

DOI 10.58351/2949-2041.2024.10.5.016

УДК 66.045.123

Евраев Дмитрий Андреевич,
аспирант, БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород
Evraev Dmitry Andreevich,
BSTU named after. V.G. Shukhova

Гольцов Иван Данилович,
аспирант, БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород
Goltsov Ivan Daniilovich,
BSTU named after. V.G. Shukhova

**АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ТИПА
“ТРУБА В ТРУБЕ” ДЛЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ
ANALYSIS OF HEAT EXCHANGER DEVELOPMENT PROSPECTS
"PIPE IN PIPE" TYPE FOR VENTILATION SYSTEMS**

Аннотация: Теплообменники типа «труба в трубе» нашли широкое применение в промышленности, а именно в технологических процессах различных отраслей производства. При этом лидирующим и наиболее востребованным на рынке теплообменных агрегатов в вентиляционных системах остается пластинчатый теплообменник из-за своей компактности, малого веса и легкости в обслуживании. Недостатки теплообменника «труба в трубе», которые воспрепятствовали его внедрению и популярности применения в системах вентиляции, могут быть решены за счет использования современных способов производства, методов эксплуатации и научных достижений.

Abstract: Heat exchangers of the “pipe-in-pipe” type have found wide application in industry, namely in technological processes of various industries. At the same time, the plate heat exchanger remains the leader and most in demand on the market of heat exchange units in ventilation systems due to its compactness, low weight and ease of maintenance. The disadvantages of the pipe-in-pipe heat exchanger, which prevented its introduction and popularity of use in ventilation systems, can be solved through the use of modern production methods, operating methods and scientific advances.

Ключевые слова: теплообменник труба в трубе, интенсифицированный теплообменник, геликоидный теплообменник, теплоносители воздух-воздух, скоростной теплообменный аппарат, система вентиляции.

Keywords: pipe-in-pipe heat exchanger, intensified heat exchanger, helicoidal heat exchanger, air-to-air coolants, high-speed heat exchanger, ventilation system.

Физический процесс передачи тепловой энергии от более горячего тела к менее горячему, один из фундаментальных постулат нашей реальности. Теплообменные аппараты работают на основе этого неизменного принципа и повсеместно применяются как в промышленной, так и общественной сферах деятельности человека.

Теплообменник типа «труба в трубе» один из первых и наиболее простых теплообменных агрегатов, созданных человеком для нагрева и охлаждения продуктов производства, газов и жидкостей. Широкое применение данный тип теплообменника нашел в нефтегазовой, химической и пищевой промышленности [1].

Принципиально устройство представляет из себя конструкцию двух труб разного диаметра, установленных одна в другую. Тем самым образуются два пространства для циркуляции теплоносителя по внутренней трубе и кольцевой области между двумя трубами. В зависимости от направления протекания теплоносителей в пространствах теплообменника, он может быть прямоточного или противоточного действия. Наиболее популярная схема использования теплоносителей жидкость-жидкость и жидкость-газ [2].

Нас же интересует целесообразность использования теплообменника «труба в трубе» при схеме теплоносителей воздух-воздух в системе общеобменной вентиляции.



В качестве посредника процесса теплопередачи чаще всего применяют металлы, но в последние годы стал внедряться графит. При этом графиту требуется дополнительная обработка для снижения пористости материала. Наибольшим коэффициентом теплопередачи среди металлов обладает серебро $429 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$, но дороговизна металла не способствует его использованию при производстве теплообменных аппаратов. Сталь обладает значительно меньшим коэффициентом теплопередачи, всего $58 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$. Использовать сталь не целесообразно при изготовлении теплообменных поверхностей, иначе необходимо увеличивать площадь теплообмена примерно в 8 раз по сравнению с аналогичной конструкцией из меди. Наибольшую же популярность при производстве теплообменных устройств приобрели: медь $407 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$, графит $354,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$, алюминий $221 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$ [3].

Из основных преимуществ теплообменников «труба в трубе» выделяют: небольшие расходы теплоносителей и неизменность их агрегатного состояния в исходной форме, допустимость работы под высоким давлением, выполнение функций конденсатора при производстве технических газов.

При этом тип «труба в трубе» уступает пластинчатому теплообменнику в малогабаритности, надежности и простоте обслуживания. В настоящее же время используется достаточно широкий спектр различных видов конструкций теплообменников «труба в трубе», которые могут позволить решить эти недостатки при их доработке.

Геликоидный теплообменник – это класс теплообменных аппаратов, отличительной особенностью которых является большая скорость прохода среды. Принципиально геликоидные теплообменники делятся на скоростные теплообменники «труба в трубе», скоростные кожухотрубные теплообменники, и интенсифицированные теплообменники. Все геликоидные теплообменные аппараты по принципу действия являются рекуператорами, так как тепло передаётся от одного теплоносителя к другому непрерывно через плоскую цилиндрическую стенку [4].

Геликоидный теплообменник «труба в трубе» представляет из себя простейший теплообменный аппарат из двух труб различного диаметра, вставленных друг в друга, но при этом по внутренней трубе теплоноситель проходит под большим давлением.

Геликоидный кожухотрубный теплообменник состоит из кожуха, трубного пучка и перегородок. Трубный пучок приваривается к трубным решеткам на торцах кожуха. Отличительной чертой является наличие внутренних перегородок, которые закручивают поток воздуха и увеличивают скорость теплоносителя.

Геликоидный интенсифицированный теплообменник представляет собой закреплённый в спиральношовном корпусе пучок профилированных трубок из коррозионностойкого материала (нержавеющей стали или титана), через стенки которых осуществляется теплопередача от потока греющей среды к потоку нагреваемой. Трубки имеют геликоидный профиль. Основное отличие теплообменников такой конструкции заключается именно в профилированной теплообменной поверхности трубок. Основы этой конструкции разрабатывались ещё во времена СССР [5].

Принцип действия скоростных теплообменных аппаратов основан на явлении интенсификации теплообмена между движущимися потоками теплоносителей при их одновременном завихрении. Завихренные скоростные потоки приводит к изменению их гидравлического состояния, повышает кинетическую энергию движения, создаёт турбулизацию и дополнительное перемешивание слоёв внутри теплоносителей, что приводит к оптимальным значениям показателей теплопередачи. Вихревое движение потока сопровождается снижением гидравлических сопротивлений аппарата и эффектом самоочистки поверхностей нагрева от отложений [6].

Закручивание потока среды, проходящей по трубному пространству, осуществляется посредством изменения профиля труб. Закручивание потока среды, проходящей по межтрубному пространству, осуществляется за счёт спиралевидного шва корпуса и нерегулярной компоновки труб трубного пучка.



Помимо функции завихрения потоков, винтовые составляющие трубок и корпуса, являются своеобразными рёбрами жёсткости конструкции. Возможность применения тонколистовой стали при изготовлении корпуса и трубок трубного пучка приводит к снижению веса аппарата. Такое решение является нетрадиционным в производстве стандартных теплообменных аппаратов, использующих толщину стенок для усиления прочностных свойств конструкций.

По сути геликоидный интенсифицированный теплообменник является модифицированной версией теплообменника «труба в трубе». Достоинства геликоидного теплообменного агрегата позволяют использовать его в системе вентиляции за счет относительно небольшого веса оборудования, высокого показателя теплопередачи по сравнению с пластинчатым теплообменником и продолжительности срока эксплуатации.

При этом в системе вентиляции не так-то просто добиться интенсификации из-за не больших показателей давления в системе и нормативных скоростей потоков воздуха в вентиляционных каналах, не превышающих 5-6 м/с. Если рассматривать данные недостатки в другом ключе, то малое давление в системе и относительно низкие скорости позволяют нам снижать металлоемкость конструкции теплообменника, так как требования к прочности и жесткости будут ниже. Следовательно, можно использовать максимально тонкостенный материал, что увеличит интенсивность теплопередачи и снизит затраты на производство.

Актуальным направлением по развитию конструкции теплообменника типа «труба в трубе» считаем адаптацию геликоидного интенсифицированного теплообменника под среду теплоносителей воздух-воздух. Устройство целесообразно разработать из меди и оцинкованной стали. Внутренний пучок трубок должен рассматриваться из меди, для интенсификации режима теплопередачи и высокого коэффициента теплопередачи материала. Наружный кожух разумнее предусмотреть из оцинкованной стали, для меньшего теплообмена поверхности устройства с окружающей средой и значительно больших прочностных характеристиках по сравнению с медью. Технология производства наружного кожуха должна применяться по схеме производства спирально-навивных стальных воздухопроводов, тогда внутренний шов витков будет способствовать вихреобразованию теплоносителя в межтрубном пространстве теплообменника. Материалом геликоидных перегородок межтрубного пространства целесообразней выбрать медь, но если конструкции необходимо будет повысить прочностные характеристик, то следует увеличить толщину перегородок или выбрать в качестве материала оцинкованную сталь.

Следующим этапом исследований должны быть определены габаритные характеристики установки и оптимизация их под производственные условия эксплуатации. Наибольшие перспективы в исследованиях теплообменника типа «труба в трубе» имеют профилированный пучок трубок теплообменника поверхность которых можно видоизменять и модифицировать, тем самым достигать различных вихревых потоков на цилиндрических стенках трубного пучка, повышать уровень интенсификации теплообменника и площадь теплопередачи.

Список литературы:

1. Ардаширова, А. А. Интенсификация теплообмена в теплообменниках типа "труба в трубе" / А. А. Ардаширова, А. Х. Габбасова // 70-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ: Материалы 70-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, Уфа, 15–26 апреля 2019 года. Том 1. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2019. – С. 187. – [Электронный ресурс].
2. Мошинский, А. И. Анализ модели теплообменников типа "труба в трубе" / А. И. Мошинский // Теоретические основы химической технологии. – 2011. – Т. 45, № 3. – С. 340-348. – [Электронный ресурс].
3. Лыгин, М. М. Моделирование процессов теплообмена в теплообменнике "труба в трубе" с учетом выбора материала труб / М. М. Лыгин // Энергетики и металлурги настоящему



и будущему России: материалы 19-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и специалистов, Магнитогорск, 22–24 мая 2018 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2018. – С. 27-30. – [Электронный ресурс].

4. Абдеев, Н. М. интенсифицированные теплообменники / Н. М. Абдеев // Молодежная наука в развитии регионов. – 2019. – Т. 1. – С. 208-211. – [Электронный ресурс].

5. Патент № 1052833 СССР, МПК F28F 1/40. Труба теплообменника: № 3331880: заявл. 07.08.1981: опубл. 07.11.1983 / Денисов, Мещанинов, Некрасов, Тушаков; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ ПЯ В-8662, ЛЕНИНГРАДСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ИМ. С. М. КИРОВА.

6. Прокопович, О. В. Оценка эффективности интенсификации теплообмена в компактном кожухотрубном теплообменнике / О. В. Прокопович // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2014. – № 2. – С. 70-73. – [Электронный ресурс].

