

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"National Research Tomsk Polytechnic University" (TPU)
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia
Tel. (3822) 60 63 33, (3822) 70 17 79,
Fax (3822) 56 38 65, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations):
02069303,
Company Number: 1027000890168,
VAT / KPP (Code of Reason for Registration)
7018007264/701701001, BIC 046902001

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ТПУ)
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия
тел.: (3822) 60 63 33, (3822) 70 17 79,
факс: (3822) 56 38 65, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 046902001

№ _____

на № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор Федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный
исследовательский Томский
политехнический
университет», профессор



_____ П.С. Чубик

«19» сентября 2016 г.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию Дурновцева Максима Ивановича «Математическое и физическое моделирование процессов тепло- и массообмена в устройствах для десублимации фтористого водорода», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Проблема энергосбережения на производствах по обогащению урана является одной из важнейших. В связи с этим, диссертация М.И. Дурновцева, посвященная решению задач повышения энергоэффективности технологии десублимации технологических потоков при производстве обогащенного урана весьма актуальна.

В технологическом процессе обогащения урана газоцентрифужным методом разделяется газовая смесь, состоящая в основном из гексафторида урана, а также фтористого водорода и компонентов воздуха. Для разделения газовых смесей на компоненты используется метод фракционной разгонки. Для улавливания фтористого водорода используют емкости, охлаждаемые жидким азотом. Для генерации жидкого азота каждое предприятие разделительно-

сублиматного комплекса, в том числе и Завод разделения Акционерного общества «Сибирский химический комбинат», затрачивает значительные энергетические ресурсы. Годовое потребление жидкого азота Завода разделения изотопов составляет ~760 тыс. литров, а общие затраты на жидкий азот составляют примерно 20 млн. руб. в год.

Целью диссертации Дурновцева Максима Ивановича является разработка математической модели десублимации фтористого водорода для обоснования возможности применения воздушно-холодильной машины в технологической установке для охлаждения емкостей осадителей холодным воздухом вместо жидкого азота. Отказ от использования жидкого азота и применение холодного воздуха в качестве хладагента позволит существенно сократить расходы на десублимацию фтористого водорода, что очень важно для разделительного предприятия.

Во введении диссертации сформулирована актуальность темы, цель работы, ее практическая ценность, научная новизна, излагается краткое содержание диссертации.

В **первой главе** приведен анализ работы установки фракционной разгонки на различных режимах работы. По результатам анализа определен номинальный режим. Определены расходы фтористого водорода и неконденсируемых примесей, поступающих в емкости, охлаждаемые жидким азотом.

Проведена предварительная оценка возможности использования холодного воздуха с температурой 113 К, генерируемого воздушно-холодильной машиной, для охлаждения емкостей вместо жидкого азота. Проведен обзор конструкций десублимационных аппаратов, применяемых для улавливания различных веществ (в том числе гексафторида урана) из газовых смесей. Рассмотрены основные подходы при моделировании процессов тепло- массообмена в десублимационных аппаратах.

Во **второй главе** диссертации проведены оценки тепловых потоков на стенки охлаждаемой емкости со стороны внешней среды, а также от поступающей в емкость газовой смеси. Определено время остывания емкости при подаче холодного воздуха и время релаксации газовой смеси в емкости.

С учетом принятых допущений разработана математическая модель десублимации фтористого водорода в присутствии неконденсируемых примесей (компонентов воздуха). Разработаны алгоритм расчета и программа ЭВМ, реализующая решение системы уравнений математической модели. Проведены сравнительные расчеты процесса десублимации фтористого водорода в емкостях, охлаждаемых жидким азотом и холодным воздухом. Расчеты проводились для одной и двух расположенных последовательно емкостей при различной степени ассоциации фтористого водорода для штатного и повышенного на 30 % расхода газовой смеси. Показано, что при охлаждении емкостей жидким азотом и холодным воздухом, на выходе из емкости обеспечивается концентрация фтористого водорода, соответствующая давлению насыщенного пара при температуре охлаждения стенки емкости.

В третьей главе приведены результаты численного моделирования движения холодного воздуха в системе охлаждения емкостей с использованием одномерной нестационарной модели газовой динамики.

С помощью данной математической модели проведены расчеты процесса остывания одной и двух последовательно расположенных емкостей, снабженных воздушным теплообменником в широком диапазоне величин теплового потока из окружающей среды. Показано, что поток охлажденного воздуха обеспечивает изотермичность осадительной емкости в диапазоне секундных массовых потоков газовых смесей, реализующихся в действующей технологии.

Установлено, что полностью заменить жидкий азот охлажденным воздухом невозможно, но комбинация этих хладагентов (охлажденный воздух на первой емкости, жидкий азот на последующей емкости) позволит избежать проскока фтористого водорода и снизить затраты на осуществление процесса его десублимации.

На основе проведенных расчетов получены исходные данные на разработку конструкции отсека охлаждения с использованием в качестве хладагента воздуха, генерируемого воздушно-холодильной машиной.

В четвёртой главе диссертации приведены результаты экспериментальных работ по измерению давления насыщенного пара безводного фтористого водорода, проведенные на разработанном автором экспериментальном стенде. В конструкции стенда используется отсек охлаждения емкости, разработанный в соответствии с исходными данными, сформулированными по результатам расчетов в главе 3 диссертации. Для охлаждения стенда используется воздушно-холодильная машина. Для регистрации давления используются приборы различного диапазона измерения.

Проведена серия экспериментов по измерению давления насыщенных паров безводного фтористого водорода в интервале температуры от 88 К до 218 К. По результатам экспериментов получено уравнение зависимости давления насыщенных паров безводного фтористого водорода в области температур от 140 К до 190 К.

На основе полученной зависимости давления насыщенного пара безводного фтористого водорода проведены расчеты, которые показали, что при температуре 120 К предельный суточный расход фтористого водорода на выходе из емкости составит 1,19 мг/сутки, что является допустимой величиной.

В заключении сформулированы выводы диссертации.

Новизна результатов проведённых исследований.

В диссертационной работе Дурновцева М.И. получены следующие новые результаты.

1. Разработана оригинальная физико-математическая модель десублимации безводного фтористого водорода в осадительной емкости в присутствии неконденсируемых компонентов газовой смеси (компонентов воздуха).

2. Проведен расчетно-теоретический анализ процесса десублимации безводного фтористого водорода из газовой смеси в емкостях охлаждаемых жидким азотом и холодным воздухом. Расчеты показали, что концентрация фтористого водорода на выходе из пары осадителей не превышает концентрацию, соответствующую давлению насыщенного пара фтористого водорода при температуре охлаждения стенки емкости.

3. Расчетно-теоретическим путем обосновано, что при охлаждении осадителей воздухом обеспечивается необходимый теплоотвод с учетом подвода тепла от внешней среды и потока газовой смеси.

4. Спроектирован и изготовлен стенд для измерения давления насыщенного пара безводного фтористого водорода. В конструкции стенда использовался отсек охлаждения, спроектированный в соответствии с исходными данными, представленными в диссертации.

5. Получена эмпирическая зависимость давления насыщенного пара безводного фтористого водорода в интервале температуры от 140 К до 198 К.

Обоснованность и достоверность обеспечивается корректным использованием законов физики, обоснованностью исходных предпосылок и использованием классических методов математического моделирования нестационарных газодинамических процессов и теплопереноса, а также сходимостью вычислительных методик расчета процессов течения холодного воздуха в трубопроводной сети при уменьшении шагов разностной схемы, выполнимостью законов сохранения массы и полной энергии в численном решении. При проведении измерений использовалось аттестованное метрологическими службами измерительное оборудование.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов.

Представленные в диссертации физико-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.

Автором предложена и обоснована система охлаждения осадителей воздухом вместо жидкого азота. Проведена оценка увеличения «проскока» безводного фтористого водорода в узел защиты вакуумного насоса.

Предложенная система охлаждения осадителей с помощью воздуха может быть применена как на Заводе разделения изотопов, так и на аналогичных производствах по разделению изотопов урана.

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

Основные результаты, представленные в диссертации, достаточно полно опубликованы в 12 работах, в том числе в 2-х статьях в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертаций, 6-

ти докладах на научных конференциях различного уровня, 3-х отчетах о НИР и свидетельстве на программу для ЭВМ.

Автореферат по своему содержанию и выводам соответствует диссертации.

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. Не описан личный вклад автора в полученные результаты.
2. В диссертации не указано какой пропуск фтористого водорода будет, если емкости охлаждать только холодным воздухом.
3. Из описания модели не понятно каким образом учитывается нестационарность процесса десублимации при нарастании слоя десублимата на стенках емкости.
4. Результаты измерений давления насыщенного пара безводного фтористого водорода представлены в Главе 4 хотя они используются ранее при математическом моделировании процесса десублимации. Логично было бы их привести сразу после описания математической модели.
5. Заявленное в названии диссертации физическое моделирование процессов тепло- и массообмена в устройствах для десублимации фтористого водорода в работе проведено не в полном объеме, так как емкость в технологии работает в «проточном» режиме, а экспериментальное моделирование проведено в варианте десублимации в «тупик».
6. В диссертации не обсуждается вопрос адекватности математической модели десублимации и применимости ее для оценки параметров технологических процессов.
7. Автор не приводит рекомендаций по режиму охлаждения емкости воздухом.
8. Отсутствует оценка экономического эффекта от использования в качестве хладагента воздуха наряду с жидким азотом.
9. На ряде рисунков не обозначены оси координат, используются не системные единицы измерения (мм рт. ст., ати, мг/л, кг/сутки), в тексте имеются опечатки, пропущенные слова.

Заключение

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Исследования проведены на достаточно высоком научном уровне, положения и выводы диссертации обоснованы.

Тема диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

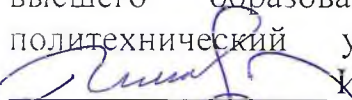
Оформление диссертации в целом отвечает требованиям, установленным ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

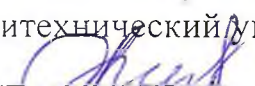
Диссертация М.И. Дурновцева является научно-квалификационной работой, в которой решена задача численного и физического моделирования теплофизических процессов в технике и эксперименте, по расчету и проектированию нового теплотехнического оборудования, применяемого в технологии разделения изотопов, соответствует специальности 01.04.14 –

теплофизика и теоретическая теплотехника по физико-математическим наукам. Внедрение разработанных диссертантом научно обоснованных решений внесет существенный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

На основании изложенного считаем, что диссертация Дурновцева М.И. «Математическое и физическое моделирование процессов тепло- и массообмена в устройствах для десублимации фтористого водорода» является законченным научным исследованием и соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ, 24.09.2013). Автор диссертации Дурновцев Максим Иванович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв обсужден на семинаре кафедры Техническая физика Физико-технического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» "16" сентября 2016 г, протокол № 31

Заведующий кафедрой Техническая физика Физико-технического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доктор физико-математических наук
 Игорь Владимирович Шаманин

Профессор кафедры Техническая физика Физико-технического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доктор технических наук
 Алексей Алексеевич Орлов

Подписи И.В. Шаманина и А.А. Орлова удостоверено
Ученый секретарь Ученого совета ТПУ  О.А. Анаьева

Я, Шаманин Игорь Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Дурновцева Максима Ивановича, и их дальнейшую обработку.

Я, Орлов Алексей Алексеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Дурновцева Максима Ивановича, и их дальнейшую обработку.

