АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07106 – Теплоэнергетика

КЕНБАЙ АЛИШЕР АСЫЛБЕКУЛЫ

Низкотемпературная ячейка для исследования колебательных спектров углеводородных топлив в среднем ИК-диапазоне

Общая характеристика работы

В диссертации представлены результаты разработки и апробации низкотемпературной ячейки для ИК Фурье-спектрометра, работающей при атмосферном давлении и предназначенной для исследования колебательных спектров углеводородных топлив.

Актуальность темы

Для развития энергетической тенденции необходимы достоверные результаты, касающиеся изучения свойств и поведения углеводородных топлив при различных условиях. Опираясь на теоретические и экспериментальные данные, полученные в результате таких исследований, инновации в данной области позволят создать различные энергоэффективные топливные смеси, оптимизировать прекурсоры для новых топлив, расширить условия эксплуатации и диапазон применимости углеводородных соединений, тем самым улучшая возможности теплоэнергетической отрасли.

Новые исследования теплоэнергетических свойств углеводородов направлены на изучение либо при низких температурах в условиях вакуума, либо при нормальных условиях, т.е. комнатной температуре и атмосферном давлении. Однако отсутствуют или очень редки данные по низкотемпературным свойствам и поведению углеводородных топлив при атмосферном давлении, что приводит к информационной недостаточности в понимании углеводородов в теплоэнергетической научной литературе. Недостаток данных об углеводородах при низких температурах может приводить к замедлению технологического и энергетического прогресса, что неприемлемо в контексте современной научной парадигмы.

Развитие теплоэнергетической отрасли, основанной на использовании углеводородных топлив, в решающей степени определяется глубиной изучения их физико-химических свойств, механизмов горения, тепло- и массопереноса, а также особенностей поведения при различных эксплуатационных условиях, таких как низкие температуры и атмосферное давление. Именно системное исследование фазовых превращений и структурных изменений топлива позволяет повышать энергетическую эффективность установок, снижать экологическую нагрузку и обеспечивать технологическую и промышленную безопасность.

Расширение массива экспериментальных данных в этой области позволяет существенно повысить точность прогноза изменений физико-химических характеристик углеводородных топлив при криогенных

температурах и атмосферном давлении. Это особенно важно для корректного моделирования процессов воспламенения и горения, а также для обеспечения устойчивости тепловых и энергетических установок в экстремальных условиях эксплуатации. Подобные исследования имеют стратегическое значение для аэрокосмической техники, в том числе в рамках миссий NASA (National Aeronautics and Space Administration, США) и ESA (European Space Agency, Европа), где топливо подвергается воздействию сверхнизких температур. Кроме того, углублённое понимание криогенного поведения топлив критически необходимо для надёжной работы энергетических систем в арктических и субарктических регионах Земли, где температурные аномалии напрямую влияют на стабильность горения, ресурс оборудования и энергетическую эффективность установок. Проблема конденсации, обледенения и изменения свойств топлив при низких температурах стоит очень остро.

Целью данной работы является разработка и создание специальной низкотемпературной ячейки для проведения исследований инфракрасных спектров различных углеводородных топлив при атмосферном давлении.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели запланировано выполнение следующих задач:

1 Разработать низкотемпературный держатель образцов для приставки диффузного отражения Фурье-спектрометра ФСМ 2203 для проведения ИК-спектрометрических исследований с высоким разрешением при низких температурах до 80 К и создать инертную и ИК-неактивную среду для получения качественных спектральных данных за счет высокой интенсивности излучения и низкого уровня шума ввиду отсутствия примесей, влаги и нежелательной конденсации на образцах.

2 Провести апробацию установки с помощью ИК-спектрометрических исследований нефтяных углеводородных продуктов в диапазоне частот характеристических колебаний. На основании полученных FTIR-спектров алканолов и других углеводородов оформить результаты о влиянии температуры на положение, амплитуду и толщину полос поглощения, соответствующих характерным колебательным модам функциональных групп молекул исследуемых веществ.

3 Сравнить данные с результатами других авторов в этой области и подтвердить воспроизводимость, а также показать работоспособность разработанной технологии и метода низкотемпературного измерения углеводородов при атмосферном давлении.

Объектом исследования являются углеводородные топлива.

Предметом исследования является криогенно-капиллярная система с низкотемпературной ячейкой.

Методы исследования

Для достижения поставленной цели и выполнения установленных задач применялись следующие методы:

Инфракрасный Фурье-спектрометрический метод для изучения

колебательных спектров углеводородных топлив;

Метод диффузного отражения ИК-луча для анализа поверхности кристаллических углеводородов;

Криогенный метод охлаждения исследуемых веществ для анализа изменения поглощательных свойств в зависимости от температуры.

Новизна и оригинальность диссертационной работы заключаются в том, что в ней

1 Впервые разработана криогенная капиллярная система с низкотемпературной ячейкой для приставки диффузного отражения ИК Фурье-спектрометра ФСМ 2203, обеспечивающая стабильное охлаждение и получение FTIR-спектров углеводородных топлив при атмосферном давлении;

2 Проведена апробация новой разработанной низкотемпературной ячейки путем исследования ИК-спектров углеводородных топлив, полученных при атмосферном давлении;

3 Впервые доказана высокая воспроизводимость новых ИК-спектров углеводородных топлив, полученных с помощью разработанной низкотемпературной ячейки при атмосферном давлении, на основе сравнения с результатами других исследователей.

Основные положения, выносимые на защиту

1 Разработанная низкотемпературная ячейка на основе меди (Cu) и полилактида $(C_3H_4O_2)_n$ обеспечивает возможность проведения низкотемпературных измерений до (80,0 ± 0,7) K и получения Фурье-спектров среднего ИК-диапазона (400-4000 $см^{-1}$) углеводородных топлив и спиртов при атмосферном давлении.

2 Апробация разработанной низкотемпературной ячейки демонстрирует успешную идентификацию естественных характерных колебательных мод функциональных групп этанола (C_2H_5OH), керосина ($C_{12}H_{26}$) и метанола (CH_3OH) с точностью ±0,936 $см^{-1}$ при исследовании полученных FTIR-спектров высокого разрешения.

3 Значения волновых чисел характеристических полос валентных колебаний O-H и C-H связей C_2H_5OH, $C_{12}H_{26}$ и CH_3OH, обнаруженных с помощью разработанной низкотемпературной ячейки в криогенном диапазоне 80-100 K при атмосферном давлении, соответствуют воспроизводимости 96-97%.

Уровень достоверности и интерпретация результатов и выводов, сделанных в работе

Достоверность результатов, полученных в ходе выполнения диссертационной работы, подтверждается согласованностью данных, полученных с использованием комплекса современных физико-химических методов исследования, а также наличием публикаций в высокорейтинговых зарубежных журналах выше 25 процентиля по CiteScore, в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования РК, в материалах международных научно-практических конференций, патентами РК на полезную модель.

Соответствие направлениям развития науки и государственным программам

Диссертационное исследование соответствует приоритетным направлениям развития энергетики и выполнена в рамках НИР и проектов AP25794643, AP26104451 и AP19680205.

Личный вклад автора заключается в самостоятельном осуществлении процесса исследования, проведения экспериментов, написания разделов диссертационной работы и научных публикаций, компьютерного 3D-моделирования установки и количественной оценки результатов экспериментов. Также совместно с научными консультантами были определены цели, поставлены задачи и обсуждены результаты работы.

Статьи в журналах, входящих в международную научную базу данных Scopus и Web of Science

1 Turlybekova G., Kenbay A., Aldiyarov A., Korshikov Y., Lesbayev A., Nurmukan A., Yerezhep D. Cryogenic system for FTIR analysis of hydrocarbon fuels at low temperature and atmospheric pressure // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15, No. 14. – 7944. https://doi.org/10.3390/app15147944 (Web of Science «Engineering, Multidisciplinary» JIF – 71.7 percentile, Q2; Scopus «General Engineering» CiteScore – 79th percentile, Q1).

2 Kenbay A., Yerezhep D., Aldiyarov A. Development of low-temperature cell for IR Fourier-spectroscopy of hydrocarbon materials // Eurasian Physical Technical Journal. – 2025. – Vol. 22, No. 2 (52). – P. 88–96. https://doi.org/10.31489/2025N2/88-96 (Scopus CiteScore «General Engineering» – 26th percentile, Q3).

Статьи в журналах, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан

1 Кенбай А.А., Алдияров А.У., Ережеп Д.Е.. Криогенная установка для FTIR-спектроскопического исследования поведения углеводородных соединений при атмосферном давлении // Bulletin of Toraighyrov University. Energetics Series. – 2025. – № 1. – P. 188–200.

2 Kenbay A., Yerezhep D., Aldiyarov A. Analysis and comparison of kerosene FTIR spectra using the developed cryogenic-capillary system with low-temperature cell // Recent Contributions to Physics. – 2024. – Vol. 91, No. 4. – P. 64-76. (Web of Science «Physics, Multidisciplinary» JIF – 4.8 percentile, Q4).

3 Kenbay A.A., Golikov O.Yu., Aldiyarov A.U., Yerezhep D.E. Low-temperature cell for IR Fourier spectrometric investigation of hydrocarbon substances // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2023. – Vol. 23, No. 4. – P. 696–702. (Scopus «Mechanical Engineering» CiteScore – 19th percentile, Q4).

Тезисы в материалах международных научно-практических конференций

1 Кенбай А.А., Ережеп Д.Е. Анализ спектрометрических измерений в области углеводородных топлив // Материалы международной конференции

студентов и молодых учёных «Фараби әлемі», Алматы, Казахстан, 6–8 апреля 2022 г. – С. 255.

2 Кенбай А.А., Ережеп Д.Е. Разработка ячейки для низкотемпературных измерений оптических свойств // Материалы международной конференции студентов и молодых учёных «Фараби әлемі», Алматы, Казахстан, 6–8 апреля 2022 г. – С. 256.

3 Kenbay A.A., Yerezhep D.E. Analysis of IR spectra in measuring the optical properties of hydrocarbon compounds at low temperatures, // Материалы международной конференции студентов и молодых учёных «Фараби әлемі», Алматы, Казахстан, 6–8 апреля 2023 г. – С. 206.

4 Kenbay A.A. Spectroscopic analysis of materials at nitrogen temperature // Материалы II Международной конференции памяти академика Э.Г. Боос, Сборник тезисов 2ой Международной конференции по физике высоких энергий, материаловедению и нанотехнологиям (ICHEPMS-2024), 15–16 февраля 2024 г. – С. 102–103.

5 Кенбай А.А., Ережеп Д.Е., Голиков О.Ю., Алдияров А.У. Новая методика получения низкотемпературных ИК спектров углеводородных топлив при атмосферном давлении // Труды Международной научно-практической конференции «Satbayev International Conference 2024 (Сатпаевские Чтения – 2024). Интеграция науки и технологий: путь к устойчивому развитию», 12 апреля 2024 г. – С. 512–518.

6 Kenbay A.A., Yerezhep D.E. Low-temperature spectroscopy of hydrocarbons using kerosene as an example in cryogenic capillary system // Сборник тезисов международной конференции студентов и молодых учёных «Фараби әлемі», Алматы, Казахстан, 3–5 апреля 2025 г. – С. 144.

Патенты на полезную модель

1 Пат. 7284 Республика Казахстан. Низкотемпературная измерительная ячейка диффузного отражения в среднем ИК-диапазоне / Ережеп Д.Е., Алдияров А.У., Голиков О.Ю., Кенбай А.А.; патентообладатель Ережеп Д.Е. – № 2022/0443.2; заявл. 19.05.2022; опубл. 15.07.2022. – 5 с.

2 Пат. 9621 Республика Казахстан. Модернизированный держатель низкотемпературных образцов для ИК-спектроскопии / Кенбай А.А., Ережеп Д.Е., Алдияров А.У.; патентообладатель Кенбай А.А. – № 2024/0911.2; заявл. 19.07.2024; опубл. 25.07.2025. – 6 с.

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа содержит введение, основную часть из 3-х разделов, заключение и список использованных источников. Работа представлена на 102 страницах, содержит 29 рисунков, 19 формул, 7 таблиц и 157 библиографических ссылок.