

## **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»

Настоящий отзыв составлен на основе ознакомления с диссертацией, авторефератом и работами соискателя, опубликованными в научной печати по теме диссертации.

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Проблема очистки промышленных сточных вод актуальна во всем мире, в том числе, как в Российской Федерации, так и во Вьетнаме, откуда родом сам соискатель. При этом стоит отметить, что технологии очистки промышленных сточных вод зачастую отстают по эффективности от современных, уже проверенных методов. Рассмотренный в работе современный метод, основанный на использовании сверхкритических флюидных (СКФ) сред, является одним из лучших способов уничтожения особо вредных токсичных соединений.

Основная причина ограниченности использования перспективных процессов для сред, находящихся в сверхкритическом флюидном состоянии, среди различных технологий, в том числе связанных с очисткой промышленных сточных вод, часто связана с отсутствием термодинамических и теплофизических свойств систем, участвующих в намеченных процессах, что вкупе с результатами по уничтожению промышленных стоков делают работу актуальной.

### **Основное содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка использованной литературы (139 наименований) на 147 страницах, содержит 54 рисунка и 19 таблиц.

Введение демонстрирует актуальность диссертационной работы, излагает цели и задачи, отражает научную новизну и практическую значимость.

В первой главе описано влияние промышленных сточных вод на окружающую среду и представлены современные методы очистки

промышленных сточных вод. Особое внимание уделено методам очистки сточных вод, содержащих промышленно ценные компоненты.

В главе 2 диссертации рассмотрена возможность использования различных катализаторов для окисления органических компонентов промышленных сточных вод в условиях СКФ состояния.

В третьей главе представлены термодинамические основы очистки промышленных водных стоков и молибденсодержащего в том числе, с использованием рабочих сред в СКФ состоянии. В частности, основное внимание уделяется термодинамическим условиям, обеспечивающим определенную степень смешивания очищенных сточных вод и СКФ экстрагента в рассматриваемом процессе.

В главе 4 диссертации описаны экспериментальная установка и соответствующие методики, используемые для определения термодинамических свойств систем, участвующих в процессе переработки промышленных сточных вод.

Глава 5 знакомит с результатами фазовых равновесий бинарных систем «бензиловый спирт -  $\text{CO}_2$ », растворимости и, так называемой, «псевдорастворимости» ацетона в  $\text{CO}_2$ , а также приведена изобарная теплоемкость метилфенилкарбинола.

Глава 6 посвящена описанию стенда и методики реализации каталитического сверхкритического водного окисления.

Глава 7 содержит результаты экспериментальных исследований по каталитическому сверхкритическому водному окислению.

В заключении приведены основные выводы по проделанной работе.

### **Научная новизна полученных результатов**

1. Получены новые экспериментальные данные по фазовому равновесию систем « $\text{CO}_2$  – ацетофенон» и « $\text{CO}_2$  – ацетон».

2. Экспериментальные данные по фазовому равновесию систем « $\text{CO}_2$  – бензиловый спирт» и « $\text{C}_3\text{H}_8$  – 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  $\text{CO}_2$  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» ацетона в диоксиде углерода в СКФ области

состояния за пределами бинодали.

5. Получены новые экспериментальные данные по изобарной теплоемкости метилфенилкарбинола 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, образующегося на стадии эпоксидирования пропилена в производстве стирола на ПАО «Нижнекамскнефтехим» в суб- и СКФ условиях реализации процесса получены впервые.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Полученные эмпирические данные по термодинамическим свойствам систем прикладных технологий, в которых химические реакции протекают в сверхкритических флюидных условиях, связанных с очисткой сточных вод, пополняют базу данных по свойствам исследуемых веществ. Эти данные в сочетании с результатами технологического процесса будут необходимы на этапах моделирования, оптимизации и масштабирования перспективной технологии очистки промышленных водных стоков. Полученные результаты исследования уже внедрены в базы данных на ОАО «Татнефтехиминвест - холдинг».

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов**

Диссертантом использовались общепринятые методы экспериментального исследования и современная измерительная аппаратура. Работоспособность экспериментальных установок, корректность использованных методик проведения эксперимента подтверждена согласованностью полученных результатов экспериментов с данными из литературы. В работе проведена оценка неопределенности значений результатов измерений.

### **Личное участие соискателя**

Личный вклад Фан Куанг Мань состоит в разработке методик исследования, в создании и модернизации экспериментальных установок (внедрение каталитического реактора в проточную установку по уничтожению сточных вод), в непосредственном проведении экспериментальных исследований на них и анализе полученных результатов.

## **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях, соответствующих тематике специальности.

По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них: 2 научные статьи в журналах перечня ВАК Минобрнауки России; 1 зарубежная публикация, входящая в Scopus; 1 отечественная публикация, входящая в Scopus, остальные результаты отражены в материалах на различных конференциях.

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

Автореферат выдержан по форме и объему и отражает основные положения диссертационной работы.

## **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа Фан Куанг Мань 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**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке или усовершенствованию коммерческих установок по переработке промышленных водных отходов в сверхкритических условиях среды, обеспечивая минимизацию отходов и улучшая экологическую обстановку; а также различным базам данных по теплофизическим свойствам (NIST, PPDS, TPDS, DDBST) в качестве новых экспериментальных данных по свойствам чистых веществ и многокомпонентных систем.

## **Замечания по диссертационной работе**

1. Каковы погрешности экспериментальных данных по концентрации легколетучей компоненты на жидкостной и паровой ветвях фазовых

равновесий для исследованных систем и каковы причины существенного разброса данных на жидкостной ветви фазового равновесия бинарной системы «СО<sub>2</sub> – бензиловый спирт»?

2. Как соотносятся параметры критической точки бинарной системы «СО<sub>2</sub> – ацетон», явившиеся предметом исследования, с условиями наблюдения критической опалесценции, если таковое имело место, как в приведенном случае для системы «СО<sub>2</sub> – ацетофенон»?

3. В какой степени исходная концентрация смеси «СО<sub>2</sub> – ацетон» выдерживалась постоянной в процессе исследования растворимости?

4. В автореферате и тексте диссертации отсутствуют пояснения о движущей силе и механизме переноса растворяемого вещества в сепаратор при реализации режима «псевдорастворимости».

5. Чем обусловлен волнообразный характер кинетической кривой (рис. 5.9 диссертации) применительно к режиму «псевдорастворимости» в сопоставлении с той же, но гладкой кинетической кривой (рис. 5.6 диссертации) в случае режима равновесной растворимости?

6. Оценивалась ли дезактивации гетерогенных катализаторов в результате осуществления реакции окисления органических компонентов водного стока в сверхкритических флюидных условиях?

7. Существуют ли по результатам выполненной диссертационной работы представления о предпочтительном методе концентрирования неорганического молибденсодержащего остатка водного стока ПАО «Нижекамскнефтехим»?

Отмеченные замечания не затрагивают основного содержания и положений, выносимых соискателем на защиту. Они не снижают научной и практической ценности диссертационной работы Фан Куанг Мань и не влияют на ее общую положительную оценку.

### **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», на соискание ученой степени кандидата технических наук является законченной научно-квалифицированной работой, выполненной автором на высоком научном уровне.

По объему исследований, актуальности, научной новизне и практической значимости 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 требованиям пунктов 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 и представляет собой научно-квалификационную работу направленную на решение задач, которые имеют существенное значение для развития страны, а именно для развития теоретических и прикладных аспектов очистки промышленных стоков с применением процесса сверхкритического водного окисления, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Я, Александров Игорь Станиславович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Фан Куанг Мань (соискателя), и их дальнейшую обработку.

#### **Официальный оппонент**

Доктор технических наук (01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника), доцент, Директор института морских технологий, энергетики и строительства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,



Александров Игорь Станиславович

15.05.2024

236022, Северо-Западный федеральный округ, Калининградская обл., г. Калининград, Советский проспект, д. 1, тел.: +7-909-730-09-95, email: alexandrov\_kgrd@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет».

Подпись Александрова Игоря Станиславовича заверяю

Ученый секретарь  
ФГБОУ ВО «КГТУ»



И.В. Свирдюк