



КГЭУ

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



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор-проректор по УР  
(должность)

Леонтьев А. В.

«25» июня 2026 г.

Печать организации

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ») по диссертационной работе **Ахмитшина Алмаза Анасовича** «Теплогидравлические характеристики пленочной конденсации пара и интенсификации теплообмена в аппаратах при нагреве сред с повышенной вязкостью», выполненной на кафедре «Инженерная экология и безопасность труда» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Ахмитшин Алмаз в 2013 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный научно - исследовательский технологический университет» получив степень магистра по направлению подготовки 240100 «Химическая технология». В период подготовки диссертации соискатель работал в ООО «Инженерно-внедренческий центр «Инжехим» на должности ведущий инженер конструкторско-технологической службы.

С 2022 года является аспирантом кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ») очной формы. Во время обучения в аспирантуре сдал все кандидатские экзамены. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2026 году федеральным

Научный руководитель – Лаптев Анатолий Григорьевич - профессор кафедры «Инженерная экология и безопасность труда», доктор технических наук федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»).

**Актуальность работы.** В химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслях промышленности в различных технологических процессах основными теплообменными аппаратами являются кожухотрубчатые и пластинчатые теплообменники. Например, производство теплообменников в России за период с 2020 по 2022 г.г. выросло на 41.8 %. Поэтому повышение эффективности таких аппаратов, а также снижение их массогабаритных характеристик является актуальной задачей для теории и практики теплотехники.

Для создания теплообменных аппаратов с небольшими массогабаритными характеристиками применяются различные методы интенсификации теплопередачи. К основным методам относятся поверхностные и объемные интенсификаторы, которые обеспечивают значительную турбулизацию теплоносителей, разрушение пограничного слоя, а для сред с повышенной вязкостью - переход от ламинарного режима течения к турбулентному при небольших числах Рейнольдса. Интенсификация теплообмена в аппаратах с вязкими средами (мазут, синтетические и минеральные масла, тяжелые остатки углеводородных смесей после нефтепереработки и т.д.) актуальна как для тепловых станций, где в качестве основного или вспомогательного топлива применяется мазут, так и для предприятий нефтехимии и нефтегазопереработки. Несмотря на повышение гидравлического сопротивления теплообменников с интенсификаторами, создание компактных аппаратов во многих случаях оправдано из-за ограниченного пространства в цехах при монтаже различного оборудования, снижения стоимости теплообменников, а также повышения эффективности нагрева или охлаждения жидких сред с повышенной вязкостью.

Методы и технические решения по повышению эффективности теплообменных процессов исследованы и разработаны в основном при турбулентном режиме движения теплоносителей и значительно реже при ламинарном, особенно для сред с повышенной вязкостью. Однако именно такие

среды и режимы являются наиболее перспективными для значительной интенсификации теплообмена на предприятиях нефтепереработки и тепловых станциях, что не раз отмечалось в работах Ю.Г. Назмеева, А.И. Леонтьева, В.А. Кирпикова и др.

***Научная новизна работы определяется следующим:***

1. Построена математическая модель пленочной конденсации на основе уравнений сохранения импульса, массы и энергии в двухмерной постановке для хладагента в ограниченной области, стекающей пленки конденсата по поверхности стенки и паровой фазы с учетом изменения физических свойств в зависимости от температуры теплоносителя.

2. Получены экспериментальные данные по теплогидравлическим характеристикам процесса пленочной конденсации в пластинчатом теплообменнике (ПТ) и проведено сравнение с результатами численного моделирования путем решения систем дифференциальных уравнений. Исследована конденсация воды и третбутилового спирта (ТБС) и установлено влияние расхода хладагента (воды) на количество образующегося конденсата. Установлено, что при больших расходах хладагента наступает стабилизация процесса пленочной конденсации. Разработан алгоритм и дан пример расчета ПТ при пленочной конденсации.

3. На экспериментальном стенде получены данные по теплогидравлическим характеристикам нагрева масла в пластинчатом теплообменнике, где в каналах в качестве объемного интенсификатора размещалась мелкая хаотичная металлическая насадка. Получены экспериментальные значения средних коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи для гидравлического масла марки Роснефть НЛР 46, а также значения перепада давления. Показано согласование опытных значений коэффициентов теплоотдачи с расчетами по известным выражениям для числа Нуссельта.

4. С применением ячеечной модели гидродинамической структуры потоков теплоносителей в каналах с хаотичными элементами (насадками) получены выражения для расчета коэффициента тепловой эффективности нагрева масел в трубчатых и пластинчатых теплообменниках. Показано влияние структуры потоков

на тепловую эффективность аппаратов для вязких сред и согласование с экспериментальными данными.

***Теоретическая и практическая значимость работы.***

1. В результате экспериментальных исследований по нагреву гидравлического масла водяным паром ( $100^{\circ}\text{C}$ ) в пластинчатом теплообменнике установлено, что за счет размещения хаотичной насадки внутри каналов, где теплоносителем является гидравлическое масло, происходит повышение коэффициента теплоотдачи в 1,5-2 раза при числе Рейнольдса от 5 до 20, и в 6-12 раз при числах Рейнольдса от 40 до 350 при переходе от ламинарного режима в турбулентный за счет хаотичных интенсификаторов. Дано сравнение по теплогидравлическим характеристикам теплообменников с другими способами интенсификации.

2. Разработан алгоритм расчета с учетом структуры потока по ячеечной модели поверхности и эффективности теплопередачи в теплообменнике с хаотичными насадками. Теплообменник с интенсификаторами внедрен на промышленном предприятии нефтепереработки.

3. Получен патент на радиально-спиральный теплообменник, а также представлена конструкция пластинчатого теплообменника с объемными интенсификаторами, которые могут использоваться для нагрева углеводородных и иных смесей на промышленных установках предприятий нефтехимии, нефтегазопереработки и ТЭС.

***Научные положения, выносимые на защиту, заключаются в:***

1. Разработанной математической модели пленочной конденсации на основе уравнений сохранения импульса, массы и энергии в двухмерной постановке для хладагента в ограниченной области, стекающей пленки конденсата по поверхности стенки и паровой фазы с учетом изменения физических свойств в зависимости от температуры теплоносителя;

2. Результатах экспериментальных данных по пленочной конденсации в пластинчатом теплообменнике и сравнении их с результатами численного моделирования;

3. Результатах экспериментальных исследований по теплообмену и гидравлическому сопротивлению в пластинчатом теплообменнике с

интенсификаторами и полученных выражениях для расчета коэффициента тепловой эффективности.

***Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации,*** состоит в непосредственном участии во всех этапах получения результатов, представленных в диссертации, в разработке математической модели пленочной конденсации, в самостоятельном проведении экспериментов на экспериментальной установке, обработке результатов эксперимента в виде расчетных эмпирических выражений, в разработке научно-технических решений, направленных на повышение эффективности теплообмена, подготовке докладов, выступлений на конференциях и написании статей.

***Степень достоверности результатов исследования.*** Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается применением аттестованных апробированных средств экспериментального исследования, согласованием полученных результатов по теплоотдаче с известными выражениями, применением моделей структуры потоков и согласованием результатов расчетов тепловой эффективности аппаратов с экспериментальными данными. Исследование выполнено с использованием сертифицированного методик и оборудования, а полученные данные прошли тщательную проверку на точность и воспроизводимость, что соответствует установленным стандартам и требованиям.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа Ахмитшина Алмаза Анасовича представляет собой завершённый научный труд, выполнена на достаточно высоком научном и методическом уровне. Полученные результаты обладают новизной и практической значимостью, поскольку позволяют решить актуальные задачи в области теплотехники для различных производств и представляют научный и практический интерес для промышленности.

***Ценность научной работы соискателя ученой степени.***

В диссертационной работе на основе уравнений сохранения импульса, массы и энергии в двухмерной постановке построена математическая модель пленочной конденсации для хладагента в ограниченной области, стекающей пленки конденсата по поверхности стенки и паровой фазы с учетом изменения теплофизических свойств хладагента и пленки конденсата в зависимости от температуры. Установлено, что

процесс пленочной конденсации зависит от гидродинамических и теплофизических характеристик хладагента и паровой фазы, от их входных температур, расхода (скорости течения) хладагента. Сравнение результатов численного эксперимента на основании построенной математической модели с экспериментальными данными показало их удовлетворительное согласование (относительная погрешность 10-12%).

На экспериментальной установке получены данные по теплогидравлическим характеристикам процесса нагрева гидравлического масла водяным паром с применением в каналах пластинчатого теплообменника хаотичной насадки. Из полученных экспериментальных результатов следует, что наличие насадки при малых числах Рейнольдса (5-20) обеспечивает повышение числа Нуссельта в 1,5-2 раза, а в интервале чисел Рейнольдса от 40 до 450 - в 6-12 раз, гидравлическое сопротивление повышается в 4-6,5 раза.

Обобщены полученные экспериментальные данные по гидравлическому сопротивлению и эффективности теплопередачи в виде расчетных выражений.

Проведено сравнение данных по теплогидравлическим характеристикам, полученных при нагреве минерального гидравлического масла в пластинчатом теплообменнике с насадкой, с известными экспериментальными данными и расчетными зависимостями для теплообменников с различными интенсификаторами. Установлено, что представленный метод интенсификации теплообмена и расчетные выражения могут применяться при проектировании или модернизации компактных теплообменников при нагреве (охлаждении) жидкостей с повышенной вязкостью.

Показано применение ячеечной модели гидродинамической структуры потоков для расчета поверхности и эффективности теплопередачи в теплообменниках с насадкой и с учетом обратного перемешивания теплоносителей для жидких сред с повышенной вязкостью. Установлено расхождение между экспериментальными и расчетными значениями  $Nu$  около 5-10 %.

На основе полученных экспериментальных и расчетных данных, а также разработанного алгоритма расчета, разработаны и внедрены конструкции пластинчатых теплообменников в пилотных установках для ООО «НТЦ Ахмадуллины», а также в теплогенераторах фирмы ООО «Теплобокс-Производство котельного оборудования». Полученные научно-технические результаты применяются в ООО «ИВЦ «Инжехим» при проектировании теплообменников для процессов нефтегазопереработки.

**Перспективы развития темы диссертации** заключаются в дальнейшем применении математических моделей и исследованных объемных интенсификаторов в других тепло- и массообменных аппаратах для турбулизации вязких сред и значительного повышения эффективности процессов.

**Соответствие диссертации требованиям, установленным п.14 «Положения о присуждении ученых степеней».** В диссертационной работе отсутствует заимствованный материал без ссылки на автора и (или) источник заимствования, а также результаты научных работ, выполненных Ахмитшиным Алмазом Анасовичем в соавторстве, без ссылок на соавторов.

**Научная специальность и отрасль науки, которой соответствует диссертация.** Диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника» по пунктам паспорта:

– 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.

- Процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и при фазовых превращениях. Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах.

- Новые конструкции теплопередающих и теплоиспользующих установок и оборудования, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Совершенствование методов расчета и оптимизация параметров, использующих теплоту технологических процессов, оборудования и систем.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени:** по теме диссертационной работы опубликовано 21 работа, 7 – в научных изданиях, входящих в перечень ВАК и приравненных к ним.

**В изданиях из перечня ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и приравненных к ним:**

1. Лаптев А.Г., Ахмитшин А.А. Определение эффективности пластинчатых и трубчатых теплообменников с интенсификаторами с учетом структуры потоков// Теплофизика и аэромеханика. 2025. Т. 32. № 3. С. 529-542.

2. Dmitriev A.V., Farakhov M.M., Khafizova A.I., Dmitrieva O.S., Madyshev I.N., Gilyazov A.D., Akhmitshin A.A. Investigation into the process of interaction of the liquid and the gas in a jet-film contact device // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2022. T. 95. № 2. С. 421-427.

3. Laptev A.G., Lapteva E.A., Akhmitshin A.A. Modeling of intensified heat exchangers with different viscosities of fluids // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2022. T. 57. № 6. С. 917-925.

4. Akhmadiev F.G., Farakhov M.I., Akhmitshin A.A. MODELING COUPLED HEAT AND MASS TRANSFER UPON FILM CONDENSATION // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2020. T. 54. № 4. С. 592-603.

5. Farakhov M.I., Akhmitshin A.A., Laptev A.G., Farakhov T.M. Distillation of vacuum gas oil in a column with new packings // В сборнике: II International scientific and practical conference "Actual problems of the energy complex: mining, production, transmission, processing and environmental protection" 16-17 April 2020, Moscow, Russian Federation. London, 2020. С. 012-017.

6. F. G. Akhmadiev, M. I. Farakhov, A. A. Akhmitshin. Mathematical model of conjugate heat and mass transfer at film condensation // Lobachevskii Journal of Mathematics, 2019 – V. 40.- №.6, -P. 711–717.

***Объекты интеллектуальной собственности:***

7. Пат. 2583316 Российская Федерация, МПК F28D9/00 С1. Теплообменник радиально-спирального типа (варианты). Фарахов, М.И., Ахмитшин А. А., Кузнецов В.А., Фарахов М.М., Шафиков И.С. (РФ); заявитель и патентообладатель общество с ограниченной ответственностью «Инженерно-внедренческий центр «ИНЖЕХИМ» - № 2015117843/06; заявлено: 12.05.2015, опубл. 10.05.2016, Бюл. № 13. – 11 с., - 12 ил.

***Публикации в других изданиях и материалах конференций:***

8. Лаптев, А. Г. Сравнительные характеристики способов интенсификации теплообмена в трубчатых и пластинчатых аппаратах / А. Г. Лаптев, Р. Н. Хамидуллин, А. А. Ахмитшин // Вестник Технологического университета. – 2026. – Т. 29, № 4. – С. 107-112.

9. Ахмитшин А.А. Противоточные теплообменные аппараты с интенсификаторами для сред с повышенной вязкостью. Определение тепловой эффективности // В сборнике: XXVIII Всероссийский аспирантско-магистерский

научный семинар, посвященный дню энергетика. Материалы докладов. В 3-х томах. Казань, 2024. С. 405-407.

10. Лаптев А.Г., Ахмитшин А.А. Учет структуры потоков при расчете пластинчатых теплообменников с интенсификаторами // В сборнике: Тинчуринские чтения - 2024 "Энергетика и цифровая трансформация". Международная молодежная научная конференция. В четырех томах. Казань, 2024. С. 605-607.

11. Ахмитшин А.А. Метод теплового числа единиц переноса в расчетах противоточных теплообменников с интенсификаторами // В сборнике: XXVII Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика и 55-летию КГЭУ. Материалы докладов. Казань, 2023. С. 517-519.

12. Ахмитшин А.А. Физическое и математическое моделирование процесса нагрева жидкостей паром в пластинчатом теплообменнике // В сборнике: Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2023. С. 753-755.

13. Ахмитшин А.А. Повышение эффективности пластинчатых теплообменников при пленочной конденсации // В сборнике: XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика. Материалы докладов семинара. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2023. С. 444-447.

14. Ф. Г. Ахмадиев, Р.М. Гильфанов, М. И. Фарахов, А. А. Ахмитшин. Математическое и физическое моделирование пленочной конденсации в пластинчатых теплообменниках // Математические методы в технике и технологиях. Сборник трудов международной научной конференции, Санкт-Петербург- 2020, - Т.5, - С. 25-30.

15. Ф. Г. Ахмадиев, Р.М. Гильфанов, М. И. Фарахов, А. А. Ахмитшин. Расчет сопряженного тепломассообмена в пластинчатых теплообменниках при пленочной конденсации // Тез. докл. XII Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной химии, Уфа – 2019, - С. 722-724.

16. Ф. Г. Ахмадиев, М. И. Фарахов, А. А. Ахмитшин, Р.М. Гильфанов. Математическое и физическое моделирование процесса пленочной конденсации на пластинчатых теплообменниках // Тез. докл. Международной научной конференции по проблемам архитектуры и строительства, Казань – 2019, - С. 387.

17. Ф. Г. Ахмадиев, М. И. Фарахов, Р.М. Гильфанов, А. А. Ахмитшин. Физическое моделирование и методика расчета пластинчатых теплообменников при пленочной конденсации, Вестник технологического университета. – 2019. – Т.22, - №10, - С. 16-24.

18. Ф.Г. Ахмадиев, М.И. Фарахов, А.А. Ахмитшин. Математическая модель процесса пленочной конденсации // Математические методы в технике и технологиях – ММТГ. – 2018, т. 1. – С. 129-134.

19. Ф. Г. Ахмадиев, Р.М. Гильфанов, М. И. Фарахов, А. А. Ахмитшин. Математическое моделирование и расчет процесса пленочной конденсации // Издательство АН РТ, Казань – 2018, С. 14-18.

20. Ф. Г. Ахмадиев, М. И. Фарахов, А. А. Ахмитшин. Математическое моделирование процесса пленочной конденсации // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20, - №17, - С. 32-35.

21. Ф. Г. Ахмадиев, М. И. Фарахов, А. А. Ахмитшин. Математическое моделирование процесса тепломассообмена при пленочной конденсации // Математические методы в технике и технологиях. Сборник трудов международной научной конференции, Санкт-Петербург- 2017, - Т.2, - С. 52-57.

Диссертационная работа обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, содержит научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Диссертационная работа Ахмитшина Алмаза Анасовича на тему «Теплогидравлические характеристики пленочной конденсации пара и интенсификации теплообмена в аппаратах при нагреве сред с повышенной вязкостью» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Диссертация «Теплогидравлические характеристики пленочной конденсации пара и интенсификации теплообмена в аппаратах при нагреве сред с повышенной вязкостью» соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), в т.ч. п. 14.

В диссертации отсутствуют неправомерные заимствования.

Диссертация «Теплогидравлические характеристики пленочной конденсации пара и интенсификации теплообмена в аппаратах при нагреве сред с повышенной вязкостью» Ахмитшина Алмаза Анасовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Присутствовали на заседании – 20 человек, из них 4 человека - члены диссертационного совета 24.2.310.03, созданного на базе КГЭУ. Результаты голосования: «за» – 20 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет. Заключение принято единогласно, протокол № 8 от 16.06.2026 г.

Председатель заседания,  
Заведующий кафедрой «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](mailto:kgeu@kgeu.ru), [www.kgeu.ru](http://www.kgeu.ru).

Свидетельство о лице, утвердившем заключение  
Леонтьев Александр Васильевич: доктор педагогических наук, профессор  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»,  
первый проректор – проректор по учебной работе, 420066, Республика Татарстан,  
г. Казань, ул. Красносельская, 51. Тел. (843)527-92-48, e-mail: [kgeu.ur@mail.ru](mailto:kgeu.ur@mail.ru)



Николаевой Л.А., Исхаковой Р.Я.  
Специалист ОК Кадырова О.А.