

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 11426

(13) U

(46) 2017.06.30

(51) МПК

F 28F 1/36 (2006.01)

F 28D 3/02 (2006.01)

(54)

## ШАХМАТНЫЙ ТРУБНЫЙ ПУЧОК ТЕПЛООБМЕННИКА

(21) Номер заявки: u 20160407

(22) 2016.12.22

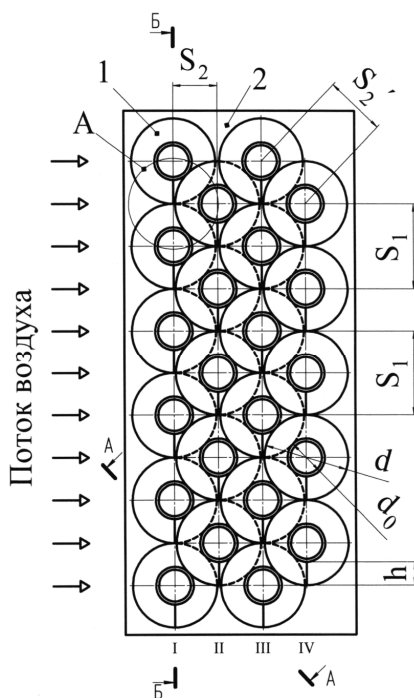
(71) Заявитель: Учреждение образования  
"Белорусский государственный техно-  
логический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисо-  
вич; Филатов Святослав Олегович;  
Володин Виктор Иванович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-  
зования "Белорусский государственный  
технологический университет"  
(ВУ)

(57)

Шахматный трубный пучок теплообменника, содержащий трубные решетки и набор расположенных в них параллельными рядами труб с круглыми ребрами высотой  $h$  с поперечным шагом  $S_1$ , равным наружному диаметру круглого ребра  $d$ , и продольным шагом  $S_2$ , отличающийся тем, что трубы располагаются с диагональным шагом  $S'_2 = d_0 + h$ , при этом круглые ребра каждой трубы, находящейся в параллельных рядах труб, последующих за первым параллельным рядом труб, вдвинуты в межреберное пространство труб предыдущего параллельного ряда до касания торца круглого ребра с поверхностью трубы диаметром  $d_0$  по основанию круглого ребра.



Фиг. 1

(56)

1. А.с. СССР 1688095 А1, МПК F 28D 7/00, F 28F 1/24.
2. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. - СПб.: Энергоатомиздат, 1992. - С. 11-28, 218-221.
3. Скринска А.Ю., Жукаускас А.А., Стасюлявичус Ю.К. Экспериментальное исследование локальных коэффициентов теплоотдачи спирально оребренных труб // Труды АН Литовской ССР. - Серия Б. - 1964. - № 3 (39). - С. 213-218.
4. А.с. СССР 705238, МПК F 28F 1/36 (прототип).
5. Богданов Е.С., Козлов В.А., Кунтыш В.Б. и др. Справочник по сушке древесины. - М.: Лесная промышленность, 1990. - С. 213-215.
6. Мигай В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - С. 236-234.

---

Полезная модель относится к рекуперативным газожидкостным теплообменникам из круглоребристых труб, типичным представителем которых являются воздухоохлаждаемые теплообменные аппараты газовой, нефтеперерабатывающей, химической промышленности; калориферы и воздухонагреватели различных сушильных и теплотехнологических установок, систем кондиционирования воздуха, конденсаторы и испарители тепловых насосов; промежуточные и концевые холодильники газа стационарных компрессорных машин; воздушные охладители масла крупных силовых электротрансформаторов.

Основным конструктивным элементом этого типа теплообменников является шахматный пучок из ребристых труб, соединенных с трубными решетками и обтекаемых поперечным (преимущественно перпендикулярным) потоком воздуха. Для организованного направленного движения воздуха через межтрубное пространство с боковых сторон пучка устанавливаются ограждающие листы, соединенные с трубными решетками. Компонентными параметрами пучка являются поперечный шаг  $S_1$ , продольный шаг  $S_2$  по направлению движения воздуха, диагональный шаг  $S'_2$ .

Общим для большинства промышленных теплообменников с шахматными пучками из круглоребристых труб в поперечном потоке воздуха (газа) является малое количество поперечных рядов  $z$ , не превышающее  $10 \div 12$ , и небольшие значения коэффициента теплоотдачи между оребрением и воздухом порядка  $a \approx 30 \div 70$  Вт/(м<sup>2</sup>·К), которые определяют низкую тепловую эффективность трубного пучка, его значительные металлоемкость и габариты, следовательно, и газожидкостного теплообменника в целом.

Известен трубный пучок теплообменника [1] с шахматной компоновкой труб, снабженных поперечными ребрами, каждое из которых выполнено в виде диска с сегментным вырезом, расположенным с кормовой стороны трубы по отношению к потоку воздуха. Для интенсификации теплоотдачи и повышения компактности пучка сегментный вырез с хордой размещен по касательной к трубе, а трубы в пучке расположены с продольным шагом  $S_2$ , составляющим  $0,77 \div 1,00$  максимального диаметра ребра  $d$  и с поперечным шагом  $S_1$ , равным  $1,08 \div 1,60$  продольного шага  $S_2$ . Недостатки такой конструкции следующие. Применение сегментного выреза поверхности круглых ребер с хордой, размещенной по касательной к трубе, то есть по основанию ребер, наряду с "балластной" [2] поверхностью теплоотдачи ребер, находящейся в аэродинамическом следе воздуха, удаляется и часть поверхности боковых участков, находящихся за миделевым сечением, которая активно участвует в теплоотдаче [3]. Для заявленных параметров ребер труб величина удаленной обрезкой площади поверхности теплоотдачи составляет  $35 \div 40$  % [2] от всей теплоотдающей площади трубы. Значит, коэффициент оребрения  $\phi$  трубы с вырезом

уменьшится в  $1,34 \div 1,39$  раза по сравнению с  $\varphi$  трубы без обрезки ребер, но интенсификация теплоотдачи составляет лишь  $14 \div 23$  %. Следовательно, теплосъем  $\alpha \cdot \varphi$  у трубы с вырезом будет меньше, чем исходной трубы с необрезанными ребрами. Так как трубы в поперечном ряду расположены с поперечным шагом  $S_1 > d$ , то происходит вытеснение воздуха из межреберных полостей оребренных труб в свободное пространство шириной  $(S_1 - d)$ , которое имеет меньшее аэродинамическое сопротивление, а теплоотдающая площадь обтекается воздухом с пониженной скоростью, что дополнительно ухудшает коэффициент теплоотдачи. Расчеты также показывают, что компактность пучка не превышает компактность исходного пучка до обрезки ребер, так как коэффициент оребрения  $\varphi$  снижается быстрее по сравнению с темпом уменьшения продольного шага  $S_2$ . Это видно из формулы коэффициента компактности пучка,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ :

$$\Pi = (\pi \cdot d_0 \cdot \varphi) / (S_1 \cdot S_2), \quad (1)$$

где  $d_0 = d - 2h$  - диаметр трубы по основанию ребра, м;  $h$  - высота ребра, м.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемым результатам к заявленному решению является пучок теплообменных труб [4] с поперечными круглыми ребрами, который принят за прототип. Пучок [4] содержит теплообменные трубы, расположенные параллельными поперечными рядами в шахматном порядке. Для интенсификации теплоотдачи ребристые трубы размещены с поперечным шагом  $S_1 = d$ , то есть контакт между ребрами соседних труб в каждом поперечном ряду осуществлен в точках соприкосновения торцов ребер наружного диаметра  $d$ . Применение предельного поперечного шага  $S_1 = d$  увеличивает компактность пучка, также дополнительно происходит рост компактности из-за уменьшения продольного шага  $S_2$ , что достигнуто выполнением по дуге окружности вырезов за миделевым сечением на глубину  $0,15 \div 0,6$  от высоты ребра  $h$ . Такая глубина вырезов обеспечивает поперечный шаг  $S_1$ , равный наружному диаметру ребра во всех поперечных рядах. При наибольшей глубине выреза в  $0,6h$  достигается в прототипе наименьшее значение диагонального шага  $S'_2$ , равное  $S'_{2\min} = d_0 + 1,4h$ . Однако негативное влияние выреза площади круглых ребер проявляется одновременно по двум направлениям: удаляется часть активной теплоотдающей площади ребер (боковые участки), а "балластная" теплоотдающая площадь, расположенная в аэродинамическом следе трубы, практически не затрагивается. В итоге снижается съем тепла  $\alpha \cdot \varphi$ , так как интенсификация коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  протекает медленнее в сравнении с уменьшением коэффициента оребрения  $\varphi$  трубы. Выполненные нами расчеты показывают, что предложенный вырез площади поверхности ребер в большей мере уменьшает коэффициент оребрения  $\varphi$  трубы в сравнении с темпом уменьшения продольного шага  $S_2$ . Видно из (1), что компактность пучка в прототипе возрастает не более чем на  $2 \div 4$  %. Также очевидна нетехнологичность конструкции пучка вследствие сложного профиля линии выреза на поверхности ребер труб и необходимого обеспечения высокого допуска при профилировании такого выреза, так как только при выполнении этого условия возможно осуществлять сборку пучка, чтобы ребра смежных труб контактировали по линиям выреза.

Задачей полезной модели является интенсификация теплоотдачи и повышение компактности шахматного трубного пучка теплообменника.

Поставленная задача достигается в шахматном трубном пучке теплообменника, содержащем трубные решетки и набор расположенных в них параллельными рядами труб с круглыми ребрами высотой  $h$  с поперечным шагом  $S_1$ , равным наружному диаметру круглого ребра  $d$ , и продольным шагом  $S_2$ , отличающимся тем, что трубы располагаются с диагональным шагом  $S'_2 = d_0 + h$ , при этом круглые ребра каждой трубы, находящейся в параллельных рядах труб, последующих за первым параллельным рядом труб, вдвинуты в межреберное пространство труб предыдущего параллельного ряда до касания торца круглого ребра с поверхностью трубы диаметром  $d_0$  по основанию круглого ребра.

Отличительным признаком предлагаемой конструкции шахматного трубного пучка теплообменника по сравнению с прототипом является то, что трубы располагаются в пучке с диагональным шагом  $S'_2 = d_0 + h$ , который не может быть достигнут в прототипе даже при наибольшей глубине выреза, при этом он численно меньше диагонального шага в прототипе, то есть  $S'_2 < S'_{2min}$  прототипа. В связи с этим уменьшается и продольный шаг, что следует из соотношения  $S_2 = [(S'_2)^2 - (0,5 \cdot S_1)^2]^{0,5}$ . Длина трубной решетки по направлению движения воздуха уменьшится в сравнении с длиной в пучке-прототипе. Металлоемкость трубного пучка снизится, также уменьшится объем, занимаемый трубным пучком. В заявляемом шахматном трубном пучке теплообменника не требуется удалять часть площади поверхности круглых ребер, исключается дополнительная технологическая операция, которая увеличивала стоимость прототипа и снижала производительность труда при его изготовлении. Коэффициент оребрения  $\phi$  труб в предлагаемой конструкции шахматного трубного пучка теплообменника остается неизменным. В итоге возрастает компактность пучка, что наглядно видно из следующего примера.

В калориферах [5] ОАО "Костромской калориферный завод" поверхность теплоотдачи состоит из труб с круглыми ребрами, размеры которых  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 39 \times 20 \times 9,5 \times 3,4 \times 0,825$  мм и  $\phi = 9,5$ . Здесь  $d$ ,  $d_0 = d - 2h$ ,  $h$ ,  $s$ ,  $\Delta$  - соответственно наружный диаметр круглого ребра, диаметр трубы по основанию круглого ребра; высота, шаг и средняя толщина ребра. Трубы скомпонованы в шахматный пучок с разбивкой по вершинам равностороннего треугольника с шагами  $S_1 = S'_2 = 41,5$  мм и  $S_2 = 35,6$  мм. Количество поперечных рядов по ходу воздуха  $z = 4$ . Компактность трубного пучка по (1)  $\Pi = (3,14 \cdot 0,02 \cdot 9,5) / (0,0415 \cdot 0,0354) = 406 \text{ м}^2/\text{м}^3$ .

В предлагаемой конструкции шахматного трубного пучка теплообменника  $S'_2 = d_0 + h = 20 + 9,5 = 29,5$  мм, а  $S_1 = 39$  мм. Продольный шаг  $S_2 = [(29,5)^2 - (0,5 \cdot 39)^2]^{0,5} = 22,1$  мм.

Тогда компактность заявляемого шахматного трубного пучка теплообменника

$$\Pi = (3,14 \cdot 0,02 \cdot 9,5) / (0,0390 \cdot 0,0221) = 692 \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

Рост компактности составит  $692/406 = 1,7$  раза.

Для расположения труб по предлагаемому шагу  $S'_2$  круглые ребра каждой трубы, находящейся в последующих за первым параллельных рядах, вдвинуты в межреберное пространство и впереди стоящих труб. При этом круглые ребра находятся в середине межреберного пространства шириной  $u = s - \Delta$ . В этом случае в межтрубном пространстве пучка образуются диффузорно-конфузорные каналы с квазитвердыми стенками, которые турбулизируют [2, 6] движущийся поток воздуха, увеличивая интенсивность теплоотдачи. Кроме этого, расположение ребер в межреберных каналах на всю их высоту увеличивает скорость движения воздуха, а градиент скорости по высоте канала уменьшается (выравнивается), что дополнительно интенсифицирует теплоотдачу. Физическое моделирование этого процесса указывает на величину интенсификации теплоотдачи до 35 %.

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

Полезная модель поясняется на фиг. 1-4.

На фиг. 1 изображен шахматный трубный пучок теплообменника со снятой верхней трубной решеткой (вид сверху).

На фиг. 2 изображен фрагмент из трех соседних труб с круглыми ребрами, расположенных в I-м и II-м поперечных рядах перпендикулярно потоку воздуха (вид спереди по выноске А).

На фиг. 3 изображена часть сечения А-А в месте вхождения круглых ребер 1-го ряда труб в межреберное пространство труб II-го ряда.

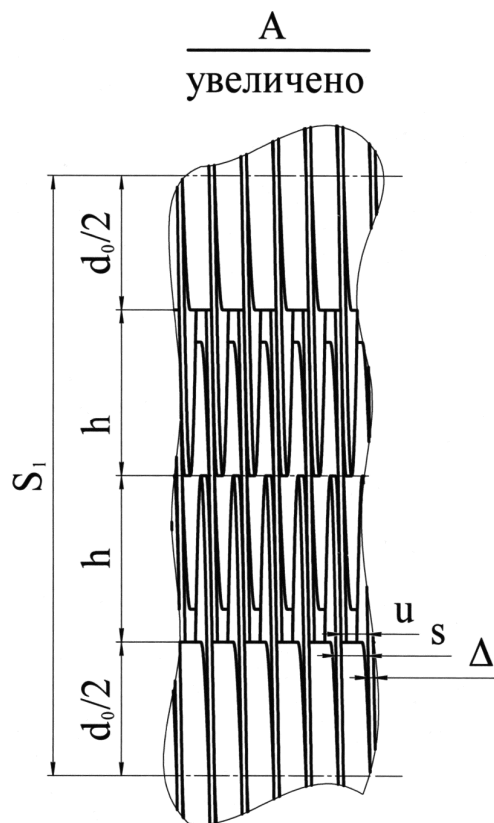
На фиг. 4 изображена часть сечения Б-Б трех труб I-го ряда с видом по направлению движения воздуха.

Шахматный трубный пучок теплообменника состоит из труб 1 с круглыми ребрами наружным диаметром  $d$  и двух трубных решеток, нижняя 2 из которых изображена на фиг. 1. Концы труб с поперечным  $S_1$ , продольным  $S_2$  и диагональным  $S'_2$  шагами закреплены в верхней и нижней трубных решетках, образуя четырехрядный пучок, в котором имеются четыре поперечных ( $z = 4$ ) ряда: I-й, II-й, III-й и IV-й.

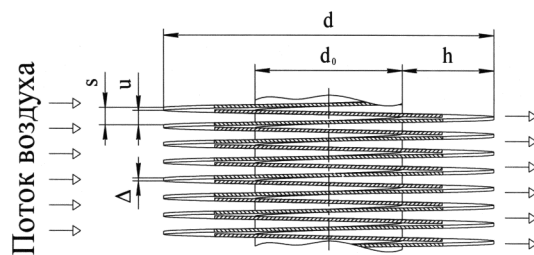
Из фиг. 2 видно, что ближайшие точки торцевой поверхности ребер соседних труб одного параллельного ряда находятся на одной линии, что соответствует значению поперечного шага  $S_1 = d$ . Круглые ребра труб последующего за первым параллельным рядом вдвинуты на полную высоту  $h$  в середину межреберного пространства шириной  $u = s - \Delta$  предыдущего параллельного ряда.

Шахматный трубный пучок теплообменника работает следующим образом. Поток воздуха подводится перпендикулярно продольной оси труб 1, обтекаемых снаружи поперечно. При движении воздуха в направлении к выходу из пучка он последовательно проходит диффузорно-конфузорные полости межтрубного пространства (фиг. 3), которые формируются между I-м и II-м, II-м и III-м, III-м и IV-м параллельными рядами, в которых генерируется повышенная турбулентность воздуха, а также возникает поперечное перемешивание потока вследствие возникающего знакопеременного градиента давления воздуха, что интенсифицирует теплоотдачу. При шаге труб  $S_1 = d$  поток воздуха движется через межтрубные полости без обходных течений и омывает ребра с повышенной скоростью, что вызывает дополнительную интенсификацию теплоотдачи.

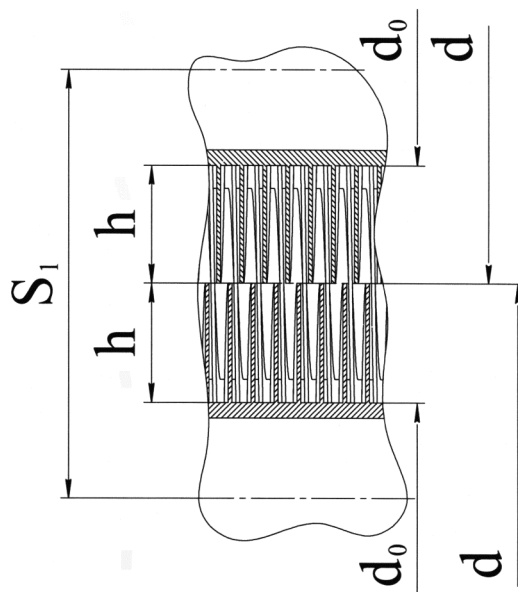
В целом предлагаемый шахматный трубный пучок теплообменника повышает интенсивность теплоотдачи до 35 %. Полезная модель пучка может быть использована в калориферах, воздухоохлаждаемых конденсаторах-теплообменниках, теплоутилизаторах из круглоребристых труб, выпускаемых заводами коммунального, химического и энергетического машиностроения.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4