

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 16489

(13) С1

(46) 2012.10.30

(51) МПК

F 28G 1/12 (2006.01)

B 08B 9/00 (2006.01)

(54)

## ТЕПЛООБМЕННИК

(21) Номер заявки: а 20100854

(22) 2010.06.01

(43) 2012.02.28

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Кашеев Владимир Петрович (ВУ); Воронов Евгений Олегович (ВУ); Акульшин Валерий Владимирович (RU); Кашеева Ольга Владимировна (ВУ); Сорокин Владимир Николаевич (ВУ); Унукович Антон Юрьевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) US 2801824, 1957.

US 1795348, 1931.

SU 1409851 A1, 1988.

SU 628965, 1978.

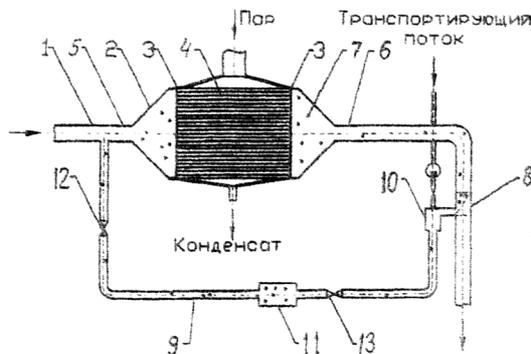
SU 1803705 A1, 1993.

RU 94017421 A1, 1996.

(57)

1. Теплообменник, содержащий параллельно расположенные трубы, соединенные с входным патрубком для подачи теплоносителя и выпускным патрубком для его удаления, устройство для очистки труб, имеющее очищающие элементы, выполненные из упругого материала с удельным весом, близким к удельному весу теплоносителя, блок для улавливания очищающих элементов, расположенный в выпускном патрубке, и тракт для их непрерывной циркуляции с теплоносителем, отличающийся тем, что входные части труб имеют форму воронки с образующей криволинейной или прямолинейной формы, при этом длина воронки равна  $(0,25-1,5)d$ , максимальный внутренний диаметр равен  $(1,15-1,3)d$ , а очищающие элементы имеют форму тел вращения с диаметром  $(1,02-1,14)d$ , где  $d$  - внутренний диаметр труб.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что образующая воронки выполнена выпуклой или вогнутой.



Фиг. 1

Изобретение относится к энергетике, в частности к технике очистки теплообменных аппаратов от отложений на внутренних поверхностях труб.

Известно устройство [1] для промывки труб, содержащее направляющий механизм в виде решетки, закрепленной на трубной доске теплообменника и имеющей пазы спиралевидной формы с отверстиями, совпадающими с отверстиями в трубной доске.

Недостатком данного устройства для очистки является невысокая эффективность (удаляются только рыхлые отложения), устройство сложно в исполнении.

Известно устройство [2] - автоматически и долго действующий очиститель труб, состоящий из пустотелого чехла - металлической перфорированной сферической оболочки, облицовки или корпуса, которым при изготовлении придана шероховатость поверхности, и плавучего ядра из дерева или пробки, находящегося в вышеуказанном чехле.

Очиститель может иметь различные размеры и форму, в том числе и сферическую. Наружная оболочка может быть сделана из стали или из другого металла. Плавучий очиститель в виде шара, или в другой форме, помещают в очищаемый кусок водопроводной трубы и заставляют пройти через нее вместе с потоком воды. При этом за счет сильной струи воды создают удары шаров по внутренней поверхности трубы, благодаря чему шары производят автоматическую очистку поверхности от отложений. Для труб диаметрами 8 или 9 дюймов используются шары диаметром примерно 3 дюйма, причем в очищаемый кусок трубы помещают 12-20 шаров, соответственно длине куска, который должен быть очищен.

Недостатками этого устройства являются неравномерность удаляемых отложений, высокая стоимость изготовления очищающих элементов, трудоемкость организации процесса очистки.

Известно чистящее конденсатор устройство [3] - комплекс с трубчатым теплообменником, состоящим из множества теплопередающих труб, имеющее систему, обеспечивающую циркуляцию жидкой среды через трубы, средства для того, чтобы ввести твердые предметы в жидкую среду, циркулирующую через трубы для очистки последних, и агрегат (сито, экран) для выделения твердых предметов и пропуска всей жидкой среды, выходящей из системы через упомянутый агрегат (сито, экран).

Твердые предметы, например шары или подобные им предметы, проносимые жидкостью через трубы, чистят от отложений внутреннюю поверхность этих труб. Затем агрегат отделяет их от теплоносителя, отмывает от грязи и возвращает на вход устройства.

Недостатком этого устройства является неравномерность очистки различных частей внутренней поверхности трубы и низкое качество удаления отложений на внутренних поверхностях труб теплообменника.

Известны технология для самоочищения поверхностей конденсаторов, в которой шарообразные тела трения попадают в трубки конденсаторов вместе с охлаждающей жидкостью и проталкиваются ей, а после прохождения последней ступени конденсатора отлавливаются улавливающей установкой, воронкообразным ситом или подобным агрегатом и направляются в трубопровод, соединяющий сливную и приточную стороны конденсатора при помощи специального насоса вместе с частью нагретой охлаждающей жидкости и устройство [4] для исполнения этой технологии, в котором трубопровод, соединяющий сливную и подающую стороны конденсатора, заканчивается всасывающим патрубком насоса перекачки охлаждающей жидкости, а шарообразные тела трения попадают непосредственно во впускной патрубок насоса перекачки охлаждающей жидкости конденсатора, при этом шарообразные тела трения с разнообразными свойствами используются в цикле очистки одновременно. В качестве материала очищающих тел используется губчатая резина. Доставленные к устройству сбора использованные загрязненные шарики промываются проходящей мимо них охлаждающей водой и чистыми возвращаются снова в цикл очистки.

## ВУ 16489 С1 2012.10.30

Недостатком устройства является то, что удаляются только свежие, мягкие отложения на внутренней поверхности трубок, т.к. легко в трубки входят только сферы, диаметр которых близок к диаметру трубки, а вход сфер большего диаметра затруднен. Но именно они могут удалить затвердевшие отложения. Поэтому перед пуском в работу конденсатора необходима предварительная тщательная очистка труб до зеркального блеска. При предварительной полировке и диаметрах шариков, близких к диаметру трубок, система может работать при малом количестве шариков (2-10 % от количества очищаемых трубок).

Известен теплообменник [5], содержащий параллельно расположенные трубы, соединенные с входным патрубком для подачи теплоносителя и выпускным патрубком для его удаления, устройство для очистки труб, имеющее очищающие элементы, выполненные из упругого материала с удельным весом, близким к удельному весу теплоносителя, блок для улавливания очищающих элементов, расположенный в выпускном патрубке, и тракт для их непрерывной циркуляции с теплоносителем. При этом очищающие элементы имеют диаметр в несжатом состоянии не меньший, чем внутренний диаметр названных труб, причем движение очищающих элементов через вышеуказанные трубы обусловлено перепадом давления, существующим между входным и выпускным патрубками, а блок для улавливания очищающих элементов, расположенный в выпускном патрубке, предоставляет в то же время свободный проход теплоносителя через него.

Недостатком прототипа является низкое качество очистки, так как для удаления отложений требуется определенное усилие на него, а для его создания требуется строгое соотношение размеров очищающих элементов и трубы. Но очищающие элементы нужных для очистки размеров застревают на входе в очищаемую трубу, препятствуя проходу через нее теплоносителя.

Задача изобретения - повышение качества очистки внутренней поверхности труб трубчатых теплообменников.

Решение указанной задачи достигается тем, что в теплообменнике, содержащем параллельно расположенные трубы, соединенные с входным патрубком для подачи теплоносителя и выпускным патрубком для его удаления, устройство для очистки труб, имеющее очищающие элементы, выполненные из упругого материала с удельным весом, близким к удельному весу теплоносителя, блок для улавливания очищающих элементов, расположенный в выпускном патрубке, и тракт для их непрерывной циркуляции с теплоносителем, входные части труб имеют форму воронки с образующей криволинейной или прямолинейной формы, при этом длина воронки равна  $(0,25-1,5)d$ , максимальный внутренний диаметр равен  $(1,15-1,3)d$ , а очищающие элементы имеют форму тел вращения с диаметром  $(1,02-1,14)d$ , где  $d$  - внутренний диаметр труб. При этом образующая воронки выполнена выпуклой или вогнутой.

Кроме того, в каждой очищаемой трубе находятся 2-5 очищающих элементов.

Эксперименты показали, что удалить отложения можно, приложив к ним определенное усилие, зависящее от состава отложения и времени жизни этого отложения.

Это можно сделать, используя как шомпол при чистке оружия шарик - сжатый очищающий элемент. На сечение шарика, перпендикулярное оси трубки, действует давление теплоносителя, создающее силу, толкающую его к выходу из трубки, а это усилие воздействует на слой отложений. Так как шарик тормозится слоем отложений, то усилие торможения передается этому слою. Поэтому давление, воздействующее на отложения, будет на порядок больше перепада давлений на входе и выходе из трубки (оно равно отношению площадей сечения шарика и отложения, то есть  $\pi d^2 / 4\pi d\delta$ , где  $\delta$  - толщина слоя отложений, или после сокращения -  $d/4\delta$ ). Например, если  $d = 22$  мм, а  $\delta = 0,5$  мм, то это отношение будет равно 11.

Оказалось, что для предотвращения образования отложений (в зависимости от качества воды) необходимо, чтобы диаметр эластичного шарика был на 2-14 % больше внут-

ренного диаметра трубки. При меньших размерах отложения не удаляются, а при больших - возрастают требуемые усилия для проталкивания шариков, что увеличивает затраты электроэнергии на работу насоса.

На практике оказалось, что из-за того, что очищающие элементы имеют размеры, большие размеров входного отверстия в трубу, возникли проблемы ввода их туда. Для облегчения ввода шариков потребовалось сделать диаметр входного устройства большим, чем диаметр шарика, а входным частям труб придать специальную форму. Вход облегчен, если входные для очищающих элементов части труб имеют форму воронки с образующей криволинейной формы, при этом длина воронки должна быть равной  $(0,25-1,5)d$ , ее максимальный внутренний диаметр должен быть равным  $(1,15-1,3)d$ . При этом образующая воронки может быть выполнена или выпуклой, или вогнутой, или прямолинейной, или сложной конфигурации, а очищающие элементы имеют форму тел вращения или неравномерную форму с гранями.

Для легкого ввода шарика входной диаметр воронки в любом случае должен быть немного большим его диаметра. Отсюда минимальный диаметр воронки -  $1,15d$ . Максимальный диаметр, равный  $1,3d$ , ограничивается конструктивными особенностями конденсатора - плотной упаковкой его теплообменных труб. При разряженной компоновке теплообменника входной диаметр воронки не должен быть равным или большим диаметров двух шариков (во избежание их заклинивания на входе в трубу). Вышеуказанная длина воронки обеспечивает плавный вход шариков в очищаемую трубу. При меньших длинах воронки происходит резкое сжатие шарика, наблюдается его торможение и замедление его движения на входе, что как бы на время запирает трубу и создает пульсации, микроколебания, что вредно для конструкции. При больших длинах воронки развальцовка труб в трубной доске удорожается. Профиль воронки определяется конкретными условиями: возможностями развальцовки труб в трубной доске, требованиями к их удалению при ремонтах, формой, размерами и материалом очищающих элементов, размерами и конструктивными особенностями конденсатора и т.д.

Также оказалось, что для устойчивой работы теплообменника в каждой очищаемой трубе должно находиться 2-5 очищающих элементов. При их меньшем количестве возможно возникновение пульсаций, а при большем их количестве возрастает сопротивление прохождению теплоносителя через теплообменник, что увеличивает затраты энергии на его прокачку.

Очищающие элементы, даже когда их пытаются сделать в виде шара, не имеют идеальной шаровидной формы, а представляют собой смесь разнообразных тел вращения, в той или иной степени приближающихся к шару. Уже после первого прохождения через очищаемые трубки их форма искажается и становится еще менее похожей на идеальный шар. Причем так как при изготовлении очищающих элементов их плотность и состав по координатам могут быть разными, то и центры масс (тяжести) этих очищающих элементов могут находиться или не находиться в их геометрических центрах.

Практика показывает, что когда размеры очищающих элементов, представляющих собой тела вращения, укладываются в вышеприведенный интервал, равный  $(1,02-1,14)d$ , теплообменник работает нормально.

Предлагаемый теплообменник вместе с дополнительными устройствами, обеспечивающими его работу, т.е. образующими технологическую систему, изображен чертежах, где на фиг. 1 изображен сам теплообменник с технологической системой, а на фиг. 2 - входная часть трубы.

Система включает трубопровод 1 подвода теплоносителя, трубчатый теплообменник 2 с трубными досками 3, между которыми находятся параллельно расположенные трубы 4, соединенные с входным патрубком 5 для подачи теплоносителя и выпускным патрубком 6 для его удаления, имеет очищающие элементы 7, выполненные из упругого материала с удельным весом, близким к удельному весу теплоносителя, блок 8 для улавливания очи-

## ВУ 16489 С1 2012.10.30

шающих элементов 7, расположенный в выпускном патрубке 6, и тракт 9 для их непрерывной циркуляции с теплоносителем, включающий струйный насос 10 для транспортировки очищающих элементов 7, камеру 11 их загрузки, запорные задвижки 12 и 13. Входные для теплоносителя с очищающими элементами 7 части 14 труб 4 имеют форму воронки с образующей 15 криволинейной формы. Трубы 4 имеют внутренний диаметр  $d$ . Длина входной части 14 трубы 4 - воронки -  $L$ , а максимальный внутренний диаметр -  $D$ .

Устройство работает следующим образом. В камеру 11 загрузки загружают упругие очищающие элементы 7. Загрузку камеры 11 ведут при закрытых задвижках 12 и 13. Подают воду (активный поток) на сопло струйного насоса 10 и открывают задвижки 12 и 13. Очищающие элементы 7 увлекаются потоком воды и вводятся в основной поток теплоносителя перед входом в теплообменник 2. Очищающие элементы 7, проходя внутри труб 4 теплообменника 2, очищают их внутреннюю поверхность от загрязнений. На выходе из теплообменника 2 в блоке 8 очищающие элементы 7 отделяют от теплоносителя, транспортируют с помощью струйного насоса 10 и вновь вводят их в поток теплоносителя перед входом в теплообменник 2. Расположенные в теплообменнике 2 трубы 4 снаружи омываются паром. Пар, проходя через теплообменник 2, конденсируется, конденсат удаляется по трубопроводу.

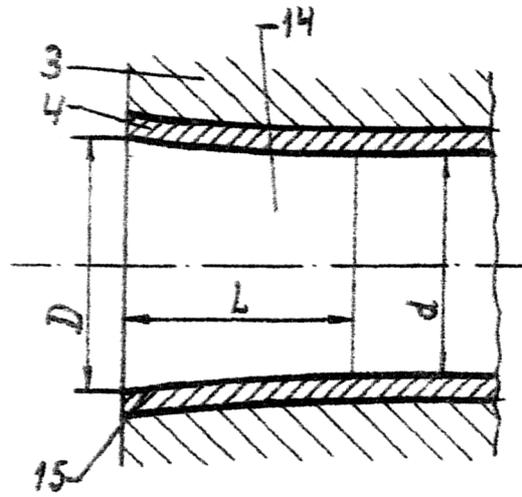
Возможности практического использования устройства рассмотрим на конкретном примере - конденсаторе К2-14000-1 турбины Т-250/300-240 энергоблока № 5 на Минской ТЭЦ-4, где оно было установлено.

Использование устройства привело к повышению качества очистки внутренней поверхности трубок теплообменника. Это понизило давление в конденсаторе, что привело к увеличению теплоперепада, сработанного в турбине. Так, например, если при температуре охлаждающей воды в  $20^{\circ}\text{C}$  без очистки отложений давление в конденсаторе составляло 0,069 атм, а при очистке стало 0,064 атм (для первого и второго конденсаторов по ходу охлаждающей воды), то увеличение сработанного теплоперепада (т.е. энергии, отданной турбине), составляет 4,7 кДж/кг. В году (в межотопительный период) такие турбины работают на конденсатор примерно 0,5 года. Расход острого пара при этом порядка 272 кг/с. То есть изменение мощности составляет 1,28 МВт. Отсюда за 0,5 года работы экономится (учитывая, что в среднем в конденсационном режиме на выработку 1кВт-ч электроэнергии тратится 0,324 кг у.т.)  $1,28 * 365 / 2 * 24 * 0,324 = 1,816,5$  т у.т. При цене 1 т у.т. в 200 долл. это составит 363,300 долл. Учитывая увеличение времени работы энергоблока из-за уменьшения его простоев благодаря самоочистке конденсатора и стоимость самой очистки (это примерно составляет 70 тыс. долл. в год), экономический эффект от внедрения устройства для очистки конденсатора одной турбины Т-250/300-240 на МТЭЦ-4 составит около 430 тыс. долл. в год.

Таким образом, задача изобретения - повышение качества очистки внутренней поверхности труб трубчатых теплообменников выполнена.

Источники информации:

1. А.с. СССР 628965, МПК В 08В 9/00, 1977.
2. Патент США 1.475.431, 1923.
3. Патент США 1795.348, 1931.
4. Патент ФРГ 862.456, 1953.
5. Патент США 2.801.824, 1957.



Фиг. 2