

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

на диссертационную работу Фан Куанг Мань на тему

«Термодинамические свойства систем и технологические

закономерности двухстадийного процесса утилизации промышленного

водного стока срабочими средами в сверхкритическом флюидном

состоянии»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических

наук по специальности

2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника»

Диссертация Фан Куанг Мань посвящена экспериментальным исследованиям, включающим в себя определение теплофизических свойств и проведение реакции окисления в сверхкритических флюидных условиях. Отзыв официального оппонента составлен на основе ознакомления с диссертационной работой, авторефератом и публикациями соискателя.

### **Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа посвящена актуальной на сегодняшний день теме – решению экологических проблем в части очистки промышленных сточных вод и определению свойств веществ и материалов, на примере компонентов отходов, получаемых на ПАО «Нижекамскнефтехим», которые в последующем будут необходимы на этапе промышленного освоения предлагаемых в работе технологий, использующих в своей основе среды в суб- и сверхкритических флюидных (СКФ) условиях. Полученные в работе данные будут актуальны для развития научных представлений и технологий для Вьетнама – родины соискателя.

### **Новизна научных результатов**

Перечень новых научных результатов, представленных в диссертационной работе Фань Куанг Мань, довольно широк. В первую очередь, это полученные новые экспериментальные данные по фазовому

равновесию систем «CO<sub>2</sub> – ацетофенон» и «CO<sub>2</sub> – ацетон»; экспериментальные данные по фазовому равновесию систем «CO<sub>2</sub> – бензиловый спирт» и «C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> – бензиловый спирт». Новизной обладает установление изменения типа фазового поведения с V на I-II при замене диоксида углерода на пропан, выступающих в качестве легколетучей компоненты. Также стоит отметить, что экспериментальное исследование растворимости ацетона в CO<sub>2</sub> в СКФ области состояния за пределами бинодали на изолинии с критическим значением концентрации компонентов бинарной системы проведено впервые. Актуальными и новыми также являются исследования окисления молибденсодержащих водных отходов кислородом воздуха в рамках процесса каталитического сверхкритического водного окисления в проточном режиме и с использованием индукционного нагрева реактора.

Максимально важным и существенным фактором является то, что полученные данные помогут в решении вопроса оптимизации самого процесса и его последующего моделирования и масштабирования в крупнотоннажное производство.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация Фан К.М. состоит из введения, 7 глав, заключения, списка использованной литературы (139 наименований) на 147 страницах, содержит 54 рисунка, 19 таблиц, 1 приложение.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, охарактеризована научная новизна и практическая значимость.

В первой главе диссертационной работы представлен обзор по способам очистки сточных вод, в том числе показаны варианты извлечения ценных компонентов из промышленных стоков. В главе показана роль растворимости, проводимой в СКФ условиях, на взаимодействие интенсивных потоков энергии с веществом и на массообменные процессы.

Во второй главе диссертации рассмотрены примеры влияния гомогенного и гетерогенного катализа на эффективность окисления в сверхкритических флюидных условиях. Приведены преимущества применения гетерогенного катализа.

В третьей главе диссертации приведен обзор по термодинамическим основам процесса СКФ экстракционного извлечения ценных органических соединений промышленного водного стока на примере исследуемого стока, образующегося на одном из производств ПАО «Нижекамскнефтехим».

В четвертой главе диссертационной работы приведено описание экспериментальных установок, предназначенных для исследования термодинамических свойств систем, участвующих в процессе утилизации промышленного водного стока, и соответствующие методики.

5 глава диссертации посвящена результатам экспериментальных исследований термодинамических свойств и их анализу. Особое внимание уделено понятию «псевдорастворимости», которое ранее не встречалось в работах других авторов, что говорит о научных основах нового представления в области растворимости веществ.

6 глава диссертации посвящена описанию экспериментального стенда и методики по осуществлению каталитической реакции окисления.

7 глава содержит результаты экспериментальных исследований по реакции окисления. Рассмотрены различные факторы ускорения реакции: количество используемого кислорода, используемые различные гетерогенные катализаторы и др.

В заключении приводятся четко сформулированные выводы, достаточно убедительно обоснованные в диссертационной работе.

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов исследования**

Полученные в работе результаты внедрены в базы данных на ОАО «Татнефтехиминвест - холдинг», о чем свидетельствует акт об использовании результатов диссертационной работы Фан К.М.

Представленные данные по термодинамическим свойствам систем, участвующих на этапе экстракционного извлечения ценных компонентов стока, и технологических закономерностей гетерогенного каталитического окисления органических соединений стока, осуществляемого в сверхкритических флюидных условиях, важны на этапе моделирования процесса и масштабирования самой технологии и используемой аппаратуры от размеров пилотной установки до промышленного уровня.

#### **Личное участие соискателя**

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

#### **Степень обоснованности и достоверности полученных результатов**

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждается использованием общепринятых методов исследования равновесных свойств и осуществления химических реакций, проведением контрольных измерений, для которых имеются надежные экспериментальные данные, а также использованием современной аттестованной измерительной аппаратуры и расчетом погрешностей результатов измерений.

#### **Апробация работы**

Результаты исследований рассматривались на международных и всероссийских конференциях. Это 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: фундаментальные 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 - 30 июня 2022 г., г. Архангельск.

Результаты диссертации были опубликованы в 4 статьях, из них: 2 научные статьи в журналах перечня ВАК Минобрнауки России по искомой специальности; 1 зарубежная публикация, входящая в Scopus; 1 отечественная публикация, входящая в Scopus.

#### **Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Содержание автореферата и сформулированные в нем выводы полностью соответствуют результатам исследования, изложенным в диссертации.

#### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» 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».

#### **Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы**

Разработанные методы экспериментальных и теоретических исследований могут быть предложены при совершенствовании промышленных установок по переработке водных отходов в суб- и сверхкритических флюидных условиях. Представленные результаты могут

стать методологической основой для наблюдения за различными химическими реакциями, протекающими в сверхкритических условиях.

### **Замечания по работе**

1. Чем обусловлено предпочтение к I-II типам фазового поведения систем «целевая компонента–экстрагент» при осуществлении сверхкритического флюидного экстракционного процесса, как первого этапа утилизации промышленного водного стока?

2. Как соотносятся величины растворимости веществ, формирующих с диоксидом углерода I-II и V типы фазового поведения (к примеру, растворимости ацетона и воды в  $\text{CO}_2$ ) ?

3. Чем обоснован выбор динамического метода исследования растворимости? Для систем I-II типов фазового поведения, на мой взгляд, статический метод был бы более предпочтительным. Какие сложности выявились в ходе экспериментальных работ при использовании динамического метода исследования растворимости?

4. Каково фазовое состояние бинарной системы «растворяемое–растворитель» в сверхкритической флюидной области состояния при реализации режима «псевдорастворимости»?

5. Можно ли утверждать, что осуществление каталитической реакции окисления в СКФ условиях оправдано с точки зрения экономической целесообразности?

6. Имеются незначительные орфографические, пунктуационные и стилистические ошибки в самой диссертации.

В целом, несмотря на имеющиеся замечания, работа представляет серьезное и обширное научное исследование, выполненное на хорошем уровне, а указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертационная работа Фан Куанг Мань на тему «Термодинамические свойства систем и технологические закономерности двухстадийного

процесса утилизации промышленного водного стока с рабочими средами в сверхкритическом флюидном состоянии», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему.

Диссертационная работа Фан Куанг Мань на тему «Термодинамические свойства систем и технологические закономерности двухстадийного процесса утилизации промышленного водного стока с рабочими средами в сверхкритическом флюидном состоянии» соответствует всем требованиям п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842 (ред. от 18.03.2023), предъявляемым на соискание ученой степени кандидата технических наук. Считаю, что её автор Фан Куанг Мань заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Я, Садыков Айдар Вагизович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Фан Куанг Мань, и их дальнейшую обработку.

**Официальный оппонент,**

доктор технических наук

(1.3.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»), доцент,  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»,

профессор кафедры

«Высшая математика»



Собственноручную подпись <i>А.В. Садыкова</i>
удостоверяю
Начальник Отдела кадров <i>Ф.И.О. Замурин</i>
« 31 » 05 2024 г. <i>Р.Р.</i>

 Садыков Айдар Вагизович

420043, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», Институт транспортных сооружений

Тел.: 8-917-862-41-62, e-mail: sadykov\_av@mail.ru, sadykovav@kgasu.ru