

УДК: 620.9

**ТЕПЛООБМЕННАЯ ОРЕБРЕННАЯ ТРУБА**

Никифоров С.А. студент гр. ВТМЗ-467, IV курс  
Научный руководитель: Носенко В.А. д.т.н. профессор  
Волжский политехнический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Волгоградский государственный технический университет»  
г. Волжский

В настоящее время технологичность и экономичность процессов поставлены на первый план. Интенсификация процессов является одним из методов достижения экономических показателей. Одним из направлений отечественных и зарубежных ученых является интенсификация процесса теплообмена при помощи оребренных труб. Поиск технических решений в вопросе теплопередачи сегодня актуален.

**Цель исследования:** является разработка теплообменной оребренной трубы для интенсификации процесса теплообмена в теплообменных аппаратах.

**Задачи:**

1. Рассмотреть имеющиеся научные и технические решения по повышению интенсивности процесса теплообмена и теплопередач за счет изменения формы труб нагрева.
2. На основе полученных данных разработать теплообменную трубу с оригинальным видом оребрения.

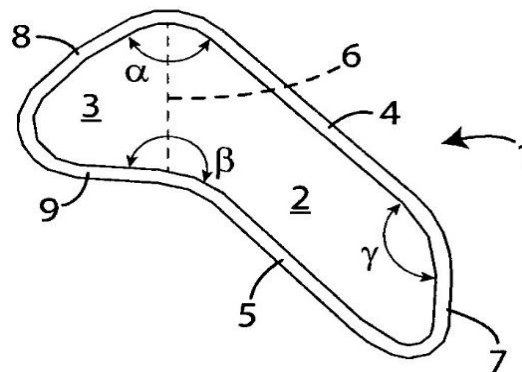
Основываясь на исследованиях [1], проведенных в Саратовском Государственном университете, выявлены следующие пути развития оребренных и плавниковых труб:

1. На внешней поверхности труб нагрева, путем наращивания спиралевидных ребер, усиливается процесс теплообмена, за счет создания большего сопротивления по отношению к тепловому потоку.
2. Применение комбинированного метода установки плавниковых и плавниково-реберных труб, позволяющее добиться перетекание теплового потока по зигзагообразной траектории, что также интенсифицирует процесс теплообмена.

Известен такой вид плавниковых труб нагрева [2], в которых имеется смещение плавников поверхности труб нагрева, относительно центра трубы нагрева. Специфика данного вида труб нагрева заключается в увеличении площади нагрева за счет смещения плавников нагрева относительно центра, что приводит к созданию теплонепроницаемого контура тепловых экранов, с повышенной площадью нагрева, в сравнении с обычными трубами нагрева.

Согласно патенту [3], инженеры из Италии предположили, что путем изменения формы трубы нагрева, возможно добиться интенсификации процесса теплообмена.

Суть изобретения заключается в том, что что труба нагрева в поперечном сечении имеет вид похожий на неправильную трапецию, с загибом с одной стороны относительно основной оси. Данный вид труб нагрева позволяет создавать сопротивление тепловому потоку, задерживать тепло отходящих дымовых газов, только при установке труб нагрева в горизонтальной плоскости.



Фиг. 1

Рисунок 1. Труба нагрева

Приведенные выше виды труб могут широко применяться в теплообменных аппаратах, энергетических и водогрейных котлах. Но в виду конструктивных особенностей они имеют ряд недостатков.

Так оребренные трубы, имеющие ребра из меди, алюминия имеют деформацию структуры формы ребер из-за высоких температур теплового потока. Это связано малой толщиной ребер, а также разностью материалов ребра трубы и самой трубы нагрева. Также имеет место небольшая потеря тепловой энергии в виду неоднородности структуры материала ребра нагрева и трубы нагрева, и сварного соединения.

Изменения формы внешней поверхности трубы нагрева, вызванное изменением высоты ребер и образованием дополнительной площади нагрева, приводит к дополнительной турбулизации потока, за счет турбулизации как всего потока в целом, так и поверхностного слоя газа в частности. С увеличением высоты ребра на «n» мм., происходит турбулизация поверхностного слоя газа, за счет столкновения поверхностного слоя газа с передней частью ребра. Следующий за поверхностным слоем, слой газа, становится поверхностным только после того как пройдет пик ребра. За счет турбулентного потока газа, турбулизация потока так же происходит при переходе от большего ребра к меньшему. На таком участке теплопередача и теплообмен имеют максимальное значение за счет минимальной толщины стенки трубы нагрева.

Распространение тепла в стенке трубы нагрева происходит за счет удержания поверхностного слоя теплового потока, в следствии чего, тепло распространяется от поверхности нагрева (внешний слой), к внутренней поверхности трубы нагрева, омываемой водой.

Был проведен опыт.

К металлическому стержню было подведено тепло. При нагреве конца металлического стержня, по прошествии некоторого времени, площадь нагретой части стержня увеличилась, при неизменной величине подведенного тепла и точки нагрева.

Данный факт объясняется следующим образом. При нагреве металлического стержня кристаллическая решетка начинает совершать колебания. Чем больше тепловой энергии поглощает кристаллическая решетка, тем больше становится частота колебаний. С точки зрения квантовой физики, перенос тепла в твердом теле происходит за счет фононов.

Фонон- квант энергии (квазичастица) согласованного колебательного движения атомов, твердого тела, которые образуют идеальную кристаллическую решетку.

Совершая колебания и увеличивая ее амплитуду, через межатомные связи происходит передача колебаний соседним кристаллам (атомам), и стало быть и энергии. Передача энергии от более колеблющихся кристаллов к менее колеблющимся, или иными словами от горячего участка к холодному, объясняется уравнением теплового баланса, т.е. система стремится к нулю. Это безоговорочно согласуется с законом сохранения тепловой энергии. Закон гласит, что тепло отданное горячим телом, равняется теплу полученному холодным телом. Но так как у нас происходит постоянная подача тепла процесс может продолжаться до тех пор, пока сопротивление передачи тепловой энергии не будет превышать скорость передачи, т.е. не постоянно.

Так же основываясь на постулатах нулевого закона термодинамики, а точнее на постулате термодинамического равновесия, который гласит, что макроскопическая система, которая находится при неизменных внешних условиях, самопроизвольно приходит в термодинамическое равновесие, характеризующееся:

1. Прекращением всяческих изменений в макроскопической системе; т.е. каждый параметр системы=Const;
2. Макроскопическая система, перешедшая в состояние термодинамического равновесия, остается в нем независимо от времени. Для нарушения равновесия необходимо воздействие факторов извне;

Таким образом приходим к выводу, что:

1. Толщина стенки трубы нагрева с учетом высоты пика ребра не должна превышать 20 мм.
2. Для непрерывного нагрева питательной воды, необходим постоянный подвод тепла.
3. При отсутствии подвода тепла, система приходит в равновесие.
4. Распространение тепла внутри стенки трубы нагрева зависит от температуры питательной воды, омывающей внутреннюю поверхность с искусственной шероховатостью.

Был проведен еще один опыт:

Металлический стержень, состоящий из двух частей одной и той же марки стали, части которого соединены между собой тонким сварным швом, подвергли воздействию источника тепла. До сварного соединения скорость распространения тепла в твердом теле была такая же, как и в цельном стержне. При прохождении тепловой энергией сварного шва, скорость распространения тепла замедлилась, а после нагрева незначительной площади второй части

стержня, прекратилась вовсе. Данный опыт наглядно показал, что однородность ребра и трубы нагрева, является основополагающим параметром на пути интенсификации процессов теплопередачи и теплообмена.

Собрав и проанализировав полученную информацию была разработана теплообменная труба [4]. Теплообменная труба, содержащая воздухоуловители, приваренные на одинаковом расстоянии друг от друга, к трубе, вдоль всей ее длины. Воздухоуловители, выполнены в виде усеченной четырехугольной пирамиды, при этом боковые ребра каждого последующего воздухоуловителя смещены относительно предыдущего. Величина смещения зависит от того, на сколько необходимо увеличить процесс теплообмена за счет увеличения объема теплоносителя, поступающего в полости между трубой и воздухоуловителем.

Теплообменная труба работает следующим образом.

Теплообменная труба может использоваться как для нагрева, так и для охлаждения теплоносителя, протекающего в трубе.

Например, горячий теплоноситель, подают на внешнюю поверхность трубы (со стороны большего основания воздухоуловителей), в то время как холодный теплоноситель проходит внутри трубы.

Горячий теплоноситель проходя по внешней поверхности трубы частично попадает в полость между трубой и воздухоуловителем, частично рассекается боковыми ребрами воздухоуловителей, в результате чего поток горячего теплоносителя изменяет свою скорость и направление. За счет того, что боковые ребра каждого последующего воздухоуловителя смещены относительно предыдущего, рассеченный поток горячего теплоносителя повторно рассекается последующим воздухоуловителем и частично попадает в полость между трубой и воздухоуловителем. В результате чего, в процессе работы поток горячего теплоносителя не только задерживается в полости между трубой и воздухоуловителем, но и постоянно изменяет свое направление и скорость, благодаря чему увеличивается коэффициент теплоотдачи от потока горячего теплоносителя к трубе (которая отдает тепло холодному теплоносителю внутри нее), что приводит к увеличению коэффициента теплопередачи и эффективности теплообмена в целом.

В ходе разработки теплообменной трубы была создана математическая формула расчета площади нагрева данной трубы [5]. Также при проектировании было проведено компьютерное моделирование процесса теплообмена, при помощи которого были проверены теоретические расчеты сопротивления потока, отсутствие превышения критических показателей по температуре внешней поверхности трубы и оребрения.

Вывод: Разработанная теплообменная труба позволяет интенсифицировать процесс теплообмена на 30%, позволяет улучшить производительность теплообменных аппаратов, повысить экономичность технологических процессов.

### Список литературы.

1. Адинцова Я.П., Стрежик А.А., «Применение оребренных поверхностей теплообмена при реконструкции котельного оборудования», Саратовский государственный технический университет, 2019.
2. Источник Интернет, [www.fips.ru](http://www.fips.ru), патент на изобретение СССР № SU533810A1, плавниковая труба, опубл. 30.10.1976.
3. Источник Интернет, [www.fips.ru](http://www.fips.ru), патент на изобретение РФ № RU2 685 759C1, Профиль трубопровода для теплообменника, теплообменник для конденсационных котлов, содержащий указанный профиль, и конденсационный котел, содержащий указанный теплообменник, опубл. 23.04.2019.
4. Источник Интернет, [www.fips.ru](http://www.fips.ru), патент на изобретение РФ № 231802, Теплообменная труба, опубл. 11.02.2025.
5. Никифоров, С. А. Математическое моделирование площади нагрева оребренной трубы оригинальной конструкции / С. А. Никифоров // Математические модели техники, технологий и экономики : Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15 мая 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 2024. – С. 21-24. – EDN QQSNLN.
6. Nikiforov, S. A. The use of 3D modeling in the design of a finned heating pipe of the original design / S. A. Nikiforov // , 28 мая 2024 года, 2024. – P. 21-23. – EDN PALFMG.