

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)



УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной  
работе и инновациям

д.т.н., Р.Р. Сафин

«13» 02 2024 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Казанский национальный  
исследовательский технологический университет»**

Диссертация «Термодинамические свойства систем и технологические закономерности двухстадийного процесса утилизации промышленного водного стока с рабочими средами в сверхкритическом флюидном состоянии» выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» на кафедре «Теоретические основы теплотехники».

В период подготовки диссертации соискатель Фан Куанг Мань являлся аспирантом очной формы обучения кафедры «Теоретические основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

В 2013 году окончил Ханойский политехнический университет по специальности «Техника механической динамики».

С 2019 по 2023 гг. обучался в аспирантуре ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника», специальности 1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Гумеров Фарид Мухамедович, заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

По итогам обсуждения диссертации Фан Куанг Маня «Термодинамические свойства систем и технологические закономерности двухстадийного процесса утилизации промышленного водного стока с рабочими средами в сверхкритическом флюидном состоянии» принято следующее **заключение**:

Проблема очистки промышленных водных стоков в мире, включая и РФ, достаточно остра, а ее решение актуально и в настоящем. Такова ситуация и применительно к развивающемуся Вьетнаму. Общий объем сточных вод, сбрасываемых на ее территории из промышленных зон, достигает ~3 млн. м<sup>3</sup> в сутки, из которых около 60 % сбрасывается непосредственно в каналы, пруды и озера, не проходя процесса очистки. При этом, применяемые во Вьетнаме технологии очистки промышленных водных стоков нередко и даже часто отстают по эффективности от уже зарекомендовавших себя современных подходов. Используемые во Вьетнаме методы очистки включают: биологический метод, применяемый для удаления аммиачных веществ из сточных вод предприятий, занятых переработкой кофе и производящих лапшу быстрого приготовления, пиво и молоко; химический метод, используемый для очистки сточных вод на заводах гальванических покрытий и производства типографских красок; и механический метод, применяемый на целлюлозно-бумажных предприятиях. Тогда как, к примеру, такие современные подходы, как сверхкритическая флюидная (СКФ) экстракция и окисление нечистот водного стока в СКФ условиях (СКВО), зарекомендовавшие себя как наилучшие из существующих применительно к задаче выделения и уничтожения, и в частности, особо вредных токсичных соединений, содержащихся, в том числе и в почве, во Вьетнаме до сих пор не рассматривались. Напомним, что экологические проблемы этой красивой страны с удивительной природой в части

присутствия тех самых токсичных соединений в водах и почве имеют не только техногенное происхождение, свойственное мирному времени.

Учитывая, что промышленные водные стоки нередко высоко нагружены и, в том числе ценными химическими соединениями и металлами, то общепринятый вариант технологии утилизации как правило предполагает двухстадийность и сочетает в себе этапы выделения и последующей очистки стока до требований пригодности воды для технических нужд. Именно этот вариант, применительно к задаче утилизации молибденсодержащего водного стока, образующегося на стадии эпоксидирования пропилена в производстве стирола ПАО «Нижекамскнефтехим» и явился объектом настоящего исследования. Высокая эффективность СКФ экстракционного процесса для систем I-II типов фазового поведения при полном отсутствии представлений об интенсифицирующих процесс факторах существенно повышает значимость термодинамической части результатов исследования.

**Научная новизна** заключается в следующем:

1). Получены новые экспериментальные данные по фазовому равновесию систем «CO<sub>2</sub> – ацетофенон» и «CO<sub>2</sub> – ацетон».

2). Экспериментальные данные по фазовому равновесию систем «CO<sub>2</sub> – бензиловый спирт» и «C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> – бензиловый спирт» получены впервые. Установлено изменение типа фазового поведения с V на I-II при замене диоксида углерода на пропан, выступающих в качестве легколетучей компоненты указанных бинарных систем.

3). Экспериментальное исследование растворимости ацетона в диоксиде углерода в СКФ области состояния за пределами бинодали на изолинии с критическим значением концентрации компонентов бинарной системы проведено впервые.

4). Впервые получены экспериментальные данные по «псевдорастворимости» [1] ацетона в диоксиде углерода в СКФ области состояния за пределами бинодали.

5). Получены новые экспериментальные данные по изобарной теплоемкости метилфенилкарбинола (1-фенилэтанол) в широком диапазоне температур и давлений.

6). Экспериментальные данные по влиянию гетерогенных катализаторов различной физико-химической природы на окисляемость органических соединений молибденсодержащего промышленного водного стока в СБКФ и СКФ условиях реализации процесса получены впервые.

**Теоретическая значимость** заключается в том, что данные по термодинамическим свойствам систем прикладных технологий, в которых химические реакции протекают в сверхкритических флюидных условиях, связанных с очисткой сточных вод, составят базу данных теплофизических свойств веществ и материалов. Вышеуказанные данные в сочетании с результатами технологического процесса необходимы на этапах моделирования, оптимизации и масштабирования перспективной технологии очистки промышленных водных стоков.

**Практическая значимость** полученных результатов заключается в том, что термодинамические свойства и технологические решения, связанные с переработкой молибденсодержащих водных стоков, внесены в базы данных АО «Татнефтехиминвест-холдинг».

**Личный вклад автора** состоит в разработке и создании оригинальной экспериментальной установки для исследования растворимости веществ в суб- и сверхкритических флюидных условиях, модернизации экспериментального стенда сверхкритического водного окисления путем добавления каталитического блока, обусловившей появление возможности для осуществления каталитического процесса окисления, а также в непосредственном проведении экспериментальных исследований и анализе полученных результатов.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных положений и выводов, а также четкостью изложения.

В диссертации соискатель Фан К.М. ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

Материалы диссертации опубликованы в 4 статьях, в том числе в 2 статьях в научных журналах перечня ВАК РФ и 2 статьях, входящих в базу данных Scopus.

***Из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК РФ:***

1. К.М. Фан, С.В. Мазанов, Р.Р. Накипов, З.И. Зарипов, Р.А. Усманов, Ф.М. Гумеров. Фазовое поведение бинарных систем, включающих основные компоненты молибденсодержащего водного стока ПАО «Нижнекамскнефтехим» (Нижнекамск) и потенциальный экстрагент, используемый в сверхкритическом флюидном состоянии / Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2022. Т.78. № 1. С. 31-37.

2. К.М. Фан, С.В. Мазанов, Р.Р. Накипов, З.И. Зарипов, Ф.М. Гумеров. Фазовые равновесия бензилового спирта с диоксидом углерода и пропаном / Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2023. Т.79. № 1. С. 47-50.

***Работы, входящие в базу данных Scopus:***

1. Sergei V. Mazanov, Quang M. Phan, Almaz U. Aetov, Zufar I. Zaripov, Valentina L. Starshinova, Ernest A. Karalin, Rustem A. Usmanov, Farid M. Gumerov, Ilmutdin M. Abdulagatov. Heterogeneous Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Water Oxidation of Organic Pollutants in Industrial Wastewaters Effect of Operational Parameters / Symmetry 2023. Vol. 15. No 340. P. 1-23. SCOPUS. Q2.

2. С.В. Мазанов, К.М. Фан, А.У.Аетов, Р.А.Усманов, З.И. Зарипов, А.А. Шинкарев, Э.А. Каралин, Ф.М. Гумеров. Окисление органических соединений в сверхкритических флюидных условиях в рамках задачи утилизации промышленных водных стоков ПАО «Нижнекамскнефтехим» и ПАО «Казаньоргсинтез» / Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 4. С. 10-16. SCOPUS. Q2.

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих конференциях: XXIV Всероссийская конференция молодых

учёных-химиков (с международным участием) (Нижний Новгород, 20-22 апреля 2021г.); IX Российская студенческая научно-техническая конференция: «Вакуумная техника и технология». 12-15 апреля 2021 г., г. Казань; XI научно-практическая конференция с международным участием «Сверхкритические флюиды: фундаментальный основы, технологии, инновации», 21-25 июня 2021 г., г. Новосибирск; XIII Всероссийская школа-конференция молодых ученых им. В.В. Лунина «Сверхкритических флюидные технологии в решении экологических проблем», 27 июнь - 30 июня 2022 г., г. Архангельск.

**Научная специальность, которой соответствует диссертация.**

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.4.6 в части пункта 1 - «Теплофизические свойства чистых веществ и их смесей, включая флюидонасыщенные горные породы, в широкой области параметров состояния; связи между строением веществ и их феноменологическими свойствами; методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях», и в части пункта 3 - «Процессы взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом; совместный перенос массы, импульса и энергии в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси».

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Фан К.М. является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Фан К.М. Они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора Фан К.М., актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Термодинамические свойства систем и технологические закономерности двухстадийного процесса утилизации промышленного водного стока с рабочими средами в сверхкритическом флюидном состоянии» содержит решение задачи, имеющей значение для оптимизации и масштабирования процессов утилизации промышленных отходов в сверхкритической воде. Диссертация соответствует требованиям ВАК РФ и может быть представлена к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 – «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Диссертация Фан Куанг Маня рассмотрена и обсуждена на расширенном заседании кафедры «Теоретические основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», состоявшемся «13» февраля 2024 г., протокол № 9.

Принимали участие в голосовании 22 человека. Результаты голосования: «За» - 22 человека, «Против» - нет, «Воздержались» - нет, протокол № 9 от «13» февраля 2024 г.

Председатель заседания

  
подпись

д.т.н., проф. ТОТ  
ФГБОУ ВО «КНИТУ»

З.И. Зарипов

Секретарь

  
подпись

к.т.н., доцент каф. ТОТ  
ФГБОУ ВО «КНИТУ»

И.И. Гильмутдинов

