

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 07 октября 2016 года публичной защиты диссертации Дурновцева Максима Ивановича «Математическое и физическое моделирование процессов тепло- и массообмена в устройствах для десублимации фтористого водорода» по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Время начала заседания: 16.30

Время окончания заседания: 18.30

На заседании присутствовали 20 из 26 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника:

1.	Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р техн. наук	01.02.04
2.	Васенин Игорь Михайлович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
3.	Пикущак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
4.	Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5.	Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
6.	Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7.	Герасимов Александр Владимирович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
8.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9.	Глазырин Виктор Парфирьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
10.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
11.	Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
12.	Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
13.	Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
14.	Смоляков Виктор Кузьмич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
15.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
16.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
17.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
18.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
19.	Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
20.	Якутенок Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05

Заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить М.И. Дурновцеву учёную степень кандидата физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.13
на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 07.10.2016 г., № 275

О присуждении **Дурновцеву Максиму Ивановичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Математическое и физическое моделирование процессов тепло- и массообмена в устройствах для десублимации фтористого водорода»** по специальности **01.04.14** – Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 04.07.2016 г., протокол № 260, диссертационным советом Д 212.267.13 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 203-161 от 08.02.2008 г.).

Соискатель **Дурновцев Максим Иванович**, 1983 года рождения.

В 2006 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский политехнический университет».

В 2016 году соискатель очно окончил аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности инженера-технолога производственно-наладочного и экспериментального участка цеха № 41 Завода разделения изотопов в Акционерном обществе «Сибирский химический комбинат» Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

Диссертация выполнена на кафедре математической физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации и на Заводе разделения изотопов Акционерного общества «Сибирский химический комбинат» Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Крайнов Алексей Юрьевич**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», кафедра математической физики, профессор.

Официальные оппоненты:

Козлобродов Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра теплогазоснабжения, профессор

Прибатурин Николай Алексеевич, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория проблем теплопереноса, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Национальный исследовательский Томский политехнический университет**», в своем положительном заключении, подписанном **Шаманиным Игорем Владимировичем** (доктор физико-математических наук, кафедра технической физики, заведующий кафедрой) и **Орловым Алексеем Алексеевичем** (доктор технических наук, кафедра технической физики, профессор), указала, что проблема энергосбережения на производствах по обогащению урана является одной важнейших. Для улавливания фтористого водорода в технологии обогащения урана используются емкости, охлаждаемые жидким азотом. Для генерации необходимого количества жидкого азота каждое предприятие разделительно-сублиматного комплекса затрачивает значительные энергетические ресурсы. Отказ от использования жидкого азота и применение холодного воздуха в качестве хладагента позволит существенно

сократить расходы на десублимацию фтористого водорода. Автором разработана оригинальная математическая модель десублимации безводного фтористого водорода в осадительной емкости в присутствии неконденсируемых примесей; проведен расчетно-теоретический анализ процесса десублимации безводного фтористого водорода из газовой смеси в емкостях, охлаждаемых жидким азотом и холодным воздухом; показано, что при охлаждении емкостей холодным воздухом обеспечивается необходимый отвод тепла с учетом подвода тепла от внешней среды и потока газовой смеси; спроектирован и изготовлен стенд для измерения давления насыщенных паров фтористого водорода; получена эмпирическая зависимость давления насыщенного пара безводного фтористого водорода в интервале температур от 140 К до 198 К. Представленные в диссертации математические модели и данные о давлении насыщенного пара фтористого водорода могут быть использованы при проектировании теплообменного оборудования в химической технологии, применяемого для десублимации фтористого водорода. Предложенная автором система охлаждения осадительных емкостей может быть применена на производствах по разделению изотопов урана. Разработанная математическая модель и методика численного решения может быть использована для моделирования процессов десублимации различных веществ в осадительных емкостях.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 9 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 2, свидетельство на программу для электронных вычислительных машин – 1, публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций – 6. Общий объем работ – 1,75 п.л., личный вклад автора – 1,06 п.л.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Васенин И. М. Физико-математическое моделирование десублимации фтористого водорода из газовой смеси на стенки конденсатора / И. М. Васенин, С. М. Губанов, М. И. Дурновцев, А. Ю. Крайнов, М. В. Чуканов // Вестник

Томского государственного университета. Математика и механика. – 2014. – № 5 (31). – С. 76–82. – 0,44 / 0,3 п.л.

2. **Дурновцев М. И.** Измерение давления насыщенных паров фтористого водорода в области низких температур / М. И. Дурновцев, А. Ю. Крайнов, С. М. Губанов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 2/2. – С. 10–13. – 0,25 / 0,15 п.л.

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

На автореферат поступило 11 положительных отзывов. Отзывы представили: 1. **П. А. Стрижак**, д-р физ.-мат. наук, доц., заведующий кафедрой автоматизации теплоэнергетических процессов Национального исследовательского Томского политехнического университета, *с замечаниями*: отсутствует упоминание о специалистах в данной области; не указаны лаборатории, в которых проводятся исследования по теме диссертации; отсутствуют комментарии об используемых расчетных сетках; отсутствуют пояснения по представленным экспериментальным точкам в части систематической и случайной погрешности. 2. **В. Н. Брендаков**, д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Высшая математика и информационные технологии» Северского технологического института (филиала) Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», *без замечаний*. 3. **А. С. Трушков**, д-р техн. наук, профессор кафедры информатики Государственного социально-гуманитарного университета, г. Коломна, *с замечаниями*: имеется отличие в интервале температуры при измерении давления насыщенного пара фтористого водорода и при записи эмпирической формулы; не описаны методика и метод решения системы уравнений математической модели десублимации фтористого водорода на стенки емкости; на рис. 1, 2 не обозначена размерность величины z . 4. **Ю. Ю. Луценко**, д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры технической физики Национального исследовательского Томского политехнического университета, *с замечанием*: из текста автореферата не вполне понятно, чем подтверждается адекватность разработанной физико-математической

модели процесса десублимации фтористого водорода. 5. **Г. М. Скорынин**, канд. техн. наук, советник по научной работе АО «Производственное объединение «Электрохимический завод», г. Зеленогорск Красноярского края, *с замечаниями*: о неприменимости термина «физико-математическое моделирование»; о недостаточности интервала измерения давления насыщенного пара для надежного обоснования решения применения холодного воздуха; об отсутствии в автореферате данных, позволяющих сравнить эффективность улавливания гексафторида урана, фтористого водорода и других примесей в предлагаемом методе и существующем, когда на третьей ступени десублимация происходит при охлаждении жидким азотом до температуры 77 К. 6. **В. Г. Крицкий**, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник отдела химических технологий АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт энергетических технологий «АТОМПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург, и **А. А. Фиськов**, канд. техн. наук, научный сотрудник отдела обоснования безопасности и НИОКР АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт энергетических технологий «АТОМПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург, *с замечаниями*: не ясно, каковы потери товарного ГФУ в технологической цепочке, предлагаемой автором, а также степень очистки от фтористого водорода; некорректно допущение о пренебрежении десублимации переохлажденного фтористого водорода в объеме в виде тумана; в выводах не сказано о достижении экономического эффекта. 7. **О. Б. Громов**, канд. техн. наук, начальник отделения № 3 «Ядерные материалы» АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии», г. Москва, *с замечаниями* о применимости терминов «фторид водорода» и «фтороводород»; о необходимости применения термина «конденсация» вместо термина «десублимация»; о завышении массового расхода жидкого азота при расчете экономического эффекта; о несоответствии диапазонов температур при проведении анализа экспериментальных данных; о порядке применения охлаждения холодным воздухом и жидким азотом во вновь разработанном отсеке охлаждения; о применении метода ИК-спектрометрии вместо МС-спектрометрии при проведении анализа состава газовой смеси; о необходимости получения

данных по давлению фтороводорода в динамических условиях; *и с вопросами:* какова была степень герметизации установки, и каким образом это учитывалось при длительном эксперименте? учитывалась ли температура затвердевания фторида водорода при обосновании диффузии газообразного фтороводорода?

8. **А. И. Сафронов**, д-р физ.-мат. наук, доц., профессор кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика» Тольяттинского государственного университета, *с замечаниями:* из автореферата неясно, какова погрешность при решении двумерного уравнения теплопроводности без учета кривизны стенок; следовало объяснить аббревиатуру ГФУ. 9. **Ю. А. Алтухов**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры высшей математики Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, *с замечаниями:* для системы уравнений (1)-(2) не указан смысл некоторых переменных – D , d ; вместо ссылки на рис. 2 должна быть ссылка на рис. 3. 10. **М. Ю. Фоминых**, канд. физ.-мат. наук, доц., ведущий инженер-технолог производственно-технологического отдела АО «Уральский электрохимический комбинат», г. Новоуральск, *без замечаний.* 11. **И. Е. Поляков**, руководитель группы экстракции и сорбции лаборатории № 2 по обработке технологий ОДЦ, МОКС и МОС отделения инновационных и кластерных разработок Горно-химического комбината, г. Железногорск Красноярского края, *с замечаниями:* чувствительность использованных измерительных приборов ниже необходимой; эмпирически полученные данные по давлению паров безводного фтороводорода не сравнивались с литературными данными; отсутствует экономическое обоснование преимуществ десублимационного способа улавливания и регенерации фтороводорода перед химическими методами нейтрализации и утилизации; не уделено внимание изменению физико-химических свойств и термодинамических параметров фазовых переходов, связанных с образованием в газовой фазе комплексов $(\text{HF})_n$.

В отзывах отмечается, что рациональное использование ресурсов является одним из ключевых в экономике и безопасности России и чрезвычайно важно для атомных электростанций. Замена устаревших энергозатратных технологий на современные и энергоэффективные способствует снижению потребления

энергоресурсов и позволяет повысить эффективность производственного процесса в целом, что ведет к снижению себестоимости выпускаемой продукции и, как следствие, к повышению конкурентоспособности атомной отрасли на мировом рынке. Автором разработана новая математическая модель десублимации безводного фтористого водорода в осадительной емкости в присутствии неконденсируемых компонентов газовой смеси; проанализированы основные параметры исследуемых процессов и выделены факторы, оказывающие существенное влияние на интегральные характеристики этих процессов; проведен расчетно-теоретический анализ процесса десублимации фтористого водорода в емкостях осадителей; предложено и обосновано решение о применении системы охлаждения емкостей осадителей с помощью холодного воздуха вместо жидкого азота, получена эмпирическая зависимость давления насыщенного пара фтористого водорода в области низких температур. Результаты исследований могут быть применены для анализа технологических процессов разделения газовых смесей путем десублимации целевого продукта, при проектировании теплообменного оборудования и при разработке технологических процессов, связанных с использованием фтористого водорода.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **А. Н. Козлобродов** является специалистом в области математического и численного моделирования в задачах тепломассообмена и гидрогазодинамики; **Н. А. Прибатурин** является специалистом в области теплофизики, экспериментального и теоретического моделирования тепломассообмена в многофазных гетерогенных средах, в частности, в вопросах тепломассообмена при фазовых превращениях; **Национальный исследовательский Томский политехнический университет** является одним из ведущих университетов в области экспериментального и теоретического изучения вопросов тепло-массообмена, в том числе для атомной науки и техники.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель десублимации безводного фтористого водорода на стенках осадительной емкости в присутствии неконденсируемых примесей;

предложена система охлаждения емкостей осадителей, предназначенных для улавливания фтористого водорода, холодным воздухом вместо жидкого азота;

показана путем теоретического моделирования и экспериментальных испытаний возможность применения воздушно-холодильной машины для охлаждения емкостей осадителей, предназначенных для улавливания фтористого водорода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработанная математическая модель и методика численного решения может быть использована для моделирования процессов десублимации различных веществ в осадительных емкостях;

раскрыты особенности протекания процесса десублимации фтористого водорода в емкостях осадителей.

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

представлены данные о давлении насыщенного пара фтористого водорода могут быть использованы при проектировании теплообменного оборудования в химической технологии;

предложена и обоснована система охлаждения емкостей осадителей с применением холодного воздуха вместо жидкого азота, которая может быть применена как на Заводе разделения изотопов АО «Сибирский химический комбинат», так и на других предприятиях разделительно-сублиматного комплекса.

Работа частично выполнялась в рамках:

- НИР ТГУ и ОАО «СХК» «Разработка опытной схемы охлаждения емкостей КИУ К-09»;

- гранта РФФИ № 16-48-700732 р_а «Экспериментально-теоретическая методика оптимизации систем охлаждения в технологии разделительного производства изотопов урана»;

- гранта Президента МК-5959.2016.8 «Разработка и обоснование энергоэффективной схемы системы охлаждения емкостей конденсационно-испарительных установок, используемых в технологии разделительного производства изотопов урана».

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы на предприятиях разделительно-сублиматного комплекса Госкорпорации «Росатом»: АО «Сибирский химический комбинат» (г. Северск), АО «Ангарский электролизный химический комбинат», АО «ПО «Электрохимический завод» (г. Зеленогорск Красноярского края), АО «Уральский электрохимический комбинат» (г. Новоуральск) и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использование корректных физических и математических постановок задачи десублимации веществ, основанных на классических подходах;

обоснованность исходных предпосылок и использование классических методов математического моделирования нестационарных газодинамических процессов и теплопереноса, а также сходимость вычислительных методик расчета процессов течения холодного воздуха в трубопроводной сети при уменьшении шагов разностной схемы;

применение аттестованного метрологическими службами измерительного оборудования при проведении экспериментальных работ.

Оценка новизны результатов диссертационного исследования:

разработана оригинальная математическая модель десублимации фтористого водорода в осадительной емкости в присутствии неконденсируемых компонентов газовой смеси;

проведен анализ процесса десублимации фтористого водорода в емкостях осадителях при охлаждении емкостей как жидким азотом, так и холодным воздухом;

доказано, что при охлаждении емкостей осадителей холодным воздухом обеспечивается необходимый отвод тепла от емкостей осадителей;

на основе исходных данных, приведенных в диссертации, *спроектирован и изготовлен* экспериментальный стенд для измерения давления насыщенных паров фтористого водорода;

получена эмпирическая зависимость давления насыщенного пара фтористого водорода в области низких температур.

Личный вклад автора заключается в: непосредственном участии в постановке всех задач, формулировании математических моделей, выполнении расчетов, обработке и анализе всех результатов, приведенных в работе. Постановка задач кандидатской диссертации и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем. При участии автора подготовлены основные публикации по теме диссертации. Результаты измерения давления насыщенного пара безводного фтористого водорода в полном объеме получены автором самостоятельно.

Диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, установленным для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи обоснования применения холодного воздуха для охлаждения емкостей осадителей, предназначенных для десублимации фтористого водорода, имеющей значение для развития теплофизики и теоретической теплотехники.

На заседании 07.10.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить **Дурновцеву М.И.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

07 октября 2016 г.



 Христенко Юрий Федорович

 Пикуцак Елизавета Владимировна