



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) **KZ** (13) **B** (11) **31833**

(51) **F22B 37/40** (2006.01)

**F22B 15/00** (2006.01)

**F22B 17/00** (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

### К ПАТЕНТУ

(21) 2015/0969.1

(22) 26.08.2015

(45) 30.01.2017, бюл. №2

(72) Орумбаев Рахимжан Кабиевич; Орумбаева Шолпан Рахимжановна; Кибарин Андрей Анатольевич; Ходанова Татьяна Викторовна

(73) Некоммерческое акционерное общество "Алматинский университет энергетики и связи"

(56) KZ 25587 A4 15.03.2012

SU 66227 A1 30.04.1946

SU 88904 A1

RU 2499188 C2 20.11.2013

WO 02/39016 A1 16.05.2002

GB 191406327 A 12.03.1915

(54) **КОНВЕКТИВНЫЙ ПАКЕТ ТРУБ**

(57) Изобретение относится к теплоэнергетике, а именно к водогрейным котлам (работающие на природном газе, жидком и твердом топливе), которые могут быть использованы в системах централизованного теплоснабжения и предназначены для установки в отопительных и промышленно-отопительных котельных, в качестве основных источников горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий и сооружений, а также на ТЭЦ, в качестве источников тепла в основном и пиковом режимах.

Конвективный пакет труб расположенный по ширине топки котла, включает два пакета, каждый из которых имеет две части, состоящие из прямых

горизонтально расположенных конвективных труб, соединенных с коллекторами, каждый из конвективных пакетов содержит перепускные коллектора, в первой части первого конвективного пакета N продольных рядов труб, а во второй части первого конвективного пакета N+1 продольных рядов труб расположенных с поперечным шагом  $s_1$  и с продольным шагом  $s_2$ , причем в первом конвективном пакете трубы равной длины, в первой и второй части второго конвективного пакета с N+2 и N+3 продольными рядами соответственно, расположенных с поперечным шагом  $0,9*s_1$  и с продольным шагом  $0,9*s_2$ , во втором конвективном пакете трубы выполнены с уменьшающейся длиной, противоположные конвективные стойки коллекторов наклонены друг другу на угол  $10^0-14^0$  от вертикали, причем трубы двух конвективных пакетов расположены в шахматном порядке, при этом уменьшение поперечного сечения по газовому тракту в пределах высоты одного конвективного пакета должно быть не более 0,24, от первоначального сечения на входе в конвективный пакет.

Таким образом, предложенная конструкция конвективного пакета труб позволяет увеличить тепловую эффективность и надежность конвективной части и водогрейного котла в целом, удобна в эксплуатации, ремонте и обслуживании конвективной части котла.

(19) KZ (13) B (11) 31833

Изобретение относится к теплоэнергетике, а именно к водогрейным котлам (работающие на природном газе, жидком и твердом топливе), которые могут быть использованы в системах централизованного теплоснабжения и предназначены для установки в отопительных и промышленно-отопительных котельных, в качестве основных источников горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий и сооружений, а также на ТЭЦ, в качестве источников тепла в основном и пиковом режимах.

Известен водогрейный газо-мазутный котел ПТВМ-120Э с башенной компоновкой тепловой производительностью 139,6МВт (120Гкал/час), содержащий параллельно включенные вертикально расположенные трубы, сверху и снизу соединенные с коллекторами и объединенные в топочный экран, включающий фронтной, тыльной и два боковых экрана, топка посередине разделена двухсветным экраном, расположенным вдоль оси шестнадцати горелок и делит их по восемь горелок в каждой из половин топки, причем в верхней части топки трубы двухсветного экрана разведены в стороны к двум коллекторам боковых экранов по три ряда труб образуя фестон, и фактически экранируют собой от факела верхний конвективный пакет труб расположенный непосредственно над фестонным экраном котла. Первые ряды фестонных труб двухсветного экрана в верхней части топки принимают максимальную тепловую нагрузку от светящего восходящего высокотемпературного факела на себя, так как они расположены над рядами горелок на расстоянии 4200мм. Конвективные трубы выполнены с U - образными петлями, каждый следующий ряд труб длиннее на 400-500мм от предыдущих и так от пятнадцати до двадцати трех рядов, два радиуса изгиба трубы по 90° отодвинуты на  $2 \times s_1$  в каждую сторону от продольной оси каждой ветви U - образной первой трубы, отогнутой на 180°. Для серийных газо-мазутных водогрейных котлов тепловой мощностью от 4,65 МВт до 116 МВт, продольный шаг между соседними трубами в конвективном шахматном пучке составляет  $s_1 = 40$  мм. (Каталог ОАО «Дорогобужкотломаш», том 2, издание 4, 2007г. с.80)

Недостатком известного аналога, является конструктивное исполнение конвективных пакетов, где поверхности труб находятся в неодинаковых аэродинамических и гидравлических условиях, что не позволяет повысить тепловую эффективность и не обеспечивает надежную работу водогрейного котла.

Известен конвективный пакет труб, состоящий из горизонтально расположенных труб одинаковой длины, при этом первая часть (первого по ходу газов) конвективного пакета содержит N продольных рядов труб, вторая часть первого конвективного пакета содержит N+1 продольных рядов труб; первая часть второго конвективного пакета содержит N+2 продольных рядов труб, а вторая часть второго конвективного пакета содержит N+3 продольных рядов труб и т.д.

Количество N труб в первой части первого конвективного пакета подбирается с таким расчетом, чтобы скорость воды во всех N трубах первого ряда обеспечивала надежное охлаждение стенок с учетом суммирования лучистого и конвективного теплового потока из высокотемпературной зоны ядра факела. (Инновационный Патент РК №25587, МПК F22B 37/40).

К недостаткам конструктивного исполнения такого конвективного пакета труб, следует отнести невозможность поддержания на одном уровне скорости газового потока, что снижает коэффициент теплоотдачи, который является общим показателем тепловой эффективности конвективной поверхности, следовательно, снижается эффективность и надежность работы водогрейного котла.

Задача изобретения - создание такой конструкции конвективного пакета труб, которая обеспечит эффективную и надежную работу водогрейного котла, удобную в эксплуатации и при ремонте котлов в условиях эксплуатации.

Технический результат - увеличение тепловой эффективности конвективного пакета труб, за счет сохранения максимальной теплоотдачи, путем поддержания на высоком уровне скорости газового потока на всем протяжении конвективных труб, что достигается уменьшением поперечного сечения конвективной части котла.

Для достижения технического результата конвективный пакет труб расположенный по ширине топки котла, включает два пакета, каждый из которых имеет две части, состоящие из прямых горизонтально расположенных конвективных труб, соединенных с коллекторами, каждый из конвективных пакетов содержит перепускные коллектора, в первой части первого конвективного пакета N продольных рядов труб, а во второй части первого конвективного пакета N+1 продольных рядов труб расположенных с поперечным шагом  $s_1$  и с продольным шагом  $s_2$ , причем в первом конвективном пакете трубы равной длины, в первой и второй части второго конвективного пакета с N+2 и N+3 продольных рядов труб соответственно, расположенных с поперечным шагом  $0,9 \cdot s_1$  и с продольным шагом  $0,9 \cdot s_2$ , согласно изобретения, во втором конвективном пакете трубы выполнены с уменьшающейся длиной, противоположные конвективные стойки коллекторов наклонены друг другу на угол  $10^0-14^0$  от вертикали, причем трубы двух конвективных пакетов расположены в шахматном порядке, при этом уменьшение поперечного сечения по газовому тракту в пределах высоты одного конвективного пакета должно быть не более 0,24, от первоначального сечения на входе в конвективный пакет.

Изобретение поясняется чертежами.

На фиг.1 представлено продольное сечение первого конвективного пакета с первой и второй частями равных по длине труб и вертикальными и перепускными коллекторами.

На фиг.2 представлено поперечное сечение по А-А по фиг.1 второй части первого конвективного пакета с шахматным размещением прямых труб.

На фиг.3 представлено продольное сечение второго конвективного пакета с наклонными на  $10-14^\circ$  конвективными и перепускными коллекторами.

На фиг.4 представлено поперечное сечение по Б-Б по фиг.3 второй части второго конвективного пакета с конвективными трубами с уменьшающейся длиной.

Первая часть 1, вторая часть 2 первого конвективного пакета 3, первая часть 4, вторая часть 5 второго конвективного пакета 6, содержат конвективные трубы равной длины 7 и конвективные трубы 8 с уменьшающейся длиной и размещенных относительно друг друга в шахматном порядке, приваренные с одной стороны к вертикальным коллекторам 9 с перегородками 10 первого конвективного пакета и с другой стороны к перепускным коллекторам 11 с заглушками 12, распорками 13, а во втором конвективном пакете 6 конвективные трубы 8 с уменьшающейся длиной, приварены с одной стороны к наклонным на  $10-14^\circ$  конвективным коллекторам 14 с перегородками 10 и с другой стороны к наклонным перепускным коллекторам 15 с заглушками 12 и распорками 13.

Первая 1 и вторая часть 2 первого конвективного пакета 3 размещены горизонтально, первая 4 и вторая часть 5 второго конвективного пакета 6 размещены горизонтально, конвективные трубы равной длины 7 и конвективные трубы 8 с уменьшающейся длиной размещены горизонтально, коллектора 9 размещены вертикально, перегородки 10 размещены горизонтально в коллекторах 9, перепускные коллектора 11 размещены вертикально, заглушки 12 размещены горизонтально с торцевых сторон перепускных коллекторов 11, распорки 13 размещены вертикально, конвективные коллектора 14 размещены с наклоном на  $10-14^\circ$  от вертикали в сторону второго конвективного пакета 6 с трубами 8, перепускные коллектора 15 размещены под углом  $10-14^\circ$  от вертикали в сторону наклонных коллекторов 14.

Размещение в первой 1 части N продольных рядов, во второй 2 части N+1 продольных рядов конвективных труб 7 равной длины между вертикальными коллекторами 9 первого конвективного пакета 3 с поперечным шагом труб  $s_1$  и продольным шагом  $s_2$ , а в первой 4 части N+2 продольных рядов, во второй 5 части N+3 продольных рядов конвективных труб 8 с уменьшающейся длиной между наклонными на  $10-14^\circ$  от вертикали конвективными коллекторами 14 и наклонными на  $10-14^\circ$  перепускными коллекторами 15 второго конвективного пакета 6 обеспечивает высокую скорость обтекания газами труб второго конвективного пакета с равномерным тепловым напряжением стенок и сбалансированную скорость воды в двух разных частях конвективных пакетов с сохранением высокого уровня теплоотдачи.

Новая конструкция конвективных пакетов труб: в первом конвективном пакете 3, первая часть 1 по ходу газов, с количеством N продольных рядов труб защищает от высокотемпературных газов остальные конвективные пакеты за счет увеличения скорости воды с низкой входной температурой. Во второй части 2 первого конвективного пакета 3 количество труб увеличивается до N+1 продольных ряда (к N рядам добавляется один ряд в 54 трубы  $\varnothing 32$  мм или 60 труб  $\varnothing 28$  мм) и поэтому скорость воды уменьшается на 7%. Для первой части 4 второго конвективного пакета 6 с N+2 продольными рядами труб к N рядам добавляется два ряда в 108 труб  $\varnothing 32$  мм или 120 труб  $\varnothing 28$  мм, а конвективная поверхность увеличивается относительно второй части 2 первого конвективного пакета 3 с N+1 рядами труб на 14%, а скорость воды в трубах с N+2 рядами труб снижается и существенно не влияет на коэффициент теплопередачи и т.д. Уменьшение поперечного сечения для прохода газов во втором конвективном пакете 6 за счет наклона конвективных коллекторов 14 и перепускных коллекторов на угол  $10-14^\circ$  друг к другу приводит к увеличению скорости газового потока и поддержанию на высоком уровне коэффициента теплоотдачи  $\alpha_1$  от газов к стенке трубы, который более существенно влияет на коэффициент теплопередачи k.

Предлагаемая конструкция конвективного пакет труб работает следующим образом.

По газовому тракту котла движение выполняется таким образом: воздух подводится к горелкам по воздуховодам от дутьевых вентиляторов отдельно. Природный газ или мазут подаются по трубопроводам к осевым направляющим аппаратам горелок, расположенных на двух уровнях вдоль двух боковых экранов водогрейного котла.

Продукты сгорания топливно-воздушной смеси в призматической вертикальной топке поднимаются вверх и омывают последовательно первую 1 и вторую 2 части первого конвективного пакета 3 с N и N+1 продольными рядами труб равной длины, обтекая с наружи конвективные трубы 7 одинаковой длины. После первого конвективного пакета 3 восходящий поток газов равномерно омывает, конвективные трубы 8 с уменьшающейся длиной первой 4 и второй 5 части второго конвективного пакета 6 с N+2 и N+3 продольными рядами конвективных труб 8, причем во втором конвективном пакете 6 поперечное сечение для прохода продуктов сгорания уменьшается путем наклона на  $10-14^\circ$  конвективных коллекторов 14 в сторону в сторону перепускных коллекторов 15. С противоположной стороны наклонных конвективных коллекторов 14, перепускные коллектора 15, также наклонены на  $10-14^\circ$  навстречу и соединены с конвективными трубами 8, поэтому скорость газового потока увеличивается и становится, как в первом конвективном пакете, обеспечивая тем самым высокий уровень коэффициента теплоотдачи. При этом конвективные трубы 7 равной длины первого конвективного пакета и конвективные трубы 8 с уменьшающейся

длиной второго конвективного пакета 6 размещены с одинаковыми поперечными шагами  $s_1$  и продольными шагами труб  $s_2$ . Тепловыми расчетами показано более сильное влияние на коэффициент теплопередачи  $k$  увеличение коэффициента теплоотдачи  $\alpha_1$  по газовой стороне, чем увеличение коэффициента теплоотдачи  $\alpha_2$  по водяной стороне. Поэтому в изобретении одновременно увеличивается конвективная поверхность нагрева путем увеличения числа рядов труб равной длины 7 и труб 8 с уменьшающейся длиной от  $N$  до  $N+3$  продольных ряда. Поперечное число рядов труб не менее двадцати семи, чем достигается высокий уровень теплоотдачи от газов к трубам общая тепловая эффективность водогрейного котла.

По водяному контуру котел работает следующим образом.

Вода из боковых экранов водогрейного котла поступает в нижние коллектора конвективной части котла и далее равномерно поступает в вертикальные коллектора 9 до перегородок 10 и через первую часть 1 конвективных труб 7 равной длины по  $N$  продольным рядам труб попадает в перепускные коллектора 11 с заглушками 12. В перепускных коллекторах 11 вода разворачивается на  $180^\circ$  и обратно через конвективные трубы 7 равной длины второй части 2 первого конвективного пакета 3, но уже с  $N+1$  продольными рядами труб 7 второй 2 части поступает снова в вертикальные коллектора 9 за перегородки 10. После первого хода вода попадает в наклонные на  $10-14^\circ$  от вертикали коллектора и до перегородки 10 поступает в конвективные трубы 8 с уменьшающейся длиной первой части 4 второго конвективного пакета 6, но уже с  $N+2$  продольными рядами труб 8, где с меньшей скоростью вода поступает в наклонные на  $10-14^\circ$  перепускные коллектора 15 и до заглушек 12 разворачивается на  $180^\circ$ . Далее вода направляется в следующие конвективные трубы 8 с уменьшающейся длиной второй части 5 второго конвективного пакета, но уже с  $N+2$  продольными рядами труб 8. Из которых снова поступает в наклонные коллектора 14 и далее перепускается в другие экраны или выводится из котла в зависимости от гидравлической схемы подключения котла.

Изобретение подтверждается гидравлическими расчетами циркуляции воды по нормативному методу с постепенным увеличением в каждой части двух конвективных пакетов количества конвективных труб 7 равной длины и конвективных труб 8 с уменьшающейся длиной. При этом учитывались повороты воды на  $180^\circ$  в перепускных коллекторах 11 и 14, а также в вертикальных коллекторах 9 и наклонных коллекторах 14 с перегородками 10 и заглушками 12, а также в перепускных коллекторах 11 и 15 котла.

Обоснованием и объяснением новой конструкции является следующая нормативная формула для коэффициента теплопередачи в шахматных пучках труб  $k = \psi \times \alpha_1 / (1 + \alpha_1 / \alpha_2)$ . Где  $k$  - коэффициент теплопередачи от газового потока воде,  $\psi$  - безразмерный коэффициент тепловой

эффективности и зависящий от степени чистоты поверхности труб,  $\alpha_1$  - коэффициент теплоотдачи конвекцией от газового потока (при скорости газов  $w_g = 10$  м/с) к наружной стенке трубы и равный в реальном случае  $91,5$  (вт/м<sup>2</sup>×град),  $\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи конвекцией от внутренней стенки трубы к воде (при скорости воды  $w_b = 0,5$  м/с) и равный в нашем случае  $1797$  (вт/м<sup>2</sup>×град). Расчет коэффициента теплопередачи в шахматных пучках труб показывает, что при  $\psi = 0,55$ ,  $k = 47,9$  вт/м<sup>2</sup>×град. При снижении скорости воды на 10% до  $0,4$  м/с фактический коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки к воде  $\alpha_2 = 1540$  (вт/м<sup>2</sup>×град), тогда при прежней тепловой эффективности  $\psi = 0,55$ , коэффициент теплопередачи уменьшается всего на  $0,8\%$  и составляет  $k = 47,5$  вт/м<sup>2</sup>×град. Увеличение же скорости газов на 10% до  $11$  м/с фактический коэффициент теплоотдачи к наружной стенке трубы по Нормативному методу возрастает до  $\alpha_1 = 96$  (вт/м<sup>2</sup>×град). При всех прочих равных условиях расчет коэффициента теплопередачи, при  $\psi = 0,55$ , показывает  $k = 50,1$  (вт/м<sup>2</sup>×град), что на  $4,4\%$  больше, чем при снижении или увеличении скорости воды в конвективных трубах.

Количественными расчетами показано более слабое влияние ( $0,8\%$ ) изменения скорости воды на 10% в трубах на общий коэффициент теплопередачи  $k$ , являющийся общим показателем эффективности конвективной поверхности. И более существенным влиянием ( $4,4\%$ ) изменения скорости газового потока на 10% на общий коэффициент теплопередачи. Следовательно, для эффективной работы шахматных пучков труб следует увеличивать или поддерживать на высоком уровне скорость газового потока и соответственно коэффициент теплоотдачи  $\alpha_1$ . При этом изменение скорости воды в трубах конвективных пакетов в определенном диапазоне практически не влияет на общий коэффициент теплопередачи  $k$ , из-за высоких значений  $\alpha_2$  относительно  $\alpha_1$ .

Расчеты по теплоотдаче в шахматных пакетах труб при поперечном обтекании газовым потоком подтверждают более существенное влияние в новой конструкции уменьшение поперечного сечения для газов и распределение потока воды по частям конвективных пакетов в трубах равной длины и с уменьшающейся длиной. Расчетные величины совпадают практически с экспериментальными работами известных научных центров России и данными приведенными в Нормативном методе. Увеличение коэффициента теплопередачи от газов к поверхностям нагрева приводит к снижению температуры уходящих газов за котлом и увеличению КПД котла.

Расчетами по тепловому, аэродинамическому и гидравлическому нормативным методам показано, что более существенное влияние на увеличение коэффициента теплопередачи оказывает увеличение коэффициента теплоотдачи от газов к стенке трубы  $\alpha_1$ , чем увеличение  $\alpha_2$  коэффициента теплоотдачи от стенки трубы к воде из-за ее большой величины. Поэтому с традиционными конвективными

пакетами с U - образными трубами сложно реализовать новую конструкцию для водогрейных котлов серии ПТВМ-100.

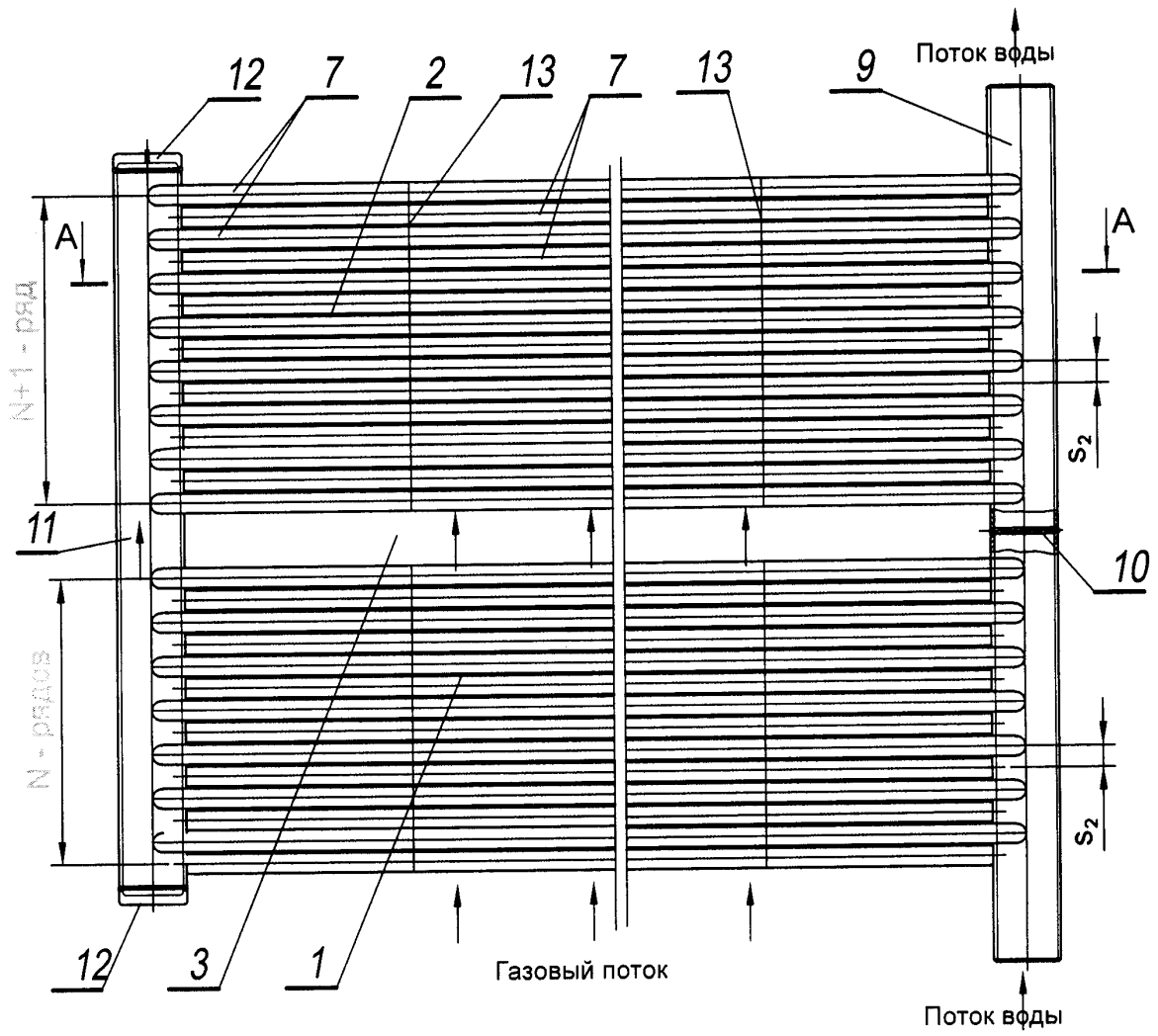
Предлагаемая конструкция конвективного пакета обеспечивает надежную работу водогрейного котла при прямом и обратном движении воды по трубам, в зависимости от вида сжигаемого топлива и схемы подключения топочных экранов и конвективных пакетов труб.

Таким образом, предложенная конструкция конвективного пакета труб позволяет увеличить тепловую эффективность и надежность конвективной части и водогрейного котла в целом, удобна в эксплуатации, ремонте и обслуживании конвективной части котла.

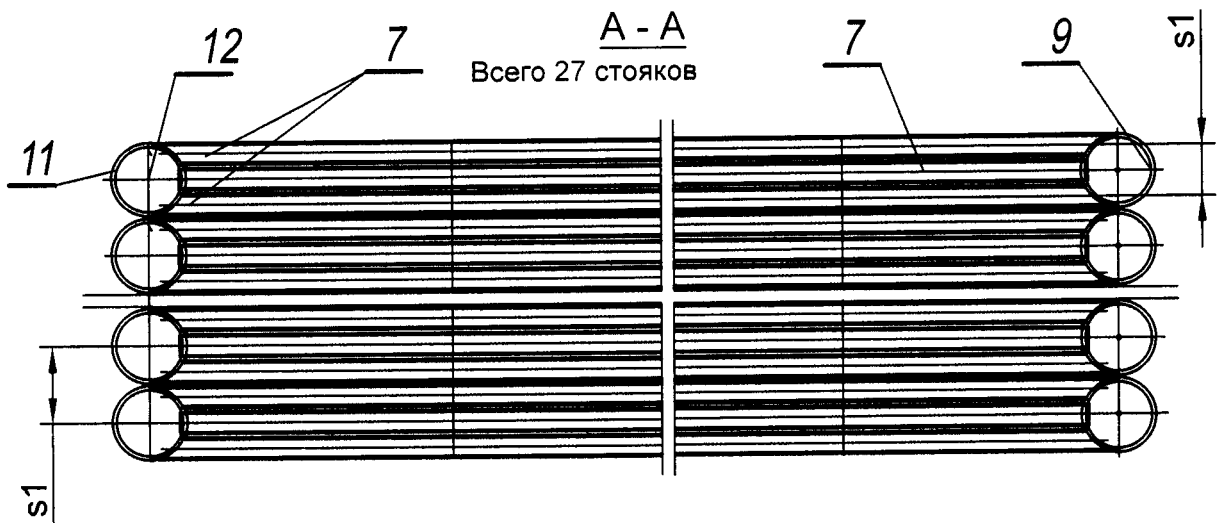
Новый конвективный пакет с улучшенными гидравлическими характеристиками и равномерным аэродинамическим обтеканием всех труб конвективных пакетов может быть реализован в водогрейных котлах ПТВМ-50, ПТВМ-100, а также в опускной (подъемной) конвективной шахте новых водогрейных котлов серии КВ-ГМ при сжигании природного газа, мазута или твердого топлива.

### **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

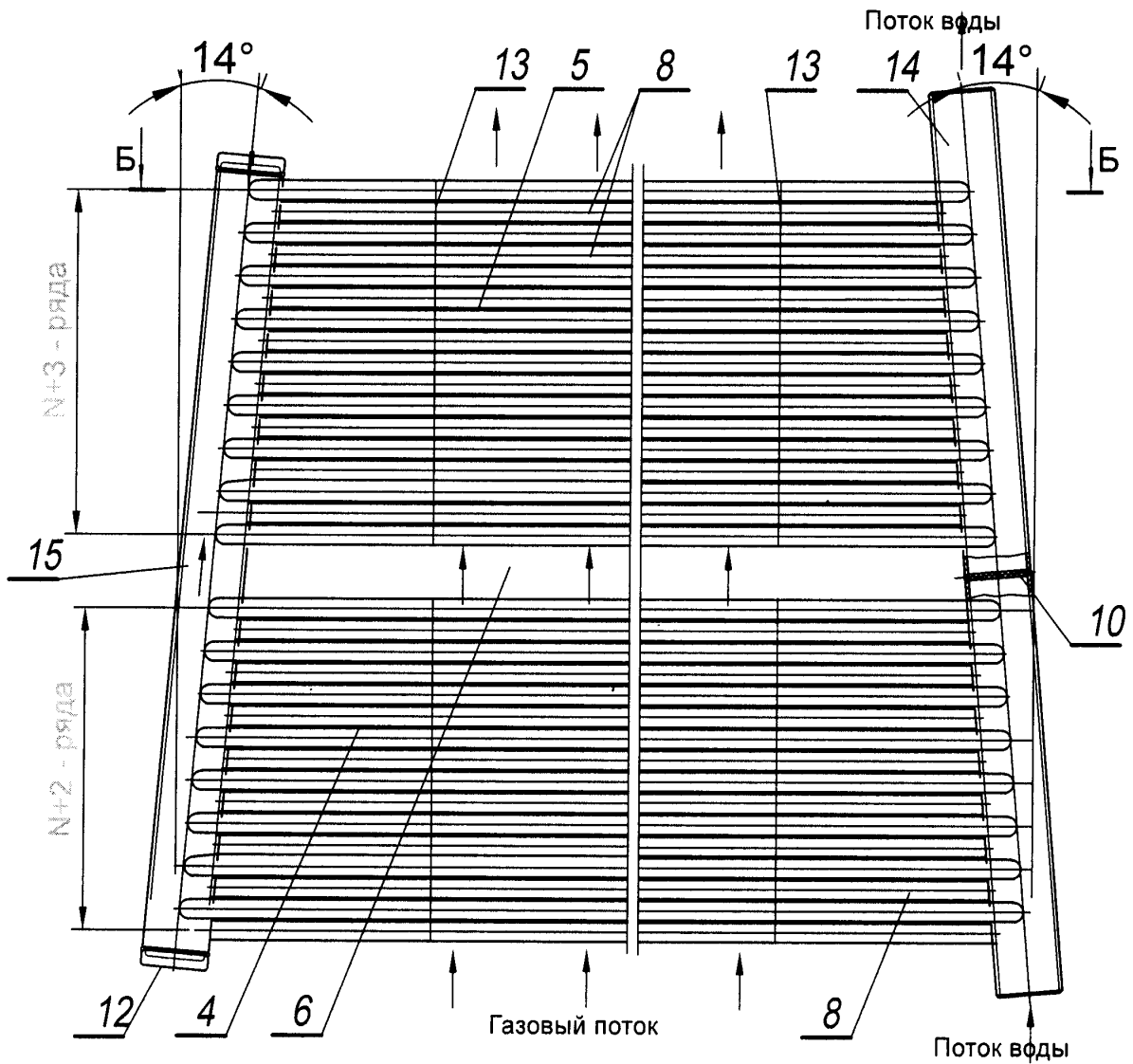
Конвективный пакет труб расположенный по ширине топки котла, включающий два пакета, каждый из которых имеет две части, состоящие из прямых горизонтально расположенных конвективных труб, соединенных с коллекторами, каждый из конвективных пакетов содержит перепускные коллектора, в первой части первого конвективного пакета N продольных рядов труб, а во второй части первого конвективного пакета N+1 продольных рядов труб расположенных с поперечным шагом  $s_1$  и с продольным шагом  $s_2$ , причем в первом конвективном пакете трубы равной длины, в первой и второй части второго конвективного пакета с N+2 и N+3 продольными рядами соответственно, расположенных с поперечным шагом  $0,9*s_1$  и с продольным шагом  $0,9*s_2$ , *отличающийся* тем, что во втором конвективном пакете трубы выполнены с уменьшающейся длиной, противоположные конвективные стойки коллекторов наклонены друг другу на угол  $10^0-14^0$  от вертикали, причем трубы двух конвективных пакетов расположены в шахматном порядке, при этом уменьшение поперечного сечения по газовому тракту в пределах высоты одного конвективного пакета должно быть не более 0,24, от первоначального сечения на входе в конвективный пакет.



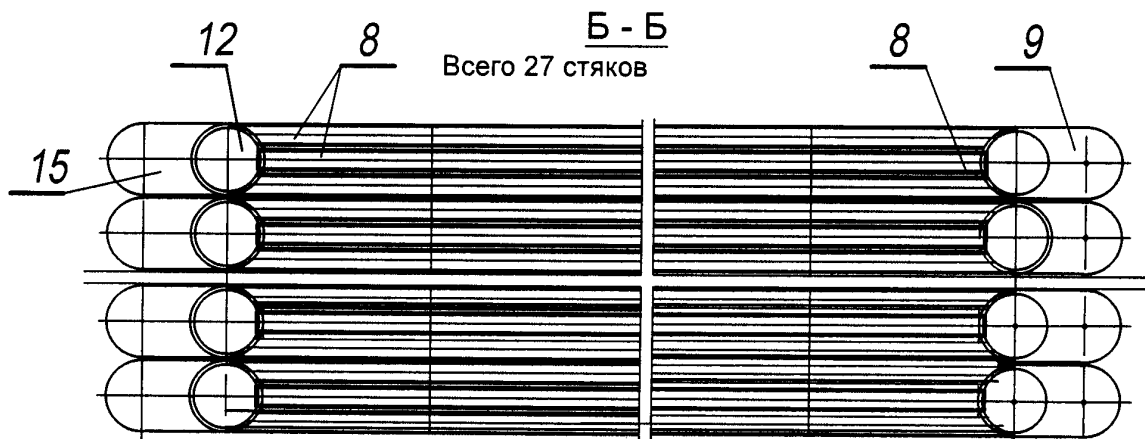
Фиг.1



Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4

Верстка Н. Киселева  
 Корректор К. Нгметжанова