

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Аетова Алмаза Ураловича «Теплофизические свойства веществ и закономерности процесса окисления молибденсодержащего промышленного водного стока в сверхкритических флюидных условиях», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертационная работа Аетова А.У. посвящена экспериментальному изучению таких теплофизических характеристик, как изобарная теплоемкость и коэффициент теплопроводности, применительно к промышленному молибденсодержащему водному стоку и его ключевым компонентам, а также исследованию закономерностей протекания процесса окисления указанного отхода в среде сверхкритических флюидов. Настоящий отзыв подготовлен по результатам анализа диссертации, автореферата и опубликованных соискателем научных трудов.

Актуальность темы диссертации

Проблема утилизации жидких отходов нефтехимических производств занимает одно из центральных мест в природоохранной повестке. С одной стороны, необходимо снижать техногенную нагрузку на окружающую среду, с другой – важно сохранять ценные компоненты, содержащиеся в стоках, возвращая их в хозяйственный оборот. Диссертант справедливо указывает, что традиционные окислительные технологии часто не обеспечивают требуемой степени очистки и приводят к безвозвратным потерям сырья. В этой связи метод сверхкритического водного окисления (СКВО) рассматривается как высокоэффективная альтернатива, позволяющая за короткое время полностью разрушать органические загрязнители до безвредных продуктов – воды и диоксида углерода.

Однако для перехода от лабораторных схем к промышленным установкам необходимо располагать надежными сведениями о

Уфимский университет науки и технологий		
Вх. №	1354-13	
« 07 »	04	20.26 г.

теплофизических свойствах перерабатываемых сред. Как показывает анализ литературы, выполненный автором, такие данные для реальных многокомпонентных стоков крайне ограничены; известны лишь отдельные характеристики некоторых компонентов (вода, этилбензол, фенол, монопропиленгликоль) в узких диапазонах параметров. Особенно остро ощущается недостаток информации о свойствах систем в околокритической и сверхкритической областях, а также для смесей повышенной компонентности. Восполнение этого пробела – важная научно-техническая задача, что делает диссертационную работу Аетова А.У., направленную на экспериментальное определение изобарной теплоемкости и теплопроводности исследуемого стока и его составляющих, безусловно актуальной.

Новизна научных результатов

Перечень новых научных результатов, изложенных Аетовым А.У. в диссертационной работе, достаточно широк. С точки зрения оппонента, наиболее важным и принципиальным из них является существенное пополнение базы данных по теплофизическим свойствам исследуемых объектов, необходимых на этапах моделирования, масштабирования и оптимизации полупромышленных и промышленных установок. В первую очередь, это новые экспериментальные данные по изобарной теплоемкости и коэффициенту теплопроводности монопропиленгликоля и его водного раствора, ацетофенона, а также молибденсодержащего промышленного водного стока в широком диапазоне температур и интервале давлений.

Стоит также подчеркнуть, что автором впервые получены данные по окислению органических компонентов молибденсодержащего промышленного водного стока кислородом воздуха в рамках процесса СКВО, реализованного в проточном режиме с индукционным нагревом реактора при различных температурах и коэффициентах избытка кислорода. Необходимо отметить и результаты интеллектуальной деятельности

соискателя, которые включают 4 патента РФ и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования

Теоретическая значимость работы заключается в получении новых экспериментальных данных по изобарной теплоемкости и коэффициенту теплопроводности монопропиленгликоля и его водного раствора, ацетофенона, а также молибденсодержащего промышленного водного стока ПАО «Нижнекамскнефтехим», что существенно пополняет базы данных по теплофизическим свойствам веществ. Практическая значимость подтверждается тем, что полученные автором результаты переданы на опытные производства и используются в научных и проектных разработках, что отражено в соответствующих актах о внедрении и использовании результатов диссертационного исследования Аетова А.У. (Приложение 1 в диссертационной работе).

Общая характеристика работы

Диссертационная работа имеет традиционную структуру и состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и шести приложений. Объём диссертации составляет 222 страницы, включая 74 рисунка и 33 таблицы. Список использованной литературы насчитывает 191 наименование, что свидетельствует о глубокой проработке научной и технической литературы по теме исследования.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и основные задачи исследования, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ современного состояния проблемы утилизации промышленных водных стоков, подробно рассмотрены возможности использования сверхкритических флюидных технологий, проведён экономический анализ затрат при реализации процесса

сверхкритического водного окисления (СКВО), на основе чего сделан вывод о перспективности данного метода.

Вторая глава посвящена изучению свойств воды в сверхкритическом состоянии, а также детальному анализу состава и особенностей образования молибденсодержащего стока ПАО «Нижекамскнефтехим» на примере процесса эпоксидирования олефинов с использованием молибденового катализатора. Рассмотрены существующие методы утилизации подобных отходов.

В третьей главе представлено описание экспериментальных установок и методик проведения исследований: по измерению изобарной теплоемкости и коэффициента теплопроводности, а также оригинальной установки для реализации процесса СКВО в проточном режиме с индукционным нагревом реактора.

Четвертая глава содержит результаты экспериментального исследования теплофизических свойств (изобарная теплоемкость и коэффициент теплопроводности) как отдельных компонентов стока, так и самого молибденсодержащего водного стока. Проведена оценка неопределенности измерений, выполнен анализ полученных данных и сформулированы соответствующие выводы.

Пятая глава посвящена исследованию закономерностей процесса утилизации промышленного водного стока методом СКВО. Установлено, что наибольшее влияние на эффективность реакции оказывают избыток кислорода и время пребывания стока в реакторе. На основе полученных данных выполнено прогнозирование эффективности утилизации в зависимости от температуры и коэффициента избытка кислорода, а также проведено моделирование процесса с использованием современных программных продуктов.

В заключении обобщены основные результаты диссертационной работы, сформулированы выводы, имеющие научное и практическое значение.

В приложениях представлены акты о внедрении результатов исследования, копии патентов и свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, протоколы хроматографического анализа, а также сведения о наиболее значимых достижениях соискателя.

Личное участие соискателя

Личный вклад автора заключается в разработке, создании и модернизации оригинальных экспериментальных установок: проточной установки для сверхкритического водного окисления с индукционным нагревом, установки для измерения коэффициента теплопроводности и установки для измерения изобарной теплоемкости. Соискатель непосредственно участвовал в проведении всех экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов, а также в формулировке выводов и подготовке публикаций.

Степень достоверности полученных результатов

Достоверность экспериментальных данных обеспечена использованием стандартизированных и апробированных методов исследования, применением современного сертифицированного оборудования, проведением калибровочных экспериментов на эталонных веществах, хорошей воспроизводимостью результатов и их согласованностью с имеющимися литературными данными в доступных диапазонах параметров, а также расчетом неопределенности результатов измерений. Обоснованность научных положений и выводов подтверждается корректным применением теоретических подходов и отсутствием противоречий с фундаментальными физическими закономерностями.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы прошли широкую апробацию. Они докладывались и обсуждались на многочисленных международных и всероссийских научных конференциях и форумах, включая такие авторитетные мероприятия, как XV Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ (Москва, 2018), Международная

научно-техническая конференция «Проблемы современной теплоэнергетики» (Липецк, 2024), Всероссийская конференция «XL Сибирский теплофизический семинар» (Новосибирск, 2024), Всероссийский форум «Енисейская теплофизика – 2025» (Красноярск, 2025), а также на регулярных научно-практических конференциях по сверхкритическим флюидным технологиям. По теме диссертации опубликовано 29 научных работ, в том числе 11 статей в изданиях, индексируемых в международных базах Web of Science и Scopus (из них одна в журнале первого квартиля и три – второго квартиля), 4 статьи в журналах базы RSCI, 9 статей в других рецензируемых журналах. Получено 4 патента РФ и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации написан в соответствии с установленными требованиями, его структура и содержание адекватно отражают основные идеи и выводы диссертационной работы. Сформулированные в автореферате научные положения, результаты экспериментальных исследований и выводы не противоречат материалам, изложенным в полном тексте диссертации. Опубликованные соискателем научные работы в достаточной мере освещают ключевые результаты выполненного исследования и соответствуют теме диссертации.

Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа Аетова А.У. соответствует паспорту научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника. Выполненное исследование охватывает следующие направления, предусмотренные паспортом специальности:

1. Экспериментальные исследования термодинамических и переносных свойств чистых веществ и их смесей в широкой области параметров состояния;

6. Экспериментальные исследования, физическое и численное моделирование процессов переноса массы, импульса и энергии в многофазных системах и при фазовых превращениях.

Отрасль наук – технические, что обусловлено прикладной направленностью работы и полученными практическими результатами.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Полученные в диссертации экспериментальные данные по теплофизическим свойствам веществ и закономерностям процесса СКВО могут быть рекомендованы для использования при проектировании и создании опытно-промышленных и промышленных установок утилизации жидких органических отходов нефтехимических производств. Разработанные методики исследования и полученные результаты целесообразно применять в качестве методологической основы при изучении других химических процессов, предполагающих использование сверхкритических флюидных сред, а также в учебном процессе при подготовке магистров и аспирантов соответствующих специальностей. Результаты работы могут быть включены в специализированные базы данных по теплофизическим свойствам веществ.

Замечания по работе

1. Во введении диссертационной работы при обосновании актуальности темы подробно рассмотрены преимущества метода СКВО, однако недостаточное внимание уделено технологическим трудностям его реализации. В частности, следовало бы отметить, что процесс требует создания и поддержания высоких давлений и температур, а высокая коррозионная активность сверхкритической водной среды обуславливает необходимость применения дорогостоящих коррозионно-стойких сплавов для изготовления реактора и соединительных элементов установки, что может существенно влиять на экономические показатели технологии.

2. В диссертации представлены результаты измерения теплофизических свойств (изобарная теплоемкость и коэффициент

теплопроводности) при температурах до 473 К и давлениях до 30 МПа. В то же время процесс сверхкритического водного окисления, исследованный в работе, реализуется при существенно более высоких температурах (673–873 К). Чем обусловлен выбор именно такого температурного диапазона для измерений?

3. В четвертой главе представлены результаты исследования теплофизических свойств компонентов водного стока. Автором детально изучена изобарная теплоемкость монопропиленгликоля и его 25 % водного раствора, тогда как ацетофенон исследован только в чистом виде. Хотелось бы получить пояснение, чем обусловлен выбор именно такого подхода, учитывая, что в реальном стоке данные компоненты присутствуют в смеси, и их свойства в растворе могут отличаться от свойств индивидуальных веществ.

4. В работе проведено исследование влияния ультразвукового эмульгирования на изобарную теплоемкость молибденсодержащих стоков, а также представлены экспериментальные данные процесса СКВО для эмульгированных и неэмульгированных образцов (глава 5, рисунки 5.5–5.12). Однако в дальнейшем тексте этот аспект упоминается лишь кратко. Остается не до конца ясным, какова цель этих исследований и какое значение полученные результаты имеют для понимания и оптимизации процесса утилизации стока.

5. В пятой главе упоминается разработанная соискателем программа для ЭВМ, предназначенная для расчета эффективности окисления компонентов промышленного стока, а в приложении 5 приведен график прогнозирования эффективности утилизации в зависимости от температуры и избытка кислорода. Оппонент полагает, что данная информация представлена недостаточно подробно. Было бы целесообразно привести сведения об используемых уравнениях, положенных в основу расчетов, а также о языках программирования и программной среде, в которой реализована программа.

6. Развивая предыдущее замечание, следует отметить, что пункт 3 пятой главы, посвященный технико-экономическому обоснованию предлагаемой технологии, также заслуживает более развернутого изложения. Учитывая важность экономических аспектов для последующего внедрения разработки в производство, детализация исходных данных, допущений и методики расчета существенно повысила бы ценность работы.

7. В тексте диссертации встречаются отдельные опечатки, грамматические погрешности и стилистически неудачные выражения (например, ошибки в окончаниях слов, пропуски или избыточное употребление знаков препинания). Указанные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на понимание материала, однако их отсутствие способствовало бы повышению качества работы.

Отмеченные замечания не затрагивают основных защищаемых положений, не снижают научной и практической ценности диссертационной работы и носят преимущественно рекомендательный характер. В целом диссертация представляет собой завершенное, серьезное и обширное научное исследование, выполненное на высоком уровне.

Заключение

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, изложены достаточно подробно и последовательно, стиль изложения не вызывает затруднений в понимании материала. Автореферат диссертации полностью отражает её основное содержание и полученные выводы. Оценивая диссертацию в целом, следует отметить, что постановка задач является четкой и полной, анализ экспериментальных данных выполнен обстоятельно, а окончательные выводы тщательно продуманы и в полной мере отражают научную и практическую составляющие выполненного исследования.

Диссертационная работа Аетова Алмаза Ураловича на тему «Теплофизические свойства веществ и закономерности процесса окисления молибденсодержащего промышленного водного стока в сверхкритических

флюидных условиях» является законченным научным исследованием, обладающим научной новизной и практической значимостью, что соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в текущей редакции). Считаю, что её автор Аетов Алмаз Уралович, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Я, Садыков Айдар Вагизович, даю согласие на обработку моих персональных данных и включение их в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку, а также на размещение персональных данных и моего отзыва на диссертацию на сайте ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» и в Федеральной информационной системе государственной научной аттестации (ФИС ГНА).

Официальный оппонент: Профессор кафедры высшей математики ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», доктор технических наук (1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника), доцент


Садыков Айдар Вагизович
02.04.2026

Рабочий почтовый адрес: 420043, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Телефон: 8-917-862-41-62.

e-mail: sadykov_av@mail.ru, sadykovav@kgasu.ru



Собственноручную подпись <i>А.В. Садыков</i>
удостоверяю Начальник Отдела кадров <i>С.В. [подпись]</i>
«02» апреля 2026 г. <i>Р.В.</i>