

На правах рукописи



ДАВЛАТОВ Наджибулло Бахромович

**ВЛИЯНИЕ ФУЛЛЕРЕНОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЖИДКОГО ГИДРАЗИНА**

Специальности:

01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Душанбе – Казань – 2020

Работа выполнена на кафедре «Теплотехники и теплотехнического оборудования» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими и на кафедре «Теплотехники и энергетического машиностроения» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

Научные руководители:

Зарипова Мохира Абдусаломовна, доктор технических наук, доцент, профессор Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими (г. Душанбе);

Алтунин Виталий Алексеевич, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (г. Казань).

Официальные оппоненты:

Исаев Александр Васильевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН» (г. Москва);

Оракова Садия Магомедалиевна, кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГБУН Дагестанского федерального исследовательского центра РАН «Институт физики им. Х.И. Амирханова» (г. Махачкала)

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ») (г. Казань).

Защита состоится «16» сентября 2020 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.070.02 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (КНИТУ- КАИ) по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10. (Зал заседаний учёного совета университета).

Автореферат разослан: «__» июля 2020 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим отправлять по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10, КНИТУ-КАИ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.079.02, д.т.н., проф. Алтунину Виталию Алексеевичу.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке КНИТУ – КАИи на сайте университета <http://old.kai.ru/science/disser>.

Учёный секретарь диссертационного совета

Д 212.079.02, д.т.н., профессор



Алтунин Виталий Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

В связи с повышением требований к новым двигателям и энергетическим установкам наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования одно- и многоразового использования в настоящее время ведутся научные исследования по повышению их эффективности, ресурса, надёжности, выживаемости, неуязвимости, экономичности и экологичности.

Одним из направлений этих исследований является поиск возможностей повышения эффективности топлив (моно-горючих, горючих и окислителей). Повышение эффективности жидких горючих, топлив и охладителей возможно несколькими путями: созданием новых энергоёмких горючих с новыми повышенными характеристиками; модернизацией существующих горючих внедрением в них различных специальных присадок, неметаллических и металлических добавок; смешением существующих и перспективных горючих в различных комбинациях и др.

В диссертационной работе исследуется жидкий чистый гидразин (N_2H_4), теплофизические и термодинамические свойства которого известны уже более 100 лет. Он широко применяется в жидкостных ракетных двигателях (ЖРД), в ЖРД многоразового использования (ЖРДМИ), в ЖРД малой тяги (ЖРДМТ), в ЖРДМТ многоразового использования (ЖРДМТМИ) как горючее совместно с окислителями, но чаще он применяется как монотопливо, т.к. гидразин – это эндотермичное соединение, поэтому оно имеет малую стабильность, легко разлагается при нагревании и в присутствии катализаторов с образованием аммиака, водорода и азота, при разложении одного моля гидразина выделяется 46 кДж тепла. В связи с этим гидразин эффективно используется в качестве монотоплива в однокомпонентных ЖРД, ЖРДМТ, ЖРДМТМИ, в газогенераторах (ГГ), при этом жидкий гидразин подается в каталитическую камеру, где он разлагается, образующиеся газы достигают температуры 1400 К и развивают давление от 1 до 2 МПа, что позволяет их пропускать через сопло для создания необходимой тяги (импульса тяги). В настоящее время гидразин также широко применяется в микро-ЖРД (м-ЖРД) и м-ЖРД многоразового использования (м-ЖРДМИ) для эффективного управления орбитальными малыми и нано – спутниками. Широкое применение в ракетно-космической технике также нашли производные гидразина (гомологи), такие, например, как несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и др. Большое значение гидразин имеет при его смешении с другими горючими, в том числе, и со своими гомологами, т.е. при получении новых горючих и топлив.

Перспективным способом повышения эффективности горючих и топлив считается способ внедрения в них различных специальных присадок, неметаллических и металлических добавок. Среди неметаллических добавок осо-

бое место занимают фуллерены (наноматериалы в виде порошка), т.к. они, полностью растворяясь, например, в жидких углеводородных горючих и охладителях (УВГ и УВО), увеличивают их плотность (что очень важно для повышения эффективности различных ЖРД, а также летательных аппаратов (ЛА) и космических ЛА (КЛА)) и другие теплофизические и термодинамические свойства (ТФС и ТДС).

Уже разработаны, созданы и частично применяются в авиационной и ракетно-космической технике жидкие УВГ и УВО с внедрёнными в них фуллеренами марок C_{60} , C_{70} , C_{84} и др.

Влияние чистых сухих фуллеренов на повышение эффективности жидкого чистого гидразина до сих пор оставалось неисследованным. Кроме того, до сих пор отсутствовали методики теоретического расчёта ТФС и ТДС новых горючих (и топлив) системы «гидразин + фуллерены», отсутствовала база их экспериментальных данных. Поэтому материалы данной диссертации являются новыми и пионерскими (эксперименты были проведены впервые).

Также необходимо отметить, что существующие данные различных авторов по ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина и методикам их расчёта не являются едиными и точными, поэтому первую часть своих исследований соискатель провёл именно с жидким чистым гидразином, чтобы далее более точно исследовать влияние чистых сухих фуллеренов на изменение свойств жидкого чистого гидразина – при создании новых горючих (и топлив) системы «гидразин + фуллерены») повышенных характеристик, в том числе, и эффективности. Поэтому тема исследования является весьма актуальной и необходимой.

Степень разработанности темы диссертационного исследования.

Существует много научных работ по исследованию свойств жидкого чистого гидразина, по его применению в различных двигателях и энергоустановках ЛА, КЛА, по его использованию в науке и технике, в различных областях промышленности, в том числе, и в химической и фармацевтической, в медицине и в сельском хозяйстве.

Но точных и единых сведений о свойствах и их методиках расчёта жидкого чистого гидразина при его естественной конвекции в широком диапазоне параметров по давлению и температуре - до сих пор нет.

Событие по открытию новых наноматериалов (фуллеренов) в 20 веке – сравнивают с полётом человека в космос, опубликовано более 11000 научных работ, включая патенты на изобретения, по индивидуальным свойствам, методам и способам промышленного производства фуллереновых порошков и нанотрубок, по внедрению фуллеренов в различные жидкости и растворы, в том числе, и с водой, по их использованию при создании новых металли-

ческих и неметаллических наноматериалов повышенных свойств по прочности, электропроводности и др.

Есть данные о том, что фуллерены внедрены в жидкие УВГ и УВО, изменяя их ТФС и ТДС. Но сведения о научных исследованиях по влиянию чистых сухих фуллеренов на изменение ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина до сих пор отсутствуют.

Также отсутствует база экспериментальных данных по свойствам новых горючих (и топлив) системы «гидразин + фуллерены», отсутствуют методики и формулы их расчёта. Поэтому перед соискателем были поставлены следующие цель и задачи исследования.

Цель диссертационной работы: исследовать влияние неметаллических добавок в виде наночастиц чистых сухих порошковых фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией от 0,1 до 0,5 % - на изменение теплофизических и термодинамических свойств жидкого чистого гидразина в условиях его естественной конвекции при различных температурах и давлениях.

Задачи исследования:

1. Провести обзор и анализ научно – технической и патентно - лицензионной литературы по теме диссертации.

2. Создать экспериментальную базу для комплексного исследования: свойств чистых сухих фуллеренов на воздухе при нормальном давлении; жидкого чистого гидразина в условиях его естественной конвекции, в широком диапазоне параметров по давлению и температуре, без внедрения и с внедрением в него чистых сухих фуллеренов, и модернизировать экспериментальные установки для измерения теплопроводности и теплоемкости веществ, работающих методом монотонного разогрева при различных температурах.

3. Провести всесторонние экспериментальные исследования с чистыми сухими фуллеренами, с жидким чистым гидразином и с новыми горючими системы «гидразин + фуллерены».

4. На основе обобщения и анализа результатов экспериментальных исследований:

- провести проверку и сравнение теплофизических свойств жидкого чистого гидразина и формул их расчёта, полученных другими авторами, с дальнейшей их корреляцией и разработкой новых формул (по плотности и теплоёмкости);

- провести расчёт термодинамических свойств (энтальпии, энтропии, внутренней энергии, энергии Гиббса и Гельмгольца) жидкого чистого гидразина и новых горючих системы «гидразин + фуллерены»;

- разработать новые аппроксимационные формулы и методики расчёта теплофизических свойств новых горючих системы «гидразин + фуллерены»;

по которым провести расчёты этих свойств с определением погрешностей (неопределённостей) по отношению к экспериментальным данным;

- провести расчёт критериев подобия (Нуссельта, Прандтля; Рейнольдса; Рэлея; Фурье) для жидкого чистого гидразина и новых горючих системы «гидразин + фуллерены»;

- показать влияние фуллеренов на изменение теплофизических свойств жидкого чистого гидразина путём нахождения относительных коэффициентов по методу: («гидразин + фуллерены» / гидразин);

4. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований создать экспериментальную базу данных (виде графиков и таблиц):

- по теплофизическим и термодинамическим свойствам жидкого чистого гидразина и методикам их расчёта;

- по теплофизическим и термодинамическим свойствам новых горючих (и топлив) системы «гидразин + фуллерены» и методикам их расчёта;

- по критериям подобия Нуссельта, Прандтля, Рейнольдса, Рэлея, Фурье – для жидкого чистого гидразина и новых топлив системы «гидразин + фуллерены»;

- по относительным коэффициентам теплофизических свойств системы «гидразин + фуллерены» и жидкого чистого гидразина и методикам их расчёта.

5. Создать способы и методы определения теплофизических свойств жидкого чистого гидразина и новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» - без проведения экспериментальных исследований.

6. Показать влияние фуллеренов на повышение эффективности двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.

7. Разработать рекомендации по способам введения фуллеренов в жидкий чистый гидразин в ходе эксплуатации двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

1. Впервые проведены экспериментальные исследования по внедрению чистых сухих фуллеренов в жидкий чистый гидразин (эти исследования являются новыми: как, с точки зрения, науки о нанотехнологиях по применению наноматериалов в виде чистых сухих фуллеренов при растворении их в различных жидкостях (научной новизной здесь является факт применения чистых сухих фуллеренов в виде порошка для получения новой наножидкости именно на базе жидкого чистого гидразина), так и, с точки зрения, науки о повышении эффективности горючих (или монотоплив) (научной новизной здесь является новый способ повышения эффективности горючего (или монотоплива), в данном случае – жидкого чистого гидразина - путём внедрения в него неметаллических порошковых добавок - фуллеренов различных марок и концентраций, в результате чего получены новые горючие (или монотоп-

лива) с новыми характеристиками по ТФС и ТДС (ранее такой способ был открыт только для жидких УВГ и УВО), также можно назвать этот способ, как новый способ повышения эффективности двигателей и энергоустановок ЛА (т.к. возможно увеличение времени работы двигателей (например, различных ЖРД, ЖРДМТ, м - ЖРД) и энергоустановок, а также – увеличение их числа запусков и включений), а ещё этот способ можно назвать, как новый способ повышения эффективности различных ЛА (т.к. возможно увеличение дальности и времени полёта, а также увеличение числа маневров ЛА, ГЛА, особенно в космосе для различных КЛА, ГЛА, ВКС, ОКС, КА).

2. Впервые получены экспериментальные данные по ТФС в условиях естественной конвекции жидкого чистого гидразина при внедрении в него чистых сухих фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией от 0,1 до 0,5 % при изменении давления: от 0,101 МПа до 49,01 МПа в интервале температур: от 298 К до 673 К, в результате чего получены новые азотосодержащие горючие (и монотоплива) системы «гидразин + фуллерены» с новыми теплофизическими и термодинамическими свойствами.

3. Установлено, что внедряемые чистые сухие фуллерены полностью растворяются в жидком чистом гидразине в течение 10 минут, образуя слабо коллоидную азотосодержащую наножидкость – новое горючее системы «гидразин + фуллерены».

4. Впервые определено, что внедрение чистых сухих фуллеренов в жидкий чистый гидразин способствует повышению температуры начала кипения и разложения азотосодержащей жидкости - нового горючего системы «гидразин+ фуллерены».

5. Впервые обнаружено, что увеличение концентрации чистых сухих фуллеренов (от 0,1 % до 0,5 %) какой-либо одной марки приводит к повышению ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина, где максимальные их значения определяются при максимальной рабочей концентрации: 0,5 %.

6. Впервые определено, что последовательное повышение ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина происходит при последовательном применении рабочих марок фуллеренов с увеличивающимися индексами показателей чисел атомов углерода (C_{60} , C_{70} , C_{84}), где максимальные значения свойств будут определяться при использовании чистых сухих фуллеренов с наибольшим индексом, т.е. при использовании марки C_{84} .

7. Впервые определено, что максимально – возможное повышение ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина происходит при внедрении в него чистых сухих фуллеренов марки C_{84} с концентрацией 0,5 %, при этом будет создаваться новое азотосодержащее горючее (или монотопливо) системы «гидразин + 0,5 % C_{84} » с новыми и максимально – возможными ТФС и ТДС.

8. Открыта возможность по предварительному планированию, расчёту и созданию новых азотосодержащих горючих и монотоплив системы «гидра-

зин + фуллерены» с гарантированными нужными (или необходимыми) ТФС и ТДС для повышения эффективности двигателей и ЛА - для выполнения полётных заданий и задач ЛА, ГЛА, КЛА одно – и многоразового использования двойного назначения.

9. Впервые рассчитаны значения термодинамических свойств и термодинамических параметров (энтальпии, энтропии, внутренней энергии, энергии Гиббса и Гельмгольца) новых азотосодержащих горючих (и топлив) системы «гидразин + фуллерены» при различных давлениях и температурах.

10. Впервые получены аппроксимационные зависимости, описывающие ТФС и ТДС новых азотосодержащих горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены».

11. Впервые рассчитаны относительные коэффициенты ТФС новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены», которые позволяют реально оценить эффективность внедрения чистых сухих фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с концентрацией (0,1 - 0,5) % в жидкий чистый гидразин.

12. Впервые рассчитаны значения критериальных чисел подобия (Нуссельта, Грасгофа, Прандтля, Рэлея, Рейнольдса, Фурье) – для новых азотосодержащих горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены».

13. Впервые рассчитаны относительные коэффициенты системы «гидразин + фуллерены» для числа Нуссельта.

14. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований впервые создан банк данных:

- по ТФС и ТДС нового азотосодержащего горючего (и монотоплива) системы «гидразин + фуллерены»;
- по относительным коэффициентам ТФС нового азотосодержащего горючего (и монотоплива) системы «гидразин + фуллерены»;
- по формулам и методикам расчёта ТФС и ТДС теплофизических и термодинамических свойств нового азотосодержащего горючего (и монотоплива) системы «гидразин + фуллерены».

15. Раскрыто влияние фуллеренов на повышение эффективности различных реактивных двигателей и энергоустановок, работающих на гидразине, а также на повышение эффективности различных ЛА, ГЛА, КЛА, ОКС, КА.

16. Разработаны и запатентованы новые способы повышения эффективности воздушных, гиперзвуковых, аэрокосмических и космических ЛА одно – и многоразового использования на жидком азотосодержащем горючем (и монотопливе), а также рекомендации по способам введения фуллеренов в жидкий чистый гидразин в ходе эксплуатации двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.

Теоретическая и практическая значимость работы – заключается в том, что:

- разработанные экспериментальные установки могут быть

использованы для экспресс определения теплофизических свойств технологических материалов (чистых сухих фуллеренов, систем «гидразин + фуллерены» и др.) в научных лабораториях вузов, НИИ и КБ;

- разработаны новые методики расчёта ТФС и ТДС азотосодержащих горючих (или топлив) системы «гидразин + фуллерены», позволяющие оценивать их эффективность;

- созданный новый экспериментальный банк данных, новые методики и формулы расчёта позволяют теоретически предварительно планировать, задавать и рассчитывать необходимые теплофизические и термодинамические свойства нового азотосодержащего горючего (и монотоплива) системы «гидразин + фуллерены» - для расчёта эффективности двигателя (или двигателей) и самого ЛА, ГЛА, КЛА – для гарантированного выполнения полётных заданий и задач (по увеличению дальности и времени полёта, по увеличению числа запусков и включений ЖРДМИ, ЖРДМТМИ, м – ЖРДМИ);

- разработаны рекомендации и устройства по внедрению чистых сухих фуллеренов необходимой марки (или марок) с необходимой концентрацией - в жидкий чистый гидразин: в ходе предполётной подготовки; в ходе полёта воздушных, аэрокосмических и космических ЛА одно – и многоразового использования;

- результаты диссертации являются новыми, базируются на строгих физико-химических утверждениях и экспериментальных исследованиях, которые рекомендуются в качестве справочного и расчетного материала при решении общих задач тепломассопереноса, а также при разработке принципиально новых и более эффективных технологий создания теплотехнического оборудования наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования, связанного с жидким чистым гидразином и с новым горючим (и монотопливом) системами «гидразин + фуллерены»;

- результаты исследований и материалы диссертационной работы внедрены и используются:

- а) в учебной и научной работе: Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими»; Балтийского государственного технического университета им. Д.Ф. Устинова – ВОЕНМЕХ; Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ; Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана – при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий, при выполнении курсовых и дипломных проектов, при проведении экспериментальных исследований и разработок новых и перспективных техносистем, двигателей и энергетических установок различного назначения и базирования - аспирантами, докторантами и молодыми учёными;

- б) для инженерных расчетов в АОТ «Душанбинская ТЭЦ» с целью

улучшение экономических, экологических и энергетических показателей теплоэнергетического оборудования;

- применение материалов диссертации позволит проектировать, рассчитывать и создавать новые отечественные двигатели, энергоустановки и техносистемы одно – и многофазового использования наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования двойного назначения повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, эффективности, неуязвимости, выживаемости, экономичности и экологичности.

- диссертационная работа выполнена по плану координации научно-исследовательских работ в области естественных и общественных наук АН Республики Таджикистан на 2005 - 2015 годы по теме: «Теплофизические свойства веществ» (госрегистрация №81081175 и №01.86.0103274) по проблеме 1.9.7 - Теплофизика.

Методология и методы исследования. В диссертационной работе для исследования свойств чистого сухого гидразина, жидкого чистого гидразина без внедрения и с внедрением в него чистых сухих фуллеренов при различных рабочих давлениях и температурах в условиях естественной конвекции применялись экспериментальные и расчётные методы исследования: метод исследования при постоянном весовом количестве жидкости и изменяющемся её объеме; методы, основанные на гидростатическом взвешивании; методы регулярного теплового режима первого рода и др. Новые формулы расчёта ТФС для новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» разрабатывались на основе аппроксимации полученных экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

1. Модернизированные экспериментальные стенды для исследования: чистых сухих фуллеренов при атмосферном давлении на воздухе; ТФС жидкого чистого гидразина и новых наножидкостей - новых горючих (или монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» - в широком диапазоне параметров по давлению и температуре в условиях естественной конвекции.

2. Экспериментальные данные по ТФС (плотность, теплоёмкость, теплопроводность, вязкость) жидкого чистого гидразина и новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» при использовании фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией (от 0,1 % до 0,5 %), в широком диапазоне рабочих параметров по давлению и температуре, в условиях естественной конвекции.

3. Расчетные данные по ТДС (энтропия, энтальпия, внутренняя энергия, энергия Гиббса, энергия Гельмгольца), ТФС жидкого чистого гидразина и новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» при использовании фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией (от 0,1 % до

0,5 %), в широком диапазоне рабочих параметров по давлению и температуре, в условиях естественной конвекции.

4. Аппроксимационные зависимости и уравнения состояний для расчета ТФС новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» при использовании фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией (от 0,1 % до 0,5 %), в широком диапазоне рабочих параметров по давлению и температуре, в условиях естественной конвекции.

5. Результаты расчёта относительных коэффициентов ТФС, полученных по схеме («гидразин + фуллерены» / гидразин) в широком диапазоне рабочих параметров по давлению и температуре, в условиях естественной конвекции.

6. Банк новых экспериментальных и расчётных данных по ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина и новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» при использовании фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией (от 0,1 % до 0,5 %), в широком диапазоне рабочих параметров по давлению и температуре, в условиях естественной конвекции.

7. Методы и методики расчёта ТФС жидкого чистого гидразина и новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» при использовании фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией (от 0,1 % до 0,5 %), в широком диапазоне рабочих параметров по давлению и температуре, в условиях естественной конвекции.

8. Способ повышения эффективности воздушных, гиперзвуковых, аэрокосмических и космических летательных аппаратов одно – и многофазового использования на жидком азотосодержащем горючем.

Степень достоверности. Достоверность полученных в диссертации научных положений, результатов, выводов и рекомендаций обеспечена: применением аттестованных современных средств измерения, апробированных методик измерений и обработки данных; воспроизводимостью результатов измерений при неоднократном повторении опытов; хорошим совпадением результатов экспериментов и аппроксимационных зависимостей; анализом погрешностей (неопределённостей) измерений; сравнением полученных и расчётных результатов с результатами других авторов.

Апробация результатов. Основные результаты работы докладывались и получили одобрение на:

1-ой Всеросс. НТК (с международным участием). «Актуальные проблемы науки», г. Нефтекамск (2014);

7-ой Международ. научно-практ. конф. «Актуальные вопросы развития инновационной деятельности в новом тысячелетии», г. Новосибирск, (2014);

5-ой Международ. научной Интернет-конференции: «Актуальные проблемы биохимии и бионанотехнологии», г. Казань, (2014);

14-ой Российской конференции (с международным участием) по теплофизическим свойствам веществ, г. Казань, (2014);

Всеросс. научно-практ. конф. (с международным участием). «Актуальные проблемы науки, г. Нефтекамск-Уфа, (2014);

4-ой конференции «Евро-Азия», г. Москва, (2014);

9-ой Международ. теплофизической школе, МТФШ-9: «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий», г. Душанбе, (2014);

Республиканской научно-практ. конф. «Ломоносовские чтения», посвящ. 1150-летию ученого в области химии и медицины Абу бакраЗакирие Рози, Филиал МГУ, г. Душанбе, (2014);

Международ. НТК «Нанотехнологии функциональных материалов (НФМ -2114)», г. Санкт Петербург, (2014);

7-ой Международ. научно-практ. конф. «Перспективы развития науки и образования», посвященной 20-летию Конституции Республики Таджикистан и 90 –летию, г. Душанбе, (2014);

Международ. научно-практ. конф., г. Суздаль, (2014);

Международ. научно-техн. конф. студентов, аспирантов, ученых: «Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере», г. Москва, (2015);

Международ. научно-практ. конф., посвящ. 115-летию Персидско-таджикского ученого-энциклопедиста, врача, алхимика и философа Абубakra Мухаммада ибн Закария Рози, Институт химии, г. Душанбе, (2015);

Республиканской научной конф. «Актуальные проблемы современной науки», посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной Войне, г. Душанбе, (2015);

10-ом Всеросс. симп. с международ. участием: «Термодинамика и материаловедение». Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, РАН, г. Санкт-Петербург, (2015).

8 Международ. НТК «Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики (АНТЭ-2015)», Казань, (2015);

International conference: «Thermophysical and mechanical properties of advanced materials» and 4thRostocker International Symposium: «Thermophysical properties for technical thermodynamics», Azerbaijan technical university, Azerbaijan, БАКУ, (2015);

ICSE-23 in Chengdu, China), (conference date, July12-18, Китай).(2015);

Республиканской научно - практ. конф. «Экономическое развитие энергетики в Республике Таджикистан», г. Кургантюбе, (2015);

8-ой Международ. научно - практ. конф. «Перспективы развития науки и образования», посвящ. 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан и 60- летию ТГУ им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, (2016);

10-ой Международ. теплофизической школе: «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий», г. Душанбе – г. Тамбов, (2016);

Advanced Materials and Technologies, Tambov, (2016);

10-ой школе-семинаре молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова «Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении», г. Казань, (2016);

Международ. конф. «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», г. Махачкала, (2017);

6 –ых Rostock International Conference: THERMAL-2017 «Thermophysical Properties for Technical Thermodynamics» Institute of Technical Thermodynamics University of Rostock, Germany, (г. Росток, Германия), (2017);

Международ. конф. «Фундаментальные и прикладные вопросы физики», секция-1: физика ядра и элементарных частиц, их прикладные аспекты, астрономия и астрофизика, АН РУз, г. Ташкент, (2017);

Республиканской научно-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук», г. Душанбе, (2017);

Международ. НТК «Проблемы и перспективы развития двигателестроения», посвящ. Генеральному конструктору аэрокосмической техники академику Н.Д. Кузнецову. Сек. №5: «Ракетные двигатели. Космическая энергетика». СНИУ им. акад. С.П. Королёва, г. Самара, (2018);

Международ. НТК и школы молодых учёных, аспирантов и студентов «Авиакосмические технологии» (АКТ – 2018), г. Воронеж, (2018);

Всеросс. научно-практ. конф. с международным участием: «Новые технологии, материалы и оборудование Российской авиакосмической отрасли», посвящ. 130-летию со дня рождения выдающегося авиаконструктора А.Н. Туполева. («АКТО – 2018»), г. Казань, (2018);

53-их Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Сек. №2: «Проблемы ракетной и космической техники». РАН. РАКЦ, г. Калуга, (2018);

Общероссийской науч. - технич. конф. «8-е Уткинские чтения». БГТУ им. Д.Ф. Устинова, ВОЕНМЕХ, Снкт - Петербург, (2018);

43-их Академических чтений по космонавтике. РАН. РАКЦ. РОСКОСМОС, г. Москва, (2019);

45-ой Международ. молодёжной научной конф. «Гагаринские чтения – 2019», г. Москва, (2019);

Всеросс. НТК молодых учёных и специалистов «Авиационные двигатели и силовые установки». ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва, (2019);

Международ. молодёжной научной конф. «24-е Туполевские чтения», посвящ. 130-летию со дня рождения авиаконструктора И.И. Сикорского. (КНИТУ-КАИ), г. Казань, (2019).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 50 печатных работ из них: 11 статей – в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ; 39 материалов и тезисов докладов Всероссийских и международных научно-технических конференций и симпозиумов, а также статей в других журналах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из двух томов. В первом томе содержатся: список принятых сокращений и обозначений, введение, пять глав, заключение, список используемых источников информации (всего в Томе 1 – 177 стр.). Второй том – это приложение, в него вошли: дополнительные материалы по главам диссертации (приложения 1 – 5), а также дополнительные материалы по ТФС чистых сухих фуллеренов (приложение 6), дополнительные материалы по особенностям расчёта плотности и теплоёмкости жидкого чистого гидразина (приложение 7), дополнительные материалы по расчёту критериев термодинамического подобия систем «гидразин + фуллерены (C_{60}, C_{70}, C_{84})» (приложение 8), список используемых источников информации (приложение 9), материалы по заявкам на изобретения и патентам РФ (приложение 10), информация об актах внедрения результатов работы (приложение 11) (всего в Томе 2 – 243 стр.).

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследования, её научное и практическое значение.

В первой главе диссертации представлены результаты обзора и анализа научно – технической и патентно – лицензионной литературы по теме диссертации. Показано, что повышение эффективности жидкого горючего (или монотоплива) приводит к повышению эффективности двигателя, энергоустановки, а также – всего ЛА (КА, КЛА, ГЛА, ОКС, КС, ВКС). Одним из перспективных способов повышения эффективности жидких горючих является способ внедрения в них различных неметаллических добавок, например чистых сухих фуллеренов. Установлено, что фуллерены уже применяются в жидких углеводородных горючих (УВГ), но исследования по их внедрению в жидкий чистый гидразин отсутствуют. Поэтому исследования ТДС и ТФС нового горючего (монотоплива) системы «гидразин + фуллерены» являются актуальными и необходимыми. В материалах главы перечислены отечественные и зарубежные учёные, которые занимались и занимаются повышением эффективности горючих, топлив, двигателей, энергоустановок и летательных аппаратов различного базирования и назначения, а также – учёные, которые занимались и занимаются исследованиями фуллеренов различных марок (их структурой, свойствами, способами промышленного получения, возможностью растворения в различных жидкостях и др.).

В конце главы сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе показаны и описаны схемы экспериментальных установок и рабочих участков для исследования ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина без внедрения и с внедрением в него чистых сухих фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с их концентрацией (от 0,1 % до 0,5 %), в широком диапазоне рабочих параметров по давлению и температуре, в условиях естественной конвекции, а также – свойств чистых сухих фуллеренов до внедрения в гидразин. Подробно описаны методы и методики проведения исследований и определения погрешностей (неопределённостей) при проведении экспериментов и получении результатов.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина без внедрения в него чистых сухих фуллеренов и с их внедрением. Также представлены результаты исследования чистых сухих фуллеренов. Показано, что фуллерены влияют на изменение ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина, а также увеличивают его температуру начала кипения и разложения. Для примера, на рис. 3.1 – 3.4 показаны ТФС новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» для различных марок и концентраций фуллеренов.

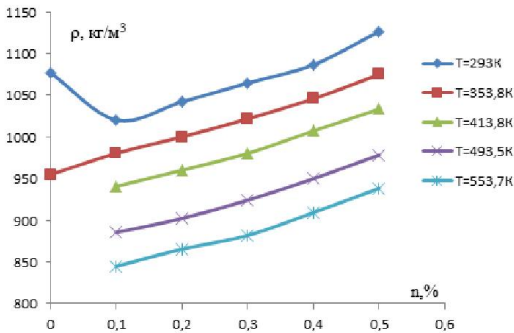
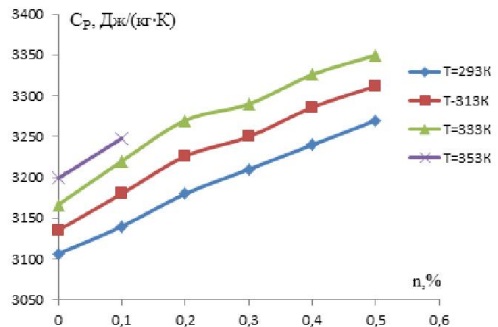


Рисунок 3.1 - Зависимость плотности системы «гидразин + C_{60} » от концентрации фуллерена марки C_{60} при различных температурах и атмосферном давлении

Рисунок 3.2 - Зависимость удельной изобарной теплоемкости системы «гидразин + C_{70} » от концентрации наночастиц фуллерена при различных температурах и атмосферном давлении



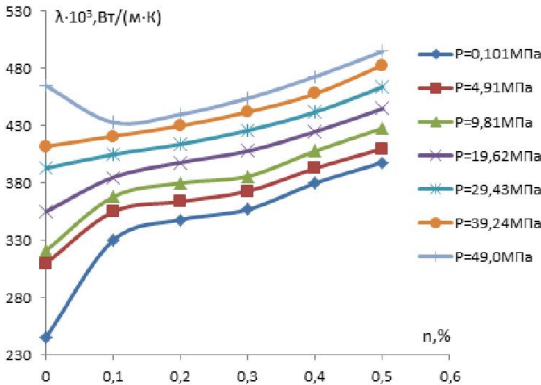
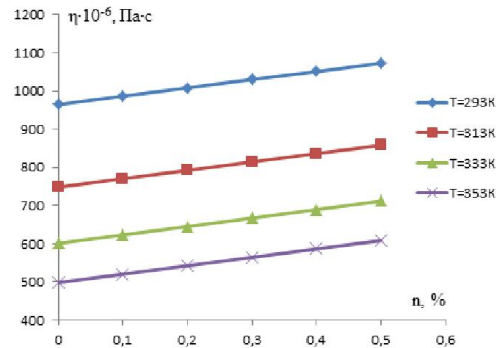


Рисунок 3.3 – Зависимость коэффициента теплопроводности системы «гидразин + фуллерен (C_{70})» от концентрации фуллерена марки C_{70} при различных рабочих давлениях при температуре $T = 353\text{ К}$

Рисунок 3.4 – Коэффициент динамической вязкости системы «гидразин + C_{84} » при различных температурах и атмосферном давлении



Из-за малого объема в автореферате - не показаны все новые табличные и графические данные по всем ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина и новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены».

В четвёртой главе проведён анализ результатов исследования и расчётных существующих и новых формул. Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований ТФС жидкого чистого гидразина в широком диапазоне параметров по давлению и температуре в условиях его естественной конвекции показал, что они совпали с результатами экспериментальных данных таких авторов, как Сафаров М.М., Зарипова М.А., Богданов А.И., Нурматов А.Н. и др.

Анализ результатов экспериментальных исследований теплопроводности и вязкости жидкого чистого гидразина в условиях естественной конвекции при малых и больших давлениях, при различных температурах, и их сравнения с результатами других авторов показал, что они практически полностью совпадают, а результаты расчётов по известным формулам имеют погрешность (неопределённость) (1 – 3)%.

Установлено, что при атмосферном и малых давлениях жидкого чистого гидразина - результаты практически полностью совпадают с табличными

данными ТФС Одрит Л., Огг Б., Сарнера С., Зрелова В.Н, Серёгина Е.П., Ипатьева В.В., Теодоровича В.П., Паушкина Я.М., Тиунова М.П. и с табличными данными Г.Ф. Большакова

Однако, в книге автора Большакова Г.Ф. [Большаков, Г.Ф. Химия и технология компонентов жидкого ракетного топлива / Г.Ф. Большаков / Л.: Изд-во «Химия», 1983, 320 с.] обнаружены неточные формулы расчёта ТФС жидкого чистого гидразина: плотности – в табл. 84 на стр. 162; теплоёмкости – в табл. 92 на стр. 168. Разработаны новые формулы для определения ТФС жидкого чистого гидразина, расчёт по которым практически совпадает с результатами экспериментальных исследований и с табличными данными Одрит Л., Огг Б., Сарнера С., Зрелова В.Н, Серёгина Е.П., Ипатьева В.В., Теодоровича В.П., Паушкина Я.М., Тиунова М.П. и автора Большакова Г.Ф., приведёнными в его книге в табл. 83 (см. стр. 162) – по плотности, а в табл. 91 (см. стр. 167-168) – по теплоёмкости жидкого чистого гидразина.

Проведены обработка и обобщение результатов экспериментального исследования ТФС жидкого чистого гидразина в широком диапазоне параметров по давлению и температуре в условиях его естественной конвекции при внедрении в него неметаллических добавок в форме порошка в виде чистых сухих фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} при их концентрации $n = (0,1 - 0,5) \%$.

На основе результатов обобщения разработаны новые формулы и методики расчёта теплофизических свойств (ТФС) новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены», которые позволяют определять значения ТФС горючего системы «гидразин + фуллерены» при различных температурах, давлениях и концентрациях фуллеренов - без проведения экспериментов.

Проведён расчёт критериев термодинамического подобия (Прандтля, Грасгофа, Релея и Нуссельта) - для системы «гидразин + фуллерены».

Создан банк данных (в виде таблиц, графиков и формул) по расчёту и определению ТФС и критериев подобия для жидкого чистого гидразина и новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены» - без проведения экспериментальных исследований.

В автореферате приведены новые методики и аппроксимационные формулы расчёта ТФС новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены», созданные для каждого конкретного случая (для каждой марки фуллерена и его концентрации), с учётом погрешностей (неопределённостей) расчётных и экспериментальных данных.

Расчёт плотности. Плотность (ρ) горючих « $N_2H_4 + (0,1 - 0,5\%) C_{60}$ », « $N_2H_4 + (0,1 - 0,5\%) C_{70}$ », « $N_2H_4 + (0,1 - 0,5\%) C_{84}$ » можно определить с точностью (1-2)% по обобщённой экспериментальной формуле (1):

$$\rho = \left[1,882 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 5,103 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 4,286 \right] \cdot \left[0,0304 \left(\frac{P}{P_1} \right) + 0,9664 \right] \times (1) \\ \times \left[0,11(T_{\text{кип}})^2 - 15,56T_{\text{кип}} - 7261,9 \right], \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

где T – температура, при которой определяется значение плотности; $T_1 = 353$ К – температура, при которой проводился эксперимент (средняя температура эксперимента); $T_{\text{кип}}$ – температура кипения рассматриваемого горючего при давлении, при котором определяется значение плотности (берётся из экспериментальных дополнительных таблиц, которые в автореферате не приводятся); P – давление, при котором определяется значение плотности; $P_1 = 19,63$ МПа – давление, при котором проводился эксперимент.

Расчёт теплопроводности. Теплопроводность (λ) горючих « $\text{N}_2\text{H}_4 + (0,1 - 0,5\%) \text{C}_{60}$ », « $\text{N}_2\text{H}_4 + (0,1 - 0,5\%) \text{C}_{70}$ », « $\text{N}_2\text{H}_4 + (0,1 - 0,5\%) \text{C}_{84}$ » можно определить с точностью (1-2)% по обобщённым экспериментальным формулам (2-17):

$$1) \text{ Для «N}_2\text{H}_4 + (0,1 \%) \text{C}_{60}\text{»}: \frac{\lambda}{\lambda_1} = -1,338 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,333, (2)$$

где λ_1 – теплопроводность исследуемого образца горючего при температуре проведения опыта 513 К; T – температура, при которой определяется исконое значение теплопроводности; $T_1 = 513$ К – средняя температура эксперимента.

$$2) \text{ Для «N}_2\text{H}_4 + (0,2 \%) \text{C}_{60}\text{»}: \frac{\lambda}{\lambda_1} = -1,387 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,391, (3)$$

$$3) \text{ Для «N}_2\text{H}_4 + (0,3 \%) \text{C}_{60}\text{»}: \frac{\lambda}{\lambda_1} = -1,162 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,124, (4)$$

$$4) \text{ Для «N}_2\text{H}_4 + (0,4 \%) \text{C}_{60}\text{»}: \frac{\lambda}{\lambda_1} = -1,205 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,183, (5)$$

$$5) \text{ Для «N}_2\text{H}_4 + (0,5 \%) \text{C}_{60}\text{»}: \frac{\lambda}{\lambda_1} = -1,035 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,030, (6)$$

6) Для « $\text{N}_2\text{H}_4 + (0,1 - 0,5\%) \text{C}_{60}$ » - по обобщающей формуле с погрешностью (0-3,8)%:

$$\lambda = \left[A \left(\frac{T}{T_1} \right) + B \right] \cdot \lambda_1, (7)$$

где постоянные А и В необходимо брать из экспериментальной табл. 1:

Таблица 1 - Значение коэффициентов уравнения (7)

Образцы	А	В
N ₂ H ₄ +0,1% (C ₆₀)	-1,338	2,333
N ₂ H ₄ + 0,2% (C ₆₀)	-1,387	2,391
N ₂ H ₄ +0,3% (C ₆₀)	-1,162	2,124
N ₂ H ₄ + 0,4% (C ₆₀)	-1,205	2,188
N ₂ H ₄ + 0,5% (C ₆₀)	-1,035	2,030

7) Для «N₂H₄ + (0,1 %) C₇₀»: $\frac{\lambda}{\lambda_1} = -0,8198 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 1,8206, (8)$

8) Для «N₂H₄ + (0,2 %) C₇₀»: $\frac{\lambda}{\lambda_1} = -0,881 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 1,8815, (9)$

9) Для «N₂H₄ + (0,3 %) C₇₀»: $\frac{\lambda}{\lambda_1} = -0,7607 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 1,759, (10)$

10) Для «N₂H₄ + (0,4 %) C₇₀»: $\frac{\lambda}{\lambda_1} = -0,8096 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 1,8093, (11)$

11) Для «N₂H₄ + (0,5 %) C₇₀»: $\frac{\lambda}{\lambda_1} = -0,7346 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 1,7348, (12)$

12) Для «N₂H₄ + (0,1)% C₈₄:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = 0,76 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 2,81 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 3,05, (13)$$

13) Для «N₂H₄+ (0,2)% C₈₄»:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = 0,58 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 2,38 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,81, (14)$$

14) Для «N₂H₄ + (0,3)% C₈₄»:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = 0,64 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 2,42 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,76, (15)$$

15) Для «N₂H₄ + (0,4)% C₈₄»:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = 0,47 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 2,08 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,61, (16)$$

16) Для «N₂H₄ + (0,5)% C₈₄»:

$$\frac{\lambda}{\lambda_1} = 0,46 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 1,94 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 2,47, \quad (17)$$

Из этих формул легко определяется искомое значение теплопроводности горючего «Гидразин + фуллерены».

Расчёт теплоёмкости. Удельную изобарную теплоёмкость горючих «N₂H₄ + (0,1 - 0,5%) C₆₀», «N₂H₄ + (0,1 - 0,5%) C₇₀», «N₂H₄ + (0,1 - 0,5%) C₈₄» можно определить с точностью (1-2)% по обобщённой экспериментальной формуле (18):

$$C_p = [3,9 \cdot 10^{-4} (T) + 0,795] \cdot C_p^*, \frac{Дж}{кг \cdot К} \quad (18)$$

где C_p^* - теплоёмкость испытуемого образца при $T_1 = 523K$; T - температура, при которой рассчитывается искомая теплоёмкость.

Расчёт вязкости. Динамическую вязкость горючих «N₂H₄ + (0,1 - 0,5%) C₆₀», «N₂H₄ + (0,1 - 0,5%) C₇₀», «N₂H₄ + (0,1 - 0,5%) C₈₄» можно определить с точностью (2,2-2,9)% по обобщённой экспериментальной формуле (19):

$$\eta = \left[4,928 \left(\frac{T}{T_1} \right)^2 - 13,31 \left(\frac{T}{T_1} \right) + 9,366 \right] \cdot \left[0,175 \left(\frac{p}{p_1} \right) + 0,8025 \right] \times \\ \times [0,0002 T_{кин}^2 - 0,1174 T_{кин} + 20,747], \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (19)$$

где T – температура, при которой осуществляется расчёт искомого значения вязкости; $T_1 = 353 K$ – средняя (и постоянная) температура для всех расчётов; $T_{кин}$ – температура кипения рассматриваемого горючего при давлении, при котором определяется значение вязкости (берётся из экспериментальных дополнительных таблиц, которые в автореферате не приводятся); p – давление, при котором проводится расчёт искомого значения динамической вязкости; $p_1 = 19,63$ – постоянное давление, выбранное для расчётов.

(Подробнее материалы гл. 4 – см. [6 -12]).

Проведён расчёт и ТДС новых горючих «гидразин + фуллерены».

В пятой главе на основе полученных результатов экспериментальных исследований по теме диссертации впервые были рассчитаны относительные коэффициенты ТФС новых горючих (и монотоплив) по схеме: ТФС «(гидразин + фуллерены) / ТФС (гидразин)», которые позволяют реально оценить эффективность внедрения чистых сухих фуллеренов марок C₆₀, C₇₀, C₈₄ с концентрацией (0,1 - 0,5) % в жидкий чистый гидразин. Также были получены данные по относительному коэффициенту числа Нуссельта при рабочих давлениях и температурах.

Показаны способы определения ТФС нового горючего (монотоплива) системы «гидразин + фуллерены». Раскрыто влияние фуллеренов на повышение эффективности двигателей и энергоустановок ЛА (на увеличение времени работы, числа запусков ЖРД, ЖРДМИ, ЖРДМТ, ЖРДМТМИ, на увеличение дальности полёта ЛА, КЛА, ГЛА и др., подробнее – см. [11]) Разработаны рекомендации по способам введения фуллеренов в жидкий чистый гидразин в ходе эксплуатации двигателей и энергоустановок ЛА, КЛА, КА, ГЛА, ОКС, ВКС, КС (подробнее – см. [11, 12]).

Способы определения ТФС горючего «Гидразин + фуллерены»:

1) непосредственно из экспериментальных таблиц и графиков автора данной диссертации и др. опубликованных им материалов (в этом случае не требуются данные о ТФС жидкого чистого гидразина);

2) по экспериментальным формулам автора данной диссертации: по индивидуальным формулам (для каждого типа фуллеренов с конкретным значением процентной концентрации), по обобщённым формулам (сразу для всех марок фуллеренов с учётом их концентрации);

3) через относительные коэффициенты по экспериментальным графикам или таблицам (например, см. табл. 2) автора диссертации, например, для плотности: $K(\rho) = \rho(\text{г+фуллерены}) / \rho(\text{г})$, откуда можно определить значение плотности горючего «гидразин + фуллерены» по формуле: $\rho(\text{г+фуллерены}) = K(\rho) \cdot \rho(\text{г})$, (но при этом необходимо иметь данные о ТФС жидкого чистого гидразина – из справочников, вычисленные по уточнённым формулам или из экспериментальных таблиц автора данной диссертации); таким же образом возможно определить и остальные ТФС: теплопроводность, удельную изобарную теплоёмкость и динамическую вязкость (подробнее – см. [6-12]).

Таблица 2 - Относительные коэффициенты плотности системы «(гидразин + фуллерены (0,5 % C₈₄)) / гидразин» при различных давлениях и температурах

Т, К	K _p (Т) (0,5 % C ₈₄); K _p (p) (0,5 % C ₈₄);						
	p, МПа						
	0,101	4,91	9,81	19,62	29,43	39,24	49,01
293	1,021	1,021	1,021	1,018	1,017	1,017	1,018
333	1,023	1,022	1,019	1,020	1,019	1,018	1,017
373	1,024	1,023	1,022	1,021	1,020	1,019	1,018
413		1,025	1,025	1,024	1,023	1,022	1,021
493		1,025	1,026	1,025	1,024	1,023	1,024
533		1,024	1,022	1,026	1,025	1,024	1,023

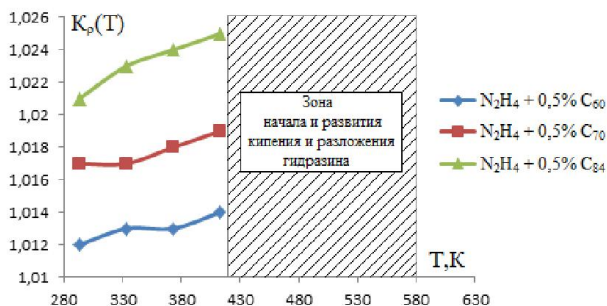


Рисунок 5.1 - Зависимость относительного коэффициента плотности $K_p(T)$ от температуры при давлении $p = 0,101$ МПа

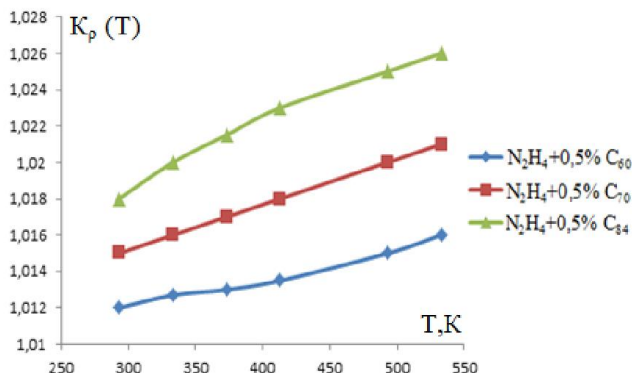


Рисунок 5.2 - Зависимость относительного коэффициента плотности $K_p(T)$ от температуры при давлении $p = 19,62$ МПа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа научно – технической и патентно – лицензионной литературы было выдвинуто обоснование о необходимости создания экспериментальной базы и проведения экспериментальных исследований с жидким чистым гидразином в широком диапазоне параметров по давлению и температуре в условиях его естественной конвекции без внедрения и с внедрением в него чистых сухих фуллеренов марок C_{60} , C_{70} , C_{84} с концентрацией (0,1 – 0,5) %. На основе анализа результатов экспериментальных исследований ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина установлено, что эти результаты совпадают с результатами других авторов. Проверка работоспособности расчётных формул некоторых авторов выявила их недостатки и погрешности, на основе чего были разработаны новые и скорректированные формулы для расчёта плотности и теплоёмкости жидкого чистого гидразина.

Экспериментальные исследования по внедрению чистых сухих фуллеренов в жидкий чистый гидразин – были проведены впервые.

На основе обобщения и анализа результатов исследования полученных новых наножидкостей в виде новых азотосодержащих горючих и монотоплив системы «гидразин + фуллерены»:

- разработаны новые аппроксимационные формулы для расчёта их ТФС и ТДС; также рассчитаны числа критериев подобия;

- найдены относительные коэффициенты ТФС по методу («гидразин + фуллерены» / гидразин), по которым впервые показана роль фуллеренов при повышении эффективности жидкого чистого гидразина путём внедрения в него неметаллических добавок в виде порошковых чистых сухих фуллеренов различных марок и концентраций;

- впервые установлено, что повышение концентрации и индекса марки фуллеренов (числа атомов углерода в молекуле фуллерена) приводит к повышению ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина, что наиболее эффективным является фуллерен марки C_{84} с концентрацией 0,5 %;

- впервые обнаружено, что чистые сухие порошковые фуллерены при внедрении их в жидкий чистый гидразин полностью растворяются в нём в течение 10 минут, образуя новые азотосодержащие наножидкости (новые горючие и монотоплива системы «гидразин + фуллерены») с повышенной температурой начала кипения и разложения, которая зависит от марки и концентрации внедрённых фуллеренов;

- создан новый экспериментальный и расчётный банк данных по свойствам и формулам расчёта ТФС и ТДС жидкого чистого гидразина и новых горючих (и монотоплив) системы «гидразин + фуллерены», который позволяет по новым методикам быстро находить данные для расчёта повышения эффективности двигателей и ЭУ ЛА и самих ЛА, КЛА, КА, ОКС, ВКС, ГЛА различного применения и назначения;

- разработан и запатентован новый способ повышения эффективности воздушных, аэрокосмических и космических ЛА на азотосодержащих горючих, который позволяет заранее планировать нужные и необходимые свойства нового горючего и монотоплива системы «гидразин + фуллерены» для обеспечения увеличения времени работы двигателей и ЭУ и числа их включений, для обеспечения увеличения дальности и времени полёта различных ЛА одно – многоразового использования;

- разработаны и запатентованы методы, способы и устройства внедрения фуллеренов в гидразин: в ходе подготовки к полёту (к запуску), в ходе полёта, в том числе – космического.

Результаты исследования и материалы диссертационной работы внедрены и используются в учебной и научной работе ведущих вузов РФ и Республики Таджикистан, а также – в различных НИИ, КБ и др. организациях.

Применение данных материалов будет способствовать созданию новых и эффективных азотосодержащих горючих (и монотоплив), что открывает возможности по дальнейшему повышению эффективности отечественных двигателей и ЭУ, а также ЛА воздушного, аэрокосмического и космического базирования одно – и многоразового использования двойного назначения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Давлатов, Н.Б. Температуропроводность наножидкостей системы (64 % N_2H_4 + 36 % H_2O) и нанонаполнителей / М.М. Сафаров, Н.Б. Давлатов и др. // Вестник Таджикского национального университета. Сер. «Естественный науки». 2014. № 1-4. С. 121-126. (60 %).

2. Давлатов, Н.Б. Влияние фуллерена C_{60} , C_{70} , нанокристаллической меди на изменение теплопроводности и температуропроводности жидкого гидразина в широком интервале параметров состояния / Н.Б. Давлатов, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 19. С. 60-63. (75 %).

3. Давлатов, Н.Б. О механизме процесса переноса тепла в наножидкостях и их применение / М.М. Сафаров, А.С. Назруллоев, М.А. Зарипова, Х.А. Зоиров, Н.Б. Давлатов и др. // Вестник Таджикского технического университета. Сер. «Интеллект. Инновации. Инвестиции». 2016. № 4. С. 15-18. (58 %).

4. Давлатов, Н.Б. Компьютерное моделирование химических и фазовых равновесий в системах с неидеальными растворами / М.М. Сафаров, Х.Х. Назаров, М.А. Зарипова, Н.Б. Давлатов и др. // Вестник Таджикского национального университета. Сер. «Естественные науки». 2016. № 1-4. С. 166-169. (68 %).

5. Давлатов, Н.Б. Теплофизические свойства некоторых нанокристаллических материалов / М.М. Сафаров, Х.Х. Назаров, Н.Б. Давлатов и др. // Вестник Таджикского национального университета. Сер. «Естественные науки». 2016, № 1-4. С. 40-45. (80 %).

6. Давлатов, Н.Б. Экспериментальная база и методики проведения исследований теплофизических свойств жидкого чистого гидразина и его смесей с неметаллическими добавками – фуллеренами / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, И.Н. Алиев, М.Л. Яновская // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2019. № 3. С. 30-38. (75 %).

7. Давлатов, Н.Б. Результаты экспериментальных исследований и методика расчёта теплофизических свойств гидразина и его смесей с фуллеренами / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, И.Н. Алиев, М.Л. Яновская // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2019. № 3. С. 39-51. (80 %).

8. Давлатов, Н.Б. Экспериментальное исследование теплофизических свойств жидкого чистого гидразина при различных температурах и давлениях / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров, И.Н. Алиев, М.Л. Яновская // Инженерный журнал: наука и инновации, 2019, вып. 10 (94). Электронный журнал. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-10-1922>. (80 %).

9. Давлатов, Н.Б. Экспериментальное исследование плотности и теплоёмкости жидкого чистого гидразина / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров, И.Н. Алиев, М.Л. Яновская // Инженерный журнал: наука и инновации, 2019, вып. 11. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-11-1934>. (80 %).

10. Давлатов, Н.Б. Некоторые пути повышения эффективности жидких и газообразных углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей летательных аппаратов / Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Абдуллин М.Р., Давлатов, Н.Б., Платонов Е.Н., Яновская М.Л. // Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. № 10. С. 453-479. (80 %).

11. Давлатов, Н.Б. Экспериментальное исследование плотности и теплоёмкости жидкого чистого гидразина при введении в него чистых сухих фуллеренов / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров, И.Н. Алиев, М.Л. Яновская // Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, вып. 2. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-2-1957>. (78 %).

Патенты на изобретения РФ:

12. Давлатов, Н.Б. Способ повышения эффективности воздушных, гиперзвуковых, аэрокосмических и космических летательных аппаратов одно – и многоразового использования на жидком азотосодержащем горючем / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров, Ю.Ф. Гортышов, И.Н. Алиев, Л.С. Яновский, М.Л. Яновская // Заявка на патент на изобретение РФ №2019141201 от 11.12.2019 г. (75 %).

Статьи в других научных журналах:

13. Давлатов, Н.Б. Влияние наночастицы фуллерена (C_{60}) и Al_2O_3 на изменение теплоемкости низкотемпературных топлив при различных температурах и давлениях / М.А. Зарипова, Н.Б. Давлатов, М.М. Сафаров и др. // Матер. 7 Международ. научно-практ. конф. «Актуальные вопросы развития инновационной деятельности в новом тысячелетии». // Журнал «Математика и системы», № 7(11), Новосибирск. 2014. С. 42-45. (85 %).

14. Давлатов, Н.Б. Исследование влияния наночастицы на изменение интенсификационных характеристик ракетных топлив / А.С. Назруллоев, И.Б. Маниш, Н.Б. Давлатов и др. // Журнал «Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере». Челябинск: ЮУрГУ. 2015. Т. 3. № 1. С. 207-210. (85 %).

15. Давлатов, Н.Б. Некоторые пути повышения эффективности углеводородных и азотосодержащих горючих космического применения / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, Е.Н. Платонов, М.Л. Яновская // СПб. Журнал «Военмех. Вестник БГТУ им. Д.Ф. Устинова». № 55. 2019. С. 424-429. (75 %).

Статьи в сборниках научных трудов, материалов Всероссийских и международных конференций и симпозиумов:

16. Давлатов Н.Б. Расчет и оптимизация теплового реактора с учетом интенсификации рабочего тела (гидразин + фуллерен C_{60}) и (моторное масло + силикагель) / М.А. Зарипова, Н.Б. Давлатов, М.М. Сафаров и др. // Матер. Республ. научно-практ. конф. «Ломоносовские чтения», посвящ. 1150-летию ученого в области химии и медицины Абубакра Закирия Рози. Филиал МГУ, Душанбе. 2014. С. 26-28. (60 %).

17. Давлатов, Н.Б. Термодинамические свойства и уравнение состояния бинарных водных растворов гидразина / Н.Б. Давлатов, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова и др. // Матер. 9 Международ. теплофиз. школы «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». Душанбе. 2014. С. 443-446. (70 %).

18. Давлатов, Н.Б. Влияние оксида меди на изменение теплопроводности жидкого гидразина / М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, Н.Б. Давлатов, М.М. Сафаров и др. // Матер. 9 Международ. теплофиз. школы «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». Душанбе. 2014. С. 273-277. (75 %).

19. Давлатов, Н.Б. Влияние фуллерена C_{60} на изменение теплопроводности жидкого гидразина в широком интервале параметров состояния / Н.Б. Давлатов, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова и др. / Матер. 9 Междун. теплофиз. школы «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». Душанбе. 2014. С. 465-467. (75 %).

20. Давлатов, Н.Б. и др. Интенсификация азотосодержащих ракетных топлив с учетом добавки наночастиц и расчет их термодинамических характеристик / М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Н.Б. Давлатов и др. // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики: Матер. 8-й Междунар. науч.-техн. конф. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2015. С. 517-522. (75 %).

21. Давлатов, Н.Б. Влияние фуллерена C_{60} и амфотерных оксидов на изменение теплопроводности гидразинзамещенных ракетных топлив в критической области / Н.Б. Давлатов, М.М. Сафаров и др. // Матер. Республ. научно-практ. конф. «Экономическое развитие энергетики в Республике Таджикистан». Кургантюбе. 2015. С. 56-59. (75 %).

22. Давлатов, Н.Б. Влияние некоторых наноамфотерных оксидов Ag (99,99%) и фуллерена на изменение физико-химических свойств ракетных топлив (Обзор-эксперимент) / А.С. Назруллоев, И. Б. Маниш, Т.Р. Тиллоева, Н.Б. Давлатов и др. // Матер. 10 Международ. теплофизической школы «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». Душанбе-Гамбов, 2016. С. 109-120. (75 %).

23. Давлатов, Н.Б. О механизме процесса переноса тепла в наножидкостях и их применение / Н.Б. Давлатов, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова и др. // Матер. 8 Международ. научно-практ. конф. «Перспективы развития науки и

образования», посвящ. 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан и 60 - летию ТТУ им. акад. М.С. Осими. Ч. 2. Душанбе. 2016. С. 184-187. (80 %).

24. Давлатов, Н.Б. Анализ путей повышения эффективности для космических двигателей и энергоустановок // Матер. докл. Всеросс. научно-практ. конф. с междунар. участием: «Новые технологии, материалы и оборудование Российской авиакосмической отрасли», посвящ. 130- летию со дня рождения выдающегося авиаконструктора А.Н. Туполева («АКТО - 2018»). / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова /. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2018. Т. 1. С. 326-330. (65 %).

25. Давлатов, Н.Б. Некоторые пути увеличения теплофизических и термодинамических свойств жидкого азотосодержащего горючего и охладителя / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова // Матер. докл. междунар. научно-технич. конф. «Проблемы и перспективы развития двигателестроения», посвящённой Генеральному конструктору аэрокосмической техники академику Н.Д. Кузнецову. Сек. №5: «Ракетные двигатели. Космическая энергетика». Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. С. 138. (65 %).

26. Давлатов, Н.Б. Способы повышения эффективности теплофизических и термодинамических свойств жидких углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей и энергоустановок космического применения / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров, Е.Н. Платонов М.Л. Яновская // Матер. 53-их Научных чтений памяти К.Э. Циолковского. Сек. №2: «Проблемы ракетной и космической техники. РАН. РАКЦ. Калуга: Изд-во АКФ «Политоп», 2018. С. 121-122. (70 %).

27. Давлатов, Н.Б. Способы повышения эффективности теплофизических и термодинамических свойств жидких углеводородных и азотосодержащих горючих для двигателей и энергоустановок космического применения / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров, Е.Н. Платонов, М.Л. Яновская // Тр. 53 чтений, посвящ. разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Сек. № 2: «Проблемы ракетной и космической техники». (г. Калуга, 18-19 сентября 2018 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2019. С. 138-148. (70 %).

28. Давлатов, Н.Б. Разработка способов повышения эффективности теплофизических и термодинамических свойств жидких углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителей для двигателей гиперзвуковых, аэрокосмических и космических летательных аппаратов / В.А. Алтунин, М.Р. Абдуллин, Е.Н. Платонов, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова, М.М. Сафаров, М.Л. Яновская // Матер. докл. 43 Академических чтений по космонавтике. Сек. №15: «Комбинированные силовые установки для гиперзвуковых и воздушно-космических летательных аппаратов». РАН. РАКЦ. РОСКОСМОС / Алтунин В.А., Абдуллин М.Р., Платонов Е.Н., Давлатов, Н.Б., Зарипо-

ва М.А., Сафаров М.М., Яновская М.Л./ М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. Т. 2. С. 71-72. (70 %).

29. Давлатов, Н.Б. Анализ и классификация путей совершенствования жидкостных ракетных двигателей одно – и многоразового использования на углеводородных и азотосодержащих горючих и охладителях / В.А. Алтунин, М.Р. Абдуллин, Н.Б. Давлатов и др. // Матер. докл. междунаро. молодёжной научной конф. «24-е Туполевские чтения», посвящ. 130-летию со дня рожд. авиаконструктора И.И. Сикорского. Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ. 2019. Т. 2. С. 314-320. (75 %).

Тезисы докладов на Всероссийских и международных научно-технических конференциях и симпозиумах:

30. Давлатов, Н.Б. Влияние наноструктурных частиц на изменение термодинамических и адсорбционных свойств на линии увлажнения / М.А. Зарипова, А.С. Назруллоев, М. М. Гуломов, Н.Б. Давлатов и др. // Тез. докл. 10 Всеросс. симп. с междунаро. участием «Термодинамика и материаловедение». Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, РАН, СПб: 2015. С. 42. (80 %).

31. Давлатов, Н.Б. Разработка способа повышения теплофизических свойств жидкого углеводородного горючего и охладителя / В.А. Алтунин, Н.Б. Давлатов, М.А. Зарипова // Тез. докл. 19 междунаро. научно-техн. конф. и школы молодых учёных, аспирантов и студентов «Авиакосмические технологии» (АКТ-2018). Направление № 1: «Фундаментальные основы процессов создания и функционирования авиационных, космических и транспортных систем». Воронеж: Изд-во ООО фирма «Элист», 2018. С. 17-18. (65 %).

32. Давлатов, Н.Б. Исследование возможности интенсификации теплоотдачи к жидким и газообразным углеводородным и азотосодержащим горючим и охладителям / В.А. Алтунин, М.Р. Абдуллин, Н.Б. Давлатов, Р.Р. Шигапов, М.Л. Яновская // Сб. тез. докл. Всеросс. научно-технич. конф. молодых учёных и специалистов «Авиационные двигатели и силовые установки». Сек. №7: «Авиационная химмотология». М.: Изд-во ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», 2019. С. 316-317. (65 %).

33. Давлатов, Н.Б. Разработка методик расчёта тепловых процессов в рубашках охлаждения жидкостных ракетных двигателей на жидких и газообразных горючих и охладителях / В.А. Алтунин, М.Р. Абдуллин, Н.Б. Давлатов // Сб. тез. докл. 45 Междунаро. молодёж. научн. конф. «Гагаринские чтения – 2019». Сек. № 2.3: «Ракетные двигатели». М.: Изд-во МАИ, 2019. С. 150. (70 %).

Дополнительно: 17 материалов и тезисов докладов на Всероссийских и международных НТК.