

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Гаряева Андрея Борисовича на диссертационную работу Аласгарли Сеймура Ульви оглы «Эффективность совместных интенсифицированных процессов тепломассообмена и разделения аэрозолей в насадочных и барботажных скрубберах», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника»

Актуальность темы:

Актуальность исследования обусловлена необходимостью как теоретического изучения, так и повышения эксплуатационной эффективности промышленных скрубберов, применяемых для охлаждения и очистки технологических газов. Целью диссертационного исследования является повышение эффективности совместных процессов тепломассообмена при охлаждении и очистке газовых сред от дисперсной фазы в скрубберах с барботажными тарелками и контактными насадками на основе физического и математического моделирования взаимодействия фаз. Исследования в данной области имеют важное теоретическое и практическое значение для многих отраслей промышленности и энергетики. Актуальными являются как теоретические и экспериментальные исследования, так и разработка инженерных методов расчета скрубберов, совершенствование их конструктивных параметров и выбор наилучших режимов их работы.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» по следующим направлениям:

- Процессы взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом; совместный перенос массы, импульса и энергии в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси;
- Научные основы и методы интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты. Процессы тепло- и массообмена в оборудовании, предназначенном для производства, преобразования, передачи и потребления теплоты;

– Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках.

По формуле специальности: научная дисциплина, ориентированная на совершенствование аппаратного оформления технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований.

В диссертации **Аласгарли С.У.** представлены следующие результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость:

1. Получены экспериментальные данные по перепаду давления, объемным коэффициентам массоотдачи и эффективности массообмена при увлажнении воздуха водой в колонне с регулярной сетчатой полимерной насадкой, а также при ее комбинированном использовании с нерегулярной металлической насадкой при скорости воздуха от 0,5 до 2,6 м/с и плотности орошения от 4,9 до 15,9 м³/(м²ч). Исследованные гидравлические и массообменные характеристики обобщены в виде эмпирических зависимостей. Для исследований насадки проведена модификация метода единиц переноса и получено выражение для расчета высоты насадочного слоя с учетом гидродинамической структуры потока газа и жидкости.

2. Разработана математическая модель процессов в скруббере с барботажными, сетчатыми, клапанными и струйными тарелками, в которой учёт тепломассообмена и сепарации аэрозолей учитывается локальными межфазными источниками и коэффициентами турбулентного обмена. В результате численного решения системы уравнений в частных производных получены профили энтальпии газа, температуры жидкости, влагосодержания и концентрации частиц аэрозоли в объёме нерегулярно расположенной насадки и вычислены эффективности процессов. Установлено, что поперечная неравномерность профиля скорости газа вызывает снижение эффективности процессов до 30%.

3. Получена система уравнений для расчёта тепловой эффективности и конструктивных характеристик сетчатой, клапанной и струйной тарелок при

совместных процессах охлаждения газа жидкой фазой и сепарация аэрозолей. Использована модель идеального вытеснения газа и ячеечная модель гидродинамической структуры жидкой фазы. Показано влияние структуры потока жидкой фазы на тепловую эффективность.

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечиваются корректным использованием поверенных средств измерения для определения характеристик исследованных процессов, хорошим согласованием расчётных значений с полученными экспериментальными данными и данными других исследователей. Достоверность результатов подтверждается также опытом эксплуатации модернизированного насадочного скруббера при охлаждении пирогаза в производстве этилена.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Аласгарли С.У. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении диссертации обосновывается актуальность темы, формулируются цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава содержит обстоятельный обзор существующих методов расчета и конструкций аппаратов, применяемых для охлаждения и мокрой очистки газов. Проведен анализ как физической сущности процессов тепло- и массообмена при контакте фаз, так и реальных схем и конструкций промышленного оборудования — скрубберов Вентури, барботажных и насадочных скрубберов. Проведено сопоставление характеристик контактных устройств для скрубберов.

Во второй главе диссертации представлены экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных процессов при увлажнении воздуха водой в насадочных колоннах, оборудованных рулонной регулярной сетчатой насадкой, а также в колоннах с комбинированными слоями регулярной и хаотичной насадок. На основании проведенных экспериментов определены закономерности изменения

гидравлического сопротивления, коэффициентов массоотдачи и эффективности массообмена в зависимости от скоростей потоков фаз и плотности орошения. Получены обобщающие зависимости для объемного коэффициента массоотдачи и гидравлического сопротивления. Даны сравнительные характеристики контактных устройств.

Третья глава диссертации посвящена разработке и верификации математических моделей процессов тепломассообмена и сепарации аэрозолей в насадочных скрубберах. Она представляет собой логическое развитие экспериментальной части исследования и направлена на теоретическое обобщение полученных ранее результатов с использованием численного и аналитического моделирования.

В четвёртой главе диссертации разработана математическая модель процессов тепло- и массообмена, а также конденсационной сепарации аэрозолей в скрубберах с барботажно-струйными тарелками. Она направлена на развитие теоретической базы для анализа эффективности контактных аппаратов в условиях турбулентного барботажа.

Пятая глава диссертации носит прикладной характер. Она направлена на практическую реализацию предложенных в работе теоретических и экспериментальных разработок. В ней рассмотрены вопросы модернизации скруббера К-5, используемого для охлаждения и очистки пирогаза в производстве этилена, внедренного на заводе «Этилен». Модернизация проведена путем замены насадки, подбор которой осуществлен на основании результатов, представленных в диссертации.

В целом диссертация **Аласгарли С. У.** является завершённым научным исследованием, в котором решён комплекс актуальных задач, связанных с интенсификацией совместных процессов тепломассообмена и разделения аэрозольных частиц в насадочных и барботажных скрубберах. Работа отличается целостностью и логической последовательностью изложения, и единством подхода, позволяющим преодолеть трудности при моделировании и расчёте параметров многофазных систем. Полученные результаты обладают

практической значимостью для проектирования и модернизации газоочистных и теплообменных аппаратов контактного типа.

Рекомендации по использованию научно-технических результатов и выводов диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке и модернизации аппаратов газоочистки и охлаждения газов, в которых реализуются совместные процессы тепломассообмена и разделения аэрозольных систем.

Полученные автором экспериментальные данные и обобщающие их эмпирические зависимости позволяют уточнять расчётные методики проектирования насадочных и барботажных скрубберов, выбирать оптимальные геометрические и режимные параметры для повышения их эффективности. Представленные в диссертации математические модели могут служить основой для инженерных расчётов и компьютерного моделирования аппаратов контактного типа.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе приведен значительный объём экспериментальных и численных исследований, однако часть полученных результатов (например, профили температур и влагосодержания в главе 4) следовало снабдить более развёрнутыми пояснениями, раскрывающими физический смысл выявленных закономерностей.

2. При проведении экспериментальных исследований следовало бы установить условия возникновения режимов подвисяния и захлебывания для исследуемых типов насадок.

3. В главе 2 при представлении результатов экспериментальных исследований следовало указать погрешности полученных автором экспериментальных данных.

4. В тексте диссертации использовано большое количество формул и обозначений. В некоторых разделах (например, 2.2 и 3.3) встречается повторное введение одинаковых параметров, что несколько затрудняет восприятие материала.

5. В главе 5, посвящённой практической реализации полученных автором результатов, подробно описана модернизация скруббера К-5, однако отсутствуют конкретные данные о продолжительности и условиях промышленной эксплуатации после внедрения, что позволило бы более полно оценить устойчивость полученного эффекта во времени.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Аласгарли С.У.

Заключение

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 13 научных работах, 4 из них из списка рекомендованного ВАК, из них 2 - входящих в базу Scopus. Также результаты исследования прошли апробацию на нескольких научных конференциях и семинарах. Автореферат и научные статьи, опубликованные автором, достаточно полно отражают основное содержание диссертации и характеризуют результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» по следующим пунктам: ПЗ, П5, П6.

Уровень решаемых задач соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Диссертационная работа Аласгарли Сеймура Ульви оглы «Эффективность совместных интенсифицированных процессов тепломассообмена и разделения аэрозолей в насадочных и барботажных скрубберах» является завершённой научно-квалификационной работой, где решена задача математического моделирования, экспериментального исследования и совершенствования методов расчета и повышения эффективности тепломассообмена в насадочных и барботажных скрубберах с внедрением научно-технических решений в промышленности. Диссертация по критериям актуальности, научной новизны, практической значимости,

обоснованности и достоверности выводов соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрауки России, установленным в пп.9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 в редакции от 18.03.2023), а соискатель Аласгарли Сеймур Ульви оглы заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Тепломассообменные
процессы и установки» ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»



Гаряев

Андрей Борисович

Дата: 26.11.2025

Подпись официального оппонента заверяю



Н.Г. Савин

Контактные данные:

ФИО: Гаряев Андрей Борисович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор кафедры «Тепломассообменные процессы и установки»

Специальность докторской диссертации: 05.14.04 — «Промышленная
теплоэнергетика

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет
«МЭИ»»

Рабочий адрес: 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14.

Контактный телефон: +7 (8442) 23-00-76

E-mail: GariayevAB@mpei.ru