

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Губанова Сергея Михайловича

**«Физическое и математическое моделирование процессов
термостатирования в производстве по разделению изотопов урана»,**
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность темы исследования определена насущной необходимостью решения проблемы перехода на озонобезопасные вещества и замещения существующей затратной, морально устаревшей технологии генерации захламленного воздуха при десублимации газовой смеси. Исследование естественно-конвективного и принудительного течения вязкого теплопроводного воздуха имеет актуальность от ввода мощностей разделительного производства в эксплуатацию с 60-х годов прошлого века.

Применение условно «чистой» технологии десублимации потоков гексафторида урана в специальных термостатированных холодным воздухом ёмкостях – осадителях является наиболее очевидным решением, но сопряжено с проблемами генерации холода и организации теплообмена.

Защита окружающей среды от вредных выбросов производства (HF) является жизненно необходимым фактором.

Актуальность диссертационной работы С. М. Губанова подтверждается тем, что она выполнялась при поддержке грантов РФФИ №16-48-700732 «Экспериментально-теоретическая методика оптимизации систем охлаждения в технологии разделительного производства изотопов урана» и Президента РФ 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).¹

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в настоящей работе, направлены на повышение энергоэффективности производства по обогащению U^{235} .

Поэтому актуальность выбранных направлений работы не вызывает сомнений.

Общая характеристика диссертации

Целью диссертации является определение возможностей сокращения энергетических затрат в технологических процессах разделения изотопов урана. Теоретическое и экспериментальное обоснование необходимости изменения существующей технологии, способов и приёмов ведения технологических процессов, исключение использования жидкого азота для фракционного разделения газовых смесей.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и изложена на 306 страницах.

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

В первой главе (52 стр.) проведен анализ существующих в настоящее время систем термостатирования разделительного производства. Рассмотрены проблемные места каждого участка технологии, где происходят тепломассообменные процессы. Формулируются задачи исследований для каждого направления, уточняются подходы при моделировании процессов тепло- массообмена. Делается обзор литературы, даются необходимые пояснения об особенностях производства.

Во второй главе диссертации (33 стр.) описаны результаты исследований режимов работы вентсистем. Представлена физико-математическая модель течения влажного теплопроводного воздуха. Получено подтверждение адекватности модели практическими исследованиями и опытно-промышленной эксплуатацией.

Получены значения распределения полей влагосодержания, а также распределение воздушных потоков, формирующих стационарное поле температур поверхностей. Исследование процессов кондиционирования и осушки воздуха в помещении в нестационарной постановке задачи, режимов стационарного турбулентного естественно-конвективного и принудительного течения вязкого теплопроводного воздуха позволило реализовать эффективный режим эксплуатации вентиляции действующего производства в АО «СХК».

В третьей главе (30 стр.) представлены результаты теоретического и практического исследования процессов тепломассообмена происходящих в холодильной машине ХТМФ-248-4000-1. Результатом исследований является получение сведений о пределах повышения мощности при переводе холодильных машин на озонобезопасный холодильный агент для сценария с достижением максимальной энергоэффективности при работе с R-12.

В четвертой главе (28 стр.) диссертации описывается математическая модель расчёта параметров холодоносителя в контуре циркуляции, основанная на гидравлическом подходе, позволяющая анализировать изменение распределения потоков холодоносителя по зданиям, анализировать изменение температуры холодоносителя при изменении расхода во внешнем контуре зданий, прогнозировать оптимальные значения давлений в характерных точках в гидравлической сети для осуществления регулировок.

Предложена перспективная схема термостатирования технологической единицы, имеющая преимущества по сравнению с существующими аналогами.

В пятой главе (47 стр.) представлены результаты исследования процессов теплообмена от потока холодного воздуха к стенкам ёмкостей при десублимации потоков ГФУ в различных режимах работы блока ёмкостей, согласно циклограмме процесса «десублимация–сублимация–охлаждение после сублимации», происходящих одновременно и асинхронно в блоке ёмкостей. Проведены экспериментальные испытания воздушно-холодильной машины. Представлены результаты внедрения в производство разработок.

В шестой главе (39 стр.) рассмотрены процессы десублимации примесей производства, газов с содержанием веществ имеющих низкую температуру фазового перехода. Определено количества HF, не улавливаемого в осадительных установках, и влияние на процессы сублимации и десублимации неконденсируемых газов.

Приведены результаты теоретического исследования процессов десублимации HF, физико-математическая модель десублимации фтористого водорода в присутствии компонентов воздуха.

Описаны опытно-экспериментальные работы по определению давлений насыщенных паров газов в температурном диапазоне от 77 К до 197 К. Представлены результаты экспериментального исследования влияния неконденсируемых газов на процесс десублимации HF. Приведена методика проведения экспериментальных работ.

В выводах по главе приведено обоснование способа очистки потоков ГФУ без использования азота с применением холодного воздуха.

В заключении (2 стр.) приведены основные результаты и выводы по работе, сформулированные в 7 пунктах, из которых следует, что цель диссертационной работы выявление и обоснование возможности по оптимизации и интенсификации процессов, используемых при термостатировании участков производства по разделению изотопов урана достигнута.

Новизна результатов проведённых исследований.

В диссертационной работе Губанова С.М. получены следующие новые результаты:

физико-математическая модель стационарных естественно-конвективных и принудительных турбулентных режимов течения вязкого теплопроводного воздуха в помещении с учётом процессов стратификации воздуха по ярусам размещения оборудования;

методика определения предельных значений физических параметров рабочего тела при форсировании турбокомпрессора при переходе на озонобезопасное рабочее тело;

методика расчёта параметров течения холодоносителя в контуре циркуляции объектов с тепловой нагрузкой до 25 Гкал/час;

физико-математическая модель охлаждения блока приёмных ёмкостей для десублимации газа с использованием в качестве хладагента воздуха;

теоретическими исследованиями, экспериментальными работами подтверждена возможность использования холодного воздуха вместо жидкого азота для сублимации и десублимации;

теоретически обоснован, разработан и внедрён в производство универсальный источник криогенных температур для осуществления процессов десублимации веществ;

получены не известные сведения о давлениях HF в диапазоне температуры от 93 К до 193 К. Получено новое уравнение зависимости парциального давления HF от температуры, справедливое в диапазоне температуры от 140 К до 190 К;

получены сведения о параметрах конденсации HF в динамическом режиме совместно с расходом неконденсируемых газов.

Теоретическая значимость полученных в диссертации результатов, заключается в новом теоретическом описании естественно-конвективных потоков газа моделями гидродинамического движения и теплообмена газа с устройствами для десублимации веществ, получением ранее не известных данных о свойствах HF и UF₆ в том числе при десублимации в присутствии неконденсируемых газов.

Практическая значимость работы и использование полученных результатов работы подтверждается использованием результатов научного исследования на производстве, применением в промышленности способов охлаждения газовой смеси и способа фракционной разгонки газовой смеси фтористого водорода гексафторида урана с исключением применения жидкого азота.

Достоверность и обоснованность расчётных методик и физико-математических моделей подтверждается результатами экспериментальных работ, результатами опытно-промышленных испытаний. При проведении экспериментальных измерений использовалось аттестованное метрологическими службами измерительное оборудование. Обоснованность выводов подтверждается достигнутыми результатами внедрения разработок в производство.

Рекомендации по использованию полученных результатов.

Физико-математические модели, результаты экспериментальных работ, могут быть использованы при проектировании оборудования и создании технологий в химической отрасли. Предложенный принцип охлаждения с помощью холодного воздуха должен быть рекомендован для применения на аналогичных производствах. Разработана научно обоснованная методика экспериментальных исследований, созданы экспериментальные стенды для продолжения исследований свойств веществ в интервале крайне низких и криогенных температур.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Теоретические и практические результаты, изложенные в диссертации, в научной печати представлены полно.

По теме диссертации опубликовано 42 работы, в том числе в 9 работ, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов диссертаций, 7 патентов, 7 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

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.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация и автореферат в полной мере соответствует паспорту специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника» п. 1 «Фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии для более глубокого понимания явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах».

Основные замечания по работе:

1. В главе 2, посвященной расчету вентиляции машинного зала, физическая постановка задачи предполагает ее трехмерный характер (стр. 82). Почему это не учитывается в используемой математической модели и почему не приводится геометрия расчетной области?

2. Растровые рисунки, приведенные в главе 2 (стр. 85-89) как результаты расчета при различном местоположении вентиляционных систем, во-первых, не являются показательными с точки зрения анализа изменения исследуемых параметров задачи от времени, а, во-вторых, для всех рассматриваемых вариантов анализируется поведение различных переменных и в различные промежутки времени. Почему?

3. В выводах по главе 3 (стр. 144) отмечается, что результате модернизации получено увеличение холодопроизводительности на 27,86 %, при снижении энергопотребления на 13,63 %. Во введении (стр.13) фигурируют другие цифры – 20,98 % и 17 % соответственно.

Прошу пояснить наличие разницы в представлении разных величин, характеризующих одно и то же достижение в разных частях диссертации.

4. В пояснениях к рисунку 4.3 (стр. 158) указано, что пунктирной линией обозначен номинальный расход холодоносителя внешнего контура через ТОУ. На рисунке пунктирной линии нет.

5. Из каких соображений в главе 5 (стр. 180) при расчете теплового потока через поверхность теплоизоляции трубопровода цилиндрическая стенка заменяется плоской?

6. Автор принимает, что десублимация фтористого водорода происходит на стенках, однако возможно образование капель аэрозоли фтористого водорода вблизи стенок емкости осадителя в потоке газовой смеси. Соискатель не обсуждает вопрос о том, как это повлияет на интенсивность десублимации.

7. При моделировании охлаждения блока ёмкостей К-08 использована математическая модель и программа ЭВМ. На сколько результаты расчётов совпадают с реализованными технологическими параметрами?

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

Заключение

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.

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 С. М. Губанова является завершённой научно - квалификационной работой, в которой решена проблема перехода на озонобезопасные вещества, входящая в перечень критических технологий российской федерации (п.9 - Технологии атомной энергетики, ядерного топливного цикла, безопасного обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом).

Диссертация Губанова С. М. «Физическое и математическое моделирование процессов термостатирования в технологии разделения изотопов» соответствует формуле специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника по физико-математическим наукам так как включает теоретические и экспериментальные исследования технологических процессов при наличии конвективно-кон-

дуктивного теплообмена в широком диапазоне температур и давлений, теоретическую и техническую термодинамику, численное и натурное моделирование тепловых физических процессов в технике и эксперименте, расчет и проектирование нового теплотехнического оборудования и п. 1 области исследования паспорта для физико-математических наук.

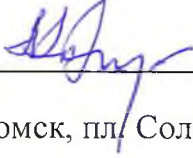
Автором диссертации разработаны научно обоснованные решения, которые вносят существенный вклад в развитии промышленности и энергетики России и способствуют ускорению научно-технического прогресса.

На основании изложенного считаю, что диссертация Губанова С. М. «Физическое и математическое моделирование процессов термостатирования в производстве по разделению изотопов урана» является законченным научным исследованием и соответствует требованиям действующего Положения о присуждении ученых степеней.

Автор диссертации Губанов Сергей Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент:

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

08 февраля 2020 г.  Козлобродов Александр Николаевич

Почтовый адрес: 634003, г. Томск, пл. Соляная, д. 2.

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.

М.П.

10.02.2020

