ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу и автореферат Рафизода Саидбег Сами на тему «Исследование теплофизических, термодинамических и реологических свойств теплоносителей внедренных нанопорошка гидразина», представляемой на соискание ученой степени кандидата технический наук по специальности 2.2. Астрофизика, физика, электроника, фотоника, приборостроение и связь (2.2.32. Теплофизика и теоретическая теплотехника)

Актуальность темы исследования. В данной диссертации представлено экспериментальное и теоретическое обоснование рассматриваемой проблемы. Основное внимание уделено анализу физико-химических (плотность, теплопроводность), реологических (кинематическая и динамическая вязкость) и кинетических свойств этиленгликоля и его водных растворов с добавлением нанопорошка гидразина в широком диапазоне температур и давлений. Полученные автором результаты способствуют повышению эффективности применения данных систем в качестве теплоносителей или рабочих тел в процессах тепло- и массообмена, а также могут быть использованы при разработке их математических моделей. Кроме того, в работе рассматривается возможность получения надежных корреляционных зависимостей для прогнозирования свойств указанных сред.

Диссертационное исследование по своей тематике, методам изысканий и научным положениям полностью соответствует пунктам 1, 2, 5, 7 и 8 паспорта специальности 2.2.32. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Научная новизна. В ходе исследования были разработаны и запатентованы оригинальные опытные стенды, предназначенные для измерения теплопроводности жидкостей на наноуровне (патент на малое изобретение № TJ 923, 2017 г.) и определения адсорбционной способности наноматериалов (патент на малое изобретение № TJ 1279, 2021 г.). На созданных установках впервые получены новые систематические экспериментальные данные по эффективному коэффициенту теплопроводности, плотности, а также динамической и кинематической вязкости этиленгликоля и его водных растворов, модифицированных наноразмерным порошком гидразина различной концентрации, в интервале температур от 273 до 363 К и давлений от 0,101 до 14,42 МПа. На основе накопленного массива опытных данных осуществлен комплексный расчет теплофизических и реологических характеристик исследуемых систем, включая определение числа Прандтля во всем указанном диапазоне параметров состояния. Итогом анализа и обобщения результатов натурных измерений стала разработка комплекса надежных аппроксимирующих уравнений, позволяющих рассчитывать коэффициенты теплопроводности, вязкости и плотности водно-этиленгликолевых смесей с различной долей наноструктурированных добавок гидразина.

Основные положения, выносимые на защиту: Защищаемые результаты исследования включают научно обоснованное создание и практическое внедрение оригинальных экспериментальных комплексов, предназначенных для высокоточного измерения теплопроводности нанодисперсных жидкостей и коэффициента адсорбции наноматериалов, что подтверждено малыми патентами Республики Таджикистан № TJ 923 и № TJ 1279. На защиту выносятся впервые полученные массивы надежных экспериментальных данных по эффективной теплопроводности, плотности, а также динамической и кинематической вязкости водно-этиленгликолевых систем, модифицированных наноразмерными фракциями порошка гидразина различной концентрации, в термодинамическом диапазоне температур 273–363 К и давлений 0,101–14,42 МПа. Кроме того, предмет защиты составляют результаты комплексного аналитического расчета базовых теплофизических и реологических параметров, включая безразмерное число Прандтля, и разработанная на их основе система новых эмпирических уравнений состояния, адекватно описывающих и прогнозирующих сопряженные изменения теплопроводности, плотности и вязкостных характеристик исследуемых наножидкостей в зависимости от режимных параметров и концентрации диспетной фазы.

Степень изученности научной темы. Вопросами исследования основных теплофизических, термодинамических и реологических свойств химически чистых жидкостей и растворов, а также с различным массовым содержанием нанодобавок в условиях разных параметров состояния занимаются на отечественные, так и зарубежные ученые. Зарубежными учеными: Штехер М.С., Ахундов Т.С., Гусейнов К.Д., Голубев И.Ф., Лабинов М. С., Тернер Д. И., Голик А. З., Амирханов Г. И. и др. Также отечественными учеными: Давлатова Р. Дж., Зарипова М.А., Сафарова М.М. и др. Механизм переноса исследован частично, однако вопросы о причинах и механизмах этих свойств для отдельных групп чистых органических жидкостей и жидкостей с добавлением наночастиц не решены. Поэтому данная работа посвящена анализу и изучению теплофизических, термодинамических и реологических свойств теплоносителей с нанопорошком гидразина. В частности, исследованы коэффициент теплопроводности, плотность, динамический и кинематический коэффициенты вязкости этиленгликоля и его водных растворов с различными концентрациями нанопорошка гидразина в диапазоне температур (273-363) К и давлений (0,101-14,42) МПа.

Практическая значимость представленных в диссертации результатов состоит в том, что по экспериментальным данным автором получены расчетные соотношения для вычисления теплофизических, термодинамических и реологических свойств исследованных жидкостьей, которые будут полезны при практическом применении разработанных наносистем в энергетических установках и теплообменных комплексах, требующих внедрения высокоэффективных рабочих тел, способных стабильно функционировать в критических режимах.

В первой главе дано краткий обзор литературы, посвященной изучению теплофизических, реологических и кинетических характеристик технических растворов, а также представлены результаты по изучению практического применения результатов исследования различных авторов и соответствующий обзор литературы, посвященной исследованию гидразина и этиленгликоля.

Вторая глава полностью посвящена описанию экспериментальных методов, принципов работы и устройства лабораторных стендов, которые авторы использовали для определения теплофизических, реологических и термодинамических характеристик изучаемых наножидкостей и растворов. Для исследования коэффициента теплопроводности подробно описан классический метод нагретой нити (проволоки) и специализированная установка на его основе. Также для измерения плотности и динамической вязкости растворов при атмосферном давлении представлены соответствующие опытные установки и методики проведения экспериментов. Для изучения массообменных характеристик сыпучих (зернистых) материалов приведена оригинальная экспериментальная установка, защищенная малыми патентами РТ № TJ 1279 и № TJ 1280.

В главе приводятся базовые рабочие и расчетные формулы, с помощью которых на основе первичных экспериментальных данных (тока, напряжения, времени, геометрических размеров) вычисляются конечные физические величины, в частности коэффициенты адсорбции и массопереноса.

Важнейшей частью главы является математический расчет погрешностей измерений. Авторы детально обосновывают достоверность будущих результатов через расчеты случайных и систематических ошибок для теплопроводности, плотности и вязкости, что доказывает высокую точность и воспроизводимость разработанных экспериментальных методов.

Глава 2 доказывает приборную и методическую готовность автора к проведению надежного исследования. Она связывает теоретические задачи диссертации с реальными физическими измерениями, обеспечивая метрологическую чистоту полученных в работе данных.

Третья глава диссертационного исследования носит прикладной характер и полностью посвящена технологическим аспектам практического использования гидразина в качестве эффективного реагента для защиты металлов от коррозии на тепловых электростанциях. Основное внимание в работе уделено детальному изучению химической и технологической функций гидразина как деоксигенатора, обеспечивающего связывание растворенного в воде кислорода и предотвращающего развитие опасной кислородной коррозии оборудования и трубопроводов конденсатно-питательного тракта ТЭС. В рамках инженерно-технического анализа в главе описываются конкретные технологические схемы ввода реагента в поток питательной воды, а также рассматриваются вопросы автоматизации процессов его приготовления, что критически важно для обеспечения точности дозирования и производственной безопасности при работе с токсичными веществами. Важной составляющей

главы является описание режимных параметров водно-химического режима, технологии обработки воды и методик наладки гидразинного режима в условиях реальной эксплуатации. Таким образом, содержание третьей главы связывает фундаментальные теплофизические свойства растворов гидразина с практическими задачами промышленной теплоэнергетики, направленными на повышение надежности, долговечности и коррозионной стойкости теплоэнергетического оборудования ТЭС.

Третья глава посвящена результатам опытного исследования кинетических термодинамических и теплофизических свойств растворов нанопорошка гидразина.

Глава 4 посвящена комплексному анализу и систематизации массивов новых данных по теплофизическим, термодинамической (число Прандтля), реологическим (динамическая и кинемаческая вязкость) и массообменным (коэффициент адсорбции) свойствам исследуемых систем, а также степени их влияния на физико-химические свойств изученных веществ. С помощью экспериментально полученных данных динамической вязкости и плотности исследованных растворов рассчитаны коэффициент кинематической вязкости жидких растворов при различных параметрах состояния и концентрации, внедренных в теплоносителях нанопорошка гидразина. Кроме того, зная расчетные данные по динамической и кинематической вязкости рассчитаны критерии Прандтля. В ней последовательно раскрываются закономерности поведения сначала чистых бинарных растворов этиленгликоля с водой, а затем тех же систем, но уже модифицированных наноразмерными добавками порошка гидразина в широком диапазоне температур, давлений и концентраций. Автор детально демонстрирует, как именно введение наноструктурированного гидразина и изменения внешних параметров состояния (термического и барического факторов) влияют на сопряженные изменения теплопроводности, плотности и вязкостных характеристик полученных наножидкостей.

Глава 5 представляет собой логическое продолжение и завершение исследования, фокусируясь на математической обработке, моделировании и аналитическом обобщении всех накопленных опытных данных. В этой главе автор проводит компаративный (сравнительный) анализ результатов, выявляя степень их сходимости с теоретическими представлениями физики жидкого состояния. Центральное место здесь занимает разработка комплекса надежных аппроксимирующих уравнений состояния, в частности, адаптация и практическое применение уравнения типа Тейта для прецизионного численного моделирования и прогнозирования плотности, динамической и кинематической вязкости конденсированных наносистем под воздействием высоких давлений и температур.

Таким образом, результаты эксперимента не только подтверждают гипотезу о положительном влиянии наноразмерных модификаторов на теплофизические, термодинамические и реологические свойства исследуемых теплоносителей, но и подчеркивают важность учета гибкости и адаптивности

математических моделей (уравнений состояния типа Тейта) при описании их параметров. Это открывает новые перспективы для дальнейших исследований в области интенсификации процессов тепломассообмена при высоких параметрах состояния, а также для практического применения разработанных наносистем в энергетических установках и теплообменных комплексах, требующих внедрения высокоэффективных рабочих тел, способных стабильно функционировать в критических режимах

Замечания по диссертации:

Серьезных замечаний по диссертации нет.

С точки зрения норм русского языка следовало бы представить перевод на русский язык названия диссертации в виде: «Исследование теплофизических, термодинамических и реологических свойств теплоносителей с добавками нанопорошка гидразина».

Отмеченное замечание носят частный характер и не оказывают существенного влияния на общую научно-практическую ценность исследования. В целом, диссертация представляет собой самостоятельное и оригинальное научное исследование, которое вносит значительный вклад в развитие темы. Все ключевые положения работы аргументированы и обоснованы, что подчеркивает ее высокую научную значимость.

Заключение

Диссертационная работа Рафизода Саидбег Сами на тему «Исследование теплофизических, термодинамических и реологических свойств теплоносителей внедренных нанопорошка гидразина», представляет собой завершённое и логически стройное научное исследование, направленное на решение важной и актуальной проблемы в области теплофизики и теоретической теплотехники. Работа имеет высокую научную ценность как для теоретического, так и для практического аспектов теплофизики и теоретической теплотехники, поскольку затрагивает ключевые вопросы совершенствования методов экспериментального и аналитического исследования переносных и термодинамических свойств рабочих сред в условиях интенсивного развития нанотехнологий.

В выводах и рекомендациях, представленных автором, чётко прослеживаются научная обоснованность и соответствие современным физико-химическим парадигмам, ориентированным на разработку и внедрение высокоэффективных теплоносителей с регулируемыми свойствами. Результаты работы оказывают значительное влияние на дальнейшее развитие теплофизической науки и инженерной практики в сфере промышленной теплоэнергетики, а также имеют непосредственную практическую ценность для усовершенствования водно-химических режимов, предотвращения коррозии и оптимизации процессов тепломассообмена в конденсатно-питательных трактах теплоэлектростанций.

Диссертационное исследование полностью соответствует требованиям пунктов 8-10 «Порядка присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Республики Таджикистан от 28.08.2026 г. №591),

предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. На основании представленных в диссертации результатов, научной новизны, обоснованных выводов и практической значимости работы считаю, что автор **Рафизода Саидбег Сами** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2. Астрофизика, физика, электроника, фотоника, приборостроение и связь (2.2.32. Теплофизика и теоретическая теплотехника)

Официальный оппонент
Доктор технических наук,
профессор кафедры «Мехатроника
и технологические измерения»
Тамбовского государственного
технического университета С.В. Пономарев

29.10.2026г

Адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, дом 85/12, кв. 32.
Тел: 8-902-728-60-32
Эл. адрес: svponom68 @yandex.ru

Подпись профессора Пономарев С.В. заверяю:

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ТГТУ
Г.В. Мозгова
«29» октября 2026 г.

Адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, пом. 2.
Тамбовский государственный технический университет
Тел: 8 (4752) 631019
Эл. адрес: tstu@tstu.ru
«29» октября 2026 г.