

Изобретение относится к парогенератору, работающему на ископаемом топливе, с газоходом, ограждающая стенка которого образована из герметично соединенных друг с другом труб, которые в основном расположены вертикально и выполнены с возможностью протекания среды параллельно снизу вверх.

Парогенератор указанного выше рода известен, например, из патента США US-A-3 556 059, в котором диаметры труб нижней части парогенератора меньше, чем диаметры труб верхней части. Ограждающая стенка часто подвержена различно сильному нагреву от элемента к элементу поверхности нагрева. Так в большинстве случаев в нижней части, в которой расположено множество горелок для ископаемого топлива, нагрев является значительно более сильным, чем в верхней части. Причина этого заключается также в том, что в этой верхней части часто расположены дополнительные теплообменные поверхности, которые экранируют ограждающую стенку от слишком интенсивного нагрева, в частности за счет теплового излучения.

В известном из европейского патента 0 054 601 парогенераторе ограждающая стенка вертикального газохода служит в качестве нагревательной поверхности испарителя только в нижней части. Пар или при частичной нагрузке пароводяная смесь подводится далее к подключенному за ним конвективному испарителю. Верхняя часть ограждающей стенки образована из служащих в качестве нагревательных поверхностей перегревателя труб. Так как только часть ограждающей стенки используется в качестве испарительной поверхности, то при избыточном или при превышающем средние значения нагреве отдельных труб на выходе этих труб возникают только сравнительно незначительные разницы температур. С неравномерным распределением пароводяной смеси по трубам включенного после нагревательных поверхностей испарителя конвективного испарителя вследствие незначительного нагрева этого испарителя можно справиться. Так как охлаждение верхней части ограждающей стенки происходит во всяком случае перегретым паром, находящимся под высоким давлением порядка 280 - 320 бар, в этой верхней части ограждающей стенки используют сталь с высоким содержанием хрома, которая требует при изготовлении сложной термообработки. Кроме того это известное устройство вследствие необходимых соединительных трубопроводов и коллектора к и от конвективного испарителя является очень дорогостоящим и требует повышенных затрат на регулирование в конвективном газоходе, в частности, за счет встраивания регулировочных газоходов со стороны дымового газа. Подобное устройство описано также в публикации VGB Kraftwerktechnik, Nr.7, 1991, с. 637-643.

В прямоточном парогенераторе со спиральным расположением труб ограждающей стенки, в котором плотность массового потока в трубах обычно составляет порядка 2500 кг/м<sup>2</sup> сек, влияние избыточного нагрева на разницы температур между трубами может быть снижено путем увеличения внутреннего диаметра труб в верхней части вертикального газохода. В ограждающих стенках с вертикально расположенными трубами этот принцип, однако не может применяться, так как и без того сравнительно малые плотности массового потока, которые являются мерой скорости потока в трубах, тогда уменьшаются настолько, что при давлениях пара вблизи критической точки больше не может гарантироваться надежное охлаждение труб. Кроме того, это осложняется тем, что, с одной стороны, для надежного охлаждения труб необходимы большие массовые потоки, с другой стороны, большие массовые потоки могут приводить к большим разностям температур между отдельными трубами. Далее при применении промежуточного коллектора в области влажного пара за счет разделения смеси существует опасность неравномерного распределения воды и пара, так что в подключенной после такого промежуточного коллектора системе труб могут возникать большие разницы температур.

В основе изобретения лежит задача такого дальнейшего развития парогенератора названного выше вида, чтобы с одной стороны, обеспечивалось достаточное охлаждение труб ограждающей стенки и, чтобы, с другой стороны, перегрев отдельных труб не приводил бы к недопустимым разностям температуры между отдельными трубами. Это должно достигаться с незначительными затратами.

Эта задача решается согласно изобретения тем, что трубы в расположенной внизу первой части газохода имеют больший внутренний диаметр, чем трубы в лежащей выше второй части газохода.

Расположенная внизу первая часть газохода, которая в последующем обозначается также как первый отрезок ограждающей стенки, отличается очень высокими плотностями теплового потока и хорошей внутренней теплоотдачей в трубах и лежит, например, в области горелок. Расположенная над ней вторая часть газохода, которая в последующем обозначается также как второй отрезок ограждающей стенки, отличается также высокими плотностями теплового потока, однако ухудшенной внутренней теплоотдачей в трубах и лежит, например, в так называемом пространстве газовой струи парогенератора, которое прилегает к области горелок.

Первый отрезок ограждающей стенки содержит целесообразным образом для улучшения внутренней теплоотдачи вертикально расположенные трубы с внутренним оребрением. Они предпочтительно имеют такие размеры, что средняя плотность массового потока в трубах при полной нагрузке является предпочтительно меньше, чем 1000 кг/м<sup>2</sup> сек. Пар на выходе первого отрезка имеет среднее паросодержание, которое при частичной нагрузке примерно в 40% лежит между 0,8 и 0,95. При этих условиях устанавливаются такие благоприятные условия обтекания, что перегрев отдельных труб приводит к повышенному расходу через эти трубы, так что на выходе труб устанавливаются только незначительные разницы температуры.

Во втором отрезке ограждающей стенки в зависимости от рабочего состояния может возникать кризис теплоотдачи, то есть так называемый "dry out". Чтобы избежать недопустимо высоких температур стенок труб при этой ухудшенной внутренней теплоотдаче, плотность массового потока предпочтительно повышают до величины, выше 1000 кг/м<sup>2</sup>сек. Поэтому внутренний диаметр труб на переходе от первого на

второй отрезок уменьшают при сохранении одинакового количества параллельных труб или деления труб. Путем уменьшения внутреннего диаметра также при высокой плотности массового потока во втором отрезке обеспечивается надежное охлаждение труб.

Трубы с меньшим внутренним диаметром второго отрезка предпочтительным образом подключены непосредственно к трубам большого внутреннего диаметра первого отрезка, так что трубы обоих отрезков прямо переходят одна в другую. Трубы второго отрезка могут, по меньшей мере, вначале обтекаемой части также иметь внутреннее оребрение.

В нагревательной системе параллельных труб испарителя между входом и выходом возникает падение давления, которое создается в направлении к выходу в основном за счет трения вследствие больших скоростей пара. Высокое падение давления от трения обуславливает то, что массовый поток через более сильно нагретые трубы или снижается, или же возрастает менее сильно по сравнению с нагревом. Если в области, в которой за счет парообразования падение давления от трения сильно возрастает, расположить ресивер, то можно практически идеально согласовывать расположенную перед ресивером систему к различиям нагрева, то есть более сильный нагрев дает в результате примерно в той же степени более сильный массовый поток.

Поэтому в целесообразном выполнении в верхней половине первой части газохода, например, вблизи перехода от первого на второй отрезок, к каждой трубе подключена труба выравнивания давления. Трубы выравнивания давления целесообразно ведут к одному или нескольким предусмотренным вне вертикального газохода ресиверам. Путем выравнивания давления оба отрезка со стороны потока в значительной степени развязаны. Сравнительно высокое вследствие сравнительно больших плотностей массового потока падение давления от трения во втором отрезке не имеет, поэтому влияния на благоприятные условия обтекания в первом отрезке. Таким образом, не могут возникать никакие неправильные положения температуры (падение температуры по сечению трубы) вследствие перегрева на выходе первого отрезка. За счет прямого перехода труб первого отрезка к трубам второго отрезка надежно избегается разделение пароводяной смеси в области влажного пара.

В парогенераторе с высоким газоходом, например, в парогенераторе с одноходовой конструкцией, трубы в третьей верхней части газохода имеют больший внутренний диаметр, чем во второй ниже лежащей части газохода. Эта третья часть газохода, которая в последующем обозначается также как третий отрезок ограждающей стенки, отличается более низкой плотностью массового потока и умеренной внутренней теплоотдачей в трубах и расположена в так называемом конвективном газоходе парогенератора.

На переходе от второго к третьему отрезку ограждающей стенки плотность массового потока падает вследствие господствующей там низкой плотности теплового потока по сравнению с плотностью во втором отрезке, чтобы удерживать падение давления от трения в трубах низким. На третьем отрезке трубы могут быть выполнены без внутреннего оребрения.

В дальнейшем прохождении вертикального газохода плотность теплового потока падает настолько, что в третьей части газохода, то есть в третьем отрезке ограждающей стенки является достаточным половинное количество труб второй части газохода, то есть второго отрезка ограждающей стенки. Уменьшение вдвое количества труб на третьем отрезке достигается тем, что каждые две трубы второй части газохода впадают в одну общую приданную им трубу третьей части газохода.

Примеры выполнения изобретения поясняются более подробно с помощью чертежей, на которых показано:

Фигура 1 - парогенератор с подразделенным на три отрезка газоходом:

Фигура 2 - вырез II из фигуры 1 в увеличенном масштабе с трубами с различным внутренним диаметром в различных отрезках.

Соответствующие части снабжены на обеих фигурах одинаковыми ссылочными позициями.

Вертикальный газоход парогенератора 1 согласно фиг. 1 с прямоугольным поперечным сечением образован ограждающей стенкой 2, которая переходит на нижнем конце газохода в воронкообразное основание 3. Трубы 4 ограждающей стенки 2 герметично соединены друг с другом, например, сварены на их длинных сторонах, например, через плавники 9 (Фиг. 2). Основание 3 содержит не представленное более подробно на чертеже выпускное отверстие 3а для золы.

В нижней или первой части 5 газохода, то есть в первом отрезке ограждающей стенки 2, размещены, например, четыре горелки для ископаемого топлива в соответственно одном отверстии 6 в ограждающей стенке 2. На отверстии 6 такого вида трубы 4 ограждающей стенки 2 искривлены; они проходят на внешней стороне вертикального газохода. Подобные отверстия могут также быть выполнены, например, для воздушных сопел или сопел дымового газа.

Над первой нижней частью 5 газохода находится вторая часть 7 газохода, то есть второй отрезок ограждающей стенки 2, над которым предусмотрена третья или верхняя часть 8 газохода, то есть третий отрезок ограждающей стенки 2.

Первый отрезок 5 в области горелок отличается очень высокой плотностью теплового потока и хорошей внутренней теплоотдачей в трубах 4. Второй отрезок 4 расположен в пространстве газовой струи и отличается также высокой плотностью теплового потока, однако меньшей, ухудшенной внутренней теплоотдачей в трубах 4. Третий отрезок 8 расположен в конвективном газоходе и отличается низкой плотностью теплового потока и умеренной внутренней теплоотдачей в трубах 4. Этот третий отрезок 8 имеется, в частности, в парогенераторе с одноходовой конструкцией.

Трубы 4 ограждающей стенки 2, по которым параллельно снизу вверх протекает среда, то есть вода или пароводяная смесь, подключены своими входными концами ко входному коллектору 11 и своими

выходными концами к выходному коллектору 12. Входной коллектор 11 и выходной коллектор 12 находятся вне газохода и образованы, например, каждый кольцевой трубой.

Входной коллектор 11 через трубопровод 13 и коллектор 14 соединен с выходом подогревателя высокого давления или экономайзера 15. Нагревательные поверхности экономайзера 15 лежат в пространстве, охваченном третьим отрезком 8 ограждающей стенки 2. Экономайзер 15 во время работы парогенератора 1 со стороны входа соединен через коллектор 16 с пароводяным контуром паровой турбины.

Выходной коллектор 12 через сепаратор пароводяной смеси 17 и трубопровод 18 соединен с перегревателем высокого давления 19. Перегреватель высокого давления 19 расположен в области второго отрезка 7 ограждающей стенки 2. Во время работы он соединен со стороны выхода через коллектор 20 с частью высокого давления паровой турбины. В области второго отрезка 7 расположен, кроме того, промежуточный перегреватель 21, который через коллектор 22, 23 включен между частью высокого давления и частью среднего давления паровой турбины. Собирающаяся в сепараторе пароводяной смеси 17 вода отводится по трубопроводу 24.

В области 25 перехода от первого отрезка 5 ко второму отрезку 7 ограждающей стенки 2 вне газохода предусмотрен ресивер 26, который образован кольцевой трубой.

Как видно из фиг. 2, каждая проходящая в отрезках 5 и 7 труба 4 соединена через трубу выравнивания давления 27 с ресивером 26.

В области 25, в которой трубы 4 первого отрезка 5 переходят во второй отрезок 7, ширина труб 4 в свету сужается. Другими словами: трубы 4 имеют в нижней части 5 газохода больший внутренний диаметр  $d_1$ , чем трубы 4 в расположенной выше второй части 7 газохода, внутренний диаметр которых обозначен  $d_2$ . При этом трубы 4 с меньшим внутренним диаметром  $d_2$  подключены непосредственно к трубам 4 с большим внутренним диаметром  $d_1$ , то есть трубы 4 переходят в области 25 одна в другую. Трубы 4 в отрезке 5 имеют не показанное более подробно резьбовое внутреннее оребрение. Трубы 4 на отрезке 5 имеют такие размеры, что средние плотности массового потока там при полной нагрузке являются меньшими или равными  $1000 \text{ кг/м}^2\text{сек}$ . Средние плотности массового потока в трубах 4 во втором или среднем отрезке 7 тогда является больше, чем  $1000 \text{ кг/м}^2\text{сек}$ .

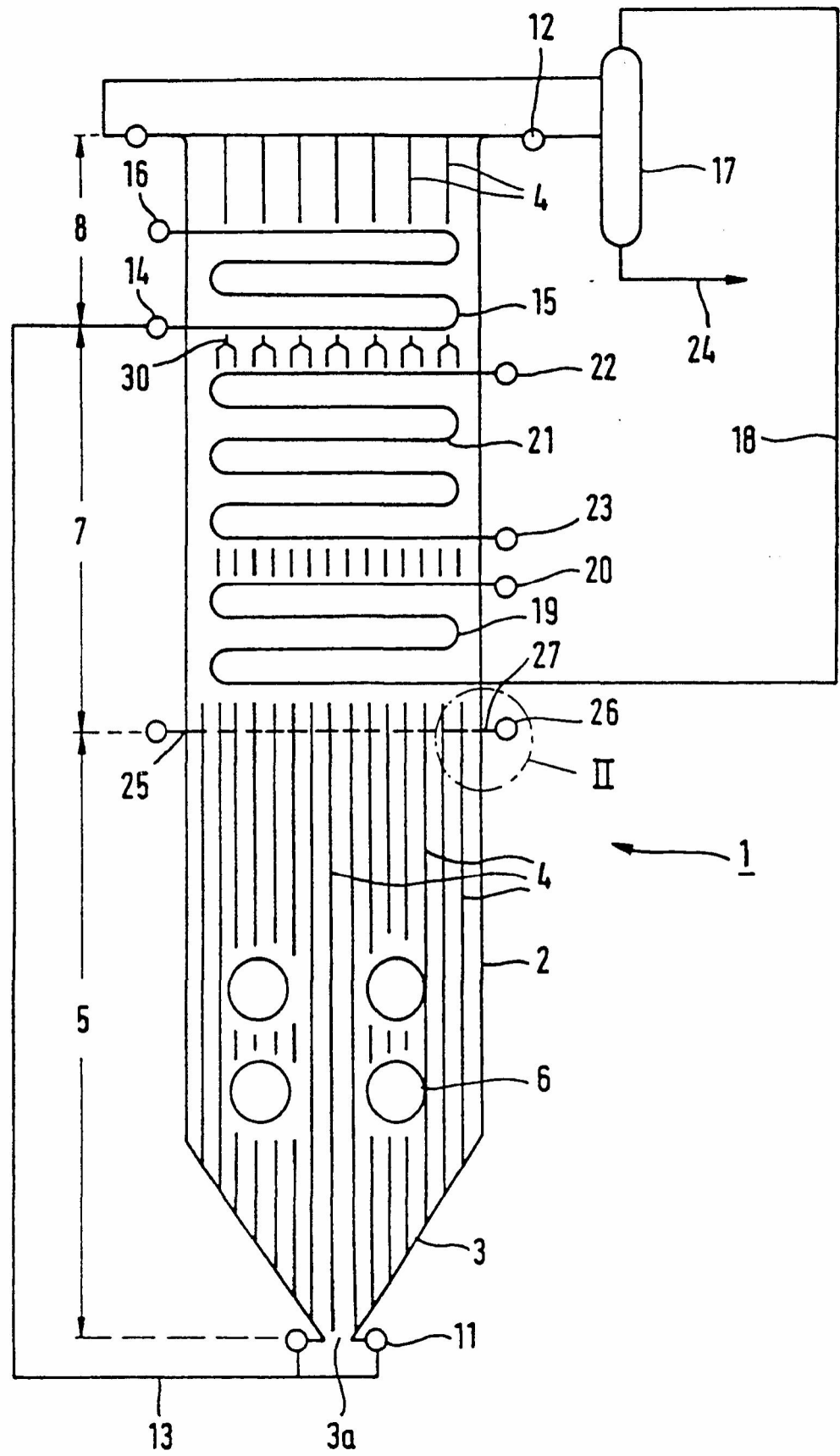
В третьем или верхнем отрезке 8 ограждающей стенки 2 трубы 4 имеют снова больший внутренний диаметр, чем в лежащем ниже отрезке 7. В то время, как трубы 4 также на втором отрезке 7 предпочтительно на всей своей длине имеют резьбовое внутреннее оребрение, трубы 4 третьего отрезка 8 снабжены резьбовым внутренним оребрением только на части своей длины. Целесообразно, однако отказаться от внутреннего оребрения.

Количество труб 4 в верхнем отрезке 8 ограждающей стенки 2 является равным только половине количества труб на втором отрезке 7. Поэтому каждые две трубы 4 второго отрезка 7 впадают в области 30 в одну приданную им совместно трубу 4 третьего отрезка 8 (Фиг. 1).

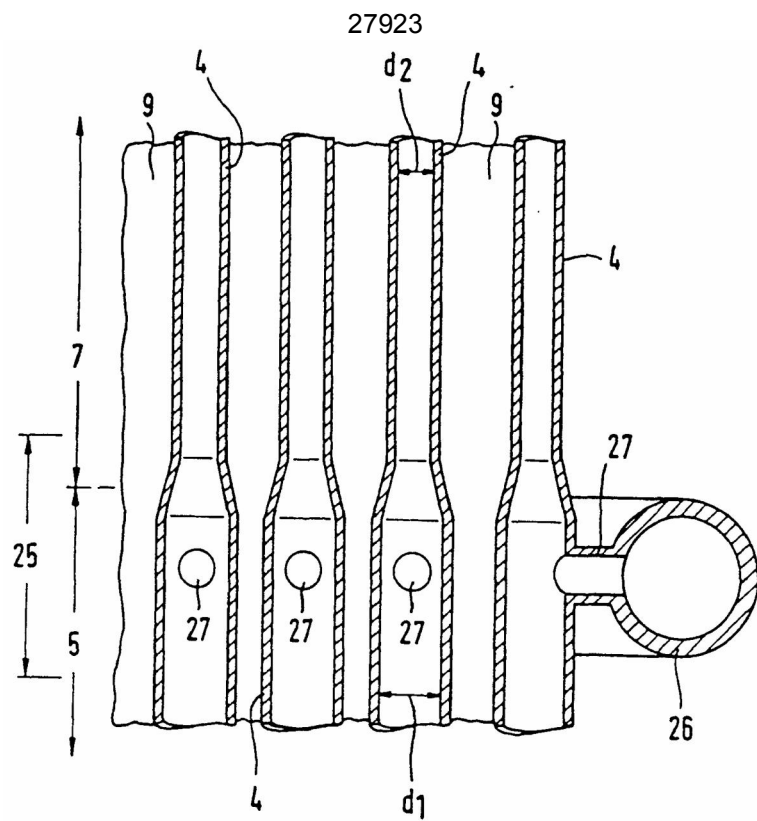
Как представлено на фиг. 2, также и внешний диаметр труб 4 на отрезках 5 и 7 является различным и согласован с соответствующим внутренним диаметром  $d_1$ ,  $d_2$  таким образом, что толщина стенок труб 4 на всех отрезках 5, 7, 8 является примерно одинаковой. Однако также и внешний диаметр труб 4 на всех отрезках 5, 7, 8 может быть равным, так что толщина стенки труб 4 в среднем или втором отрезке 7 больше, чем в первом отрезке 5 и/или в третьем отрезке 8. Как уже упоминалось, трубы 4 на их длинных сторонах снабжены плавниками 9, служащими для герметичного соединения труб 4.

За счет того, что трубы 4 ограждающей стенки 2 имеют по их длине на различных отрезках 5, 7, 8 или областях парогенератора 1 различный внутренний диаметр  $d_1$ ,  $d_2$ , выбор размеров труб 4 ограждающей стенки 2 согласован с различным нагревом газохода. При этом, с одной стороны, достигается надежное охлаждение труб 4. С другой стороны, перегрев отдельных труб 4 не приводит к недопустимым разностям температур между выходами отдельных труб 4.





Фиг. 1



Фиг. 2