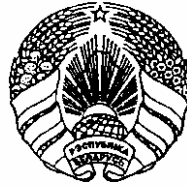


ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 9234

(13) С1

(46) 2007.04.30

(51)⁷ F 28F 1/24,
F 23L 15/04

(54)

ТРУБНЫЙ ПУЧОК ТЕПЛОБМЕННИКА

(21) Номер заявки: а 20041105

(22) 2004.11.29

(43) 2006.06.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (ВУ)

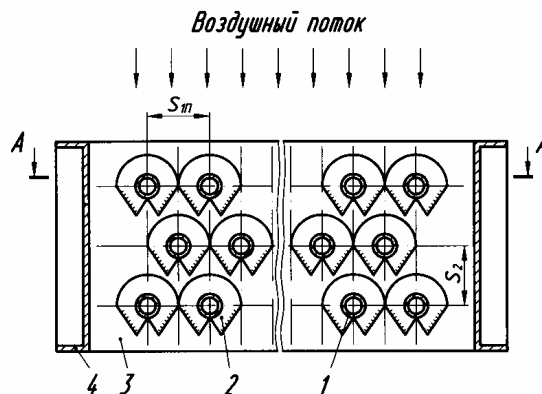
(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисович; Жлобич Анатолий Викторович; Санкович Евгений Савельевич; Исаченко Владимир Сергеевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (ВУ)

(56) RU 2000518 С, 1993.
SU 1688095 А1, 1991.
SU 1458682 А1, 1989.
SU 1712763 А1, 1992.
US 1818727, 1931.
DE 3019452, 1980.

(57)

1. Трубный пучок теплообменника, включающий трубные решетки, расположенные в шахматном порядке трубы с поперечными шайбовыми или спиральными навитыми или накатными ребрами, с отогнутыми в одном направлении по бокам на 90° участками ребер, которые в каждом ребре находятся в плоскости, встречной воздушному потоку, отличающийся тем, что содержит боковые ограждающие листы, каждое ребро выполнено в виде диска с вырезом в кормовой половине, расположенным симметрично относительно продольной оси трубы, совпадающей с направлением воздушного потока, причем вырез в кормовой половине диска выполнен клинообразным по двум хордам с точкой пересечения их на продольной оси трубы, находящейся на расстоянии внутреннего радиуса ребра от центра трубы, а расстояние l между хордами на наружном диаметре d ребра равно его внутреннему диаметру d_0 , при этом с противоположных сторон трубы боковые участки ребер отогнуты по хордам, проходящим через точки на острых наружных концах ребра и по краям миделевого сечения ребра, находящегося в плоскости, перпендикулярной направлению движения воздуха.



Фиг. 1

ВУ 9234 С1 2007.04.30

2. Пучок по п. 1, отличающийся тем, что оребренные трубы в каждом поперечном ряду расположены вплотную с поперечным шагом $S_{1п}$, равным наружному диаметру ребра d .

Изобретение относится к поверхностным рекуперативным теплообменным аппаратам из круглоребристых труб и может быть преимущественно использовано для нагревания воздуха паром или водой в калориферах технологических и котельных установок, систем приточной вентиляции и отопительно-вентиляционных агрегатов, а также в радиаторах транспортных и сельскохозяйственных машин, в маслоохладителях электроэнергетических систем, в аппаратах воздушного охлаждения газовой, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности.

Известны пучки теплообменников [1-3] для нагревания и охлаждения воздушных и газовых потоков, включающие теплообменные трубы с наружными круглыми поперечными ребрами, трубные решетки и боковые ограждающие листы. Теплообменные трубы шахматно расположены в трубных решетках с поперечным шагом S_1 и продольным S_2 . Теплообменные трубы пучков снаружи омываются поперечным принудительным потоком воздуха (газа).

Недостатками их являются небольшое значение среднего коэффициента теплоотдачи конвекцией по оребренной стороне, омываемой воздухом, которое на один... два порядка меньше коэффициента теплоотдачи со стороны жидкостного или парового теплоносителя, движущегося внутри труб, и, как следствие, значительная металлоемкость пучка.

Экспериментальные исследования [4-5] показывают исключительно низкие значения локальных коэффициентов теплоотдачи на теплоотдающей поверхности ребер, расположенной в тыльной части трубы на ее участке, ограниченном угловым расстоянием $\beta \approx 140-220^\circ$, отсчитываемым от лобовой критической точки $\beta = 0^\circ$. Величина интенсивности теплообмена ребер в тыльной части в 1,7-2,2 раза меньше по сравнению с аналогичной характеристикой в лобовой части трубы. Это объясняется отрывом потока от твердой теплоотдающей поверхности в окрестности миделевого сечения трубы ($\beta \approx 90^\circ$), увеличением толщины гидродинамического и теплового пограничных слоев, вытеснением основной части воздушного потока из межреберных полостей в межтрубное пространство пучка теплообменника и пониженной скоростью воздуха у поверхности ребер, образованием клинообразного аэродинамического следа потока в кормовой (тыльной) половине трубы, характеризующегося низкоскоростной рециркуляцией потока, высокой его температурой и слабым обменом энергией с ядром потока. Круглоребристые трубы создают в кормовой области неблагоприятные гидродинамические условия для активного участия потока в высокоинтенсивном теплообмене поверхности ребер, расположенных в этой области. Расчеты показывают, что в зависимости от параметров ребер 10-30 % площади поверхности их фактически является "балластной", увеличивая лишь металлоемкость трубы.

Известен трубный пучок теплообменника с шахматным расположением круглоребристых труб [6], в котором для интенсификации теплоотдачи каждое поперечное ребро выполнено в виде диска с сегментным вырезом, расположенным с тыльной стороны трубы, при этом сегментный вырез с хордой размещен по касательной к трубе. При таком сегментном вырезе поверхности ребер, наряду с "балластной" теплоотдающей поверхностью, находящейся в аэродинамическом следе, удаляется и часть поверхности боковых участков ребер, которая с высокой интенсивностью участвует в теплоотдаче. Расчеты показывают, что величина удаляемой активной поверхности составляет 12-13 %. В итоге теплосъем с пучка из труб с вырезом будет меньше, чем с исходного пучка из труб со сплошными круглыми необрезанными ребрами.

Известна теплообменная секция [7] из круглых оребренных труб со спиральными многозаходными разновысокими ребрами, периодически чередующимися, при этом высокие ребра выполнены однозаходными и отогнуты с противоположных сторон трубы по линии

хорды на расстоянии от оси трубы, равном половине наружного диаметра низкого ребра. Отогнутые сегменты высоких ребер находятся в плоскости, перпендикулярной фронтальной плоскости секции и параллельной оси трубы. Трубы расположены в каждом поперечном ряду вплотную. Предпринятое техническое решение по отгибке боковых участков ребер на противоположных сторонах трубы и расположение труб вплотную до примыкания поверхностей отгиба в поперечных рядах секции обеспечивает течение всего потока воздуха через межреберные полости в лобовой и боковой частях трубы, что уменьшает градиент скорости воздуха по высоте полостей, увеличивает его среднюю скорость в них и интенсифицируют теплоотдачу.

Однако эффект интенсификации теплоотдачи не превышает по данным наших исследований 10 %, так как на этих частях поверхности ребер теплообмен очень высок и дополнительный эффект от воздействия большей скорости воздуха не является доминирующим. Соприкасаемые наружные поверхности отогнутых сегментных ребер исключаются из теплообмена, так как не омываются потоком воздуха, что в итоге уменьшает теплосъем с секции и понижает результирующий эффект интенсификации до 4-6 %. Вместе с этим в анализируемой секции кардинально не устранен основной недостаток теплообменных труб - низкая интенсивность теплообмена поверхности ребер, расположенных в аэродинамическом следе, так как конструктивные решения не изменили форму ребер в этой части, не повлияли на экономное расходование металла на оребрение, не улучшили аэродинамику потока за точкой отрыва потока, где наблюдается снижение интенсивности теплообмена.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемым результатам к заявляемому решению является воздухонагреватель [8], содержащий шахматный пучок труб с заданным шагом, снабженных круглыми ребрами с отогнутыми по бокам на 90° участками ребер, образующие скошенные кромки, которые расположены в каждом ребре под острым углом навстречу потоку воздуха, а угол между скошенными кромками ребер составляет 20-40°. Отношение расстояния скошенной кромки ребра от стенки трубы образующей к высоте ребра составляет $0,3 \leq b/h \leq 0,5$. Основными недостатками прототипа являются:

размеры отогнутых скошенных кромок ребер недостаточны для реализации эффекта дефлектора, то есть поджатия потока воздуха к стенкам трубы и ребер, увеличения средней скорости воздуха в межреберных полостях кормовой половины; затягивания точки отрыва потока от боковой поверхности трубы в направлении кормовой критической точки и уменьшении вытеснения потока воздуха из полостей кормовой половины трубы в межтрубное пространство, что ограничивает повышение интенсивности теплообмена;

металл участков ребер, расположенных в аэродинамическом следе, оказался не вовлеченным в интенсивный теплообмен в полном объеме, основная часть как была "балластной", так и осталась;

по условиям интенсификации теплоотдачи отгибка ребер до миделева сечения трубы бесполезна в тепловом отношении, так как потенциальная теплоотдающая возможность поверхности ребер в этой части трубы полностью реализована, но при этом произойдет рост аэродинамического сопротивления. Такое решение привело бы к положительному эффекту в случае плотного расположения труб в поперечных рядах пучка, что предотвратило бы переток воздуха из межреберных полостей в межтрубное пространство и сопровождалось бы повышением тепловой эффективности. Потери на вихреобразование должны бы уменьшиться.

Задача изобретения - интенсификация теплоотдачи, повышение тепловой эффективности, снижение металлоемкости и аэродинамического сопротивления трубного пучка теплообменника.

Поставленная задача достигается в трубном пучке теплообменника, включающем трубные решетки, боковые ограждающие листы, шахматно расположенные трубы с поперечными шайбовыми, спиральными навитыми, накатными ребрами, каждое из которых

ВУ 9234 С1 2007.04.30

выполнено в виде диска с вырезом в кормовой половине, который расположен симметрично относительно продольной оси трубы, совпадающей с направлением воздушного потока, и отогнутыми в одном направлении по бокам на 90° участками ребер, которые в каждом ребре находятся в плоскости, встречной воздушному потоку, причем, согласно изобретению, вырез выполнен клинообразным по двум хордам с точкой пересечения их на продольной оси трубы, находящейся на расстоянии внутреннего радиуса ребра от центра трубы, а расстояние l между хордами на наружном диаметре d ребра равно его внутреннему диаметру d_0 , при этом с противоположных сторон трубы боковые участки ребер отогнуты по хордам, проходящим через точки на острых наружных концах ребра и по краям миделевого сечения ребра, находящегося в плоскости, перпендикулярной направлению движения воздуха.

Вместе с этим ребреные трубы в каждом поперечном ряду расположены вплотную с поперечным шагом $S_{1п}$, равным наружному диаметру ребра d .

Дополнительными отличительными признаками предлагаемой конструкции трубного пучка теплообменника по сравнению с прототипом являются наличие боковых ограждающих листов, а также то, что каждое ребро выполнено в виде диска с вырезом в кормовой половине, расположенным симметрично относительно продольной оси трубы, совпадающей с направлением воздушного потока. В зависимости от параметров ребра, его наружного диаметра d и внутреннего d_0 предложенная форма выреза уменьшает теплоотдающую площадь ребра на 9-17 %, причем эта площадь находится в зоне аэродинамического следа, что исключительно важно, и характеризуется крайне низкой интенсивностью теплообмена. Удаление ее снижает на 10-12 % потери давления воздуха на вихреобразование в связи с сокращением циркуляционной кормовой области потока из-за смещения точки отрыва потока от стенки трубы в направлении кормовой критической точки и большего охвата трубы неотторвавшимся потоком. С уменьшением теплоотдающей площади ребер также снижаются потери трения потока об их боковую поверхность. Следовательно, дисковое ребро с клиновидным вырезом в корме снижает металлоемкость трубного пучка и уменьшает аэродинамическое сопротивление на ощутимую величину (по нашим исследованиям 12-15 %), а больший угол охвата трубы потоком интенсифицирует теплоотдачу, при этом этот эффект существенно усиливается отогнутостью с противоположных сторон трубы боковых участков каждого ребра по хордам, проходящим через точки на острых наружных концах ребра и по краям миделевого сечения ребра. Данное сечение находится в плоскости, перпендикулярной направлению движения воздуха. Это дополнительный, принципиально отличительный, признак от прототипа, так как отогнуты именно те боковые участки ребер, которые находятся ниже от миделевого сечения по течению потока и где наблюдается монотонный спад интенсивности теплоотдачи. При отгибке они выполняют роль дефлекторов, направляя поток в межреберные полости, увеличивая среднюю скорость течения воздуха, а значит и теплоотдачу этой части поверхности ребер. Дефлекторы ребра поджимают поток к стенкам трубы, тем самым дополнительно сокращают размеры кормовой зоны с ухудшенной гидродинамикой потока, что способствует росту в целом теплоотдачи каждой трубы в пучке теплообменника.

Размещение труб вплотную в каждом поперечном ряду пучка с шагом $S = d$, в отличие от прототипа, где $S_{1п} > d$, способствует движению основной части воздуха по дефлектированным межреберным полостям с более высокой пристенной скоростью, что дополнительно интенсифицирует теплоотдачу. В итоге суммарный эффект интенсификации теплоотдачи составляет 18-25 %.

Таким образом, в заявляемом трубном пучке теплообменника полностью решены сформулированные задачи.

Изобретение поясняется чертежами: на фиг. 1 изображен трубный пучок теплообменника, поперечный разрез; на фиг. 2 - то же, продольный разрез; на фиг. 3 - труба с поперечными ребрами, вид в плане.

ВУ 9234 С1 2007.04.30

Трубный пучок теплообменника состоит из трубы 1 с поперечными ребрами 2, имеющими в плане диск с клиновидным вырезом по хордам b в кормовой половине, а расстояние l между ними на наружном диаметре ребра d равно внутреннему диаметру ребра d_0 , при этом боковые участки ребер отогнуты по хордам 5. Ребра имеют высоту h и расположены на трубах с шагом s . В трубных решетках 3 трубы размещены в шахматном порядке с поперечным шагом $S_{1п}$ и продольным S_2 . С боковых сторон трубного пучка имеются боковые ограждающие листы 4.

Трубный пучок теплообменника работает следующим образом.

В трубы 1 подается греющий теплоноситель (горячая вода или пар), который охлаждается или конденсируется, передавая тепло внутренней стенке трубы и ребрам 2, выполненным из теплопроводного материала. Нагреваемый воздух направляется в межтрубное пространство трубного пучка со стороны необрезанной части поперечных ребер, обтекая трубы перпендикулярным потоком, нагревается за счет конвекции с поверхности трубы и ребер и далее поступает к потребителю тепла. Расположение труб вплотную в поперечных рядах пучка совместно с отгибом боковых участков ребер под углом навстречу потоку, создающих дефлекторный эффект с расположением их за миделевым сечением труб, интенсифицирует теплоотдачу вследствие увеличения средней скорости воздуха в межреберных полостях, большим охватом трубы безотрывным потоком, сужением аэродинамического следа потока в кормовой части трубы и, как следствие, меньшими потерями на вихреобразование. Размеры клиновидного выреза поверхности ребер близки к оптимальным и способствуют интенсивному подтеканию свежих масс воздуха в кормовую зону из-за отсутствия сопротивления такому движению. В итоге тепловая эффективность пучка возрастает на 20-25 %. При больших размерах выреза ребер, когда $l > d_0$, темп уменьшения теплоотдающей поверхности трубы опережает положительные эффекты от этого конструктивного решения ввиду выключения из интенсивного теплообмена периферийной боковой поверхности ребер, находящейся за пределами отрицательного воздействия аэродинамического следа потока. Таким образом, обеспечивается эффективность пучка при уменьшенной его металлоемкости.

Применение в пучке теплообменника вплотную $S_{1п} = d$ шахматно расположенных, обтекаемых перпендикулярным потоком воздуха, труб с поперечными круглыми ребрами, каждое из которых выполнено конструктивно в плане в виде диска с клинообразным вырезом в кормовой половине, а вырез образован двумя хордами с точкой пересечения их на продольной оси трубы, находящейся на расстоянии внутреннего радиуса ребра от центра трубы, а наибольшее расстояние между хордами равно внутреннему диаметру ребра, т.е. $l = d_0$, после чего с противоположных сторон трубы боковые участки каждого ребра, находящихся за миделевым сечением, отгибаются на 90° по хордам, проходящим через точки, одна из которых находится на остром наружном конце выреза, а вторая - на краю миделевого шириной d сечения ребра, обеспечивает интенсификацию теплоотдачи, снижение аэродинамического сопротивления и металлоемкости ребрения, повышение тепловой эффективности и эксплуатационной тепловой надежности ввиду уменьшения наружной загрязняемости поверхности ребер и труб.

Предлагаемое изобретение целесообразно использовать в газожидкостных теплообменниках общего назначения (калориферы, воздухоохладители, аппараты воздушного охлаждения энергоносителей и продуктов нефте- и газопереработки), в которых трубные пучки обтекаются поперечным потоком воздуха (газа), а ребра выполнены преимущественно из высокотеплопроводных материалов, например, латуни, алюминия, меди.

Источники информации:

1. Справочник по сушке древесины / Е.С. Богданов, В.А. Козлов, В.Б. Кунтыш и др. - М.: Лесная промышленность, 1990. - С. 212-222.

ВУ 9234 С1 2007.04.30

2. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, О.П. Иванов и др. - Л.: Машиностроение, 1986. - С. 97-106, С. 178-187.

3. Охлаждающие устройства для тепловозов. - М.: НИИинформтяжмаш, 1971. - С. 21-29.

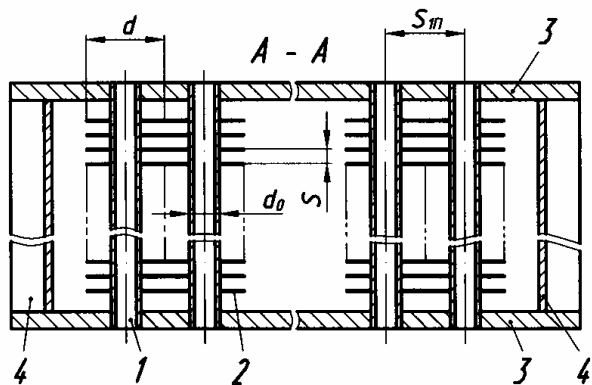
4. Стасюлявичюс Ю., Скринска А. Теплоотдача поперечно обтекаемых пучков ребристых труб. - Вильнюс: Минтис, 1974. - С. 155-159.

5. Мигай В.К., Фирсова Э.В. Теплообмен и гидравлическое сопротивление пучков труб. - Л.: Наука, 1986. - С. 88-89.

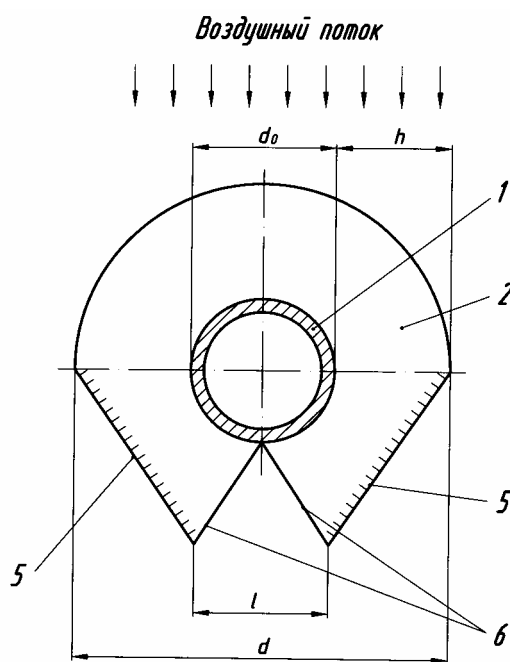
6. А.с. СССР. SU 1688095 А1. Трубный пучок теплообменника / Г.А. Марголин, В.Б. Кунтыш, В.И. Мелехов, К.А. Варма и др. Оpubл. 30.10.91 // Бюл. № 40.

7. Патент РФ. RU 2213920 С2. Теплообменная секция. / В.П. Мулин, В.И. Кочетов, Р.Ф. Теляев, В.Б. Кунтыш и др. Оpubл. 10.10.2003 // Бюл. № 28.

8. Патент РФ RU 2000518 С. Воздухонагреватель / Р.А. Петросян, В.Н. Фомина, Е.Н. Письменный и др. Оpubл. 07.09.93 // Бюл. № 33-36 (прототип).



Фиг. 2



Фиг. 3