

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**СТЕНОГРАММА**

заседания диссертационного совета Д 002.110.02, созданного на базе  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Объединенного института высоких температур Российской академии наук  
(125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2)  
от 10 марта 2021 г. (протокол № 2)

Защита диссертации  
Османовой Баджиханум Камильевны  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
«Термодинамические свойства бинарных систем вода–алифатический спирт в суб- и  
сверхкритическом состояниях»

Специальность 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

Москва – 2021

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.110.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2) Протокол № 2 от 10 марта 2019 г.

Диссертационный совет Д 002.110.02 утвержден Приказом Министерства образования и науки РФ №105/нк от 11.04.2012г. в составе 31 человек. На заседании присутствуют 21 человек (12 - очно, 9 - онлайн), из них 13 докторов наук по специальности 01.04.08 – физик плазмы и 8 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Дополнительно введены на разовую защиту – 0 человек. Кворум имеется.

**Председатель** – зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02 д.ф.-м.н., профессор Андреев Николай Евгеньевич

**Ученый секретарь** – ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02 д.ф.-м.н. Васильев Михаил Михайлович

	<b>Фамилия, И.О.</b>	<b>Учёная степень, шифр специальности в совете</b>	<b>Присутствие</b>
1	Фортов В.Е.	академик (01.04.08)	Отсутствует
2	Андреев Н.Е.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Очное присутствие
3	Канель Г.И.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Отсутствует
4	Васильев М.М.	д.ф.-м.н. (01.04.08)	Очное присутствие
5	Агранат М.Б.	д.ф.-м.н. (01.04.14)	Удаленное подключение
6	Амиров Р.Х.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (01.04.08)	Очное присутствие
7	Баженова Т.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Отсутствует
8	Вараксин А.Ю.	чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Очное присутствие
9	Васильев М.Н.	д.ф.-м.н., доцент (01.04.14)	Удаленное подключение
10	Василяк Л.М.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Удаленное подключение
11	Воробьев В.С.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Удаленное подключение
12	Гавриков А.В.	д.ф.-м.н., доцент (01.04.08)	Очное присутствие
13	Голуб В.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Очное присутствие
14	Грязнов В.К.	д.ф.-м.н., ст.н.с. (01.04.14)	Удаленное подключение
15	Дьячков Л.Г.	д.ф.-м.н. (01.04.08)	Очное присутствие
16	Еремин А.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Очное присутствие
17	Зейгарник Ю.А.	д.т.н., ст.н.с. (01.04.14)	Очное присутствие
18	Иосилевский И.Л.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Удаленное подключение
19	Кириллин А.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Отсутствует
20	Лагарьков А.Н.	академик (01.04.08)	Отсутствует
21	Ломоносов И.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.14)	Отсутствует
22	Медин С.А.	д.т.н., профессор (01.04.14)	Удаленное подключение
23	Норман Г.Э.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Удаленное подключение
24	Петров О.Ф.	Академик (01.04.08)	Очное присутствие
25	Полежаев Ю.В.	чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор (01.04.14)	Отсутствует
26	Савватимский А.И.	д.т.н. (01.04.14)	Отсутствует
27	Сон Э.Е.	академик (01.04.08)	Очное присутствие
28	Старостин А.Н.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Отсутствует
29	Филиппов А.В.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Очное присутствие
30	Храпак А.Г.	д.ф.-м.н., профессор (01.04.08)	Удаленное подключение
31	Яньков Г.Г.	д.т.н., ст.н.с. (01.04.14)	Отсутствует

## ПОВЕСТКА ДНЯ

На повестке дня защита диссертации научного сотрудника лаборатории Теплофизики возобновляемой энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук Османовой Баджиханум Камильевны на тему: «Термодинамические свойства бинарных систем вода–алифатический спирт в суб- и сверхкритическом состояниях». Диссертация впервые представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Диссертация выполнена в лаборатории Теплофизики возобновляемой энергетики ФГБУН Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики - ФГБУН филиала Объединенного института высоких температур РАН.

### Научный руководитель:

Базаев Ахмед Рамазанович - главный научный сотрудник в лаборатории Теплофизики возобновляемой энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

### Официальные оппоненты:

д.т.н. Сухих Андрей Анатольевич – профессор кафедры «Теоретические основы теплотехники» Института тепловой и атомной энергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». (111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14).

д.т.н. Александров Игорь Станиславович – заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (236022, Северо-Западный федеральный округ, Калининградская обл., г. Калининград, Советский проспект, д. 1).

### Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, 680).

На заседании присутствуют: официальный оппонент д.т.н., Александров И.С. (удалённое подключение), научный руководитель Османовой Б.К. д.т.н. Базаев А.Р. (удалённое подключение)

## СТЕНОГРАММА

### **Председатель:**

Добрый день, коллеги! Заседание будет проходить в удаленном интерактивном режиме (согласно Приказу Министерства образования и науки Российской Федерации № 734 от 22.06.2020г. «Об особенностях порядка организации работы советов по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»), для этого, заместитель председателя диссертационного совета направил ходатайство директору ОИВТ РАН академику Петрову О.Ф., с просьбой издать приказ по Институту о проведении защиты в удаленном интерактивном режиме. Соискатель и все члены диссертационного совета проинформированы и направили свои письменные согласия, на проведение заседания в таком формате. 1 марта 2021г. в ОИВТ РАН вышел приказ директора о проведении сегодняшнего заседания в удаленном интерактивном режиме, поэтому мы обладаем всеми полномочиями. 12 человек сегодня присутствуют в очном формате из членов диссертационного совета, 9 человек у нас находятся на связи в онлайн-формате работы. Сегодня у нас на повестке дня один вопрос – это защита диссертации Османовой Баджиханум Камильевны на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Термодинамические свойства бинарных систем вода–алифатический спирт в суб- и сверхкритическом состояниях» по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Наверное, вначале, учённый секретарь ознакомит нас с материалами?

### **Ученый секретарь**

*(Зачитывает данные о соискателе по материалам личного дела и сообщает о соответствии представленных документов требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ).*

### **Председатель:**

Есть какие-нибудь вопросы по материалы дела? Если нет вопросов, тогда перейдём к существу, Баджиханум Камильевна, пожалуйста, доложите Ваши результаты.

### **Османова Б. К.:**

*(Выступает с докладом по диссертационной работе (выступление не стенографируется, доклад Османовой Б.К. прилагается).*

### **Председатель:**

Спасибо большое Баджиханум Камильевна. Какие есть вопросы?

### **Сон Э.Е.:**

У меня такой вопрос есть, хотя я был председателем комиссии, но сейчас возникли новые вопросы, можно я задам? Смотрите, если мы возьмём воду, фазовый переход с водой, есть испарение, есть диаграмма. Любой термодинамический параметр, например энергия Гиббса, зависит от температуры, давления и степени влажности. Если у Вас есть ещё спирт, то нужно ввести ещё один параметр, который определяет или удельную или молярную концентрацию спирта. Если мы возьмём газовую фазу и синим цветом обозначим молекулы воды, красным молекулы спирта, то их количество там не изменяется, если мы возьмём газовую среду, то там их количество также не изменится. Но откуда уверенность, что в области фазовых переходов величина  $u$ , т.е. процент содержания спирта, остаётся постоянной? Имеет ли место конгруэнтность в вашей задаче?

### **Османова Б. К.:**

Для этого необходимо провести дополнительные исследования.

**Сон Э.Е.:**

То, что у не константа, я напомним как работает самогонный аппарат. Самогонный аппарат работает следующим образом, Вы берёте смесь вода-спирт, начинаете её нагревать. Испаряется в первую очередь спирт, он испаряется, потом есть холодильник, он конденсируется и при нагревании потом что происходит? У вас концентрация спирта в жидкости меняется, потом весь спирт у вас сконденсировался и вы получили первач. Поэтому во время нагрева, во время фазового перехода меняется доля спирта в смеси. Здесь возможен тот же самый эффект, возьмём нижнюю точку цикла Ренкина. Вы находитесь на кривой газ-жидкость, потом Вы нагреваете и идёте по изобаре-изотерме, доходите до второй части, потом от второй части вы идёте вверх, греете воду насосом, далее греете воду идёте по изотерме, доходите до фазовой кривой, потом вторая часть фазовый переход, потом третья часть цикла Ренкина, греете бак соответственно, потом адиабатически расширяется до той точки, откуда мы вышли. Поэтому откуда уверенность, что во время всего этого процесса у останется постоянным. Если это так, то цикл Ренкина можно строить, если это не так, то у Вас во время этого процесса изменится концентрация спирта, во-вторых у Вас появится энтропия смешения, которая будет работать на минус.

**Председатель:**

Эдуард Евгеньевич, я хочу поинтересоваться, а как работала комиссия?

**Сон Э.Е.:**

Нет, этот вопрос задавался и на комиссии, обсудили все вопросы, в заключении всё написано правильно. Но наука так устроена, что я только сейчас об этом задумался, т.к. получил это замечание ещё от одного члена совета. Это не умоляет достоинства работы.

**Председатель:**

Ну, мы предварительный ответ уже получили, что тут нужны дополнительные исследования.

**Сон Э.Е.:**

Хорошо, спасибо.

**Председатель:**

Ещё вопросы есть?

**Голуб В.В.:**

У Вас в автореферате сказано, что можно снизить рабочий диапазон температур до 50 К?

**Османо́ва Б. К.:**

Здесь имеется ввиду, что критическая температура воды на 50 К выше критической температуры смеси вода-1-пропанол 0.2 мол.долей.

**Голуб В.В.:**

А какой этот нижний предел? Мне не очень понятно. Как влияет это на КПД?

**Османо́ва Б. К.:**

Здесь, имеется ввиду, например, если мы рассчитываем сверхкритический цикл, нужно потратить меньше энергии, т.к. критическая температура смеси ниже.

**Председатель:**

Здесь использована неправильная формулировка, имеется ввиду понижение на 50 К.

**Голуб В.В.:**

Теперь понятно.

**Председатель:**

Есть у нас ещё вопросы? Что там у нас в Зуме происходит, нет ли вопросов? Уважаемые коллеги дистанционно участвующие, есть ли вопросы у вас?

**Воробьёв В.С.:**

Вы привели таблицу с исследованными уравнениями состояния. Всё-таки, какое уравнение состояния более пригодно, для ваших систем?

**Османова Б. К.:**

Лучше всего для наших смесей подошло уравнение состояние в виде разложения фактора сжимаемости по степеням приведённой плотности и приведённой температуре.

**Воробьёв В.С.:**

Как вы находили коэффициенты?

**Османова Б. К.:**

Методом наименьших квадратов по нашим экспериментальным данным. Там я меняла количество коэффициентов и выбирала с наименьшей погрешностью.

**Воробьёв В.С.:**

Понятно. А из теоретически обоснованных, какое лучше всего описывает ваши экспериментальные данные?

**Османова Б. К.:**

Уравнение Редлиха-Квонга неплохо описывало. Вообще, это уравнение в виде разложения является частным случаем вириального уравнения состояния, которое теоретически обосновано.

**Воробьёв В.С.:**

Понятно. Вообще, проблема вириального уравнения состояния в нахождении старших коэффициентов. Обычно ограничиваются тремя коэффициентами. Вы как с этим поступили?

**Османова Б. К.:**

Вы имеете ввиду, количество коэффициентов? Ряд по плотности примерно брался от 0 до 3-4, в зависимости от системы. Я сейчас не могу открыть таблицу, но там это хорошо видно.

**Воробьёв В.С.:**

Понятно, спасибо.

**Председатель:**

Вы удовлетворены ответом?

**Воробьёв В.С.:**

Да.

**Председатель:**

Ещё есть вопросы?

### **Вараксин А.Ю.**

Там у Вас на слайде, табличка 19, где всевозможные уравнения состояния. Вы провели колоссальный объём работы, широкий диапазон параметров состояния, выводов у Вас много, но всё-таки, как Вы считаете, какая научная новизна в Вашей работе? Какой наиболее интересный результат Вы получили?

### **Османова Б. К:**

То, что мы получили трёхпараметрическое уравнение состояние, учитывающее зависимость давления от температуры, плотности и состава, а также показали возможность изменения КПД при замене воды смесью вода-1-пропанол.

### **Председатель:**

Баджиханум Камильевна, я хочу задать вам такой несущественный вопрос. У Вас везде границы температур указываются с точностью до 15 сотых градусусов, с чем это связано?

### **Османова Б. К:**

У нас целое значение в градусах Цельсия и когда мы переводим в градусы Кельвина, получаем 15 сотых.

### **Председатель:**

Понятно, спасибо. Если больше вопросов нет, то мы переходим к следующему пункту и слово предоставляется научному руководителю, Базавеву Ахмеду Рамазановичу.

### **Базавев А.Р.**

Османова Баджиханум Камильевна в 2009 году с отличием окончила Дагестанский государственный университет (математический факультет) по специальности «Прикладная математика и информатика». В том же году она поступила в аспирантуру ФГБУН «Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН» с отрывом от производства по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая.

В процессе обучения в аспирантуре, Османова Б.К. проявила себя способным и целеустремленным молодым исследователем. Она проработала важные для начинающего исследователя научные статьи и монографии по специальности («Дифференциальные уравнения термодинамики» Сычев В.В., «Термодинамические свойства азота» Сычев В.В., «Свойства газов и жидкостей» Рид Р., Праусниц Д., Шервуд Т., «Фазовые равновесия в химической технологии» Уэйлес С., «Основы теории теплофизических свойств веществ» Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М., «Термодинамика растворов» Кирилин В.А. и Шейдлин А.Е., «Термодинамика критического состояния индивидуальных веществ» Анисимов М.А., Рабинович В.А., Сычѳв В.В. и др.). Успешно сдала кандидатские экзамены и выполнила утвержденный план диссертационной работы, принимала активное участие в получении экспериментальных данных о  $p, \rho, T, x$ -зависимостях бинарных систем вода–алифатический спирт (метанол, этанол, 1-пропанол). После аспирантуры работала в ФГБУН ИПГ ДНЦ РАН и работает по настоящее время в ФГБУН ИПГВЭ ОИВТ РАН научным сотрудником лаборатории «Теплофизика геотермальной энергетики».

Диссертация написана на актуальную для теплоэнергетики и сверхкритических флюидных технологий тему «Термодинамические свойства бинарных систем вода–алифатический спирт в суб- и сверхкритическом состояниях», содержит элементы научной новизны и полностью соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК.

В ходе работы над диссертацией Османова Б.К. принимала активное участие в проведении эксперимента, самостоятельно обработала экспериментальные данные о  $p, \rho, T, x$  - зависимостях, разработала единое уравнение состояния для класса смесей вода–

алифатический спирт, рассчитала термодинамические свойства и энергетические характеристики данных систем.

Османова Б.К. является сотрудником, который может сам обрабатывать и исследовать термодинамические свойства чистых веществ и смесей, как Вы в этом убедились. Она до сих пор не защитилась, только потому, что у неё появились маленькие дети. Голосуя за присуждение Османовой Б.К. учёной степени кандидата технических наук, уверяю, что Вы не ошибётесь. Спасибо.

**Председатель:**

Очень хорошие слова, спасибо. Я думаю, мы можем приступить к ознакомлению отзывов которые поступили.

**Ученый секретарь:**

Уважаемые коллеги, на диссертацию и автореферат диссертации поступили отзывы. В частности отзыв от ведущей организации.

В качестве ведущей организации выступал Казанский национальный исследовательский университет. Диссертация была заслушана на заседании кафедры «Теоретические основы теплотехники». Отзыв был составлен и подписан докторами технических наук Гумеровым Фаридом Мухамедовичем и Зариповым Зуфаром Ибрагимовичем, утверждён и.о. ректора Казаковым Ю.М. Отзыв содержит актуальность, положения, выносимые на защиты, структуру диссертации. С вашего позволения я весь отзыв зачитывать не буду, а остановлю ваше внимание на замечаниях:

Применительно к главе 2. Из текста автореферата и диссертации не ясно: Первое. Как контролировался состав смеси после измерений, и как учитывалось термическое разложение спиртов? Какова величина изменения состава смеси после отбора пробы? Второе. При расчете изменения объема пьезометра в зависимости от температуры и давления выбран средний коэффициент линейного расширения материала пьезометра в интервале температуры от 523.15 К до 673.15 К. Насколько это оправдано, ведь эксперименты проводились при температурах от 373К? 3. Оценка погрешностей (неопределенности) измерений проведена не по ГОСТ Р 54500.3-2011. И по нашим оценкам она превышает заявленную величину.

Применительно к главе 3. Первое. «...В работе отмечено, что «в работах [84-91] методом сжимаемости с помощью пьезометра постоянного объема были получены экспериментальные значения  $p, r, T, x$ - зависимостей для бинарных систем вода-спирт (метанол, этанол, 1-пропанол) в околокритической и сверхкритической областях для соотношений компонентов 0.2, 0.5, 0.8 мольные доли спирта. В данной диссертационной работе расширен температурный диапазон исследований этих систем с целью определения параметров фазовых превращений и их критического состояния...» Из текста автореферата и диссертации не ясно для каких систем, кроме вода-1-пропанол, расширен температурный диапазон исследований? Второе. Как полученные автором данные смеси вода-1-пропанол согласуются с данными других авторов, в частности: P. Huncvicaetal. Partial molar volumes of organic solutes in water. XII. Methanol(aq), ethanol(aq), 1-propanol(aq), and 2-propanol(aq) at  $T = (298 \text{ to } 573) \text{ K}$  and at pressures up to 30 MPa / J. Chem. Thermodynamics 36 (2004) 1095-1103 и Astan N. Shahverdiyev and Javid T. Safarov P-q-T and Ps-qs-Ts properties of methanol + water and n-propanol+ water solutions in wide range of state parametersy. Phys. Chem. Chem. Phys., 2002, 4, 979-986? Третье. Данные каких авторов были использованы для сопоставления результатов исследования параметров фазовых превращений в смесях «вода-спирт» и насколько значения критических параметров смесей вода-спирт отличаются от данных других авторов? Четвёртое. В работе Абдурашидовой А.А., посвященной  $p, r, T, x$ -измерениям и термодинамическим свойствам водных растворов алифатических спиртов. (Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Махачкала - 2010 г.) приведены  $p, V_m, T, x$  зависимости

систем вода-метанол, вода-этанол, вода-н-пропанол. Чем отличаются настоящая и цитируемая работы?

Тем не менее, отмечается, что недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а соискатель заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук.

Также на разосланный автореферат поступило 8 отзывов, все отзывы положительные. Имеются замечания.

Первый отзыв поступил из Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук подписанный г.н.с., зам. зав. лаборатории Термодинамики веществ и материалов, д.ф.-м.н. Хайрулиным Рашидом Амировичем – отзыв положительный, с замечанием:

-Автор использует для описания температурных зависимостей плотности жидких и паровых фаз воды и водно-спиртовых смесей вдоль линии равновесия степенные функции. Такое поведение плотности предсказывается современной теорией теорией критических явлений, однако только в асимптотической близости к критической точке кривой равновесия жидкость-пар. Использование уравнений (1,2) (стр.11 автореферата) для аппроксимации плотности в широких интервалах температур представляется неоправданным. Возможно, именно поэтому экспериментальный критический индекс  $\beta_0=0.365$  заметно отличается от теоретического значения критического показателя параметра порядка, предсказываемого флуктационной теорией критических явлений (согласно различным методам расчёта, теоретическое значение лежит в интервале 0.31-0.33).

Второй отзыв поступил из Казанского национального исследовательского технологического университета подписанный профессором кафедры Теоретические основы теплотехники, д.т.н. Сабирзянов Айдаром Назимовичем – отзыв положительный, с замечаниями:

- На рис.5 стр.12 представлена диаграмма зависимости величины избыточных молярных объемов смеси вода — 1-пропанол от состава. Из диаграммы видно, что максимумы на различных изобарах соответствуют значению мольных долей - 0,5. А на рис. 20 стр. 18 термический КПД и эффективный КПД ПТУ принимают максимальные значения при соответствующих мольных долях - 0,2. В автореферате отсутствует объяснение данному расхождению.

- Если провести оценку поведения критической линии, в рамках модели Соаве-Редлиха-Квонга, то для систем вода — этанол и вода — 1-пропанол критическая линия имеет непрерывный характер, а для системы вода —метанол предположительно имеются разрывы критической линии. Поэтому не для всех концентраций система вода - метанол применима для классического цикла Ренкина.

- На рис.20 стр. 18 в диапазоне значений мольных долей  $\sim 0,4-0,5$  имеется точка перегиба. Отсутствует объяснение такого поведения.

- На рис.20 стр.18 в интервале концентраций от точки перегиба до  $x=1$  возможен минимум, который также требует своего объяснения.

Третий отзыв поступил из Казанского национального исследовательского технологического университета подписанный профессором кафедры Теоретические основы теплотехники д.т.н. Габитовым Фаризаном Ракибовичем – отзыв положительный, без замечаний.

Четвёртый отзыв поступил из Дагестанского государственного технического университета подписанный доцентом кафедры теоретической и общей электроники д.т.н. Евдуловым Олегом Викторовичем – отзыв положительный, без замечаний.

Пятый отзыв поступил из Института теплофизики Уральского отделения Российской академии наук подписанный к.ф.-м.н. Старостиным Александром Алексеевичем и к.ф.-м.н. Волосниковым Дмитрием Владимировичем – отзыв положительный, без замечаний.

Шестой отзыв поступил из Дагестанского государственного университета подписанный профессором кафедры Инженерной физики д.т.н., доцентом Бабаевым Баба Джабраиловичем – отзыв положительный, без замечаний.

Седьмой отзыв поступил из Курского государственного университета подписанный д.ф.-м.н., профессором кафедры физики и нанотехнологий Неручевым Юрием Анатольевич – отзыв положительный, без замечаний.

Восьмой отзыв поступил из Института химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук подписанный д.х.н., профессором, директором Института химии растворов им. Г.А. Крестова Киселёвым Михаилом Георгиевичем и к.х.н. Егоровым Геннадием Ильичём – отзыв положительный, с замечаниями:

- В автореферате не показано, к какой температуре следует отнести приведённые зависимости на рис.5 и 6

- Насколько корректным является представление концентрационной зависимости парциальных мольных объёмов компонентов смеси (рис.6) по трём составам

- Рассчитываемый в работе «коэффициент давления» лучше назвать как «термический коэффициент давления» или «изохорный коэффициент термического давления»

- Проводится ли анализ водных смесей спиртов после проведения эксперимента? Как известно, этанол и 1-пропанол способны к реакции внутримолекулярной дегидратации, которая обратима и эндотермична, т.е. рост температуры смещает равновесие в сторону образования алефинов. В зависимости от давления, типа спирта и используемого катализатора дегидратацию обычно проводят в интервале температур 90-400° С. Если обратная реакция т.е. дегидратация этилена, снова приводит к образованию этанола, то при гидратации пропилена образуется преимущественно изомер 1-пропанола, а именно 2-пропанола.

- При предположении замены использования чистой воды в паротурбинных установках на использование смеси вода-1-пропанол рассматривались ли автором возникшие при этой замене экологические проблемы?

#### **Председатель:**

Баджиханум Камильевна, будьте любезны ответить на замечания и постарайтесь сгруппировать их, чтобы нам не идти по всему списку.

#### **Османова Б. К:**

Ответы на замечания ведущей организации:

Состав смеси после измерений мы не контролировали, т.к. в течении 2-3 часов стабилизации температуры опыта и давления системы изотермический рост давления, связанной с деструкцией системы, не наблюдалось. Термическая стабильность чистых и растворённых в воде алифатических спиртов подробно исследована в диссертации сотрудника нашей лаборатории Джаппарова Т.А.. Установлено, что химическая реакция в системе вода–спирт при температурах выше критических температур спиртов протекает при выдержке более двух суток, наблюдаемому по началу изотермического роста давления и по выделению пузырьков в отборе.

В этом температурном диапазоне у сплава из которого изготовлен пьезометр линейная зависимость коэффициента. Калибровку объёма пьезометра в диапазоне от 523.15 К до 673.15 К производили по свойствам воды и водяного пара IAPWSFormulation-1995 и Александрова А.А., и при низких температурах – по н-гептану марки «Эталонный».

С замечанием согласна. В моей работе величина неопределённости определения плотности смесей оценена по методике, взятой из книги Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях, 1990.

Существенно расширен диапазон  $(p,T)_x$  и  $(p,\rho,T)_x$  измерений системы вода-1-пропанол в двухфазной и однофазной (жидкой, паровой) областях и расширен диапазон  $(p,T)_x$  измерений систем вода–метанол и вода–этанол в двухфазной области.

Сравнение рассчитанных по трёхпараметрическому уравнению состояния (7) экспериментальных данных  $(p,\rho,T)_x$  зависимостей, полученных в данной работе, и других авторов приведены таблице 15 на странице 96 диссертации я эту таблицу здесь тоже приводила.

Для сопоставления критических параметров были использованы данные Griswold и др., Barr-David и Dodge, Алиева, Wormald и Vine, Marshall и Jones. Относительные отклонения наших критических значений от критических значений этих авторов составили 0,5-1,9% по температуре, 5-15% по давлению, 0,8-3% по плотности.

Основные отличия моей диссертации от диссертации Абдурашидовой А.А. состоят в следующем:

- В моей диссертации экспериментальные данные  $(p,T)_x$  и  $(p,\rho,T)_x$  зависимостей систем вода–спирт в двухфазной и однофазной (жидкой, паровой) областях, получены на модернизированной установке с использованием для измерения и регулирования температуры и измерения давления современных сертифицированных высокоточных приборов (эталонные термометры сопротивления типа ПТС-10М, регулятор температуры РТП-8.3 с точностью  $\pm 0.01$  К, грузопоршневыми манометрами типа МП-60 и МП-600 класса точности  $\pm 0.01\%$  и  $\pm 0.02\%$ ) и осуществлением визуального контроля температуры опыта.

$p,\rho,T,x$ -измерения этих систем Абдурашидовой А.А. проведены на пьезометрической установке с использованием регулятора температуры ПРОТЕРМ 100 ( $\pm 0.1$  К) и грузопоршневыми манометрами МП-600 класса точности  $\pm 0.05\%$ .

- В моей диссертации получены значения коэффициентов трёхпараметрического полиномиального уравнения состояния, описывающее экспериментальные  $p,\rho,T,x$  – зависимости систем вода–алифатический спирт на кривой сосуществования, однофазной (жидкую и паровую) и сверхкритической областях со средней относительной погрешностью 1.6 %. Этим же уравнением рассчитаны дифференциальные и интегральные термодинамические величины.

В диссертации Абдурашидовой А.А. получены коэффициенты уравнения Редлиха–Квонга описывающее экспериментальные  $p,\rho,T,x$  – зависимости систем вода–алифатический спирт в сверхкритической области с погрешностью 3%.

- В моей диссертации впервые исследованы энергетические характеристики системы вода–1-пропанол и обоснована возможность повышения эффективного КПД цикла Ренкена паротурбинных установок при замене воды, смесью вода–1-пропанол состава 0.2 мол.доли спирта.

В диссертации Абдурашидовой А.А. эти исследования отсутствуют.

Ответ на замечание Хайрулина Рашида Амировича:

На странице 55 диссертации написано: для описания экспериментальной зависимости плотности растворов вдоль кривой сосуществования в интервале температур 424.15–601.15 К и симметричной ее части ( $\tau=0-0.01$ ) использованы уравнения.... В автореферате диссертации температурные диапазоны не указан, поэтому возник такой вопрос.

Значение критического индекса  $\beta_0=0.365$ , полученное нами с использованием экспериментальных  $p,\rho,T,x$  -зависимостей водных растворов алифатических спиртов хорошо согласуется со значением, полученным Шелудяком Ю.Е. и Рабиновичем В.А. (ТВТ. 1993. т.31. №6. С.915.), а также близко со значениями полученными Шиманским Ю.И. и Шиманской Е.Т. (ЖФХ. 1996. Т.70. №3. С.443).

Ответы на замечания Сабирзянова АйдараНазимовича.

В автореферате на рис.5 следовало указать значение температуры 653.15 К, в диссертации это указано. Расчёт цикла Ренкена выполнен в диапазоне температур от 403.15 до 623.15 К.

Может быть критическая линия даёт разрыв. Но мы рассчитывали цикл Ренкена только для смеси вода-1-пропанол.

В диапазоне состава 0,4-0,5 смеси вода–1-пропанол начинается плавное снижение КПД, но там нет перегиба.

Может быть, но для этого необходимо исследовать объёмное поведение 1-пропанола, содержащего небольшое количество воды, т.е. для составов смеси  $x$  стремящегося к 1 и рассчитать цикл Ренкина. Полагаю, если даже будет небольшой рост КПД, смесь состава близкого к 1 не может быть рабочим телом для ПТУ.

Ответы на замечания Киселёва Михаила Григорьевича и Егорова Геннадия Ильича

Эти графики построены для температуры 653.15 К. В диссертации она приведена.

Конечно, лучше проводить  $p, \rho, T, x$ - измерения смесей для значений составов больше трёх. Учитывая, взаимную растворимость воды и алифатических спиртов в любых пропорциях, ограниченность состава тремя значениями вполне оправдана.

С замечанием согласна. Одни авторы так его называют, другие иначе.

Я уже ответила на это замечание.

Я не готова ответить на этот вопрос конкретно. Вода, содержащее небольшое количество 1-пропанола, в закрытой системе, вряд ли представляет угрозу для окружающей среды. В случае использования этой смеси, может быть установлено её коррозионное воздействие на конструкцию установки.

#### **Председатель:**

Спасибо, большое. Мы тогда переходим к заслушиванию оппонентов. Они на связи? Пока на связи только один оппонент Александров Игорь Станиславович, заслушаем вначале его.

#### **Александров И.С.**

Уважаемый председатель, уважаемые члены совета, уважаемые присутствующие. Разрешите огласить отзыв официального оппонента.

#### **Председатель:**

Игорь Станиславович, извините, можно Вас попросить сразу перейти к замечаниям и заключению. Содержание диссертации нам хорошо известно.

#### **Александров И.С.**

Хорошо, я понял. Естественно тема диссертации очень актуальна, тем более здесь представлен большой объём экспериментальных данных в широком диапазоне параметров, что очень радует. У меня по диссертационной работе есть следующие замечания, позвольте я их озвучу:

Использованное автором для описания термодинамических свойств смесей уравнение состояния основано на экспериментальных значениях фактора сжимаемости  $Z$ . Однако в диссертации отсутствует графическое представление этой безразмерной величины – двухмерные и трёхмерные диаграммы, которые усилили бы содержание диссертации.

В работе отсутствует методика определения значений параметров фазовых превращений и критического состояния исследованных систем.

Для более объективной оценки полученных экспериментальных данных и разработанного трехпараметрического уравнения состояния (18) следовало бы провести расчеты и сравнение с уравнения состояния для бинарных смесей (метанол-вода и этанол-вода), имеющих в базе REFPROP 10.0. Указанные уравнения базируются на известной модели GERG-2008 и характеризуются высокой точностью описания термодинамических свойств.

В диссертации применительно к, разработанным автором, уравнениям состояния производится анализ термической поверхности состояния. Полезным было бы провести анализ поверхности состояния и для калорических свойств – теплоёмкостей и скорости звука.

Эти замечания не снижают значимости результата и вот моё заключение. Диссертационная работа Османовой Баджиханум Камильевны на тему «Термодинамические свойства бинарных систем вода–алифатический спирт в суб- и сверхкритическом состояниях», является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, и имеет важное практическое значение.

Диссертация полностью соответствует требованиям п.п. 9-14, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук согласно «Положению о присуждении ученых степеней».

Считаю, что автор диссертации заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Официальный оппонент, то есть я, Александров Игорь Станиславович, доктор технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» (утвержден приказом ВАК РФ 752/нк от 26.11.2020г.), доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет». Спасибо.

#### **Председатель:**

Спасибо, мы всё услышали и удовлетворены вашей оценкой работы. Ответы на замечания.

#### **Османова Б. К:**

С замечанием согласна. Из-за большого объёма диссертации его графики не включены.

С замечанием согласна. В эксперименте значение параметров точек ФП определяли следующим образом. В начале находили зависимость изохор давления от температуры в диапазоне 373.15–623.15 К с шагом 10 К. В зависимости от полноты заполнения объема пьезометра исследуемой смесью на фазовой диаграмме в  $p, T$ -координатах наблюдался излом изохор ( $\rho > \rho_k$ ) – система из двухфазной области переходит в однофазную (жидкую), или изгиб изохор ( $\rho < \rho_k$ ) – система из двухфазной области переходит в однофазную (паровую). На околоскритических изохорах ( $\rho \approx \rho_k$ ) изломы и изгибы слабо выражены. Предполагаемую температуру ФП определяли по пересечению прямых, проведенных через 2-3 точки до и после излома (изгиба). В последующем для уточнения значения  $T_s$  измерения проводили в узком температурном диапазоне  $\Delta T$  с шагом 0.05 К.

НИСТ REFPROP 10.0 не предназначен для расчета свойств смесей, только для чистых веществ. Но, имеющиеся в REFPROP 10.0 уравнение состояния GERG-2008 предназначено для многокомпонентных углеводородных смесей. К сожалению, по доступа к НИСТ REFPROP 10.0 у нас нет. В будущем опишем наши экспериментальные данные для смесей вода–спирт предлагаемое уважаемым Игорем Станиславовичем уравнение.

В главе 5 приводится этот анализ проводится.

#### **Председатель:**

Спасибо. Игорь Станиславович, удовлетворены ли Вы ответами?

**Александров И.С.**

Да, ответами я удовлетворён, но хотел бы задать пару уточняющих вопросов. При разработке уравнения состояния данные по фазовым равновесиям учитывались? Просто в минимизированном функционале, который приведён в диссертации я этого слагаемого не увидел, там критические свойства и коэффициент сжимаемости.

**Османова Б. К:**

Экспериментальные данные фазовых переходов включались при нахождении коэффициентов.

**Александров И.С.**

И ещё один уточняющий момент, у вас переменные в уравнении приведённые, что за критические свойства там берутся - это истинные критические свойства или псевдокритические свойства?

**Османова Б. К:**

Вы имеете в виду, равенство первой и второй производной в критической точке?

**Александров И.С.**

Нет. Что Вы берёте в качестве приведённых параметров?

**Османова Б. К:**

Приведённая плотность – это отношение плотности к критической плотности, а приведённая температура – это отношение температуры к критической температуре.

**Александров И.С.**

Какие критические параметры Вы там брали? Ну, применительно к смесям, что это за критические свойства, истинные или по каким-то правилам комбинированные?

**Османова Б. К:**

Мы получили критические свойства в эксперименте. Получили точки параметров фазовых равновесий и оценили графоаналитическим методом критические параметры.

**Александров И.С.**

То есть это истинные критические свойства?

**Османова Б. К:**

Да. Получается истинные критические свойства смесей.

**Александров И.С.**

Просто на практике часто псевдокритические свойства используют, потому что, так можно выводить и коэффициенты взаимодействия и т.д. Но если Вы приняли такое решение, то хорошо. Спасибо, я ответами удовлетворён.

**Председатель:**

Спасибо, теперь мы можем перейти ко второму оппоненту. Которого нет на связи по уважительной причине, поэтому я попрошу Михаила Михайловича зачитать только констатирующую часть.

**Ученый секретарь**

Второй официальный оппонент профессор кафедры «Теоретические основы теплотехники» Института тепловой и атомной «Национальный исследовательский

университет «МЭИ» доктор технических наук Сухих Андрей Анатольевич подготовил и составил отзыв на диссертацию Османовой в соответствии со всеми требованиями ВАК. Отзыв содержит в себе актуальность, обоснованность выбора объектов исследования, описание методов исследования применённых Османовой, достоверность и обоснованность результатов, а также научную новизну, практическую значимость и структуру диссертации. Я зачитаю замечания, которые содержит данный отзыв:

Тематический обзор затрагивает большой спектр известных экспериментальных данных и расчетных моделей, сделан тщательно и подробно. Вместе с тем его объем представляется избыточным. Например, приводятся уравнения состояния гексафторида серы, аргона и др. веществ, которые в работе не являются предметом исследования.

Раздел «Оценка погрешности измерений» написан не в соответствии с современными методиками определения неопределенности измерений и ныне принятой терминологии. Непонятно, каким образом в формуле (4) учитывается вклад неопределенности измерения массы вещества, непонятно, как определяется 1-ое слагаемое в этой же формуле. Не исследована зависимость неопределенности измерений в функции плотности или давления (она ярко выражена).

Методика проведения эксперимента изложена весьма упрощенно. Неясно, например, при какой температуре производился выпуск частей исследуемого образца при измерении по изохорам, не менялся ли состав в процессе отбора... Неясно, каким образом фиксировались изломы изохор при определении параметров на кривых насыщения. Можно только предположить, что каким-то образом опытные точки обрабатывались полиномами в однофазной и двухфазных областях, а их совместное решение давало искомые параметры.

Отсутствуют результаты и анализ тарировочных опытов. Не выполнен (или не приведены результаты) аттестационный этап. Даже, если на данной установке ранее проводились исследования других объектов, то перед началом нового этапа необходимо и желательно было бы провести серию измерений на хорошо изученном веществе, имеющем высокоточное уравнения состояния, и подтвердить заявленный метрологический уровень установки.

При написании раздела по результатам опытов следовало бы в исходной информации привести физико-химические характеристики неводных компонентов, они не так широко известны предполагаемому читателю, как свойства воды и водяного пара.

В исходной информации также не представлены данные по составу примесей компонентов. Теоретически их «загрязненность» должна учитываться при расчете неопределенности измерений.

Почему на рисунках 6 и 9 (стр. 40 и 41), 14 (стр. 52) для бинарной системы вода- 1-пропанол кривые конденсации и кипения не различаются? Ведь критические параметры компонентов сильно отличаются и для каждого состава область влажного пара должна быть представлена «рыбкой» именно в рТ- диаграммах.

Разве процесс конденсации на рис. 108 б), в), г) азеотропный? Почему не показан наклон процесса конденсации?

Важной характеристикой при анализе энергетической эффективности циклов ПТУ, кроме КПД, являются также степень сухости на выхлопе турбины и значения абсолютного давления в конденсаторе. Почему они не приведены?

Тем не менее делается заключение, что отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, а работа выполнена на высоком научно-техническом уровне с использованием современной вычислительной техники. Исходя из вышеизложенного официальный оппонент делает вывод, что работа отвечает требованиям п. 9 «Положению о присуждении ученых степеней» утверждённого Постановлением Правительства РФ №842, а Османова Б.К. заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук. Отзыв подписан и заверен учёным секретарем Кузовлевым Игорем Валентиновичем.

**Османова Б. К:**

С замечанием согласна.

Я уже ответила на этот вопрос. Что касается первого слагаемого  $\delta\rho$ , это погрешность связанная с измерением массы смеси на аналитических весах плюс погрешность определения объёма пьезометра в зависимости от определения температуры и давления.

С замечанием согласна. Образец выпускали полностью при максимальной температуре опыта. На остальное я уже ответила.

С замечанием согласна. Фактически методику определения значений параметров фазовых превращений и критического состояния водно-спиртовых систем методом сжимаемости с помощью пьезометра постоянного объёма проверяли на хорошо изученных веществах (вода, эталонные углеводороды).

С замечанием согласна.

С замечанием согласна. Следовало бы привести сведения о примесях в исследованных жидкостях: вода-0.1%, кислоты 0.002%. Для исследования были использованы метанол, 1-пропанол марки ХЧ и вода для хроматографии (ООО «Компонент реактив»). Этанол очищали методом фракционной перегонки.

С замечанием согласна. На этих рисунках взят широкий диапазон параметров состояния и в связи с этим «рыбка» плохо просматривалась. В узком диапазоне температур и давлений «рыбка» легко просматривается.

С замечанием согласна. Смесь вода–1-пропанол является азеотропной только при составе 0.42 мол.доли 1-пропанола.

С замечанием согласна. При данных условиях степень сухости для воды составила 0.77, для вода–1-пропанол состава 0.2 мол.доли составила 0.86, для смеси вода–1-пропанол состава 0.5 мол. доли составила 0.76, а для смеси вода–1-пропанол состава 0.5 мол. доли составила 0.97. Значение абсолютного давления в конденсаторе также менялось в зависимости от системы от 0.27-0.36 МПа.

**Председатель:**

Спасибо, Баджиханум Камильевна, Вы присаживайтесь пожалуйста, у нас время для дискуссии.

**Петров О.Ф.**

Хотел бы сказать по поводу диссертации, которая была сегодня представлена - это классическая работа по теплофизике, сделанная на очень хорошем уровне. Тут одно только можно пожелать соискателю, дальнейших успехов. Я сам буду голосовать «за». И вдвойне приятно, что эта работа сделана в нашем большом ИВТАН, потому что сейчас наш Институт и филиал Институт проблем геотермии к счастью уже единое целое. Мы будем и дальше функционировать и, надеюсь, другие работы также заслушаем на этом диссертационном совете.

**Председатель:**

Кто ещё хочет выступить?

**Сон Э.Е.:**

У нас была оживлённая дискуссия, и я хочу высказать своё мнение и мнение многих членов диссертационного совета. Эту диссертационную работу мы прослушиваем в третий раз: один раз мы слушали её на заседании национального комитета по теплофизическим свойствам веществ, один раз на предзащите и сегодня. Действительно выполненный цикл работ является уникальным, действительно смеси существуют давно, самая знаменитая смесь, состоящая из 40% этилового спирта введена ещё Менделеевым, при Петре I ещё были критерии определения, когда водка настоящая, а когда нет. Но, что

удивительно, оказывается до сих пор, детальные исследования вот таких смесей хорошо не проводились и это довольно странно. Моё выступление ещё связано с тем, что сегодня утром я получил записку от Фокина и тут та информация, которую бы мне хотелось доложить. В работе проведён большой объём работ в двухфазной области, жидкой и паровой фазах и в области фазовых переходов. Я задавал вопрос, вот если взять любой потенциал, например потенциал Гиббса, то он является функцией не только давления и температуры, но и степени влажности  $x$ , если ввести ещё переменную концентрации спирта  $y$ , то получим, что он зависит от четырёх величин. И поэтому когда вычисляется цикл, или изучаются свойства, нужно обращать внимание на эти 4 параметра, особенно на  $x$  и  $y$ . Поэтому в этой работе предполагалось, что концентрация спирта остаётся постоянной и дальнейшее продвижение этих работ, это изучение свойств с точки зрения изменения концентрации. Это, то, что нужно делать дальше, работа должна продолжаться. Поэтому основными достижениями диссертации является проведённый большой объём экспериментальных и расчётно-теоретических работ. Потому что, приведённые данные большого числа уравнений, вириального разложения, всё это было продемонстрировано, что соискатель владеет экспериментальной и расчётно-теоретической частью. Лев Владимирович Фокин отметил три замечания, к которым я присоединюсь. Это первое, что термодинамические циклы известны в течение 200 лет, так вот за это время, нет ни одного примера в котором бы смесь использовалась, нет. Единственный вариант водо-амиачной смеси был предложен в Одессе много лет назад. Но споры, что эта смесь лучше, чем чистая вода до сих пор ничем не закончились. Третье его замечание состоит в том, что при фазовом переходе меняется состав смеси и происходит энтропия смешения, и мы теряем на энтропии смешения. Поэтому эти замечания показывают, что эти смеси могут быть эффективными, но для того, чтобы их использовать в термодинамическом цикле, нужны дополнительные исследования. Поэтому, я прошу членов совета проголосовать за то, что проведён большой объём экспериментальных и расчётно-теоретических работ по термодинамическим свойствам смесей вода-спирт. А что касается приложения, то я не считаю, что это является основным содержанием работы. Спасибо.

**Председатель:**

Генри Эдгарович, мы видим, что Вы что-то хотите спросить.

**Норман Г.Э.**

Правильно, правильно. Во-первых, я хотел сказать про диссертантку. Она не мало утомилась и читала заранее заготовленные ответы, на заранее заготовленные вопросы. Однако, она не растерялась, когда последовали вопросы и отвечала достаточно уверенно, поэтому я буду голосовать «за».

**Председатель:**

Есть ещё желающие онлайн или присутствующих здесь выступить. Ну, раз все высказались. Тогда заключительное слово соискателю.

**Османова Б. К:**

Спасибо Вам за оценку моей работы и замечания, я буду над ними работать. Большое спасибо моему научному руководителю.

**Председатель:**

Спасибо. Уважаемые члены совета, сейчас начнём голосование. И, голосование у нас пройдёт в новом режиме, по решению ВАК (Согласно п. 10 Приказа Министерства науки и высшего образования № 734 от 22 июня 2020 года, решение диссертационного совета по рассматриваемому на заседании вопросу принимается открытым голосованием членов диссертационного совета), мы проводим его очно, это означает, что каждый из нас должен

высказаться. Но, мы можем немного сократить эту процедуру. Я вначале спрошу, есть ли те, кто против - среди присутствующих. Я не вижу таких. Все члены совета, которые присутствуют, здесь, на защите нет никого, кто бы хотел воздержаться или проголосовать против.

Теперь я обращаюсь к членам совета, которые онлайн находятся. Кто-нибудь есть, кто хочет проголосовать против или воздержаться. Я не вижу поднятых рук. Тогда спасибо и таким образом я констатирую факт, что голосование у нас произошло единогласно. Все поддержали диссертацию. У нас присутствовало 12 человек из них по профилю 4. Онлайн присутствовало 9 человек из них по профилю 4. Таким образом, всего 21 человек и все «за». Таким образом, защита у нас прошла успешно, и мы поздравляем диссертантку.

Но нам еще нужно утвердить Проект Заключения, он распечатан, у всех на руках, и разослан электронной почтой. Есть ли у кого-то какие-либо замечания по Заключению? (*Члены диссертационного совета обсуждают проект заключения*).

Если замечаний принципиального характера нет, тогда есть предложение: тот Проект, который есть у нас перед глазами, принять за основу и проголосовать за него тоже, утвердить проект Заключения (*Проект заключения принят единогласно*). Тогда, уважаемые коллеги, от своего собственного лица и от лица всего диссертационного совета в это непростое время я благодарю всех, кто присутствует очно или участвует онлайн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 10.03.2021г. № 2

О присуждении Османовой Баджиханум Камильевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Термодинамические свойства бинарных систем вода-алифатический спирт в суб- и сверхкритических состояниях» по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 9.11.2020г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 002.110.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ОИВТ РАН, 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Османова Баджиханум Камильевна, 1988 года рождения.

В 2009 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет» (367000, Северо-Кавказский ФО, Республика Дагестан, Махачкала, ул. Гаджиева, д. 43-а).

В 2012 окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН (367030, Республика Дагестан, г. Махачкала, просп. и.Шамиля, д.39а).

Работает научным сотрудником в лаборатории «Теплофизики возобновляемой энергетики» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории «Теплофизики возобновляемой энергетики» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики - филиала Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук Базаев Ахмед Рамазанович, главный научный сотрудник в лаборатории «Теплофизики возобновляемой энергетики» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем геотермии и возобновляемой энергетики - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук Сухих Андрей Анатольевич, профессор кафедры «Теоретические основы теплотехники» Института тепловой и атомной энергетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». (111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14);

- доктор технических наук Александров Игорь Станиславович, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (236022, Северо-Западный федеральный округ, Калининградская обл., г. Калининград, Советский проспект, д. 1)

дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, 680) в своем положительном заключении (принятом на заседании кафедры «Теоретические основы теплотехники» 10 февраля 2021 г. (протокол № 7 от 10 февраля 2021 г.), составленном заведующим кафедрой «Теоретические основы теплотехники» д.т.н., профессором Гумеровым Ф.М.), подписанном Врио ректора д.т.н., доцентом Казаковым Ю.М. указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи получения прецизионных экспериментальных данных по  $p, T$ - и  $p, p, T, x$ -зависимостям, параметрам фазовых превращений  $(p_s, \rho_s, T_s)_x$ , критического  $(p_k, \rho_k, T_k)_x$  и сверхкритического флюидного состояний для систем «вода-спирт», имеющих важное значение для совершенствования и оптимизации существующих и перспективных технологий концентрирования водных растворов спиртов, окисления высоко нагруженных водных стоков в сверхкритических флюидных условиях, а также сверхкритического флюидного экстракционного извлечения целевых компонент твердофазных и жидкофазных смесей с водно-спиртовыми растворами, используемыми в качестве сред для осуществления химических реакций, растворителей и соразтворителей.

Соискатель имеет 43 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, в рецензируемых научных изданиях.

1. Карабекова (Османова) Б.К., Джаппаров Т.А., Базаев А.Р. Оценка величины скорости термического разложения водных растворов алифатических спиртов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №21. 2011. С.37-43.
2. Карабекова (Османова) Б.К., Базаев Э.А., Базаев А.Р. Уравнение кривой фазового равновесия в смесях вода-алифатический спирт // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №22. 2011. С.24-29.
3. Карабекова (Османова) Б.К., Базаев Э.А., Базаев А.Р. Термические коэффициенты водных растворов алифатических спиртов в сверхкритическом состоянии // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №23. 2011. С. 23-29.

4. Karabekova (Osmanova) B. K., Bazaev A. R., Abdurashidova A. A.  $p$ ,  $\rho$ ,  $T$ , and  $x$  Dependences for Supercritical Water–Aliphatic Alcohol Mixtures//Russian Journal of Physical Chemistry B, 2013, Vol. 7, No. 8, pp. 955–967.
5. Карабекова (Османова) Б.К., Базаев Э.А., Базаев А.Р. Термодинамические свойства смесей вода–алифатический спирт в широком диапазоне параметров состояния // Вестник КТУ. Т.17. №20. 2014 С.109-113.
6. Karabekova (Osmanova)B. K., BazaevE. A., BazaevA. R.Thermodynamic Properties of Water–Aliphatic Alcohol Systemsin a Wide Range of Parameters//Russian Journal of Physical Chemistry B, 2015, Vol. 9, No. 8, pp. 1–17.
7. Karabekova (Osmanova)B. K. and BazaevE. A.Equation of State for Water–Alcohol Mixtures over a Wide Range of State Variables//Russian Journal of Physical Chemistry A, 2015, Vol. 89, No. 9, pp. 1545–155.
8. Osmanova B.K., AlhasovA.B., Bazaev A.R., Bazaev E.A.Thermodynamic properties and energy characteristics of water+1-propanol // Journal of Physics Conference Series No. 1, pp. 891.
9. Osmanova B.K., Bazaev A.R., Bazaev E.A. Experimental research of thermodynamic properties of water+ aliphatic alcohol mixtures in the wide parameters of state // Journal of Physics: Conf.Series 1385 (2019).
10. Osmanova B.K., and Bazaev E.A. Thermal Coefficients of the Water–Aliphatic Alcohol Binary System// Journal of Physics: Conference Series
11. Osmanova B.K., Bazaev A.R., Bazaev E.A., Dzhapparov T.A-G. Phase Transitions and Critical Properties of Binary Systems Consisting of Water, Alcohols, and Hydrocarbons// Journal of Physics: Conference Series 1683.

На автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (г.н.с., зам. зав. Лабораторией Термодинамики веществ и материалов, д.ф.-м.н. Хайрулин Р.А.) – отзыв положительный, с замечанием:

- Автор использует для описания температурных зависимостей плотности жидких и паровых фаз воды и водно-спиртовых смесей вдоль линии равновесия степенные функции. Такое поведение плотности предсказывается современной теорией критических явлений, однако, только в асимптотической близости к критической точке кривой равновесия жидкость–пар. Использование уравнений (1,2) (стр.11 автореферата) для аппроксимации плотности в широких интервалах температур представляется неоправданным. Возможно, именно поэтому экспериментальный критический индекс  $\beta_0=0.365$  заметно отличается от теоретического значения критического показателя параметра порядка, предсказываемого флуктуационной теорией критических явлений (согласно различным методам расчёта, теоретическое значение лежит в интервале 0.31-0.33).

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Казанский национальный исследовательский технологический университет (профессор кафедры Теоретические основы теплотехники д.т.н. СабирзяновА.Н.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- На рис.5 стр.12 представлена диаграмма зависимости величины избыточных молярных объемов смеси вода — 1-пропанол от состава. Из диаграммы видно, что максимумы на различных изобарах соответствуют значению мольных долей - 0,5. А на рис. 20 стр. 18 термический КПД и эффективный КПД ПТУ принимают максимальные значения при соответствующих мольных долях - 0,2. В автореферате отсутствует объяснение данному расхождению.

- Если провести оценку поведения критической линии, в рамках модели Соаве-Редлиха-Квонга, то для систем вода — этанол и вода — 1-пропанол критическая линия имеет непрерывный характер, а для системы вода — метанол предположительно имеются

разрывы критической линии. Поэтому не для всех концентраций система вода - метанол применима для классического цикла Ренкина.

- На рис.20 стр. 18 в диапазоне значений мольных долей  $\sim 0,4-0,5$  имеется точка перегиба. Отсутствует объяснение такого поведения.

- На рис.20 стр.18 в интервале концентраций от точки перегиба до  $x=1$  возможен минимум, который также требует своего объяснения.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Казанский национальный исследовательский технологический университет (профессор кафедры Теоретические основы теплотехники д.т.н. Габитов Ф.Р.) – отзыв положительный, без замечаний.

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Дагестанский государственный технический университет (доцент кафедры теоретической и общей электроники д.т.н. Евдулов О.В.) – отзыв положительный, без замечаний.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии наук (с.н.с. лаборатории высокотемпературных измерений к.ф.-м.н. Старостин А.А., с.н.с. лаборатории Быстропротекающих процессов и физики кипения к.ф.-м.н. Волосников Д.В.) – отзыв положительный, без замечаний.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Дагестанский государственный университет (профессор кафедры Инженерной физики д.т.н., доцент Бабаев Б.Д.) – отзыв положительный, без замечаний.

7. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Курский государственный университет (д.ф.-м.н., профессор кафедры физики и нанотехнологий, научный руководитель НИЦ физики конденсированного состояния Неручев Ю.А.) – отзыв положительный, без замечаний.

8. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук (директор д.х.н., профессор Киселев М.Г., в.н.с. лаборатории Структуры и динамики молекулярных и ион-молекулярных растворов к.х.н. Егоров Г.И.) – отзыв положительный, с замечаниями:

- В автореферате не показано, к какой температуре следует отнести приведенные зависимости на рисунках 5 и 6.

- Насколько корректным является представление концентрационной зависимости парциальных мольных объемов компонентов смеси (рис. 6) по трем составам? - Рассчитываемый в работе "коэффициент давления" лучше называть как "термический коэффициент давления" или "изохорный коэффициент термического давления".

- Проводился ли анализ водных смесей спиртов после проведения эксперимента? Как известно, этанол и 1-пропанол способны к реакции внутримолекулярной дегидратации, которая обратима и эндотермична, т.е. рост температуры смещает равновесие в сторону образования алкинов. В зависимости от давления, типа спирта и используемого катализатора дегидратацию обычно проводят в интервале температур 90 - 400° С. Если обратная реакция т.е. гидратация этилена, снова приводит к образованию этанола, то при гидратации пропилена образуется преимущественно изомер 1-пропанола, а именно 2-пропанол.

- При предложении замены использования чистой воды в паротурбинных установках на использование смеси вода - 1-пропанол рассматривались ли автором возникающие при этой замене экологические проблемы?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.т.н. Сухих А.А. является признанным специалистом в области проектирования теплообменного оборудования, энергетических установок, занимается разработкой методов расчета теплофизических свойств веществ и уравнений состояния;

1. Sukhikh A.A., Kuznetsov K.I., Skorodumov S.V. / Experimental research on the thermal conductivity of the contact pads for electronic equipment // Journal of Physics: Conference Series 1385 (2019) 012039 IOP Publishing doi:10.1088/17426596/1385/1/012039.

2. Кузнецов К.И., Сухих А.А., Гранченко П.П., Скородумов С.В./ Уравнение состояния октафторциклобутана в диапазоне параметров работы энергетических установок на базе органического цикла Ренкина// Проблемы региональной энергетики. 2019. №3 (44). DOI: 10.5281/Zenodo.3562207.

3. Львова А.М., Сухих А.А. Эксергетический анализ эффективности электрогенерирующего модуля в составе центрального теплового пункта //Новое в Российской электроэнергетике. 2019. №4. С. 6-12.

- д.т.н. Александров И.С. является ведущим специалистом в области теплофизики, занимается изучением теплофизических свойств веществ, фазовых равновесий и разработкой фундаментальных уравнений состояний многокомпонентных смесей.

1. Gerasimov A., Alexandrov I., Grigoriev B. Modeling and calculation of thermodynamic properties and phase equilibria of oil and gas condensate fractions based on two generalized multiparameter equations of state// Fluid Phase Equilibria. – 2016. – V.418. – P. 204-223.

2. Gerasimov A., Alexandrov I., Grigoriev B. Generalized equation of state for the cyclic hydrocarbons over a temperature range from the triple point to 700 K with pressures up to 100 MPa // Fluid Phase Equilibria. – 2016. – V.418. – P. 15-36.

3. Gerasimov A., Alexandrov I., Grigoriev B. Application of multiparameter fundamental equations of state to predict the thermodynamic properties and phase equilibria of technological oil fractions// Fuel. – 2018. – V.215. – P. 80-89.

-кафедра «Теоретических основы теплотехники» ФГБОУ ВО «Казанского национального исследовательского технологического университета», специализируется на фундаментальных и прикладных исследованиях в области сверхкритического флюидного состояния вещества (СКФ), водном окислении обезвреживания высоконагруженных углеводородами водных стоков нефтехимических предприятий с выделением ценных компонентов, проектировании и изготовлении установок для производства биодизельного топлива на основе СКФ технологии, разработке СКФ технологий, проектировании, и выпуска установок для нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности.

1. Le NeidreB., LombardiG., DesmarestP.H., KayserM., ZaripovZ.I., GumerovF.M., GarrabosY. Measurements of the thermal conductivity of ethene in the supercritical region // Fluid Phase Equilibria. 2018. Vol. 459, P. 119-128.

2. Le NeidreB., LombardiG., DesmarestP.H., KayserM., ChavignacG., GumerovF.M., GarrabosY. Thermal conductivity of gaseous and liquid n- pentane// Fluid Phase Equilibria. 2018. Vol. 460, P. 146-154.

3. Le NeidreB., LombardiG., DesmarestP.H., KayserM., BilalovT.R., GumerovF.M., GarrabosY. Measurement of the thermal conductivity of n-hexane in the supercritical region// Fluid Phase Equilibria. 2019. Vol. 481, P. 66-102

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

получены новые прецизионные экспериментальные  $p, \rho, T, x$ -зависимости гомогенных бинарных систем вода–спирт в диапазоне температуры 373.15–623.15 К, плотности 3-820 кг/м<sup>3</sup>, давления до 50 МПа для значений концентрации спирта (x) 0.2, 0.5, 0.8 мольных долей (586 точек);

сделан вывод о том, что в исследованном диапазоне параметров состояния и состава термодинамическое поведение гомогенных смесей вода–алифатический спирт аналогично термодинамическому поведению индивидуальных жидкостей;

определены значения параметров точек фазовых превращений жидкость $\leftrightarrow$ пар( $p_s, \rho_s, T_s$ )<sub>x</sub> и критического состояния ( $p_s, \rho_s, T_s$ )<sub>x</sub> систем вода–спирт;

получено трехпараметрическое полиномиальное уравнение состояния в виде разложения фактора сжимаемости  $Z$  в ряды по степеням приведенной плотности и приведенной температуре и составу, описывающее экспериментальные  $p, \rho, T, x$ -зависимости систем вода–спирт со средней относительной погрешностью 1%;  
рассчитаны интегральные (изохорная теплоемкость  $C_v$ , изобарная теплоемкость  $C_p$ , скорость звука  $w$ , показатель адиабаты  $k$ , энергия Гельмгольца  $F$ , энергия Гиббса  $G$ , энтропия  $S$ , энтальпия  $H$ , внутренняя энергия  $U$ ) и дифференциальные (избыточные молярные объемы и парциальные молярные объемы компонентов смеси  $\bar{V}_{m1}, \bar{V}_{m2}$ , коэффициент изотермической сжимаемости  $K_T$ , коэффициент объемного термического расширения  $\alpha$ , коэффициент давления  $\beta$ , внутреннее давление  $p_e$ , дифференциальный изотермический дроссельный эффект  $d_{iz}$ , дифференциальный адиабатный дроссельный эффект  $d_{ad}$ ) термодинамические свойства систем вода–алифатический спирт в широком диапазоне параметров состояния.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

полученные прецизионные данные о  $p, T$ - и  $p, \rho, T, x$ -зависимостях, параметрах фазовых превращений  $(p_s, \rho_s, T_s)_x$ , критического  $(p_k, \rho_k, T_k)_x$  и сверхкритического состояний систем вода–спирт пополняют базы данных о теплофизических свойствах веществ новыми данными и необходимы для развития молекулярной теории растворов полярных жидкостей, разработки адекватных моделей потенциалов межмолекулярного взаимодействия и единого уравнения состояния жидкость–пар.

Полученные результаты могут быть использованы в химических технологиях типа сверхкритического водного окисления (СКВО) и сверхкритической флюидной экстракции (СКФЭ), в качестве рабочих тел. Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

смеси вода–спирт в сверхкритическом состоянии являются универсальными растворителями и позволяют реализовать процессы СКВО и СКФЭ при сниженных параметрах, что экономически целесообразно.

Использование воды (традиционного рабочего тела в энергетических установках), содержащей небольшое количество ( $x=0.2$  мол.доли) 1-пропанола.

Результаты работы могут быть использованы в научных и научно-образовательных центрах, а также в организациях, разрабатывающих энергетическое оборудование, в частности, в Объединенном институте высоких температур РАН, в Казанском национально исследовательском технологический университет, в Санкт-Петербургском/Московском/ Дагестанском государственных университетах, в Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, в Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Физико-энергетическом институте им. А.И. Лейпунского, в Национальном исследовательском университете «МЭИ», в Институте проблем нефти и газа РАН, Институт теплофизики УрО РАН, Научно-Техническом центре «Газпром нефть».

Оценка достоверности результатов исследования подтверждается применением фундаментальных термодинамических законов и использованием в эксперименте сертифицированных измерительных средств, современных компьютерных программ для обработки экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в:

- активном участии в проведении  $p, \rho, T, x$ -измерений систем вода–алифатический спирт в широком диапазоне параметров состояния;
- самостоятельной обработке экспериментальных  $p, \rho, T, x$ -данных (определение значений фактора сжимаемости, построение фазовых диаграмм в различных сечениях термодинамической поверхности  $(p_s, \rho_s, T_s)_x$ , определение параметров фазовых превращений и критического состояния, определение избыточных и парциальных молярных величин и т.д.);

- разработке единого уравнения состояния описывающего кривую сосуществования фаз, жидкую, паровую фазы и сверхкритический флюид для смесей вода–алифатический спирт;
- расчете термодинамических свойств и энергетических характеристик данных систем.

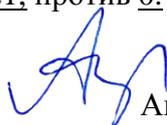
Апробация результатов исследования проводилась на 25 российских и международных конференциях и симпозиумах. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены при определяющем участии автора.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Османовой Б.К. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г. ред. 01.10.2018г.

На заседании 10.03.2021г. диссертационный совет принял решение присудить Османовой Баджиханум Камильевне ученую степень кандидата технических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении открытого голосования Диссертационный совет в количестве 21 человек, из них очно: 8 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 4 доктора наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, дистанционно: 5 докторов наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы и 4 докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 21, против 0.

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02  
д.ф.-м.н., профессор

  
Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02  
д.ф.-м.н.

  
Васильев М.М.  
10.03.2021г.