

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **10250**

(13) **U**

(46) **2014.08.30**

(51) МПК

*F 24F 1/24* (2011.01)

*F 04D 27/00* (2006.01)

(54)

## АППАРАТ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

(21) Номер заявки: u 20130933

(22) 2013.11.14

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

(72) Авторы: Кунтыш Владимир Борисович  
(ВУ); Сухоцкий Альберт Борисович  
(ВУ); Мулин Виктор Петрович (RU)

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

(57)

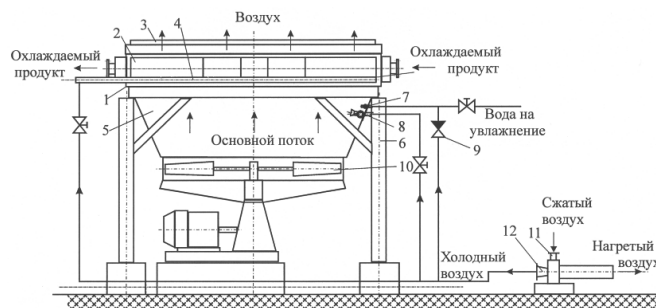
1. Аппарат воздушного охлаждения, состоящий из блока горизонтально расположенных теплообменных секций с боковыми стенками и многорядных пучков из биметаллических ребристых труб, осевого нагнетательного вентилятора с электрическим приводом, диффузора, присоединенного к блоку теплообменных секций снизу, узла увлажнения охлаждающего воздуха перед поступлением в трубные пучки теплообменных секций, жалюзийного устройства, опорной металлоконструкции, коллектора с механически присоединенными щелевыми насадками, расположенного внутри по периметру в верхней части диффузора, распределительных гребенок с расширяющимися наконечниками, равномерно расположенными посередине между первым и вторым поперечными рядами ребристых труб, **отличающийся** тем, что коллектор с механически присоединенными щелевыми насадками и распределительные гребенки соединены с патрубком холодного воздуха вихревой трубы, напорный патрубок которой соединен с магистральным воздухопроводом.

2. Аппарат по п. 1, **отличающийся** тем, что узел увлажнения охлаждающего воздуха соединен с патрубком холодного воздуха вихревой трубы через запорно-регулирующую аппаратуру или посредством обратного клапана.

(56)

1. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения; Справочник. Под общ. ред. Б.Б. Кунтыша, А.Н. Бессонного. - СПб.: Недра, 1996.- С. 28-29.

2. Патент RU на изобретение 2266488 С1, 2005.



ВУ 10250 U 2014.08.30

3. Сухорукова В.Г., Шмеркович В.М. Аппараты воздушного охлаждения в химической промышленности. Обзоры по отдельным производствам химической промышленности. - М.: НИИТЭХИМ, 1976. - С. 17.

4. Шмеркович В.М. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения. Обзорная информация. Серия ХМ-1. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1979. - С. 46.

5. Васильев Ю.Н., Марголия Г.А. Системы охлаждения компрессорных и нефтеперекачивающих станций. - М.: Недра, 1977. - С. 111.

6. Патент РБ на полезную модель 9446, 2013 (прототип).

7. Мартынов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? - М.: Энергия, 1978.- С. 6-8.

8. Кунтыш В.Б., Самылов А.И. Исследование теплоотдачи однорядных пучков из оребренных труб при совместном действии свободной и вынужденной конвекции воздуха // Изв. вузов. Энергетика. - 1999. - № 4. - С. 59-67.

---

Полезная модель относится к поверхностным рекуперативным теплообменникам типа аппарата воздушного охлаждения (АВО), повсеместно применяемым для охлаждения природного газа на компрессорных станциях (КС) магистральных газопроводов, в ректификационных установках разделения нефти, в крупнотоннажных производствах аммиака для минеральных удобрений, для охлаждения масла крупных силовых трансформаторов, для конденсации водяного пара в паротурбинных установках.

В общем случае конструкция любого АВО представляет аппарат, состоящий из двух основных частей: поверхности теплообмена (охлаждения) из биметаллических ребристых труб (БРТ), собранных в многорядный пучок с подсоединенными технологическими продуктовыми крышками и ограждающими боковыми стенками, образующих в целом теплообменную секцию, а также систему подачи охлаждающего атмосферного воздуха. Внутри БРТ однократно или по многократной схеме движется горячий технологический продукт (теплоноситель или энергоноситель). Охлаждающий воздух принудительным однократным поперечным током снаружи омывает БРТ, отводя от них тепловой поток, а затем нагретый воздух выбрасывается в окружающую среду. Наибольшее применение получили АВО горизонтального типа.

Известна конструкция АВО [1], состоящая из блока теплообменных секций, расположенных горизонтально на опорной металлоконструкции, и подсоединенного к нему снизу диффузора с узлом увлажнения воздуха, а также осевого нагнетательного вентилятора с электроприводом. Сверху теплообменных секций установлены жалюзи. Теплообменные секции имеют боковые стенки для организованного движения воздуха через межтрубное пространство пучка из БРТ.

Недостатками АВО являются большие габариты поверхности охлаждения в виде теплообменных секций, значительная металлоемкость их и аппарата в целом, высокая потребляемая мощность привода вентилятора, обусловленная большими потерями давления охлаждающего воздуха при движении его через многорядный пучок оребренных труб, и значительное количество труб в аппарате. Недостатки являются следствием незначительных значений коэффициента теплопередачи, что характерно для всех газожидкостных поверхностных теплообменников, типичным представителем которых является АВО. У таких теплообменников невысокая интенсивность теплопередачи априори предопределена плохими теплофизическими свойствами воздуха, как охлаждающего теплоносителя, вследствие чего даже при принудительном его движении в среднем коэффициент теплоотдачи не превышает 50-60 Вт/(м<sup>2</sup>·К) [1]. Коэффициент теплоотдачи внутри труб по стороне охлаждающего продукта находится в интервале 600-4000 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Известно, что

коэффициент теплопередачи всегда меньше меньшего коэффициента теплоотдачи. Таким образом, АВО свойственна пониженная энергоэффективность.

Одним из направлений повышения энергоэффективности и экономичности АВО является интенсификация теплоотдачи воздуха и улучшение аэродинамики многорядного пучка из оребренных труб при прохождении охлаждающей среды. Одной из конструкций АВО, в которой реализовано это направление, является аппарат [2] для охлаждения природного газа на КС магистральных газопроводов, содержащий горизонтальные теплообменные секции с многорядными пучками из БРТ и боковыми стенками, опорную металлоконструкцию, нижнее расположение осевых вентиляторов, диффузоры, коллекторы входа воздуха и продольные боковые вытеснители с внутренней стороны стенок в нечетных поперечных рядах пучка. Экономичность аппарата обеспечивается снижением аэродинамического сопротивления вследствие разработанных конструктивных решений, обеспечивающих улучшенную аэродинамику движения воздуха через межтрубное пространство пучка и оптимизации параметров проходного сечения коллекторов вентилятора и их обтекаемой формы. К сожалению, в работе не приведена количественная оценка и отсутствуют доказательства теплоэнергетической и экономической эффективности предложенных решений.

Представляется, что применение боковых вытеснителей пусть даже весьма обтекаемых форм (они применяются самых разных поперечных сечений во всех промышленных АВО), а также оптимальных параметров входного коллектора воздуха в сочетании с плавными формами боковой поверхности не вызовет ощутимого снижения сопротивления аппарата по охлаждающей среде, а значит, и энергосбережения. Сопротивление аппарата в решающей мере определяется компоновочными параметрами БРТ в пучке, а также геометрией и формой ребер. Применение многовентиляторной конструкции вместо двухвентиляторной удорожает стоимость аппарата, снижает надежность, увеличивает затраты на ремонт и обслуживание. Увеличение агрегатной мощности привода вызывает снижение капитальных затрат, а здесь предлагается разукрупнение электропривода с применением 2,5-12,0 кВт номинальной мощности двигателей.

Вторым более эффективным направлением повышения экономичности эксплуатации АВО является выключение вентиляторов в холодное время года, т.е. применение естественной тяги воздуха через теплообменные секции вместо принудительной. Таким образом, обеспечивается съём тепла, равный 20-30 % [3] от расчетной производительности аппарата в теплое время года, а при температуре воздуха  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже может быть обеспечена полная расчетная теплопроизводительность аппарата без работающих вентиляторов [4]. Оснащая АВО дополнительными устройствами, усиливающими тягу воздуха, теплопроизводительность АВО может быть сохранена при более высоких температурах окружающего воздуха без потребления электроэнергии приводом вентилятора.

Наиболее близким аналогом является аппарат воздушного охлаждения [5]. Аппарат состоит из теплообменных секций прямоугольного фронтального сечения, расположенных горизонтально на опорной металлоконструкции. Трубные пучки секций многорядные и собраны из БРТ с алюминиевыми ребрами. Снизу к секциям присоединен диффузор, в коллекторе которого вращается колесо осевого вентилятора с электроприводом. Над теплообменными секциями имеется жалюзийное устройство. Стандартизированный аппарат дополнительно оборудован вытяжным устройством, которое представляет цилиндр диаметром 2,81 м и высотой 4-6 м, состыкованный с конфузуром. Конфузор смонтирован над теплообменными секциями и является также дополнительным элементом конструкции. Внутри труб движется охлаждаемая среда (в этом конкретном АВО - вода с входной температурой в среднем  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Температура атмосферного воздуха изменялась в интервале от  $12,2$  до  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Установлено, что применение вытяжного устройства для интенсификации естественной конвекции воздуха обеспечивает расчетную теплопроизводительность аппарата при

## ВУ 10250 U 2014.08.30

температуре атмосферного воздуха от  $-0,5$  до  $-1,9$  °С, а при повышении температуры до  $+12,2$  °С теплопроизводительность снижается от 300 до 132 кВт, т.е. в 2,3 раза при отключенном вентиляторе. Совершенно очевидно, что применение интенсификации естественно-конвективного теплообмена воздуха значительно увеличивает эксплуатационную экономичность аппарата без дополнительных энергозатрат как в годовом, так и в суточном циклах работы. Рекомендуется принимать рациональную высоту вытяжного устройства равную 6 м.

Основными недостатками аналога являются: громоздкость устройства, что затрудняет его использование при ограниченных планировочных объемах монтажа АВО, возрастают металлоемкость аппарата и дополнительные нагрузки на металлоконструкцию еще и от ветрового давления; необходимость монтажа конфузора. Это в совокупности увеличивает капитальные затраты на аппарат. Полностью исключается возможность очистки наружной поверхности оребренных труб от загрязнений ввиду отсутствия свободного доступа к теплообменным секциям. Возрастает аэродинамическое сопротивление аппарата в случае принудительного движения воздуха.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемым результатам является аппарат воздушного охлаждения [6], выбранный нами за прототип. Представленный стандартизованный АВО оснащен узлом увлажнения воздуха, который включается в отдельные жаркие дни, когда температура воздуха превышает расчетную, заложенную в тепловом расчете. В прототипе этот узел увлажнения также используется при пониженных температурах воздуха в режиме отключенного вентилятора для дополнительного ввода воздуха через имеющиеся водяные форсунки. Для усиления интенсификации теплоотдачи массовый расход воздуха через этот узел составляет 10-15 % от расхода воздуха через коллектор. Также отличительными конструктивными элементами аппарата являются распределительные гребенки, размещенные по всей длине наружной боковой стенки крайних теплообменных секций блока. Гребенки подсоединены к магистрали сжатого воздуха и формируют плоскую струю воздуха посередине между первым и вторым поперечными рядами труб, причем направление струи воздуха перпендикулярно направлению движения основного восходящего потока воздуха, что способствует росту турбулизации движения и дополнительному усилению теплообмена в режиме смешанной конвекции. Более холодный воздух от гребенок смешивается с основным потоком воздуха, подогретым первым рядом оребренных труб, снижает его температуру и тем самым увеличивает среднюю разность температур охлаждаемой среды (технологического продукта внутри труб) и воздуха, набегающего на второй ряд. От этого воздействия возрастает отводимый тепловой поток аппаратом. Масса воздуха, вводимого через гребенки, составляет 20-25 % от массы воздуха, вводимого через коллектор.

Величина дополнительного потребления электроэнергии на сжатие и ввод воздуха в аппарат через коллектор, распределительные гребенки и узел увлажнения с целью перевода его эксплуатации в режим смешанной конвекции при полностью отключенном нагнетательном осевом вентиляторе составляет не более 5 % от затрат энергии на привод вентилятора, но при этом существенно возрастает экономия в потреблении электроэнергии от увеличения продолжительности эксплуатации аппарата с отключенным вентилятором в режиме смешанной конвекции из-за расширения рабочей области отрицательных температур воздуха.

Недостатком прототипа является неэффективное использование потенциальной энергии избыточного давления сжатого воздуха, подаваемого из трубопровода, при смешении его через сопла с атмосферным охлаждающим воздухом.

Задача полезной модели - расширение температурного диапазона, обеспечивающего повышение эксплуатационной экономичности аппарата воздушного охлаждения при неизменных габаритах.

## ВУ 10250 U 2014.08.30

Поставленная задача достигается в аппарате воздушного охлаждения, состоящем из блока горизонтально расположенных теплообменных секций с боковыми стенками и многорядных пучков из биметаллических ребристых труб, осевого нагнетательного вентилятора с электрическим приводом, диффузора, присоединенного к блоку теплообменных секций снизу, узла увлажнения охлаждающего воздуха перед поступлением в трубные пучки теплообменных секций, жалюзийного устройства, опорной металлоконструкции, коллектора с механически присоединенными щелевыми насадками, расположенного внутри по периметру в верхней части диффузора, распределительных гребенок с расширяющимися наконечниками, равномерно расположенными посередине между первым и вторым поперечными рядами ребристых труб, отличающемся тем, что коллектор с механически присоединенными щелевыми насадками, распределительные гребенки и узел увлажнения охлаждающего воздуха соединены с патрубком холодного воздуха вихревой трубы через запорно-регулирующую аппаратуру или посредством обратного клапана, а напорный патрубок вихревой трубы соединен с магистральным воздухопроводом.

Принципиальным отличительным конструктивным признаком заявляемого АВО является подача в коллектор с механически присоединенными щелевыми насадками, распределительные гребенки и узел увлажнения холодного воздуха от вихревой трубы. Таким образом, достигаются и турбулизация охлаждающего воздуха, и снижение его средней температуры.

Вихревая труба состоит из гладкой цилиндрической трубы, снабженной соплом, улиткой, диафрагмой с осевым отверстием, дросселем, напорным патрубком, патрубками холодного и нагретого воздуха. При подаче через патрубок подаваемого воздуха, сопло и улитку сжатого воздуха в трубе образуется интенсивный круговой поток, приосевые слои которого охлаждаются и отводятся через отверстие диафрагмы в патрубок холодного воздуха. Периферийные слои при этом нагреваются и отводятся через дроссель в патрубок нагретого воздуха. По мере прикрытия дросселя общий уровень давления повышается и возрастает расход холодного потока при соответствующем уменьшении горячего потока. При этом температура охлаждения потока воздуха может составлять 60-80 °С [7]. Воздух в напорный патрубок вихревой трубы поступает из магистрального трубопровода сжатого воздуха.

Холодный воздух из вихревой трубы посредством коллектора с механически присоединенными щелевыми насадками, распределительных гребенок и узла увлажнения смешивается с основным потоком атмосферного воздуха, поступающего в теплообменные секции за счет самотяги. При этом температура смеси за счет низкой температуры холодного воздуха понижается; увеличивается температурный перепад между охлаждающим воздухом и технологическим продуктом, подаваемым в аппарат воздушного охлаждения. Благодаря этому при более высокой температуре атмосферного воздуха обеспечивается необходимый съем тепла с охлаждаемого технологического продукта; расширяется температурный диапазон атмосферного воздуха, обеспечивающий работу аппарата воздушного охлаждения в условиях естественной конвекции воздуха при неизменных габаритах.

Таким образом, в заявленном аппарате воздушного охлаждения полностью решена сформулированная задача.

Полезная модель поясняется фигурой. На фигуре изображен общий вид аппарата воздушного охлаждения, вид сбоку.

АВО состоит из блока горизонтальных теплообменных секций 1, количество которых в нем равно трем; боковых стенок 2; жалюзийного устройства 3; распределительной гребенки 4; диффузора 5; опорной металлоконструкции 6; узла увлажнения 7 с форсунками; коллектора 8 с щелевыми насадками; обратного клапана 9; осевого нагнетательного вентилятора 10 с электроприводом; напорного патрубка 11 и патрубка холодного воздуха 12 вихревой трубы.

# ВУ 10250 U 2014.08.30

АВО работает следующим образом. Внутри биметаллических ребристых труб многорядных пучков теплообменных секций 1 направляется охлаждаемый продукт (горячий теплоноситель), который конденсируется или охлаждается, передавая тепло через стенки труб и ребер, выполненных из теплопроводного металла. В результате продукт охлаждается и покидает теплообменные секции. Подведенное от охлаждаемого продукта к поверхности ребристых труб тепло отводится вынужденной (принудительной) конвекцией охлаждающего воздуха, подаваемого вращающимся колесом 10 вентилятора с приводом от электродвигателя к теплообменным секциям с помощью диффузора 5. Принудительный поток воздуха омывает снаружи ребристые трубы, нагревается и выбрасывается из теплообменных секций в атмосферу. Каждая теплообменная секция АВО состоит из 4-8 поперечных рядов ребристых труб. Боковые стенки в теплообменной секции служат для обеспечения организованного движения воздуха через межтрубное пространство и предотвращают обходные течения. Чтобы не создавать дополнительного аэродинамического сопротивления принудительному потоку воздуха, жалюзийное устройство 3 открыто. В период вынужденного движения охлаждающего воздуха из патрубка 12 вихревой трубы холодный воздух не подается в узел увлажнения 7 и коллектор 8.

В описанном режиме эксплуатации тепловой поток (теплопроизводительность) АВО соответствует некоторому значению  $Q$ , Вт, для расчетной положительной температуры  $t_p$  воздуха. С понижением температуры воздуха  $t_b < t_p$  тепловой поток АВО увеличивается, что не требуется технологическим регламентом или не допустимо по причине переохлаждения продукта. Такой режим эксплуатации в конечном итоге вызывает увеличение потребляемой электроэнергии на привод вентилятора. Для поддержания  $Q = \text{const}$  отключается электропривод вентилятора, жалюзийное устройство открывается полностью и АВО переводится в энергосберегающий режим эксплуатации, при котором тепловой поток  $Q$  полностью отводится естественной конвекцией воздуха через аппарат. Движение воздуха обусловлено разностью его плотности на выходе из теплообменных секций и плотностью окружающего воздуха (на входе в теплообменные секции).

Тепловой поток аппарата в режиме естественной конвекции воздуха, Вт:

$$Q = \alpha F(t_{ct} - t_0), \quad (1)$$

где  $\alpha \approx 0,8-1,8$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) - общий коэффициент теплоотдачи конвекцией и излучением;  $F$  - площадь поверхности оребрения аппарата, м<sup>2</sup>;  $t_{ct}$  - температура поверхности ребристых труб у основания ребра, °С;  $t_0$  - температура охлаждающего воздуха, подаваемого в теплообменные секции, °С.

Обеспечить необходимую тепловую мощность аппарата в режиме естественной конвекции воздуха можно за счет увеличения коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  или снижения температуры охлаждающего воздуха  $t_0$ . Значение  $\alpha$  зависит от конструкции АВО, его трубного пучка и параметров ребристой трубы. Расчеты показывают, что для стандартизированных АВО значение  $t_0 = -30-40$  °С, при котором поддерживается  $Q = \text{const}$  в этом режиме эксплуатации. Продолжительность периодов таких низких температур воздуха небольшая даже для районов Крайнего Севера, Приполярья, Европейского Севера, где эксплуатируются тысячи АВО на компрессорных станциях газопроводов.

В предлагаемой полезной модели увеличивают коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  путем обеспечения режима смешанной конвекции и снижают температуру  $t_0$  охлаждающего воздуха за счет подмешивания холодного воздуха из вихревой трубы в атмосферный воздух, поступающий в аппарат воздушного охлаждения. Аппарат эксплуатируется следующим образом. В напорный патрубок 11 вихревой трубы подается воздух, например, из магистрали сжатого воздуха, который охлаждается в вихревой трубе, и из патрубка холодного воздуха 12 поступает к штуцеру коллектора 8 и далее из него к щелевым насадкам, и из них в виде плоских струй направляется к центру диффузора в направлении вверх к теплообменным секциям. Одновременно перекрывается подача воды к узлу увлажнения 7, под действием давления сжатого воздуха открывается обратный клапан 9, воздух направляет-

## BY 10250 U 2014.08.30

ся к штуцеру и далее в трубу, с которой соединены механические форсунки, а из них - в пространство диффузора. Оптимальный расход воздуха, вводимого в аппарат через коллектор и узел увлажнения, должен обеспечить его скорость во фронтальном (свободном) сечении перед теплообменными секциями 0,15-0,20 м/с, которой будет соответствовать скорость в сжатом сечении пучка теплообменной секции  $w = 0,30-0,55$  м/с. Значение числа Рейнольдса  $Re = wd_0/v \approx 600-1100$ , где  $v$  - коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $m^2/c$ . Режим естественно-конвективного теплообмена переведен в смешанный режим отвода теплоты, что сопровождается увеличением интенсивности теплоотдачи  $\alpha$  в 5,5-11,0 раза [8] для этих значений  $Re$ . При отсутствии в аппарате узла увлажнения весь расход воздуха вводится через коллектор. Вводимый холодный воздух смешивается с основным потоком воздуха, вызванным естественной конвекцией, усиливает тягу и интенсифицирует теплообмен смешанной конвекцией. Одновременно подается из патрубка 12 вихревой трубы холодный воздух к распределительным гребенкам 4 и из них направляется в межтрубное пространство теплообменных секций между первым и вторым поперечными рядами ребристых труб. Струи воздуха турбулизируют течение основного потока воздуха, поступающего из диффузора, увеличивая теплоотдачу на 15-20 %.

Одновременно происходит снижение средней температуры воздуха, поступающего в теплообменные секции вследствие самотяги. При подаче в вихревую трубу воздуха с давлением 0,7 МПа и расходом 1,4 м<sup>3</sup>/мин можно получить около 1,0 м<sup>3</sup>/мин воздуха с температурой ниже температуры окружающей среды на 40 °С. Это приведет к снижению средней температуры воздуха, подаваемого в теплообменные секции, на 2-3 °С.

Итоговым действием применения в АВО режима смешанной конвекции воздуха для обеспечения  $Q = \text{const}$  является существенное повышение значения предельной отрицательной температуры воздуха  $t_0$ . По нашим расчетам она составляет величину  $t_0 = -(15-8)$  °С. Поддержание постоянного теплового потока при повышении  $t_0$  достигается некоторыми затратами электроэнергии на подготовку сжатого воздуха, но они не превышают 2 кВт потребляемой мощности.

Таким образом, годовое снижение энергопотребления аппаратом составит не менее 1,5-1,7 раза, существенно возрастает эксплуатационная экономичность предлагаемого АВО.

Полезная модель может быть использована заводами по изготовлению АВО, а также проектно-конструкторскими институтами нефтехимического и газового машиностроения; нефтеперерабатывающими, химическими предприятиями и компрессорными станциями магистральных газопроводов.