

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от «20» июня 2024 г., № 8

О присуждении Фан Куанг Мань, гражданину Социалистической Республики Вьетнам, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Термодинамические свойства систем и технологические закономерности двухстадийного процесса утилизации промышленного водного стока с рабочими средами в сверхкритическом флюидном состоянии» по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника принята к защите «18» апреля 2024 г. (протокол заседания № 7) диссертационным советом 24.2.310.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, приказ № 836/нк от 20.04.2023 г.

Соискатель Фан Куанг Мань, «20» мая 1985 года рождения.

В 2023 г. соискатель окончила аспирантуру ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета» по направлению подготовки 13.06.01 «Электро - и теплотехника» (диплом 101624 0920886, регистрационный номер А-413).

Работает в должности лаборанта кафедры «Теоретические основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского

технологического университета».

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретических основ теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

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

Официальные оппоненты:

1. Александров Игорь Станиславович, доктор технических наук, доцент, директор «Института морских технологий, энергетики и строительства», ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград.

2. Садыков Айдар Вагизович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» г. Казань, в своём положительном отзыве, подписанном проректором по научной и инновационной деятельности д.т.н., доцентом Бабушкиным Виталием Михайловичем, и.о. заведующего кафедрой «Теплотехники и энергетического машиностроения», д.т.н., профессором Гортышовым Юрием Федоровичем, д.т.н., профессором кафедрой «Теплотехники и энергетического машиностроения» Поповым Игорем Александровичем указала, что полученные в работе эмпирические данные по свойствам изученных систем составят базу данных теплофизических и термодинамических свойств веществ, их смесей и материалов, которые в сочетании с результатами технологического процесса будут необходимы на этапах моделирования, оптимизации и масштабирования

будут необходимы на этапах моделирования, оптимизации и масштабирования разрабатываемых технологий очистки промышленных водных стоков. В заключении отзыва указано, что диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Фан Куанг Мань, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ общим объемом 3,187 печатных листа и авторским вкладом 0,479 печатных листов; из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus опубликовано 2 работы, объёмом 1,875 печатных листов и авторским вкладом 0,214 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России по специальности диссертации опубликовано 2 работы, объёмом 0,687 печатных листа и авторским вкладом 0,123 печатных листа; в материалах и тезисах российских и международных научных конференций опубликовано 4 работы общим объёмом 0,625 печатных листа и авторским вкладом 0,142 печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

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.

3. **Q.M. Phan**, S.V. Mazanov, A.U. Aetov, Z.I. Zaripov, V.L. Starshinova, E.A. Karalin, R.A. Usmanov, F.M. Gumerov, I.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.

4. **К.М. Фан**, С.В. Мазанов, 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 «Нижекамскнефтехим» и ПАО «Казаньоргсинтез» / Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 4. С. 10-16.

5. **К.М. Фан**, С.В. Мазанов, Р.Р. Накипов, З.И. Зарипов, Ф.М. Гумеров. Исследование фазового состояния термодинамической системы  $\text{CO}_2$  – ацетофенон в околокритической области состояния / XIII Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Сверхкритические флюидные технологии в решении экологических проблем», 27–30.06.22, г. Архангельск.

6. **Фан К.М.**, Аетов А.У., Мазанов С.В. Усманов Р.А., Гумеров Ф.М. Утилизация сточных вод процесса эпоксидирования пропилена в сверхкритической воде с использованием гетерогенных катализаторов / XI Научно-практическая конференция с международным участием «Сверхкритические флюиды: фундаментальные основы, технологии, инновации», 21–25.06.21, г. Новосибирск.

7. **К.М. Фан**, А.У. Аетов, С.В. Мазанов, Р.А. Усманов, Ф.М. Гумеров. Гетерогенно-каталитическое обезвреживание промышленного водного отхода завода по производству стирола и полиэфирных смол с применением сверхкритических флюидных технологий / XIII Всероссийская школы-

конференции молодых ученых им. В.В. Лунина «Сверхкритические флюидные технологии в решении экологических проблем», 27–30.06.22, г. Архангельск.

8. **Фан К.М.**, Аетов А.У., Усманов Р.А. Исследование каталитического процесса утилизации сложносоставного отхода эпоксидирования пропилена с использованием сверхкритических флюидных сред / Седьмая Российская научно-техническая студенческая конференция «Интенсификация тепло-массообменных процессов в химической технологии», 27.11.20, г. Казань.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов. Все они положительные, с замечаниями – 4.

Отзывы прислали:

1. Кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории сверхкритических флюидных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» Ивахнов Артем Дмитриевич.

*Замечания:*

1) Ввиду высоких температур и давлений, необходимых для достижения сверхкритических параметров по воде ( $P \geq 22$  МПа,  $T \geq 647$  К), целесообразно ли будет в экономическом плане использовать данную технологию на промышленном уровне, каков будет срок окупаемости?

2) Не приведено никакого математического описания полученных данных по растворимости, что показало бы большую корректность эксперимента с теорией и только усилило бы работу.

2. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Энергообеспечения предприятий» ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» Медяков Андрей Андреевич.

*Замечание:*

Из текста автореферета не совсем понятно определение термина «псевдорастворимость». В чем её особенность и чем она отличается от понятия «растворимость»?

3. Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Лаборатории механики сплошной среды ИММ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН Саламатин Артур Андреевич.

*Замечание:*

Из текста автореферата не понятно, как достигалась равномерность прохождения потока  $\text{CO}_2$  через слой жидкости (рис. 2), ведь, как известно, газ найдя кратчайший путь наружу будет стремиться уносить только ту часть жидкости, что контактирует с ней, а та жидкость, что будет находиться вдали от потока останется в невозмущенном состоянии, что повлечет к заниженным результатам по растворимости.

4. Кандидат технических наук, эксперт по промышленной безопасности службы Директора по ОТиПБ на ПАО «Нижнекамскнефтехим» Хазипов Марат Рифович.

*Замечание:*

На рис. 2 автореферата изображена схема экспериментальной установки для исследования растворимости веществ в сверхкритических флюидных средах, судя по картинке в стеклянную колбу (поз. 10) попадают  $\text{CO}_2$  и исследуемое вещество, при этом ничего не сказано, колба закрыта или нет, если, поступившая в нее смесь, сопряжена с атмосферным воздухом, то неизбежны потери массы путем испарения, что может привести к искажающим результатам по определению искомой растворимости.

5. Доктор технических наук, профессор факультета биологии и биотехнологии, кафедры биофизики, биомедицины и нейронауки РГП «Казахского национального университета им. Аль-Фараби» Шаповалов Юрий Александрович.

Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и их квалификацией определять научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Александров Игорь Станиславович - доктор технических наук по специальности 01.04.14- Теплофизика и теоретическая теплотехника, является крупным специалистом в области моделирования термодинамических свойств и фазовых равновесий углеводородов и многокомпонентных углеводородных смесей на основе фундаментальных уравнений состояния, автор 89 научных работ, среди них 2 монографии.

Официальный оппонент Садыков Айдар Вагизович - доктор технических наук по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника, является специалистом в области численного исследования сложного теплообмена в технологических трубчатых печах, автор более 160 научных и научно-методических работ, в том числе 2 монографий. Награжден Почетной грамотой Министерства образования и науки РФ, присвоено почетное звание «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».

Выбор ведущей организации – ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань обусловлен тем, что организация широко известна своими достижениями в области тепломассообмена и гидрогазодинамики, а также в области сверхкритических флюидных технологий. Обладая мощным научным потенциалом и существенным опытом практической деятельности, способна оценить научную и практическую ценность диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** экспериментальная установка для исследования растворимости в динамическом режиме в околокритической области состояния бинарных систем I - VII типов фазового поведения, предполагающая в условиях экспериментов, как наличие, так и отсутствие границы раздела фаз;

**предложены** оптимальные условия ( $T = 873,15 \text{ K}$ ;  $P=22,5 \text{ МПа}$ ;  $\tau = 2,91 \text{ мин}$ ; коэффициент избытка кислорода = 3) ведения процесса сверхкритического водного окисления разбавленного водного стока с использованием гетерогенных катализаторов на основе оксидов металлов (Fe-As, Fe-OH, Mn-

А1);

**доказана** большая эффективность работы экспериментальной установки с проточным реактором, индукционным нагревом и с использованием гетерогенных гранулированных катализаторов, в сопоставлении с некаталитическим вариантом осуществления процесса;

**введено** уточненное понятие «псевдорастворимости» как неравновесной характеристики эффективности экстракционного процесса, осуществляемого в сверхкритических флюидных условиях для систем I-II типа фазового поведения и рассматриваемого как технологический параметр, величина которой определяется неравновесными характеристиками процесса, включая и превышение внутреннего объема измерительной ячейки объемом термодинамической системы в условиях эксперимента.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**изложены** впервые в рамках настоящего исследования результаты по: фазовым равновесиям бинарных систем «диоксид углерода - бензиловый спирт» и «пропан - бензиловый спирт» для температурного диапазона 313,15 – 383,15 К и давлений до 20 МПа; растворимости ацетона в сверхкритическом диоксиде углерода, обеспечивающего I-II тип фазового поведения за пределами бинодали при  $T = 313,15$  К в диапазоне давлений от 8,82 до 19,6 МПа; «псевдорастворимости» ацетона в диоксиде углерода для системы I-II типа фазового поведения в сверхкритической флюидной области состояния за пределами бинодали, а также результаты по изобарной теплоемкости метилфенилкарбинола в диапазоне температур  $T = 323 - 473$  К при давлениях до 24,5 МПа, которые необходимы на этапах моделирования и оптимизации разрабатываемого процесса окисления промышленных водных стоков;

**доказано**, что при исследовании фазового равновесия бинарных систем «диоксид углерода-бензиловый спирт» и «пропан-бензиловый спирт» замена диоксида углерода на пропан привела к изменению типа фазового поведения с V на предпочтительный I-II тип;

**доказано**, что безграничная смешиваемость компонентов для



сверхкритической флюидной области состояния за пределами бинодали для бинарной системы I-II типа фазового поведения не является признаком их полной взаимной растворимости;

**раскрыта** зависимость изменения изобарной теплоемкости метилфенилкарбинола в диапазоне температур  $T = 323 - 473$  К при давлениях до 24,5 МПа;

**изучено** влияние температуры, избытка кислорода, длительности реакции и гетерогенных катализаторов на основе оксидов металлов на деструкцию основных компонентов промышленного водного стока в процессе сверхкритического водного окисления.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработано и внедрено** технико-технологическое решение для АО «Татнефтехиминвест-холдинг», связанное с переработкой молибденсодержащих водных стоков в суб- и сверхкритических флюидных условиях реакционной среды в присутствии гетерогенного катализатора, и определены перспективы практического использования полученных данных в промышленности;

**определено**, что в сверхкритической флюидной области состояния за пределами бинодали для бинарных систем, проявляющих I-II тип фазового поведения отсутствуют ограничения по смешиваемости растворяемого и растворителя, что является дополнительным условием для увеличения эффективности сверхкритического флюидного экстракционного процесса;

**создана** экспериментальная установка с проточным реактором и индукционным нагревом, позволяющая осуществлять реакцию окисления с использованием гетерогенных гранулированных катализаторов в суб- и сверхкритических флюидных условиях;

**представлены** экспериментальные данные по фазовым равновесиям, растворимости и изобарной теплоемкости компонентов промышленных водных стоков, позволяющие провести масштабирование предлагаемой технологии,

которое послужит основой для промышленной реализации.

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены на апробированной и современной аттестованной измерительной аппаратуре;

**теория** не противоречит известным из литературы данным, согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными работами других авторов;

**идея базируется** на закономерностях термодинамических и теплофизических взаимодействий водных стоков с рабочими средами в сверхкритическом флюидном состоянии;

**использованы** общепринятые методы исследования теплофизических и равновесных свойств бинарных смесей;

**установлено** качественное и количественное совпадение контрольных измерений теплофизических и равновесных свойств веществ, для которых имеются надежные литературные данные;

**использованы** современные методы обобщения и обработки экспериментальных данных.

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке и создании оригинальной экспериментальной установки для исследования растворимости веществ в суб- и сверхкритических флюидных условиях, в модернизации экспериментального стенда сверхкритического водного окисления путем добавления каталитического блока, обусловившей появление возможности для осуществления каталитического процесса, в непосредственном проведении всех экспериментальных исследований и анализе полученных результатов, в подготовке основных публикаций по выполненной работе, в апробации результатов исследования на всероссийских и международных конференциях.

**Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования.** Разработанные в рамках диссертационного исследования термодинамические свойства систем и технологические закономерности утилизации промышленного водного стока с рабочими средами в

сверхкритическом флюидном состоянии целесообразно использовать: 1) на предприятиях химической и нефтехимической промышленности, в частности, на ПАО «Нижнекамскнефтехим» и ПАО «Казаньоргсинтез»; 2) при проектировании новых химических предприятий в части эффективного уничтожения или очистки отходов собственного производства.

В ходе защиты диссертации существенных критических замечаний по научной новизне и значимости работы для науки и практики высказано не было.

Соискатель Фан Куанг Мань аргументировано ответил на замечания и задаваемые ему в ходе заседания вопросы. С рядом высказанных замечаний соискатель согласился.

**Заключение.** Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Фан Куанг Мань «Термодинамические свойства систем и технологические закономерности двухстадийного процесса утилизации промышленного водного стока с рабочими средами в сверхкритическом флюидном состоянии» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, где получены экспериментальные данные по теплофизическим и равновесным свойствам исследуемых систем, а также приведены результаты по комплексной утилизации промышленного водного стока, образующегося на ПАО «Нижнекамскнефтехим», в сверхкритических флюидных условиях. Работа соответствует критериям, установленным пп. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 20 июня 2024 года диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные технологические решения по утилизации промышленных водных стоков с участием рабочих сред в сверхкритическом флюидном состоянии с приведением данных по теплофизическим свойствам исследуемых систем, присудить Фан Куанг Мань учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против «нет», недействительных бюллетеней «нет».

Председатель

диссертационного совета



Дмитриев Андрей Владимирович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Борисова Светлана Дмитриевна

«20» июня 2024 г.



*Дмитриева А.В. Борисовой С.Д.*  
*Кабирова О.А.*