре «Приборостроение и мехатроника».

В период подготовки диссертации соискатель Карачин Вячеслав Игоревич работал в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» в должностях ассистента (с сентября 2022 г. по сентябрь 2024 г.), преподавателя (с сентября 2024 г. по н.в.) кафедры «Приборостроение и мехатроника».

В 2021 г. Карачин В.И. окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки «Приборостроение».

В 2025 г. Карачин В.И. окончил аспирантуру ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Справка о сданных кандидатских экзаменах выдана в 2026 г. ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

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

По итогам обсуждения диссертации «Комплексный метод ПМР-релаксометрии и лазерной спектрофотометрии и измерительный комплекс для контроля характеристик n-парафинов в нефти» принято следующее заключение.

1. Актуальность

По «Энергетической стратегии России до 2050 года» приоритетом является технологический суверенитет и внедрение отечественных решений для разработки трудноизвлекаемых запасов, включая высокопарафинистые нефти. Однако существующие методы контроля на промыслах не обеспечивают полной информации о составе и свойствах нефти: отсутствуют оперативные и точные методики определения концентрации парафинов, температуры застывания и структуры индивидуальных n-алканов. При этом доля таких нефтей растёт (до 20 % в России и до 30 % за рубежом), а содержание парафинов напрямую связано с повышением температуры застывания, образованием асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) и увеличением энергозатрат при добыче и транспортировке.

Существующие методы измерения характеристик парафинов отличаются низкой оперативностью и точностью (погрешность до $\pm 15\%$), а из-за химической инертности алканов отсутствуют как отечественные, так и зарубежные эффективные решения для онлайн-контроля. Несмотря на развитие ЯМР-релаксометрии и спектроскопических подходов в отечественной научной школе, сохраняется дефицит приборов и методик, особенно серийных отечественных анализаторов. Это ограничивает внедрение современных измерительных комплексов на месторождениях и снижает технологическую независимость. При этом нефти рассматриваются как сложные нефтяные дисперсные системы, требующие углубленного анализа с использованием комбинированных методов.

Перспективным направлением является синергия протонной магнитно-резонансной релаксометрии (ПМРР) с лазерной спектрофотометрией (ЛСФМ), основанной на использовании когерентного излучения для воздействия на молекулярные структуры. Такой подход позволяет изменять энергетические уровни и динамику протонов, что открывает возможности для оперативного контроля концентрации парафинов, температуры застывания и идентификации n-алканов. Разработка подобных методов и отечественных приборов, включая проточные анализаторы, представляется актуальной задачей для повышения эффективности добычи, транспорта нефти и предотвращения АСПО.

2. Научная новизна результатов работы

1. Установлены корреляции между концентрациями парафинов в нефтяных дисперсных системах и параметрами ПМР-релаксации и лазерной

спектрофотометрии, являющиеся основой методик их контроля при добыче, подготовке и транспортировке нефти.

2. Установлены на основе ПМР-релаксометрии и малоуглового рассеяния света фрактальные особенности сложных структурных единиц (ССЕ) нефти при адсорбции n-парафинов в их сольватном слое. Предложена модель ССЕ.

3. Впервые получены математические соотношения, связывающие параметры ПМР-релаксометрии и лазерной спектрофотометрии с концентрациями парафинов и температурами застывания.

4. Впервые математически обоснована методика измерения концентраций парафинов по изменениям времен релаксации как результат облучения образца парафинистой нефти лазером на волнах видео и ближнего ИК-диапазона.

5. Разработан комплексный метод ПМР-релаксометрии и лазерной спектрофотометрии для контроля характеристик n-парафинов в нефти.

6. Разработан измерительный комплекс для контроля характеристик n-парафинов в нефти.

3. Научная и практическая значимость результатов

Теоретическая значимость работы заключается в разработке теории эволюции динамики намагниченности в нефтяных дисперсных системах при их облучении в видимом и ближнем ИК диапазоне длин волн. Это расширяет круг решений задач по борьбе с парафиновыми отложениями.

Практическая значимость результатов работы определяется возможностями комплексного метода (ПМРР+ЛСФМ) для оперативного контроля парафинов в процессах добычи и подготовки нефти. Разработаны экспресс-методики контроля: концентраций парафинов, температур застывания в нефти и дизельном топливе комплексным методом ПМРР+ЛСФМ и методика идентификации n-алканов методом ПМР-релаксометрии.

4. Личное участие автора в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации

Автором предложены, обоснованы и реализованы методики проточного экспресс-контроля и обработки экспериментальных данных методами протонной магнитной релаксометрии и лазерной спектрофотометрии (ЛСФМ). Разработаны методики измерения температур застывания и методов идентификация индивидуальных алканов в лабораторных условиях и на потоке в скважинной жидкости.

5. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертации подтверждается применением современных методов магнитной релаксометрии на основе протонного магнитного резонанса, а также лазерной спектрофотометрии. Теоретические результаты согласованы с экспериментальными данными, полученными при исследовании n-парафинов методами ПМР-релаксометрии и лазерной спектрофотометрии. Методики определения параметров нефти верифицированы.

6. Соответствие диссертации научной специальности

Диссертация соответствует научной специальности 2.2.8 «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды» и отвечает следующим пунктам паспорта специальности: 1 – Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды; 3 – Разработка, внедрение, испытания методов и приборов контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующих повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды; 6 – Разработка математических моделей, алгоритмического и программно-технического обеспечения обработки результатов регистрации сигналов в приборах и средствах контроля и диагностики с целью автоматизации контроля и диагностики, подготовки их для внедрения в цифровые информационные технологии.

7. Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

По теме диссертации опубликовано 10 работ: 2 публикации в отечественных рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных WoS и SCOPUS и приравненных к публикациям в изданиях, входящих в Перечень ВАК, 2 публикации в материалах международных конференций, индексируемых в международной базе данных SCOPUS, 1 патент РФ, 2 статьи в прочих рецензируемых научных изданиях, 3 публикации в сборниках материалов международных и национальных научных конференций.

Статьи в отечественных рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных WoS и SCOPUS и приравненных к публикациям в изданиях, входящих в Перечень ВАК

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. Vol. 66. No. 5. P. 349-358. DOI 10.1007/s11018-023-02234-5. EDN LQSDUQ (статья в отечественном издании МБД, приравнено к ВАК К2, вклад соискателя – 50 %).

2. Kashaev R.S., Ovseenko G.A., Kozelkova V.O., Karachin V.I., Kozelkov O.V. Technology of Application of a Hardware and Software Complex Based on the PMR Relaxometry Method for Express Monitoring of Crude Oil Characteristics with Gas Analysis in an Explosive Zone // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2025. Vol. 59. No. 1. P. 95-99. DOI 10.1134/S0040579525700186. EDN QNUJBQ (статья в отечественном издании МБД, приравнено к ВАК К2, вклад соискателя – 50 %).

Статьи в материалах международных конференций, индексируемых в международной базе данных SCOPUS

3. Kozelkova V.O., Ovseenko G.A., Karachin V.I., Kien N.C., Van Tung T., Kozelkov O.V. Application of nuclear magnetic resonance for the express-control of water concentration // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022: 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года. Moscow, 2022. DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731372. EDN WYENJI (статья в издании МБД SCOPUS, вклад соискателя – 40 %).

4. Kozelkova V.O., Ovseenko G.A., Karachin V.I., Van Tung T., Chi Kien N., Kashaev R.S. On-line nuclear magnetic resonance analyzer for the production of new emulsion fuels // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022: 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года. Moscow, 2022. DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731458. EDN MCOVKW (статья в издании МБД SCOPUS, вклад соискателя – 40 %).

Патенты

5. Многоэлементный приемник теплового и электромагнитного излучения: пат. 2846537 Рос. Федерация: МПК G01N 24/08 / Р.С. Кашаев, В.И. Карачин; патентообладатель ФГБОУ ВО "Казанский государственный энергетический университет". – № 2025104130; заявл. 24.02.2025; опубл. 08.09.2025, Бюл. № 25 (вклад соискателя – 50 %).

Публикации в прочих рецензируемых научных изданиях

6. Карачин В.И., Кашаев Р.С., Козелков О.В. Исследования парафинистых нефтей методом лазерной фотометрии и протонной магнитной резонансной релаксометрии // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2022. № 31. С. 36-38. DOI 10.26160/2474-5901-2022-31-36-38. EDN WDPSQG (вклад соискателя – 40 %).

7. Карачин В.И., Кашаев Р.С., Корнилов В.Ю. Динамическое моделирование в среде SimInTech микромашинных мехатронных модулей позиционирования лазерных источников облучения в установке экспресс-

контроля структуры потоков скважинной жидкости // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2023. № 11. С. 27-31. DOI 10.26160/2541-8637-2023-11-27-31. EDN TSCCSW (вклад соискателя – 80 %).

Публикации в материалах докладов конференций

8. Карачин В.И., Кашаев Р.С., Козелков О.В. Использование метода лазерной фотометрии и ПМР-релаксации для исследования нефтей // Технические и технологические системы: Материалы тринадцатой Международной научной конференции, Краснодар, 23–25 ноября 2022 года. Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью "Издательский Дом - Юг", 2022. С. 316-318. EDN TAXXPI (вклад соискателя – 40 %).

9. Карачин В.И., Кашаев Р.С., Козелков О.В. Методы лазерной фотометрии и ПМР-релаксометрии для исследования парафинистых нефтей // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VIII Национальной научно-практической конференции, Казань, 08–09 декабря 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 49-52. – EDN HGMRDT (вклад соискателя – 40 %).

10. Карачин В.И., Кашаев Р.С., Козелков О.В. Влияние лазерного излучения на динамику молекул в нефтяных дисперсных системах. Исследование методом протонной магнитной резонансной релаксометрии // Исследовательская инициатива - 2023: Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 25 октября 2023 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. – С. 299-303. – EDN PQOCNJ (вклад соискателя – 40 %).

В перечисленных работах Карачина Вячеслава Игоревича лично получены следующие результаты:

[1, 2, 4, 5] – разработка и обоснование методов и алгоритмов протонной магнитно-резонансной релаксометрии для экспресс-контроля параметров нефти и нефтепродуктов, включая повышение информативности измерений, выбор измерительных режимов и обработку релаксационных кривых;

[5, 6, 7, 9, 10] – разработка проточного измерительного комплекса на основе ПМР-релаксометрии для экспресс-контроля качества нефти и воды в технологических потоках, включая аппаратную и программную реализацию;

[2, 8, 9] – создание и апробация онлайн-анализатора и аппаратно-программного комплекса для непрерывного мониторинга характеристик нефти, в том числе в условиях, требующих повышенной взрывобезопасности;

[1, 2, 3, 4] – разработка методов и средств контроля нефтяных сред с использованием релаксометрии, в том числе для оценки параметров, связанных с качеством нефти, и для анализа физико-химических свойств углеводородных систем.

Все основные положения и результаты, выносимые на защиту, отражены в публикациях автора: по главе 1 – в [1, 6, 7, 9], по главе 2 [1, 6, 9] – в главе 3 [6, 9, 10], по главе 4 – в [3, 4, 5, 9], по главе 5 – в [1, 3, 4, 9].

В диссертационной работе не выявлено использования материалов или отдельных результатов без ссылок на автора или источник заимствования, включая работы, выполненных соискателем лично и/или в соавторстве.

8. Апробация работы

Основные положения и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Международная научная конференция, Краснодар, 23–25 ноября 2022 года. – Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью "Издательский Дом - Юг", 2022.
- Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022: 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года.
- Материалы VIII Национальной научно-практической конференции, Казань, 08–09 декабря 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023.
- Международный научно-исследовательский конкурс, Петрозаводск, 25 октября 2023 года. Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023

9. Ценность научных работ соискателя

В опубликованных автором работах содержатся следующие научные результаты:

1. Подтверждено экспериментально наличие в нефтяных дисперсных системах сложных структурных единиц (ССЕ), в сольватном слое которых адсорбированы парафины начиная с числом $C = 8-23$. Предложены модели ССЕ, подтверждаемые экспериментально.

2. Подтверждено, что параметры ПМР-релаксации и рассеяния света отражают наличие ССЕ, значения частот ν_k колебаний и изменения сольватного слоя ССЕ. Обоснована взаимодополняемость методов ПМР-релаксометрии и ЛСФМ при определении молекулярных движений и концентраций парафинов.

3. Теоретически на модели эволюции намагниченности при облучении лазером обоснован инкремент времен релаксации протонов парафинов в нефти. Разработанная модель эволюции намагниченности при облучении лазером экспериментально подтверждена ростом инкремента ΔT_{2B} со снижением длины волны облучения.

4. Разработан измерительный комплекс для исследований нефтей методом ПМР-релаксометрии и лазерной спектрофотометрии на разных длинах волн и температурах.

5. Установлено, что характеристики нефти можно измерять методом лазерной спектрофотометрии по сигналу на фототранзисторе (СФТ) при облучении образца лазером.

6. Разработан многоэлементный приемник теплового и электромагнитного излучения электронных плат Релаксометра ПМР, использующий испытанные в измерительном комплексе фототранзисторы.

7. Впервые разработаны методики: измерения концентрации парафина по инкрементам ΔT_{2B} по временам спин-спиновой релаксации T_{2B} протонов при облучении нефтей лазером; определения температур застывания нефти и дизельного топлива по их зависимости от концентраций парафина и времен ПМР-релаксации T_{2B} ; n-алканов и числа их атомов n C по молекулярной массе MM, вычисленной по временам релаксации и использованием литературных данных о зависимости MM от n_C .

10. Характер результатов

Характер результатов диссертации соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней Российской Федерации.

11. Выводы

Диссертация Карачина В. И. «Комплексный метод ПМР-релаксометрии и лазерной спектрофотометрии и измерительный комплекс для контроля характеристик n-парафинов в нефти» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задачи – разработка комплексного метода и измерительного комплекса для контроля характеристик n-парафинов в нефти. Решение данной задачи имеет значение для развития теории и практики аналитического и неразрушающего контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

В диссертационном исследовании подтверждено экспериментально наличие в нефтяных дисперсных системах сложных структурных единиц (ССЕ), параметры ПМР-релаксации и рассеяния света отражают наличие ССЕ, обоснована взаимодополняемость методов ПМР-релаксометрии и ЛСФМ, разработан измерительный комплекс для исследований нефтей методом ПМР-релаксометрии и лазерной спектрофотометрии, разработан многоэлементный приемник теплового и электромагнитного излучения электронных плат релаксометра ПМР, разработаны методики измерения концентрации парафина по инкрементам ΔT_{2B} , методика определения температур застывания нефти и дизельного топлива по их зависимости от концентраций парафина, методика идентификации n-алканов и числа их атомов n_C по молекулярной массе MM.

Диссертация обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку. При выполнении диссертационной работы Карачин В.И. проявил себя зрелым научным работником, способным ставить и решать сложные теоретические и практические задачи.

Работа соответствует критериям п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация «Комплексный метод ПМР-релаксометрии и лазерной спектrophотометрии и измерительный комплекс для контроля характеристик n-парафинов в нефти» Карачина Вячеслава Игоревича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Приборостроение и мехатроника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

Присутствовало на заседании 22 чел. Результаты голосования: «за» – 22 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 28 от «10» апреля 2026 г.



Козелков Олег Владимирович,
доктор технических наук, доцент, заведующий
кафедрой «Приборостроение и мехатроника»
ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»,
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.
Тел. (843) 519-43-19, e-mail: kgeu_era@mail.ru

Сведения о лице, утвердившем заключение:

Абдуллазянов Эдвард Юнусович: доктор технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», ректор,
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.
Тел. (843)519-42-02, e-mail: kgeu@kgeu.ru