

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**

**ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИ:
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ**

Национальная (с международным участием)
научно-практическая конференция
(Казань, 10 – 11 апреля 2024 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

Казань
2024

УДК 004.02+004.9
ББК 32.813 + 32.973
Ц75

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Автоматизированные системы сбора и обработки информации» ФГБОУ ВО «КНИТУ» Р.Н. Гайнуллин;

д-р техн. наук, профессор кафедры «Системы информационной безопасности» ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ» А.С. Катасёв

Редакционная коллегия:

И.Г. Ахметова (гл. редактор); Ю.Н. Смирнов (зам. гл. редактора); Р.С. Зарипова, О.А. Пырнова, Г.А. Овсёенко, О.Ю. Янова

Ц75 **Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения:** материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции (Казань, 10-11 апреля 2024 г.) / под общ. ред. И.Г. Ахметовой. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2024. 1636 с.

ISBN 978-5-89873-660-6

В электронном сборнике представлены статьи по материалам национальной (с международным участием) научно-практической конференции «Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения» по следующим направлениям:

1. Цифровые технологии и решение прикладных задач. Программная инженерия.
2. Технологии искусственного интеллекта.
3. Информационная безопасность.
4. Цифровая экосистема в образовании и в формировании личности человека.

Предназначен для научных работников, преподавателей, студентов, магистрантов, аспирантов и специалистов, работающих в сфере информационных технологий, а также для всех интересующихся цифровыми технологиями.

Статьи публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание статей возлагается на авторов.

УДК 004.02+004.9
ББК 32.813 + 32.973

ISBN 978-5-89873-660-6

© ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет», 2024

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ОРЕБРЕННОЙ ТРУБЫ

Вадим Эдуардович Зинуров, Айдар Фаилевич Зиангиров
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия
vadd_93@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема эффективности теплообменных процессов, актуальная для современной энергетики и промышленности. Особое внимание уделено численному моделированию процесса конденсации на поверхности спирально-навивной оребренной трубы. Используя программный комплекс Ansys Fluent, проведен детальный анализ процессов тепломассообмена, позволяющий определить оптимальные условия для повышения коэффициента теплоотдачи. Результаты исследования могут быть использованы для проектирования более эффективных теплообменников, применимых в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, конденсация, спирально-навивная оребренная труба, численное моделирование, Ansys Fluent, эффективность теплоотдачи, энергоэффективность.

NUMERICAL SIMULATION OF CONDENSATION ON THE SURFACE OF A FINNED TUBE

Vadim E. Zinurov, Aydar F. Ziangirov
KSPEU, Kazan, Russia
vadd_93@mail.ru

Abstract. This article addresses the issue of efficiency in heat exchange processes, which is relevant for contemporary energy and industrial sectors. Special attention is given to the numerical simulation of the condensation process on the surface of a spiral-wound finned tube. Utilizing the Ansys Fluent software suite, a detailed analysis of heat and mass transfer processes was conducted, allowing for the determination of optimal conditions to enhance the heat transfer coefficient. The findings of this study can be applied to the design of more efficient heat exchangers for use across various industries.

Keywords: heat exchanger, condensation, spiral-wound finned tube, numerical simulation, Ansys Fluent, heat transfer efficiency, energy efficiency.

В современной промышленной практике вопросы энергоэффективности и утилизации энергии промышленных выбросов занимают центральное место в

стремлении к минимизации экологического воздействия и оптимизации производственных процессов. Тепловая энергия, содержащаяся в вентиляционных и других газовых выбросах промышленных предприятий, представляет собой ценный ресурс, который традиционно остается недооцененным и неиспользованным. Утилизация этой энергии не только способствует снижению общих энергетических затрат, но и является важным элементом в борьбе с изменением климата, позволяя значительно уменьшить объем выбросов парниковых газов.

Существуют различные подходы к съему тепловой энергии от промышленных выбросов, каждый из которых имеет свои особенности и области применения. Один из наиболее распространенных методов – использование теплообменных аппаратов, которые позволяют передать тепловую энергию от горячих газов к другим средам, таким как вода или воздух, используемые в дальнейшем для отопления, горячего водоснабжения или в процессах производства.

Кроме того, применяются технологии рекуперации тепла, основанные на принципе возврата части тепловой энергии обратно в производственный цикл, что позволяет существенно повысить его энергоэффективность. В последние годы набирают популярность системы органического цикла Ренкина (ORC), которые преобразуют тепловую энергию в электричество, открывая новые возможности для использования низкопотенциального тепла от промышленных выбросов.

В дополнение к этим методам, активно исследуются и разрабатываются новые подходы, такие как использование тепловых насосов и адсорбционных систем, которые могут эффективно извлекать тепло из выбросов при относительно низких температурах. Эти технологии открывают перспективы для более широкой утилизации энергии промышленных выбросов, включая те случаи, когда прямой съем тепловой энергии оказывается экономически нецелесообразным или технически сложным.

Однако, несмотря на многообразие существующих технологий съема тепловой энергии, многие из них сталкиваются с ограничениями, связанными с эффективностью использования низкопотенциального тепла и специфическими условиями промышленных процессов. В этом контексте особый интерес вызывает разработка теплообменных аппаратов, способных работать с высокой эффективностью в условиях значительных температурных градиентов и переменности химического состава промышленных выбросов [1]. Именно такие характеристики представляют собой вызов для современной теплообменной техники, требуя разработки новых конструктивных и функциональных решений. Важным направлением в оптимизации работы

теплообменников является усовершенствование процессов конденсации, особенно при работе с парогазовыми смесями [2].

Целью работы является проведение численного моделирования процесса теплообмена и конденсации парогазовой смеси на спирально-навивной оребренной трубе с использованием передовых программных решений в области инженерного анализа.

В рамках данной работы для достижения поставленной цели активно использовался программный комплекс Ansys Fluent, являющийся мощным инструментом для численного моделирования динамики жидкостей и тепломассообмена. Применение Ansys Fluent позволило провести детальное исследование процессов теплообмена и конденсации на поверхности спирально-навивной оребренной трубы, учитывая сложность физических явлений и нелинейность процессов в условиях реальной эксплуатации [3].

В процессе численного анализа были получены данные, позволяющие визуализировать процесс конденсации парогазовой смеси на спирально-навитых ребрах трубы, как показано на рисунке 1.

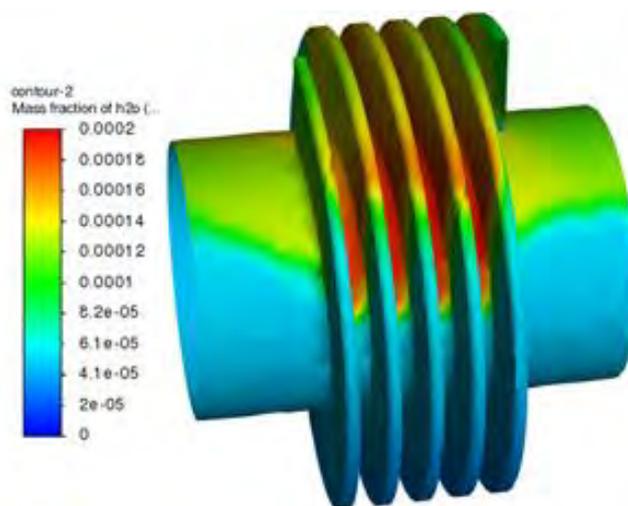


Рис. 1. Визуализация конденсации парогазовой смеси на спирально-навивной оребренной трубе

Результаты моделирования подтверждают соответствие наблюдаемых явлений физическим процессам конденсации в реальных условиях. В момент контакта парогазовой смеси с оребренной поверхностью начинается передача тепла, вызывающая конденсацию смеси. Это приводит к формированию на поверхности ребер тонкого слоя жидкости, увеличивая тем самым эффективность теплообмена за счет роста теплопроводности и площади контакта – конденсат обладает более высокой теплопроводностью по сравнению с газообразной фазой. Особенности конструкции теплообменника и направление потока парогазовой смеси способствуют эффективному отводу конденсата вдоль

оребреной трубы, обеспечивая его равномерное распределение и улучшение условий для конденсации. При этом температура в зоне теплообмена изменяется в диапазоне от 118 до 200 °С, что демонстрирует активные процессы теплообмена и конденсации в системе (рис. 1).

Таким образом, моделирование демонстрирует улучшенную динамику отвода конденсата благодаря спиральным ребрам, которые способствуют более равномерному распределению конденсата и его эффективному удалению с поверхности трубы.

Улучшенная динамика отвода конденсата и высокая теплоотдача, достигаемые за счет использования спирально-навивной оребренной трубы, могут быть интегрированы в конструкции тепловых накопителей энергии, насосов и теплообменников. Это позволит создавать более эффективные системы с повышенной тепловой мощностью и уменьшенным энергопотреблением.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20061, <https://rscf.ru/project/24-29-20061/>.

Источники

1. Дмитриев А.В. Расчет образования осадка на оребренных трубах теплообменника при конденсации парогазовой смеси с твердыми частицами / А. В. Дмитриев, Н. Д. Якимов, В. В. Харьков, Г. Р. Бадретдинова // Инженерно-физический журнал. – 2023. – Т. 96, № 6. – С. 1456-1463.

2. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Шарипов И.И., Галимова А.Р. Экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 2 (26). С. 60-74.

3. Бадретдинова Г.Р. Оценка моделей турбулентности при внешнем обтекании нагреваемой трубы / Г. Р. Бадретдинова, И. Р. Калимуллин, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 176-186. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-2-176-186.

4. Барзов А. А., Пузаков В. С., Ахметова И. Г. Вероятностно-стоимостная модель оптимизации этапов проектирования и экспертизы их качества по технико-экономическому критерию / Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 3(51). – С. 189-198.