

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 10161

(13) U

(46) 2014.06.30

(51) МПК

F 28D 3/02 (2006.01)

F 28F 1/24 (2006.01)

F 28L 15/04 (2006.01)

## (54) ТРУБНЫЙ ПУЧОК АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

(21) Номер заявки: u 20130879

(22) 2013.10.31

(71) Заявитель: Учреждение образования  
"Белорусский государственный тех-  
нологический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисович  
(ВУ); Сухоцкий Альберт Борисович  
(ВУ); Пиир Адольф Эдвардович (RU);  
Миннигалеев Альберт Шамилевич (RU)

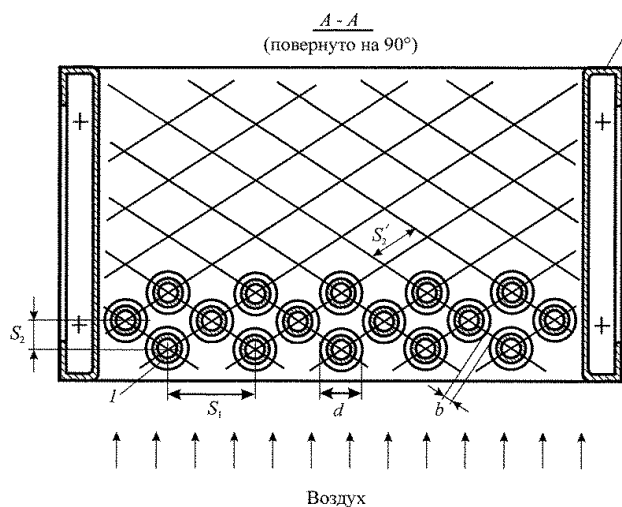
(73) Патентообладатель: Учреждение обра-  
зования "Белорусский государственный  
технологический университет" (ВУ)

(57)

1. Трубный пучок аппарата воздушного охлаждения, содержащий трубные решетки, закрепленные в них шахматно с поперечным  $S_1$  и продольным  $S_2$  шагами круглые биметаллические трубы со спиральными алюминиевыми накатными или навитыми ребрами наружного диаметра  $d$ , обтекаемые перпендикулярным продольной оси труб потоком охлаждающего воздуха, отличающийся тем, что трубы расположены в решетках по вершинам равнобедренного треугольника, большая сторона, равная шагу  $S_1$ , перпендикулярна направлению движения воздуха, а вторая и третья стороны равны диагональному шагу  $S_2'$ , который меньше  $S_1$ .

2. Трубный пучок аппарата воздушного охлаждения по п. 1, отличающийся тем, что значения шагов выбираются равными: поперечного  $S_1 = (1,17-1,22)d$ , продольного  $S_2 = (0,89-0,98)d$ .

3. Трубный пучок аппарата воздушного охлаждения по п. 1, отличающийся тем, что наружный диаметр ребра биметаллической трубы принимается равным  $d = 49-57$  мм.



Фиг. 2

(56)

1. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / Под общ. ред. В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессонного. - СПб.: Недра, 1996. - С. 28-104.

2. Стандартизированные аппараты воздушного охлаждения общего назначения. - М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1973. - С. 3-7.

3. Отраслевой стандарт ОСТ 26-02-2018-77. Аппараты воздушного охлаждения малопоточные. - М.: Минхимнефтемаш, 1977. - 49 с.

4. Кунтыш В.Б., Пиир А.Э. Анализ тепловой эффективности, объемной и массовой характеристик теплообменных секций аппаратов воздушного охлаждения // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2009. - № 5. - С. 3-6.

5. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. - М.-Л.: Энергия, 1966. - 184 с.

6. Шмеркович В.М. Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок нефтеперерабатывающих и химических заводов: Обз. информ. сер. ХМ-1. - М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1967. - 132 с.

7. RU 2000518 С, МПК F 23L 15/04.

8. RU 2213920 С2, МПК F 28D 3/02.

9. Кунтыш В.Б., Кузнецов Н.М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. - СПб.: Энергоатомиздат, 1992. - С. 12 (прототип).

---

Полезная модель относится к конструкции трубных пучков, а более конкретно к шахматным пучкам из труб с поперечными ребрами теплообменных секций аппаратов воздушного охлаждения (АВО).

АВО являются неотъемлемой частью большинства теплотехнологических установок и процессов нефтеперерабатывающей, химической, нефтехимической, газовой и газоперерабатывающей промышленности. Применяются также в тепло- и электроэнергетике, в холодильных установках и пищевой промышленности. На изготовление АВО расходуются тысячи тонн как черного, так и дорогостоящего алюминия. Производство их оформилось в самостоятельную подотрасль химического машиностроения.

Основными конструктивными узлами АВО являются [1]: теплообменные секции, осевые вентиляторы с электроприводом, диффузор или конфузор, жалюзи, металлоконструкция. Наибольшее распространение получили АВО общего назначения [2] с горизонтальным расположением теплообменных секций.

Трубные пучки теплообменных секций АВО состоят из биметаллических ребристых труб (БРТ) с алюминиевыми спиральными накатными или спиральными навитыми под натягом ребрами [1] L-образного поперечного сечения. Геометрическими параметрами ребер являются:  $d$  - наружный диаметр ребра;  $h$ ,  $s$ ,  $\Delta$  - соответственно высота, шаг и средняя толщина ребра;  $d_0 = d - 2h$  - диаметр ребра по его основанию. Ребра механически соединены с наружной поверхностью круглой металлической трубы, называемой несущей, наружный диаметр которой преимущественно  $d_H = 25$  мм. Увеличение площади теплоотдающей поверхности оребрением характеризуется коэффициентом оребрения  $\phi$ . Длина БРТ в пучках АВО составляет от 1,5 до 12 м.

БРТ в пучках АВО расположены шахматно, компоновочными параметрами их являются:  $S_1$  - продольный,  $S_2$  - поперечный и  $S_2'$  - диагональный шаги, а также количество поперечных рядов труб, которое равно  $z = 4, 5, 6, 8$  рядов. Относительные шаги БРТ в пучке вычисляют как  $\delta_1 = S_1/d$ ,  $\delta_2 = S_2/d$ ,  $\delta_2' = S_2'/d$ .

В трубных пучках АВО первого поколения применяли БРТ с алюминиевыми спиральными ребрами  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 49 \times 28 \times 10,5 \times 3,5 \times 0,55 - 0,85$  мм;  $\phi = 9,4$  [3]. Трубы в решетках пучка располагали в вершинах равностороннего треугольника с шагом  $S_1 = S_2' = 52$  мм;

$S_2 = 0,866 S_1 = 45$  мм. Зазор между вершинами ребер смежных труб в диагональном сечении  $b = S_2' - d = 52 - 49 = 3$  мм. Также применялись БРТ  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 56 \times 28 \times 14 \times 3 \times 0,55$  мм,  $\varphi = 15,2$  [4]. Характер компоновки БРТ не претерпел изменений и остался прежним (по вершинам равностороннего треугольника) с шагами  $S_1 = S_2' = 58$  мм;  $S_2 = 50,2$  мм, а относительные шаги  $\delta_1 = \delta_2' = 1,035$ ,  $\delta_2 = 0,896$ . Зазор между вершинами ребер  $b = 58 - 56 = 2$  мм.

С целью увеличения аппаратной тепловой мощности для АВО второго поколения освоено производство БРТ с увеличенным коэффициентом оребрения и, в частности, применяются трубы с накатными алюминиевыми ребрами  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 57 \times 26,6 \times 15,2 \times 2,5 \times 0,55$  мм,  $\varphi = 20,4$  и трубы с навитыми L-ребрами из алюминиевой ленты  $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta = 57 \times 25,4 \times 15,8 \times 2,5 \times 0,35$  мм,  $\varphi = 22$ . Предполагалась оставить трубные шаги  $S_1 = S_2' = 58$  мм;  $S_2 = 50,2$  мм, характерные для пучков АВО первого поколения, с  $\varphi = 15,2$ , при этом сохранив равностороннюю компоновку БРТ в пучке. Межвершинный зазор  $b = 58 - 57 = 1$  мм оказался недостаточным, а компоновка труб в пучке исключительно тесной с высоким значением компактности  $\Pi = F/V$ ,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ . Здесь  $F$  - площадь теплоотдающей поверхности серебрянных труб,  $\text{м}^2$ ;  $V$  - объем пучка, занимаемый оребренными трубами,  $\text{м}^3$ . В основе такого технологического решения находились рекомендации [5] и опытные исследования моделей пучков АВО с  $\varphi = 15,2$  [6], утверждавшие, что в оребренных пучках (шайбовые и спиральные ребра) энергетически целесообразно применять максимально возможные тесные компоновки.

Однако при промышленной реализации этого решения возникли значительные затруднения ввиду малого значения зазора в 1 мм. При сборке пучка происходило защемление вершин ребер соседних труб, их смятие; при эксплуатации - выброс (выгиб) труб от действия температурных деформаций. Только при изготовлении высоты ребер труб в отрицательном допуске сборка оказалась возможной. Но изготовление БРТ в отрицательном допуске уменьшило значение  $\varphi$ , что отрицательно отразилось на тепловом потоке  $Q$  аппарата. Следовательно, достижение повышенного  $Q$  в неизменных габаритах АВО нивелируется изложенным фактором.

С целью устранения отрицательного действия этого фактора в известных конструкциях теплообменных ребристых труб [7, 8] осуществлена боковая отгибка вершин ребер, что позволило сохранить площадь поверхности оребренной трубы (пучка труб), но зазор  $b$  не увеличился. Трудности сборки остались прежними, кроме этого, появилась дополнительная техническая операция - подгибка вершин ребер, что увеличило стоимостную характеристику, возросла загрязняемость оребрения.

Нами были выполнены экспериментальные исследования теплоотдачи и аэродинамического сопротивления шахматных шестирядных пучков из БРТ в принудительном потоке воздуха. Пучки собирали из труб с  $d = 56$  и  $57$  мм с  $\varphi = 20,4$  и  $22$ . Компоновка труб в пучке равносторонняя с  $S_1 = S_2' = 58,0 - 68,2$  мм. Установлено по результатам испытаний, что увеличение шага  $S_1$  от  $58$  мм до  $64,7$  мм не отражается на величине теплового потока аппарата  $Q$ , потребляемая мощность вентилятора уменьшается на  $25\%$ , а расход труб на аппарат понизился на  $10,8\%$  по сравнению с данными для применяемого шага  $S_1 = 58$  мм. Применение более свободной компоновки БРТ с  $S_1 = S_2' = 68,2$  мм уже сопровождается снижением теплового потока  $Q$  на  $4\%$ , но мощность вентилятора понизилась в  $1,39$  раза, а расход труб снизился на  $17\%$  по сравнению с базовым аппаратом при  $S_1 = S_2' = 58$  мм.

Исходя из изложенного для АВО второго поколения из БРТ с наружным диаметром ребра  $d = 56-57$  мм принята также шахматная равносторонняя (треугольная) компоновка труб с шагом  $S_1 = S_2' = 64$  мм,  $S_2 = 55,4$  мм. Применение этих шагов не уменьшило тепловой поток аппарата, но возросла ширина трубной решетки по направлению потока воздуха из-за увеличенного шага  $S_2$  на значение  $55,4 - 50,2 = 5,2$  мм. Для шестирядного пучка величина прироста ширины решетки составила  $26$  мм, что повлекло рост металлоемкости аппарата как от действия этого параметра, так и вследствие увеличения ширины продуктовых (жидкостных) крышек. Этот недостаток требуется устранить выбором такого зна-

# ВУ 10161 U 2014.06.30

чения оптимального шага  $S_2$ , чтобы избежать роста металлоемкости при сохранении  $Q = \text{const}$ .

Влияние изменения шагов оребренных труб в пучке на интенсификацию теплоотдачи оценивается комплексом  $\beta = \left( \frac{S_1 - d_0}{S_2 - d_0} \right)^m$ , где  $m$  - показатель степени. Для равносторонних

шахматных пучков  $\beta = 1$ , так как  $S_1 = S_2'$ . Следовательно, увеличение шагов в таких пучках не сопровождается повышением интенсивности, однако применение более свободной компоновки труб в АВО второго поколения по сравнению с тесной компоновкой труб АВО первого поколения уменьшило аэродинамическое сопротивление пучка. Итоговым результатом эксплуатации таких пучков в составе АВО явились те количественные показатели, которые приведены выше.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемым результатам к заявляемой полезной модели является трубный пучок теплообменной секции [9] АВО, принятый нами за прототип. Трубный пучок прямоугольного фронтального сечения представляет шестирядную по направлению движения охлаждающего воздуха компоновку из круглых БРТ с алюминиевыми ребрами, перпендикулярно обтекаемых однократным принудительным потоком воздуха. Трубы в решетках расположены в вершинах равностороннего треугольника с шагом  $S_1 = S_2' = 52$  мм, наружный диаметр ребра  $d = 49$  мм,  $\phi = 9,4$ . Конструкция трубного пучка не претерпела изменений и для БРТ с  $d = 56$  мм,  $\phi = 15,2$  (АВО первого поколения), а также и для АВО второго поколения из БРТ с  $d = 57$  мм,  $\phi = 20,4 - 22,0$ .

Конструкции прототипа свойственны недостатки, вытекающие из равносторонней компоновки труб: более низкая интенсивность теплоотдачи по сравнению с иными компоновками, для которых  $\beta > 1,0$ , а также увеличенная металлоемкость.

Задача полезной модели - увеличение энергетической эффективности и снижение металлоемкости трубного пучка аппарата воздушного охлаждения при сохранении технологичности сборки.

Поставленная задача достигается в трубном пучке аппарата воздушного охлаждения, содержащем трубные решетки, закрепленные в них шахматно с поперечным  $S_1$  и продольным  $S_2$  шагами круглые биметаллические трубы со спиральными алюминиевыми накатными или навитыми ребрами наружного диаметра  $d$ , обтекаемые перпендикулярным продольной оси труб потоком охлаждающего воздуха, отличающемся тем, что трубы расположены в решетках по вершинам равнобедренного треугольника, большая сторона, равная шагу  $S_1$ , перпендикулярна направлению движения воздуха, а вторая и третья стороны равны диагональному шагу  $S_2'$ , который меньше  $S_1$ , при этом значения шагов выбираются равными: поперечного  $S_1 = (1,17-1,22)d$ , продольного  $S_2 = (0,89-0,98)d$ , а наружный диаметр ребра биметаллической трубы принимается равным  $d = 49-57$  мм.

Принципиальным отличительным признаком предлагаемой конструкции трубного пучка аппарата воздушного охлаждения (АВО) является применение размещения БРТ на трубных решетках пучка в вершинах равнобедренного, т.е. неравностороннего треугольника, вместо применяемого во всех без исключения АВО общепромышленного назначения равностороннего расположения. Для предлагаемого равнобедренного расположения труб обязательным условием является размещение перпендикулярно потоку воздуха большей, равной поперечному шагу  $S_1$ , стороны треугольника, а каждая из оставшихся двух сторон имеет длину, равную диагональному шагу  $S_2'$ , которая должна быть меньше поперечного шага  $S_1$ , т.е.  $S_2' < S_1$ . В этом случае БРТ в продольных рядах смещаются в противоположном направлении к впереди расположенным трубам поперечных рядов. В итоге получается равнобедренная компоновка труб с поджатым шагом

$S_2$ , для которой всегда комплекс  $\beta = \frac{S_1 - d_0}{S_2 - d_0} > 1$ , а в прототипе  $\beta = 1$ .

# BY 10161 U 2014.06.30

Поджатие шага  $S_2$  при  $S_1 = \text{const}$  увеличивает турбулизацию потока воздуха в межтрубном пространстве пучка и уменьшает "балластную" [9] площадь поверхности оребрения в кормовой половине (области) трубы, которая неэффективно участвует в теплоотдаче. В результате происходит интенсификация теплоотдачи  $\alpha$ . Количественно этот процесс учитывается комплексом  $\beta = \left( \frac{S_1 - d_0}{S_2 - d_0} \right)^m$ . Для пучков из круглых БРТ значение  $m = 0,53 - 0,019\phi$  [1].

Для пучков из круглых БРТ значение  $m = 0,53 - 0,019\phi$  [1]. Диагональный шаг труб в пучке  $S_2' = \sqrt{(0,5S_1)^2 + S_2^2}$ . Для стандартизированных БРТ АВО диаметр ребра по основанию  $d_0 = d - 2h = 25,6 - 28,0$  мм. Интервал изменения комплекса  $\beta$  для защищаемых значений  $\delta_1$  и  $\delta_2$  равен  $\beta = 1,10 - 1,19$ . Интенсификация (увеличение) коэффициента теплоотдачи от применения равнобедренной компоновки труб составляет 4-10 %. Энергетическая эффективность пучка возрастает в среднем на 6 % при одинаковой потребляемой мощности вентилятором  $N_B = \text{idem}$  на перемещение воздуха. Особенностью аэродинамической конструкции предлагаемого пучка является практически близкое к росту теплоотдачи увеличение сопротивления движению воздуха. Вследствие совместного действия указанных факторов трубный пучок АВО, как неотъемлемая часть общей конструкции АВО, обеспечивает исходный тепловой поток  $Q = \text{const}$  с меньшим количеством (до 6-8 %) БРТ в теплообменной секции. Уменьшается металлоемкость секции и стоимость аппарата. Дополнительное преимущество вытекает из того, что в интервале изменения  $\delta_2$  ширина трубной решетки не возрастает, а остается прежней, характерной для прототипа. Технология сборки трубного пучка и надежная эксплуатация труб в нем становятся более благоприятными при отказе от равнобедренной треугольной компоновки труб и применении равнобедренной треугольной. Это обуславливается достаточным диагональным зазором между вершинами ребер соседних БРТ. Даже при изготовлении труб в плюсовом допуске наружного диаметра  $d$  ребер, равного + 1,5 мм для  $\phi = 9,4$ , + 0,5 мм для  $\phi = 15,2 - 22,0$  [1], минимальное значение этого зазора будет соответственно равно  $b = 2$  мм; 3,1 мм. Технологичность сборки не ухудшается.

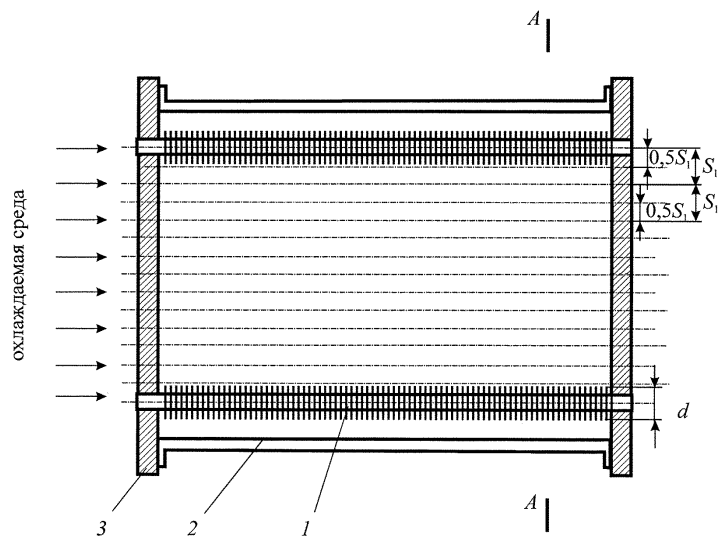
Таким образом, в заявленном трубном пучке аппарата воздушного охлаждения полностью решена сформулированная задача.

Полезная модель поясняется фиг. 1, 2. На фиг. 1 изображен вид сверху на горизонтально расположенный трубный пучок; на фиг. 2 - поперечное сечение трубного пучка, повернутое на  $90^\circ$ .

Трубный пучок аппарата воздушного охлаждения содержит круглые биметаллические трубы 1 со спиральными алюминиевыми накатными или навитыми ребрами наружного диаметра  $d$ , трубные решетки 2, в которых закреплены концы труб, и боковые ограждающие листы 3 для направления воздуха в межтрубное пространство пучка перпендикулярно продольной оси труб. Трубы в решетках расположены шахматно с поперечным  $S_1$ , продольным  $S_2$  и диагональным  $S_2'$  шагами в вершинах равнобедренного треугольника таким образом, что  $S_1 > S_2'$ . В таком случае образуется трубный пучок с поджатым шагом  $S_2$ , что сдвигает БРТ к впереди стоящим трубам и усиливает турбулизацию потока воздуха.

Трубный пучок аппарата воздушного охлаждения работает следующим образом. Внутри БРТ 1 подается энергоноситель (бензин, керосин, дизельное топливо и т.д.) или технологический продукт (метанол, аммиак) и их пары, которые охлаждаются или конденсируются с последующим охлаждением и передают тепловой поток охлаждающему воздуху, который принудительным поперечным потоком движется в межтрубном пространстве пучка, обтекая трубы снаружи. Тепло конвекцией с наружной поверхности оребрения труб передается охлаждающему воздуху, который при движении через межтрубное пространство, ограниченное трубными решетками 2 и ограждающими листами 3, нагревается и выводится из него в окружающую среду.

Полезная модель может быть использована заводами химического, нефтегазового и энергетического машиностроения.



Фиг. 1