



КГЭУ

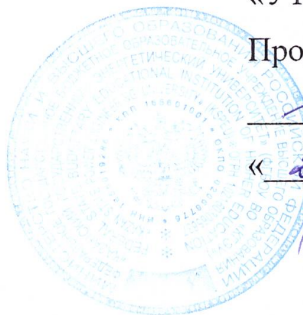
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и коммерциализации

И.В. Ившин

« 2 » 10 2025 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Казанский государственный энергетический
университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»)
по диссертационной работе **Аласгарли Сеймура Ульви оглы**
на соискание учёной степени кандидата технических наук

Диссертация «Эффективность совместных интенсифицированных процессов теплообмена и разделения аэрозолей в насадочных и барботажных скрубберах» выполнена на кафедре «Инженерная экология и безопасность труда» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).

В 2019 году Аласгарли Сеймура Ульви оглы окончил ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» по направлению подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело, присуждена квалификация бакалавр, рег. номер № 20157 от 13.07.2019г.

В 2021 году окончил ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» по направлению подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, присуждена квалификация магистр, рег. номер № 11051 от 13.07.2021г.

В 2021г. поступил в очную аспирантуру в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по направлению подготовки 08.06.01 Техника и технология строительства, специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения».

Справка о сданных кандидатских экзаменах выдана 08.10.2025г. в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Научный руководитель - доктор технических наук (05.17.08 - Процессы и аппараты химических технологий), профессор, профессор кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» ФГБОУ ВО «КГЭУ», Лаптев Анатолий Григорьевич.

По итогам обсуждения диссертации Аласгарли Сеймура Ульви оглы «Эффективность совместных интенсифицированных процессов тепломассообмена и разделения аэрозолей в насадочных и барботажных скрубберах» принято следующее заключение:

Актуальность работы

На предприятиях промышленной химии, нефтехимии, нефтегазопереработки и на тепловых станциях применяются процессы охлаждения газов при непосредственном контакте с водой в экономайзерах и скрубберах. Причём во многих случаях процесс охлаждения протекает совместно с очисткой от различного вида дисперсной фазы, так называемая «мокрая» очистка. В связи с развитием направления на технологический суверенитет актуальным является проведение фундаментальных и прикладных исследований тепломассообмена и разделения аэрозольных систем в скрубберах различных конструкций, к которым относятся насадочные и барботажные аппараты. При непосредственном контакте фаз эффективность процессов значительно выше, чем через разделяющую стенку, но при экспериментальных исследованиях и математическом моделировании

появляются дополнительные сложности с учётом термодинамических и кинетических характеристик влажных газов (как технологических, так и дымовых), подвижной межфазной поверхности и весьма приближенно известной площади контакта фаз. Кроме этого, дополнительные трудности возникают при неоднородном распределении газа и жидкости в рабочем объеме аппарата, что как известно снижает эффективность тепло-и массообмена. Поэтому актуальной задачей является физическое и математическое моделирование с учётом отличительных особенностей процессов охлаждения газов совместно с разделением аэрозольных систем в промышленных скруббера при интенсивных режимах взаимодействия фаз. Все это обуславливает актуальность темы данной работы.

Связь диссертационной работы с приоритетными научно-исследовательскими работами.

Работа выполнена в рамках научного проекта РНФ 25-29-00129 «Энергоресурсоэффективность широкого класса процессов и технологическая независимость промышленных аппаратов на предприятиях топливноэнергетического комплекса» (2025–2026 гг.). Диссертационная работа направлена на комплексное повышение эффективности совместных процессов охлаждения и очистки газовых сред от дисперсной фазы в скрубберах с барботажными тарелками и контактными насадками на основе физического и математического моделирования взаимодействия фаз с внедрением разработок на промышленном предприятии

Научная новизна результатов работы

1. Получены экспериментальные данные по перепаду давления, объемным коэффициентом массоотдачи и эффективности массообмена при увлажнении воздуха водой в колонне с регулярной сетчатой полимерной насадкой, а также при комбинированном расположении с нерегулярной металлической 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 выражений. Для исследований насадки выполнена модификация метода единиц переноса и получено

выражение для расчета высоты насадочного слоя с учетом гидродинамической структуры потока газа и жидкости.

2. На основе применены системы дифференциальных уравнений в частных производных представлена математическая модель, где учёт тепломассообмена и сепарации аэрозолей учитывается локальными межфазными источниками и коэффициентами турбулентного обмена. В результате численного решения системы уравнений получены профили энтальпии газа, температуры жидкости, влагосодержания и концентрации аэрозольных частиц в объёме хаотичной насадки и вычислены эффективности процессов. Установлено, что поперечная неравномерность профиля скорости газа вызывает снижение эффективности процессов до 30% относительных.

3. Получена система уравнений для расчёта тепловой эффективности и конструктивных характеристик ситчатой, 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.

Теоретическая и практическая-значимость результатов

1. Получены эмпирические выражения для расчёта гидравлического сопротивления орошаемой рулонной насадки из полимерной сетки при скорости воздуха от 0,5 до 2,5 м/с и плотности орошения водой от 4,9 до 15,9 м³/(м²ч).

2. Получено выражение для расчёта объёмного коэффициента массоотдачи при моделировании эффективности процессов тепломассообмена.

3. Представлены математические модели тепломассообмена и сепарации аэрозолей для расчёта эффективности процессов при противотоке плёнки воды с газом в нерегулярных и регулярных насадках, которые позволяют вычислить физические поля с учётом неоднородности распределения фаз.

4. Разработан инженерный метод расчёта тепловой эффективности насадочных и тарельчатых скрубберов, а также их конструктивных и режимных характеристик.

5. Разработаны научно-технические решения по модернизации промышленного скруббера охлаждения и очистки пирогаза водой, внедренные на заводе «Этилен».

6. Предложенные научные подходы используются при выполнении фундаментальных и прикладных научных исследований в области тепломассообменных процессов сотрудниками ИММ КазНЦ РАН, ООО ИВЦ «Инжехим», а также в учебном процессе.

Личное участие авторов в получении результатов научных исследований, изложенных в диссертации

Автор лично участвовал в постановке цели и задач исследований, разработке математической модели и инженерной методики расчета, проведении численного моделирования, в получении результатов, представленных в диссертации и публикациях.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Обеспечивается поверенными средствами измерения характеристик исследованных процессов, согласованием расчётных значений с полученными экспериментальными данными и данными других исследователей. Успешным внедрением модернизированного скруббера в производстве этилена.

Соответствие диссертации научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника» по пунктам паспорта: ПЗ – «Процессы взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом; совместный перенос массы, импульса и энергии в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси»; П5 – «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»; П6 – «Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках».

Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России для соискателей ученых степеней доктора и кандидата наук, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных цитирования Scopus, получен патент.

Статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ

1. Лаптев, А. Г. Эффективность охлаждения жидкостей в турбулентном барботажном слое на ситчатых тарелках / А. Г. Лаптев, Е. А. Лаптева, С. У. Аласгарли // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 6. – С. 13-24.
2. Лаптева Е. А., Аласгарли С. У., Ключкова В. А. Поликанальная математическая модель разделения жидких аэрозольных систем в насадочных скрубберах-охладителях // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2025. Т. 27. № 1. С. 126-138.
3. Лаптев А. Г., Лаптева Е. А., Хамидуллин Р. Н., Аласгарли С. У. Экспериментальные гидравлические и массообменные характеристики процессов в колонне с комбинированной рулонной и нерегулярной насадками // Промышленные процессы и технологии – 2025. – Т. 5, № 1(15). – С. 100–111.

Статьи в изданиях, включенных в международную базу цитирования

SCOPUS и Web of Science

4. Lapteva E.A., Laptev A.G., Alasgarli S.U. Mathematical model of contact cooling and purification of the dispersed phase of gases in packed scrubbers // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2022. Т. 56. № 2. С. 244-251.
5. Lapteva E., Alasgarli S. U. Mathematical models of heat transport in film apparatus with intensifiers for gas cooling and water heating // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 2978–2983.

Публикации в других изданиях и материалах конференций

6. Лаптев А. Г., Лаптева Е. А., Аласгарли С. У. Экспериментальные гидравлические и массообменные характеристики колонны с рулонной сетчатой насадкой для скрубберов и градилен // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 4. – С. 76–83.

7. Лаптев А. Г., Лаптева Е. А., Ключкова В. А., Аласгарли С. У. Метод расчета сепарации аэрозольных систем в насадочных скрубберах // Интенсификация тепломассообменных процессов, промышленная безопасность и экология: материалы VII Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – Казань, 2024. – С. 363–366.
8. Лаптев А. Г., Лаптева Е. А., Аласгарли С. У. Математическая модель и эффективность охлаждения газа в скруббере с барботажными тарелками // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27, № 1. – С. 151–158.
9. Аласгарли С. У. Приближенный метод расчета насадочного скруббера мокрой очистки газов от дисперсной фазы // Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология: материалы Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвящённого Дню энергетика. – Казань, 2023. – С. 441–444.
10. Аласгарли С. У., Лаптев А. Г. Эффективность контактного теплообмена в пенном слое // Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология: материалы VI Всероссийской студенческой научно-технической конференции. – Казань, 2022. – С. 283–286.
11. Аласгарли С. У. Математическая модель охлаждения газа в барботажном слое // Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: сборник статей Международной конференции. – Казань, 2022. – С. 692–694.
12. Лаптева Е. А., Лаптев А. Г., Аласгарли С. У. Математическая модель контактного охлаждения газов в высокоскоростных дисперсно-кольцевых потоках // Математические методы в технологиях и технике. – 2021. – № 12. – С. 44–47.

Объекты интеллектуальной собственности

13. Патент № 2846580 Российская Федерация. Комбинированный насадочный аппарат для охлаждения и очистки газов: заявл. 03.12.2024; опубл. 09.09.2025 / Лаптев А. Г., Лаптева Е. А., Аласгарли С. У.; заявитель ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Апробация работы

Основные положения и отдельные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических

конференциях «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ), г. Казань, 2023, III Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», г. Казань, 2022, IV Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», г. Казань, 2023, ТНФ-2025 «Устойчивая энергетика как драйвер развития предприятий», Казань, 2025, а также на семинарах и конференциях КГЭУ (2021-2025 гг.).

Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ соискателя состоит в следующем:

1. Серия экспериментов и получены экспериментальные данные по перепаду давления, объёмному коэффициенту массоотдачи и эффективности массообмена при увлажнении воздуха в колонных аппаратах, оснащённых регулярной полимерной сетчатой насадкой и комбинированными расположениями с нерегулярной металлической насадкой. Получены эмпирические выражения для расчета ΔP_{op} и β_{xv} . Установлена высокая эффективность (85-90%) массообмена.
2. Построена математическая модель, основанная на системе дифференциальных уравнений в частных производных, с учётом тепломассообмена и сепарации аэрозолей через локальные межфазные источники и коэффициенты турбулентного переноса. Показано влияние неравномерности профиля скорости газа на эффективность процессов в насадочном скруббере.
3. Разработан алгоритм для расчёта тепловой эффективности и конструктивных характеристик сетчатых и струйных тарелок в условиях совместного охлаждения газового потока и сепарации аэрозольных частиц в скруббере.
4. Полученные результаты могут быть применены при модернизации промышленных теплообменных и очистных установок, в том числе в энергетике, с целью повышения эффективности процессов охлаждения и очистки газов. Предложенные научные подходы используются при выполнении фундаментальных и прикладных научных исследований используются

сотрудниками ИММ КазНЦ РАН в своих исследованиях, а также в учебном процессе.

5. Разработаны научно-технические решения по модернизации промышленного скруббера очистки и охлаждения пирогаза в производстве этилена на АО «Казаньоргсинтез». Промышленная эксплуатация аппарата после модернизации показывают соответствие техническому заданию.

Характер результатов

Характер результатов соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ.

Рекомендации и выводы

Диссертационная работа Аласгарли Сеймура Ульви оглы «Эффективность совместных интенсифицированных процессов тепломассообмена и разделения аэрозолей в насадочных и барботажных скрубберах» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение важной научно-технической задачи математического моделирования и повышения эффективности процессов тепло- и массообмена, а также очистки газов от аэрозольной фазы в аппаратах контактного типа.

Диссертационная работа обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, и свидетельствует о личном вкладе соискателя в развитие научного направления в области теоретической и прикладной теплотехники. Выполняя исследование, Аласгарли Сеймур Ульви оглы проявил себя как зрелый научный работник, способный самостоятельно ставить и решать сложные теоретические и практические задачи, владеть современными методами моделирования и анализа тепломассообменных процессов.

Работа соответствует критериям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции Постановления

Правительства РФ от 16 октября 2024 г.) и предъявляемым требованиям к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Диссертационная работа «Эффективность совместных интенсифицированных процессов тепломассообмена и разделения аэрозолей в насадочных и барботажных скрубберах» Аласгарли Сеймура Ульви оглы рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Присутствовали на заседании – 28 человек, из них 7 - члены диссертационного совета 24.2.310.03, созданного на базе КГЭУ. Результаты голосования: «за» – 28 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет. Заключение принято единогласно, протокол № 10 от 30.09.2025 г.

Председатель заседания,
зав. кафедры «Инженерная экология и
безопасность труда», д.т.н., профессор

Николаева Лариса
Андреевна

Секретарь заседания,
доцент кафедры
«Инженерная экология и безопасность
труда» к.т.н., доцент

Исхакова Регина
Яновна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», 420066, Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул. Красносельская, 51, телефон/факс +7 (843) 519-42-20, kgeu@kgeu.ru, www.kgeu.ru.

Свидетельство о лице, утвердившем заключение

Ившин Игорь Владимирович: доктор технических наук, профессор

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», проректор по науке и коммерциализации, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51.

Тел. (843) 519-42-73, e-mail: ivshini@mail.ru

