

A. B. Maslov, K. M. Khalyapov, A. S. Kolpakov
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
sanekmaslov@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЛОВ И ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПАКТНЫХ ПУЧКОВ ТРУБ

Проведен сравнительный анализ интенсивности теплообмена и гидравлического сопротивления трубных пучков различной конфигурации в котлах и теплообменных аппаратах. Применительно к змеевикам с пружинно-витыми каналами разработана геометрическая модель поверхности теплообмена для расчетов термомасляных и прямоточных паровых котлов в среде ANSYS.

Ключевые слова: интенсификация; теплообмен; гидравлическое сопротивление; теплообменный аппарат; котел; интенсификаторы теплообмена; компактные пучки; пружинно-витые каналы.

A. V. Maslov, K. M. Khalyapov, A. S. Kolpakov
Ural Federal University, Ekaterinburg

IMPROVING THE THERMAL-HYDRAULIC EFFICIENCY OF BOILERS AND HEAT EXCHANGERS USING COMPACT TUBE BUNDLES

A comparative analysis of the heat exchange intensity and hydraulic resistance of tube bundles of different configurations in boilers and heat exchangers is carried out. In relation to coils with spring-twisted channels, a geometric model of the heat exchange surface has been developed for calculations of thermal oil and direct-flow steam boilers in the ANSYS environment.

Keywords: intensification; heat exchange; hydraulic resistance, heat exchanger; boiler; heat exchange intensifiers; compact beams; spring-twisted channels.

Одним из главных научно обоснованных, технически и экономически доступных путей уменьшения массогабаритных характеристик и повышения экономичности теплоэнергетических установок является совершенствование теплообменного оборудования, которое можно осуществить за счет использования эффективных способов интенсификации конвективного теплообмена. Анализ эффективности предлагаемых устройств для интенсификации теплоотдачи является комплексной задачей и предполагает улучшение теплообмена без существенного повышения удельной мощности на прокачку теплоносителей, а также снижения ресурса и эксплуатационной надежности оборудования. В подавляющем большинстве случаев анализируется только теплогидравлическая эффективность оборудования и, как следствие, основные технические предложения касаются разного рода локальных интенсификаторов теплообмена в виде лунок и каналов различных типов на поверхности тонкостенной трубы. Для их получения используются методы, неизбежно приводящие к остаточным механическим напряжениям в профилированной трубной стенке и структурным изменениям металла, что недопустимо при наличии вибрации трубных пучков в эксплуатационных условиях, характерных, например, для паротурбинных установок.

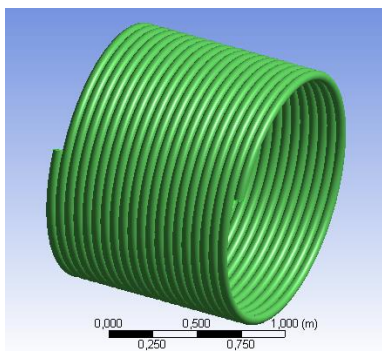
Вместе с тем имеются и иные, более традиционные, решения, основанные на использовании гладкотрубных пучков [1] и спиральных змеевиков плотной компоновки в теплообменниках [2] и прямоточных паровых котлах [3], обеспечивающие повышение их эффективности.

Так, в развернутом обзоре [4] указывается, что, используя закрутку потоков и воздействуя на пограничный слой дискретной шероховатостью, можно резко сократить необходимую длину труб в теплообменнике и уменьшить его массу на 40–50 %. Вместе с тем имеются данные [1] о возможности повышения теплоотдачи с одновременным снижением гидравлического сопротивления за счет плотного примыкания труб в плотном пучке и без создания искусственной шероховатости. При этом эффективность теплообмена

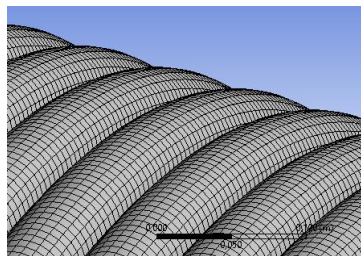
в условиях эксперимента возросла на 41 %, гидравлическое сопротивление уменьшилось на 38 % по сравнению с пучком труб коридорной компоновки, что позволило уменьшить габариты теплообменника на 32 %.

Уместно предположить, что такие результаты связаны с турбулизацией потока концентрированными вихрями [5] в пристенной области за счет углублений в зоне примыкания труб, которые являются аналогами выемок траншейного типа при создании искусственной шероховатости. На это указывают данные работы [6], где отмечалось наличие ячеистых структур при распаде вихря на отдельные ячейки в протяженных траншеях при турбулентном обтекании.

При всем том данные о гидродинамике и конвективном теплообмене в протяженных выемках (траншеях) спиральной формы в зоне плотного контакта труб в пучке отсутствуют, что может быть предметом самостоятельного исследования. Важность такой работы обусловлена и эксплуатационными характеристиками плотных змеевиков с пружинно-витыми каналами с эффектом внешнего оребрения, обладающих свойством самокомпенсации температурных расширений, разгрузкой остаточных напряжений и надежно работающих как при термоциклических напряжениях, так и термо- и гидроударах [7]. В пользу актуальности такого исследования говорят и данные натуральных испытаний змеевиковых котлов [8]. Температура продуктов сгорания на выходе из топки змеевикового прямоточного парового котла на 35–50 °С ниже, чем у газотрубного, а после второго хода на 30–40 °С. Это обеспечивает снижение температуры уходящих газов до величин, близких к рекомендованным для котлов, работающих на природном газе (120 °С). Выполнение численного эксперимента для оценки теплогидравлической эффективности змеевиковых котлов и теплообменных аппаратов при использовании компактных пучков труб предполагается выполнить в ANSYS Fluent с целью сопоставления результатов с данными обтекания плоских пучков [1]. Для этого построена геометрическая модель плотного спирального пучка пружинно-витого типа, показанная на рисунке.



а



б

Трехмерная модель (а) и сетка на поверхности пружинно-винтового канала (б)

Построенная конечно-элементная сетка состоит из 540630 узлов, 300325 элементов.

Список использованных источников

1. Троханяк В. И., Богдан Ю. А. Оценка теплогидравлической эффективности кожухотрубного теплообменного аппарата с компактным размещением труб в пучках на основе компьютерного численного моделирования // APRIORI. Серия : Естественные и технические науки : электронный научный журнал. 2015. № 6. С. 1–9.
2. Products / JFD Tube & Coil Products, Inc. [Электронный ресурс]. URL: <https://jfdcoil.com/products.asp> (дата обращения: 25.11.2019)
3. Products / ALBA Steam Generators. [Электронный ресурс]. <http://www.albasteamgenerator.com> (дата обращения: 25.11.2019)
4. Попов И. А., Гортышов Ю. Ф., Олимпиев В. В. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (обзор) // Теплоэнергетика. 2012. № 1. С. 3–14.
5. Алексеенко С. В., Куйбин П. А., Окулов В. Л. Введение в теорию концентрированных вихрей. Новосибирск : Ин-т теплофизики СО РАН, 2003. 504 с.
6. Терехов В. И. Проблемы теплообмена в отрывных течениях // Труды 4-й Рос. нац. конф. по теплообмену (РНКТ-4), РНКТ 2006, 23–27 октября 2006 года, Москва. Т. 1. Пленарные и общие доклады. Доклады на круглых столах. М. : Изд. дом МЭИ, 2006. С. 103–111.
7. Пантелеева Л. Р. Интенсификация теплообмена в пружинно-витых каналах // Технические науки : проблемы и перспективы : материалы Междунар. научн. конф. г. Санкт-Петербург, март 2011. СПб. : Реноме, 2011. С. 129–131.
8. Щелоков А. И., Макаров И. В., Рахимова Ю. И. Особенности сложного теплообмена в винтовой змеевиковой топке прямооточного парового котла // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Техн. науки. 2018. № 2 (58). С. 53–59.