

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Картавых Андрея Александровича

**«Моделирование низкотемпературного охлаждения емкостей
в процессе фракционного разделения газовых смесей»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертационная работа Картавых А.А. посвящена экспериментальному и теоретическому обоснованию возможности замещения жидкого азота холодным воздухом при охлаждении емкостей в процессе фракционного разделения газовых смесей в производстве по разделению изотопов урана.

Актуальность темы исследования

Актуальность диссертационной работы А.А. Картавых подтверждается тем, что она выполнялась при частичной поддержке гранта РФФИ №16-48-700732 «Экспериментально-теоретическая методика оптимизации систем охлаждения в технологии разделительного производства изотопов урана» и Гранта Президента МК-5959.2016.8 «Разработка и обоснование энергоэффективной схемы системы охлаждения емкостей конденсационно-испарительных установок, используемых в технологии разделительного производства изотопов урана», а ее тематика входит в перечень критических технологий российской федерации (п.9 – Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом), а также в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники российской федерации (п.8 – Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика).

Экспериментально-теоретические исследования, проведенные в настоящей работе, направлены на повышение энергоэффективности производства по обогащению U^{235} на Заводе разделения изотопов Акционерного общества «Сибирский химический комбинат» (ЗРИ АО «СХК») в части снижения затрат на эксплуатацию установок для фракционного разделения газовых смесей. Таким образом, актуальность выбранного направления работы не вызывает сомнений.

В схеме фракционного разделения объединённого участка конденсационно-испарительных установок (ОУ КИУ) ЗРИ АО «СХК» газовая смесь гексафторида урана (ГФУ) и примесей, основной из которых является фтористый водород (HF), пропускается последовательно через ряд емкостей, режим охлаждения которых по температуре различен. Для десублимации HF и проскоков ГФУ на установке К-09 ОУ КИУ применяются специальные емкости, охлаждаемые жидким азотом. Жидкий азот является основным источником затрат при ведении процесса фракционного разделения.

Целью диссертации является экспериментальное и теоретическое обоснование возможности замещения жидкого азота холодным воздухом для охлаждения ёмкостей в схеме фракционного разделения газовых смесей ЗРИ АО «СХК».

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы иложена на 113 страницах.

Во введении диссертации формулируется актуальность темы, цель и задачи исследования, научная новизна, отмечается теоретическая и практическая значимость, формулируются положения, выносимые на защиту, и излагается краткое содержание диссертации.

В **первой главе** (15 стр.) проведен анализ работы установки очистки технологического потока от фтористого водорода в различных режимах работы. Уточнены средние величины расхода HF, поступающего в емкости, охлаждаемые жидким азотом.

Проведен сравнительный анализ эксплуатационных затрат при использовании в качестве хладагента для охлаждения емкостей установки К-09 ОУ КИУ жидкого азота и холодного воздуха.

Рассмотрены основные подходы при моделировании процессов тепло- массообмена в процессах десублимации компонентов газовых смесей.

Вторая глава диссертации (24 стр.) посвящена экспериментальному измерению давления насыщенного пара основных компонентов газовой смеси HF и ГФУ. Работы проводились на специально разработанном и сконструированном опытном стенде. По полученным экспериментальным данным и теоретическим расчетам определено, что для достижения требуемых технологических параметров достаточно иметь температуру для охлаждения ОС не выше 137 К.

Расчетно-экспериментальным путем определена температура охлаждения, при которой концентрации основных компонентов газовой смеси будет соответствовать требуемым технологическим условиям.

Проведены работы по определению технической возможности применения воздушно-холодильных машин ВХМ-0,54/0,6 (ВХМ) для охлаждения емкостей и достижения необходимой температуры охлаждения.

В **третьей главе** (16 стр.) представлены результаты экспериментальных работ, по оценке возможности применения холодного воздуха для охлаждения емкостей. Основной целью экспериментов, проводимых на опытном стенде, являлось определение величины проскока HF через осадительную емкость (ОС) охлаждаемого холодным воздухом до температуры 137 К и выяснение механизма влияния присутствия неконденсируемых примесей на процесс улавливания. Достаточно подробно описывается методика проводимых экспериментальных исследований, которые доказывают, что преимуществом двухступенчатой схемы фракционного разделения является значительное сокращение технологических коммуникаций по сравнению с применяемой трёхступенчатой схемой разделения, а

также подтверждают возможность организации работы схемы фракционного разделения в две ступени, с применением двух контуров воздушного охлаждения.

В четвертой главе (10 стр.) диссертации приведены результаты опытно-промышленной эксплуатации (ОПЭ) воздушного охлаждения емкостей на установке К–09 ОУ КИУ ЗРИ. Целью ОПЭ являлось определение эффективности процесса фракционного разделения газовых смесей при охлаждении емкостей холодным воздухом с температурой 133 К. Проведен анализ трех способов по охлаждению емкостей холодным воздухом от ВХМ отличающихся использованием как технологического коллектора со стабильным расходом газовой смеси, так и коллектора с кратно изменяющимся расходом и составом газовой смеси.

В пятой главе (20 стр.) представлены результаты теоретического моделирования процесса теплообмена в емкостях установки К–09 ОУ КИУ при охлаждении от ВХМ.

Разработана схема воздушного охлаждения емкостей установки К–09 ОУ КИУ от ВХМ. Определено оптимальное расположение холодильных мощностей в схеме охлаждения. Выданы исходные данные для разработки чертежно–технической документации на организацию схемы охлаждения емкостей установки К–09 ОУ КИУ ЗРИ холодным воздухом.

В заключении (2 стр.) приведены основные результаты и выводы по работе, сформулированные в 8 пунктах, из которых следует, что цель работы, заключавшейся в обосновании возможности замещения жидкого азота холодным воздухом для охлаждения емкостей, предназначенных очистки технологических потоков газовых смесей на ОУ КИУ в схеме фракционного разделения ЗРИ АО «СХК» достигнута.

Новизна результатов проведённых исследований.

В диссертационной работе Картавых А.А. получены следующие новые результаты.

1. Экспериментально доказана возможность фракционного разделения газовой смеси фтористого водорода и гексафторида урана с десублимацией в одной емкости и последующей сублимацией, путем термостатирования при разных температурных уровнях.

2. Определена эффективность улавливания гексафторида урана и легких примесей из технологических потоков ОУ КИУ ЗРИ в емкости, охлаждаемой холодным воздухом. Эффективность улавливания составила 93,7 % от общего массового расхода газовой смеси.

3. Доказана возможность замены жидкого азота холодным воздухом для охлаждения емкостей в производстве по разделению изотопов урана. При охлаждении холодным воздухом обеспечивается необходимая степень очистки газовой смеси от легких примесей.

4. Разработанные методики и оборудование могут быть использованы при проведении исследований физических свойств газообразных веществ при криогенных температурах.

Обоснованность и достоверность обеспечивается обоснованностью исходных данных, использованием классических методов термодинамических расчетов и статисти-

ческой обработки экспериментальных данных. При проведении расчетно – теоретического обоснования термостатирования ёмкостей установки К–09 ОУ КИУ использовалась программа для ЭВМ зарегистрированная в «Роспатенте». При проведении экспериментальных измерений использовалось аттестованное метрологическими службами измерительное оборудование.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов.

Диссертантом предложен, и экспериментально обоснован способ охлаждения емкостей холодным воздухом до температуры 133 К. Определена величина поступления фтористого водорода в узел защиты вакуумных насосов через ёмкость, охлаждаемую холодным воздухом.

Автором диссертации доказано, что применение воздушного охлаждения взамен жидкого азота в производстве по разделению изотопов урана обеспечивает необходимую степень очистки газовой смеси от гексафторида урана и фтористого водорода в схеме фракционного разделения газовых смесей. Применение холодного воздуха в качестве хладоносителя позволит значительно снизить затраты на жидкий азот, криогенную систему хранения и транспортировки жидкого азота, обеспечить автоматизацию процесса охлаждения емкостей и уровень воздействия вредных производственных факторов на обслуживающий персонал.

Практическая значимость результатов работы заключается в том, что предложенная автором централизованная схема охлаждения точек установки К-09 ОУ КИУ от ВХМ в настоящее время внедряется в технологии ОУ КИУ зд.1004 ЗРИ АО «СХК».

Следует отметить, что принцип организации охлаждения, предлагаемый автором может быть применен не только на разделительном производстве АО СХК, но и на аналогичных производствах по разделению изотопов урана АО «ТВЭЛ».

Апробация работы представляется вполне приемлемой, основные результаты, представленные в диссертации, в достаточной степени **опубликованы** в 18 работах: 3-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, 12 публикаций в материалах всероссийских и международных научных конференций, 1 свидетельстве на программу для ЭВМ, 1 патенте на изобретение, 1 отчете о НИР.

Диссертация четко структурирована, написана грамотно и изложена доступным для широкого круга специалистов литературным языком. Текст содержит необходимые формулы, понятные графики и рисунки.

В работе даны ссылки на авторов и источники, из которых соискатель заимствовал материалы и отдельные результаты, а при использовании публикаций, выполненных с соавторами, отмечал это в диссертации.

По материалам и результатам, представленным в диссертации, имеются замечания:

1. В главе 1 в разделах 1.2.1, 1.2.2 подробно приведено описание существующей откачной системы и узла ее защиты, приведены особенности эксплуатации вакуумных насосов. При этом данные технологические системы и узлы не имеют отношения к целям и задачам исследования.

2. В главе 2 на рисунках 2.4 и 2.5 представлены графики зависимости давления паров ГФУ и HF от температуры. Почему температура изменяется от большего значения к меньшему?

3. В таблице 2.7 приведена температура на точках № 1 и № 3, охлаждаемых от ВХМ №5, что не соответствует обозначению на рисунке 2.11 – «Емкость № 1 и № 2».

4. По результатам экспериментов по оценке возможности применения воздушного охлаждения в процессе фракционного разделения газовых смесей и эксперимента по оценке возможности применения воздушного охлаждения в двухступенчатой схеме фракционного разделения газовых смесей определены величины проскока веществ из емкости, охлаждаемой холодным воздухом. При проведении эксперимента использовались весовые методы измерений. Автором не приведена оценка погрешности измерений.

5. В тексте работы на странице 47 представлен рисунок 2.10. На рисунке сделана опечатка с кривой соответствующей формуле 2.6.

Заключение

Сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость и общую положительную оценку диссертационной работы А.А. Картавых. Теоретические и экспериментальные исследования проведены тщательно и на высоком научном уровне. Положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации основаны.

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

Диссертация представляет собой специально подготовленную рукопись, содержит совокупность новых научных результатов, имеет внутреннее единство.

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

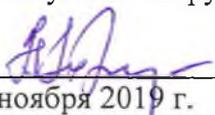
Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации и позволяет составить достаточно полное представление о ней.

На основе изучения диссертационной работы и публикаций по теме диссертации можно сделать обоснованное заключение о том, что диссертационная работа А.А. Картавых является научно - квалификационной работой, в которой решена задача численного и натурного моделирования теплофизических процессов в новом теплотехническом оборудовании, используемом в технологии разделения изотопов, соответствует специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника по физико-математическим наукам. Автором диссертации разработаны научно обоснованные решения, которые вносят существенный вклад в развитии атомной энергетики России и способствуют ускорению научно-технического прогресса.

На основании изложенного считаю, что диссертация Картавых А.А. «Моделирование низкотемпературного охлаждения емкостей в процессе фракционного разделения газовых смесей» является законченным научным исследованием и соответствует требованиям пункта 9 действующего Положения о присуждении ученых степеней.

Автор диссертации Картавых Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент:
профессор кафедры теплогазоснабжения и инженерных систем в строительстве ФГБОУ «Томский государственный архитектурно-строительный университет»
Доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости газа и плазмы),
старший научный сотрудник


_____ Козлобродов Александр Николаевич
дата 30 ноября 2019 г.

Почтовый адрес: 634003, г. Томск, пл. Соляная, д. 2,
ФГБОУ ТГАСУ
e-mail: akozlobrodov@mail.ru,
Служебный телефон: +7 (3822) 76-01-73
Сайт организации: www.tsuab.ru/,
Эл. адрес организации: rector@tsuab.ru,
Телефон организации: +7 (3822) 47-28-91
Подпись А.Н. Козлобродова заверяю:
Ученый секретарь ТГАСУ


_____ Какушкин Ю.А.

