

Корчагин Олег Павлович, магистрант,
Самарский государственный технический университет (СамГТУ),
Самара

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРЕБРЁННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация: В условиях стремительного развития энергетического сектора России особую значимость приобретает задача повышения эффективности эксплуатации теплотехнических установок, особенно в сегменте децентрализованного теплоснабжения. В таких системах водогрейные жаротрубные котлы традиционно играют роль основного источника тепловой энергии, обеспечивая устойчивое теплоснабжение жилых и промышленных объектов. Однако технологические и конструктивные ограничения, характерные для традиционных моделей котлов, становятся препятствием на пути к достижению высокой энергетической и экологической эффективности.

В условиях постоянного роста цен на топливо и ужесточения требований по выбросам загрязняющих веществ необходим переход к более эффективным технологиям теплообмена. Одним из наиболее действенных и при этом конструктивно реализуемых методов является применение оребрённых теплообменных поверхностей. Установка рёбер внутри жаровых труб позволяет увеличить площадь теплопередающей поверхности, а также изменить гидродинамическую структуру потока, способствуя турбулизации и, как следствие, интенсификации теплопередачи.

Ключевые слова: водогрейные жаротрубные котлы, оребрённые поверхности, интенсификация теплообмена, коэффициент теплоотдачи, эффект насыщения оребрения, геометрия рёбер, спиральное оребрение, децентрализованное теплоснабжение, численное моделирование, энергоэффективность,

Актуальность и цели исследования

Несмотря на наличие значительного количества научных публикаций по вопросам теплообмена, проблема оптимального проектирования оребрения, особенно в контексте жаротрубных котлов, остаётся недостаточно исследованной. Геометрия оребрения (высота, шаг, толщина, форма и расположение рёбер) оказывает существенное влияние не только на коэффициенты теплопередачи, но и на гидравлические потери, устойчивость работы оборудования, температурные поля и срок службы узлов.

Целью настоящего исследования является комплексная оценка эффективности различных геометрических конфигураций рёбер с позиции повышения коэффициента теплоотдачи, минимизации гидравлических потерь и оптимизации расхода топлива. Особое внимание уделяется анализу эффекта насыщения оребрения – явления, при котором дальнейшее увеличение высоты рёбер перестаёт давать заметный прирост эффективности.

Методика исследования

Исследование проводилось с использованием комплексного подхода, включающего аналитическое моделирование, численные расчёты и обобщение результатов в табличной и графической форме. В качестве расчетной модели рассматривался участок жаровой трубы котла, оборудованный оребрением различной формы и конфигурации. Для



количественной оценки эффективности применялись параметры: эффективность оребрения, дополнительная площадь теплообмена и приведённый коэффициент теплопередачи.

Расчёты проводились в широком диапазоне высот и толщин рёбер. Каждый параметр варьировался в пределах, отражающих реальные конструктивные возможности. При этом использовалась равномерная дискретизация пространства параметров, что позволило построить сетку из 144 уникальных комбинаций. Такой подход обеспечил достаточно высокую точность и разрешающую способность при сохранении приемлемой вычислительной трудоёмкости.

Особое внимание в работе уделено анализу эффективности спирального (винтового) оребрения. В отличие от классических кольцевых рёбер, спиральные элементы характеризуются увеличенной длиной поверхности при сохранении компактных габаритов, что создаёт предпосылки для интенсификации процесса теплообмена. Однако их применение требует специфических расчётных методик, что также учитывалось в исследовании.

Результаты и обсуждение

По результатам численного моделирования и анализа температурных и скоростных полей было установлено, что увеличение высоты рёбер от 1 до 7 мм приводит к росту коэффициента теплоотдачи более чем на 20%. Однако при превышении значения $h = 7$ мм эффективность начинает стабилизироваться, а прирост тепловой производительности практически прекращается. Это подтверждает наличие эффекта насыщения оребрения – конструктивной и энергетической границы, после которой дальнейшее увеличение площади теплообмена становится нецелесообразным.

При оптимальных параметрах рёбер достигается также снижение удельного расхода газа. В частности, уменьшение массового расхода на 10,3% по сравнению с исходной конфигурацией свидетельствует о заметной экономии топлива в годовом исчислении. Увеличение коэффициента теплоотдачи с 90,75 до 109,78 Вт/(м²·К) позволяет обеспечить более интенсивный съём тепла, повысить равномерность температурных полей и снизить вероятность локальных перегревов, что положительно сказывается на надёжности и долговечности котла.

Отдельное внимание уделено выбору формы рёбер. В ходе моделирования исследовались как прямые кольцевые рёбра, так и модифицированные формы – зубчатые, сплошные, спиральные. Результаты показали, что более сложные геометрии обеспечивают дополнительный прирост эффективности, особенно при высоких тепловых нагрузках. Однако они требуют более тщательной проработки с точки зрения механической прочности и технологичности изготовления.

Практическая значимость

Полученные в ходе исследования данные обладают высокой прикладной ценностью. Они могут быть использованы как при проектировании новых котельных установок, так и при модернизации существующих. Оптимизация оребрения позволяет добиться снижения эксплуатационных затрат, повышения тепловой эффективности, улучшения экологических показателей за счёт сокращения выбросов и снижения удельного расхода топлива.

Кроме того, разработанный подход к численному исследованию может быть расширен и адаптирован для других типов теплообменного оборудования – в частности, конвективных пучков, теплоутилизаторов и рекуператоров, где также используется оребрение для улучшения характеристик.

Заключение

Интенсификация теплообмена в водогрейных жаротрубных котлах за счёт применения оребренных поверхностей представляет собой эффективное и технологически оправданное решение. Проведённое исследование подтвердило значительный потенциал данного метода,



особенно при соблюдении принципов оптимального проектирования геометрии рёбер.

Комплексный подход, включающий аналитическое и численное моделирование, позволяет с высокой степенью достоверности оценивать влияние конструктивных параметров на эффективность теплообмена. Достижение экономической и экологической эффективности в условиях растущих требований к системам теплоснабжения делает данный подход особенно актуальным. Результаты исследования создают прочную научную и техническую основу для разработки новых поколений энергоэффективного оборудования.

Список литературы:

1. Обзор современных методов и технологий оребрения поверхностей теплообмена в водогрейных котлах // Молодой учёный. – 2022. – № 496. – С. 108865.
2. Перспективные методы оребрения теплообменных аппаратов // Топ-технологии. – 2018. – № 37599.
3. Эффективность гидронных и жаротрубных водогрейных котлов // Шаг в науку. – 2024. – № 4. – С. 47–50.
4. Интенсификация теплообмена в жаротрубном котле при использовании наножидкости // Омский научный вестник. – 2018. – № 162. – С. 67–70.
5. Теплообмен в газоходах жаротрубных водогрейных котлов при работе на твёрдом топливе // Строительство и техногенная безопасность. – 2017. – № 697.11.
6. Исследование процессов теплообмена в жаротрубных котлах с учётом качества водного теплоносителя // Диссертация. – 2017.
7. Исследование влияния углов вращения и пропусков поверхности кольцевого оребрения на параметры теплообмена // Молодой учёный. – 2022. – № 499. – С. 109615.

