

Лекция 7. Паровые теплогенераторы

7.1. Принцип работы парового теплогенератора

Устройство, имеющее топку для сжигания топлива, обогреваемое продуктами сгорания топлива, предназначенное для получения пара с давлением выше атмосферного и используемого вне самого устройства, называют паровым котельным агрегатом (котлом). Теплота от топочных газов в топке передается радиационным поверхностям нагрева, а за топкой – конвективным поверхностям нагрева, к которым относят кипяtilьные трубы и пароперегреватель. К конвективным, или хвостовым, поверхностям нагрева также относят водяные экономайзеры, контактные теплообменники, воздухоподогреватели, которые предназначены для снижения потерь теплоты с уходящими топочными газами, увеличения КПД котельного агрегата и снижения расхода топлива.

Элементы парового котельного агрегата представляют собой цилиндры (трубы и сосуды) разного диаметра, соединенные между собой с помощью сварки или вальцовки. Основными деталями парового котельного агрегата являются барабан, коллекторы и трубы. Для возможности осмотра и очистки барабанов и коллекторов выполняют отверстия, называемые лазами, или люками. Внутренний объем парового котла, заполненный водой, называют водным пространством, занятый паром – паровым пространством; поверхность, отделяющую паровое пространство от водного, – зеркалом испарения. В паровом пространстве устанавливают устройства для сепарации пара и влаги.

Основное условие, обеспечивающее надежную, безопасную и экономичную работу парового котельного агрегата, – поддержание за счет интенсивного охлаждения теплоносителем на заданном расчетном уровне температуры металлических поверхностей нагрева, подвергающихся постоянному воздействию высоких температур топочных газов. Охлаждение металла достигается путем непрерывной и постоянной циркуляции теплоносителя внутри обогреваемых труб. Теплота от дымовых топочных газов передается трубам, а теплоноситель должен непрерывно отводить эту теплоту от стенок. Если отвод теплоты происходит недостаточно интенсивно, то металл труб может сильно перегреться и потерять свою механическую прочность. Это может привести к появлению на трубах отдулин, свищей и даже к разрыву труб, что в свою очередь приведет к аварийной остановке котла.

На рис. 7.1 показана принципиальная схема паровых теплогенераторов, работающих с естественной циркуляцией.

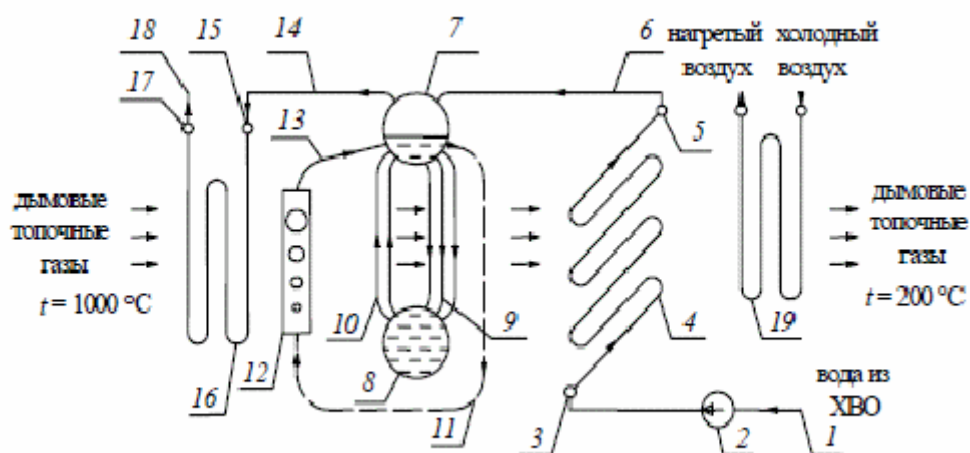


Рис. 7.1. Принципиальная схема парового теплогенератора

с естественной циркуляцией:

1 – вода после умягчения ХВО; 2 – питательный насос; 3, 5 – нижний и верхний коллекторы водяного экономайзера; 4 – водяной экономайзер; 6 – питательная линия; 7 – верхний барабан; 8 – нижний барабан; 9, 10 – кипятильные трубы второго и первого газоходов; 11 – опускные трубы; 12 – экранные трубы; 13 – подъемные трубы; 14 – паропровод; 15, 17 – коллекторы пароперегревателя; 16 – пароперегреватель; 18 – перегретый пар;

19 – воздухоподогреватель

Питательная вода 1 из деаэратора после водоподготовки ХВО питательным насосом 2 подается вначале в водяной экономайзер 4, где нагревается за счет теплоты уходящих топочных газов, а затем по питательной линии 6 идет в верхний барабан 7 парового котла, где смешивается с котловой водой. Одна часть котловой воды из верхнего барабана по кипятильным трубам 9, расположенным в области более низких температур топочных газов, опускается в нижний барабан 8, откуда по подъемным трубам 10, расположенным в области более высоких температур топочных газов, нагретая вода и пароводяная смесь поднимаются в верхний барабан. Другая часть котловой воды из верхнего барабана 7, по опускным трубам 11, расположенным вне топки (обычно снаружи или в обмуровке), подводится к нижним коллекторам экранных труб 12, распределяется по коллекторам, нагревается в экранных трубах 12, а образующиеся пузырьки пара и пароводяная смесь поднимаются в верхний барабан 7 котла. Путь, по которому совершается движение теплоносителя, называется циркуляционным контуром.

Пар, полученный в испарительных поверхностях нагрева, в верхнем барабане котла проходит через паросепарационные устройства, где из него отделяются капельки влаги. После осушки полученный сухой насыщенный пар по паропроводу 14 идет к потребителю или в пароперегреватель 16, где при этом же давлении пар нагревается до более высокой (чем при состоянии сухого насыщенного пара) температуры.

При работе парового котла уровень воды в верхнем барабане колеблется между низшим и высшим положениями. Низший допускаемый уровень (НДУ) воды в барабанах паровых котлов устанавливается (определяется) для исключения перегрева металла стенок верхнего барабана, кипятильного пучка, а также обеспечения надежного поступления воды в опускные трубы контуров циркуляции. Обычно низший допускаемый уровень располагается выше на 100 мм над огневой линией. *Огневая линия* – это наивысшая горизонтальная линия соприкосновения горячих топочных газов с неизолированной стенкой верхнего барабана котла.

Положение высшего допускаемого уровня (ВДУ) воды в барабанах паровых котлов определяется из условий предупреждения попадания воды в паропровод или пароперегреватель, что может привести к гидравлическому удару паропровода, вибрации, нарушению нормальных условий работы и возможной аварии. Объем воды, содержащейся в барабане между высшим и низшим уровнями, определяет «запас питания», т.е. время, позволяющее котлу работать без поступления в него воды. Для повышения КПД теплогенератора возможна также и установка воздухоподогревателя 19.

Естественная циркуляция в паровом котле осуществляется за счет гравитационных сил, обусловленных разностью плотностей воды и пароводяной смеси. Плотность воды в опускных трубах выше плотности пароводяной смеси в подъемных трубах, хотя давление и температура насыщения в любой точке контура одинаковы. Поэтому вода идет вниз, а пароводяная смесь поднимается вверх. Кроме того, пузырьки пара всегда стремятся занять верхнее положение, что улучшает естественную циркуляцию.

В котле может быть несколько контуров циркуляции. Отношение циркулирующей воды в контуре к количеству образовавшегося пара называется *кратностью циркуляции* и в паровых котлах может составлять $K = 10 \dots 100$.

Для обеспечения надежной естественной циркуляции в контурах котлов ДКВР, ДЕ, серии Е, обычно используют трубы с наружным диаметром 51 мм с

толщиной стенки 2,5...3,5 мм. При большем диаметре труб естественная циркуляция будет лучше за счет меньшего гидравлического сопротивления внутри труб, но это экономически неоправданно. Интенсивность циркуляции зависит от нагрузки котла: при номинальной паровой нагрузке движение теплоносителя в контурах и работа котла происходят более устойчиво.

Нарушение нормальной циркуляции может быть вызвано:

- неравномерным прогревом поверхностей испарения, что обычно имеет место при шлаковании отдельных участков труб;
- неравномерным распределением воды по трубам экранов и коллекторов, что имеет место при загрязнении шламом;
- несимметричным заполнением факелом горения топочного объема и др.

Весьма опасным является выпуск (или упуск) воды из барабана котла вследствие халатного отношения персонала. В этом случае в опускные трубы может попасть пар из барабана, образуется кавитация, циркуляция совершенно прекращается, что приводит к перегреву труб и верхнего барабана и в конечном итоге – к аварии.

Номинальная производительность, основные технические характеристики, планы и разрезы паровых теплогенераторов серии Е, ДЕ, ДКВР и других приведены в справочной литературе.

7.2. Устройство и работа парового теплогенератора

ДКВР-10-13-250 ГМ

Газомазутные (ГМ) котельные агрегаты серии ДКВР предназначены для выработки сухого насыщенного или слабо перегретого пара на технологические нужды промышленных предприятий, систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Паровой котельный агрегат ДКВР-10-13-250 – двухбарабанный котел, водотрубный, реконструированный. Первая цифра после ДКВР: 2,5; 4; 6,5; 10; 20 – означает паропроизводительность котла в т/ч, вторая цифра: 13 или 23 – показывает избыточное давление пара в ати, а третья цифра (если она есть): 250 или 225 – характеризует температуру перегретого пара в °С.

Основные характеристики котлов серии ДКВР и их комплектация приведены в табл. 8.17 – 8.19 [5].

Принципиальная схема устройства и работы теплогенератора ДКВР-10-13-250 ГМ приведена на рис. 5.2, а ДКВР-20 – на рис. 7.2.

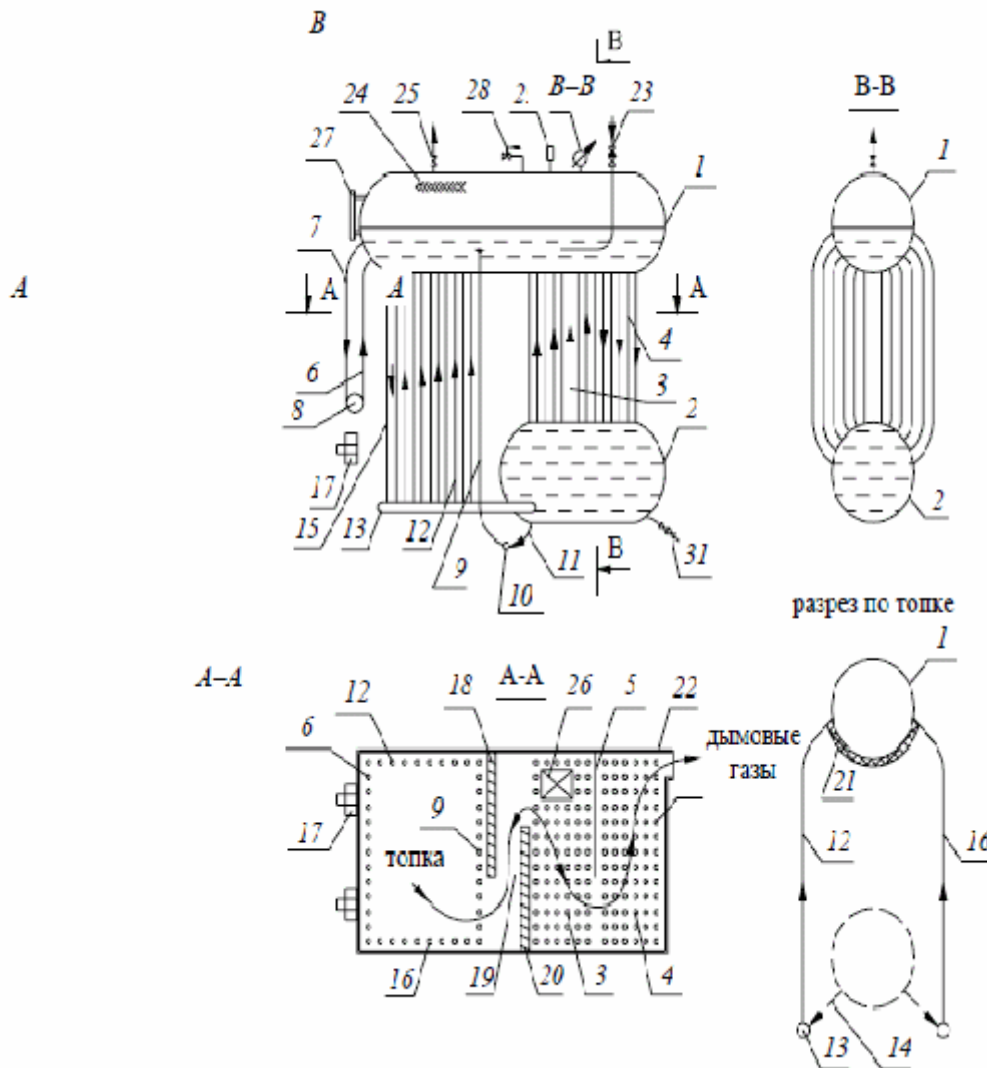


Рис. 7.2. Принципиальная схема теплогенератора ДКВР-10-13-250 ГМ:

1, 2 – верхний и нижний барабаны; 3, 4 – кипяtilьные трубы первого и второго газохода; 5 – чугунная перегородка; 6 – фронтальный экран топки; 7, 8 – опускные трубы и коллектор фронтального экрана; 9 – задний экран; 10, 11 – коллектор и перепускные трубы заднего топочного экрана; 12 – левый боковой экран топки; 13, 14 – коллектор и перепускные трубы левого бокового экрана; 15 – опускные трубы бокового топочного экрана;

16 – правый боковой экран топки; 17 – горелки; 18, 20 – шамотные перегородки; 19 – камера догорания; 21 – торкрет; 22 – обмуровка; 23 – питательная линия; 24 – паросепарационные устройства; 25 – паропровод; 26 – пароперегреватель; 27 – водоуказательное стекло; 28 – предохранительный клапан; 29 – термометр; 30 – манометр; 31 – трубопровод периодической продувки

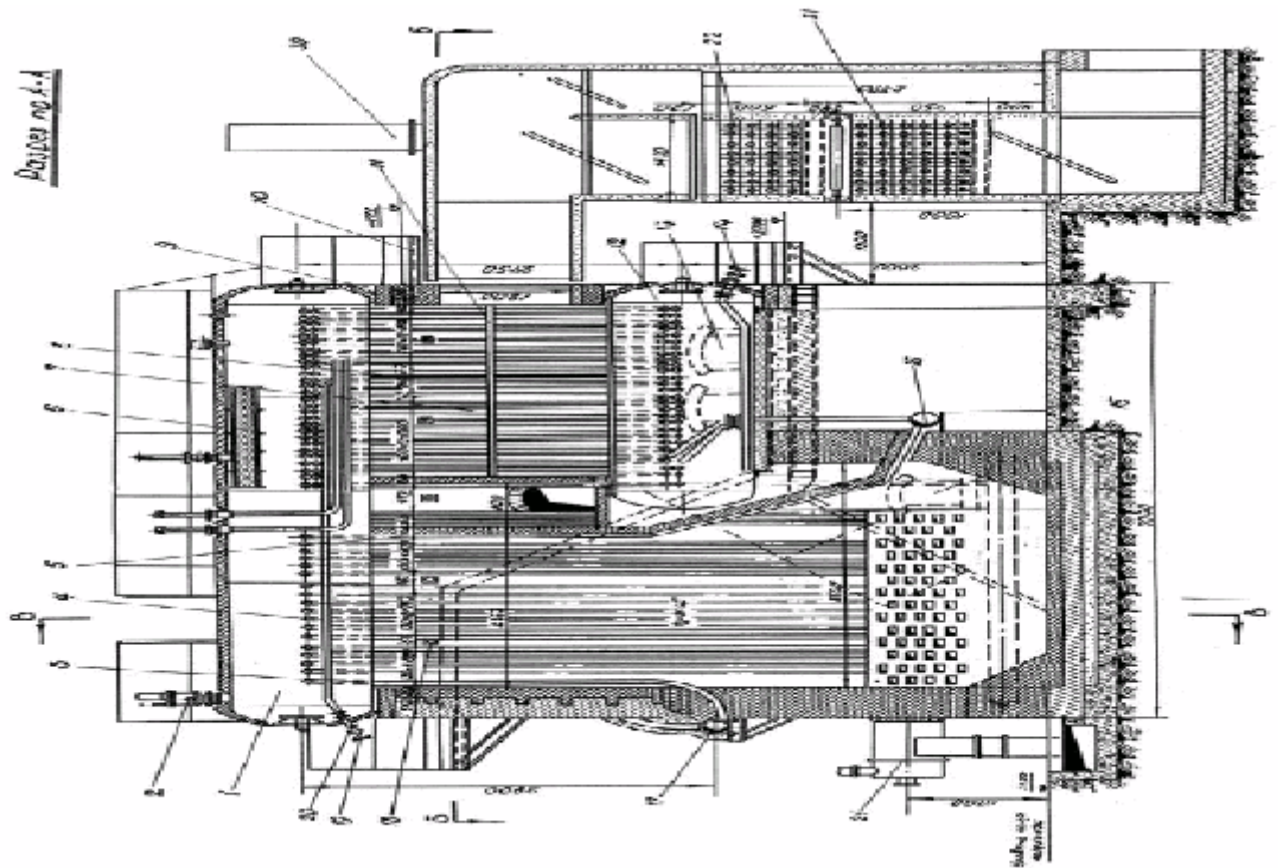


Рис. 7.3. Продольный разрез теплогенератора ДКВР-10-13

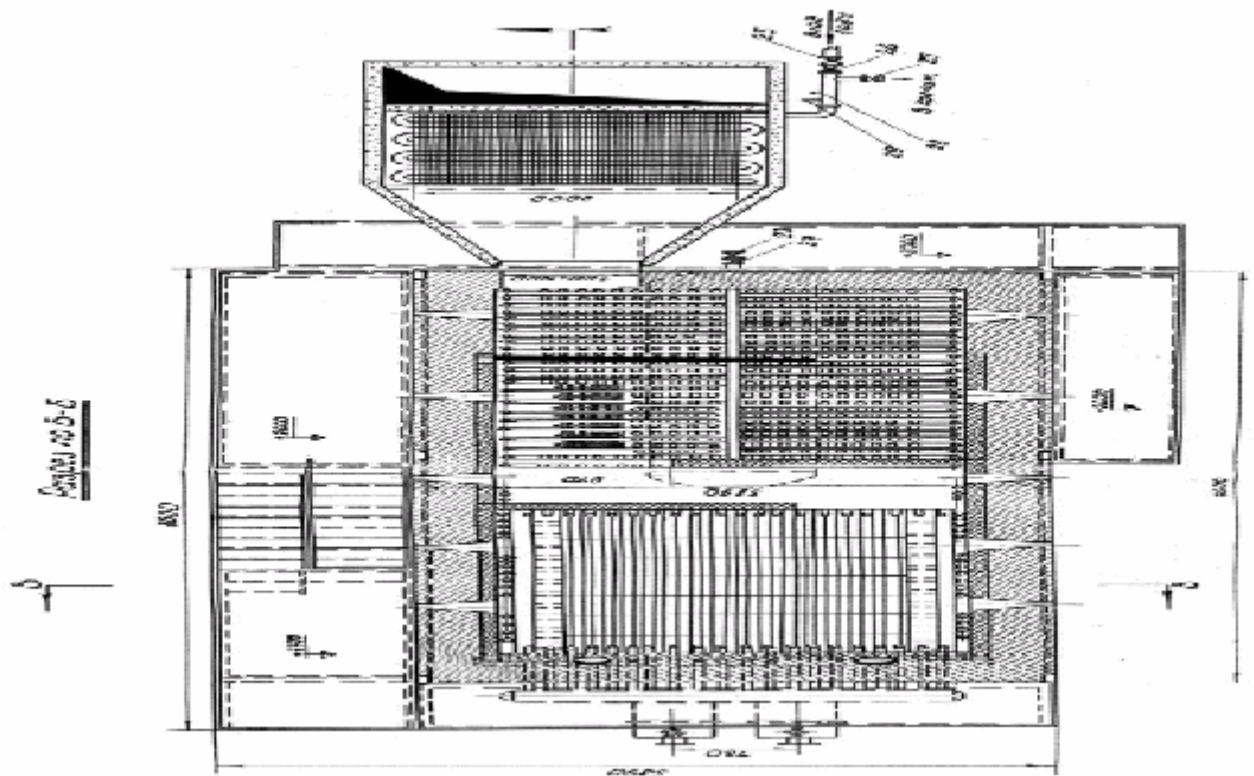


Рис. 7.4. Разрез (в плане) теплогенератора ДКВР-10-13

Теплогенератор ДКВР-10-13-250 ГМ состоит из верхнего 1 (длинного) и нижнего 2 (укороченного) барабанов, которые соединены между собой изогнутыми кипятельными трубами в количестве 594 шт., и образуют соответственно первый 3 и второй 4 газоходы конвективной поверхности нагрева. Газоходы разделены между собой чугунной перегородкой 5 по всей высоте газохода котла с окном (от фронта котла) справа.

Передняя часть нижнего барабана крепится неподвижно, а остальные части котла имеют скользящие опоры, а также реперы, которые контролируют удлинения элементов при температурном расширении.

Топка сформирована 118-ю экранными трубами, которые образуют соответственно: 6 – передний или фронтальной экран; 12 – левый боковой экран; 16 – правый боковой экран (аналогично левому); 9 – задний экран топки. Все трубы радиационной и конвективной поверхности нагрева имеют наружный диаметр $51 \times 2,5$ мм, чем достигается лучшая естественная циркуляция в контурах котла.

Все экранные трубы топки своими верхними концами развальцованы в верхнем барабане 1, а нижними концами приварены к четырем нижним коллекторам: фронтальному – 8, левому боковому – 13 (аналогично и правому) и заднему топочному – 10. Кроме того, фронтальной коллектор 8 соединен с верхним

барабаном четырьмя опускными трубами 7, расположенными снаружи обмуровки, а нижний коллектор левого бокового топочного экрана 13 (аналогично, как и правого) соединен с верхним барабаном одной опускной трубой 15, проложенной в обмуровке. Нижний коллектор 10 заднего топочного экрана соединен с нижним барабаном перепускными трубами 11. Поперечный фронтальной коллектор 8 расположен над горелками 17.

Обмуровка 22 – тяжелая, из красного кирпича, а футеровка – из шамотного кирпича. Верхний барабан в топке закрыт торкретом 21 во избежание перегрева металла верхнего барабана. Оператор перед приемом смены визуально должен проверить состояние торкрета. Кроме того, в верхнем барабане над топкой установлены две легкоплавкие вставки (смесь олова и свинца), которые плавятся при температуре около 300 °С, что приводит к выпуску воды в топку, прекращению горения топлива и предохранению барабана от перегрева.

Камера догорания 19 предназначена для снижения потерь теплоты от химической неполноты сгорания топлива (химического недожога) и отделена от топки кирпичной перегородкой 18 (с окном справа, для прохода топочных газов), а от первого газохода 4 – кирпичной перегородкой – 20 (с окном слева).

Подача питательной воды производится по линии 23, с установкой на ней обратного клапана и вентиля. В верхнем барабане 1 котла установлены паросепарационные устройства 24. Отбор пара производится по паропроводу 25. Для получения перегретого пара используют пароперегреватель 26, который устанавливают обычно за одним или двумя рядами кипяtilьных труб первого газохода котла.

На верхнем барабане установлена арматура: водоуказательные приборы 27, предохранительные клапаны 28, термометр 29, манометр 30. На всех котлах ДКВР над топкой и газоходом установлены взрывные предохранительные клапаны. Обдувка внешних поверхностей нагрева кипяtilьного пучка труб в газоходах производится паром, с использованием обдувочных аппаратов.

Работа теплогенератора

1. Газовоздушный тракт или движение топочных газов.

Топливо и воздух подаются в горелки 17, а в топке образуется факел горения. Теплота от топочных газов в топке, за счет радиационного и конвективного теплообмена, передается всем экраным трубам (радиационным поверхностям нагрева), где эта теплота за счет теплопроводности металлической

стенки и конвективного теплообмена от внутренней поверхности труб передается воде, циркулирующей по экранам.

Затем топочные газы с температурой 900...1050 °С выходят из топки и через окно справа в кирпичной перегородке 18 переходят в камеру догорания 19, огибают кирпичную перегородку 20 с левой стороны и входят в первый газоход 3, где передают теплоту конвективному пучку труб. С температурой около 600 °С топочные дымовые газы, огибая чугунную перегородку 5 с правой стороны, входят во второй газоход 4 кипяtilьного пучка труб и с температурой около 200...250 °С, с левой стороны, выходят из котла и направляются в водяной экономайзер.

2. Основные контуры естественной циркуляции.

Питательная вода после умягчения и деаэрации (из деаэратора и водяного экономайзера) по двум трубопроводам питательной линии 23 подается в водный объем верхнего барабана 1, где смешивается с котловой водой. В котле имеется пять контуров естественной циркуляции.

- 1-й контур (по кипяtilьным трубам). Котловая вода из верхнего барабана 1 опускается в нижний барабан 2 по кипяtilьным трубам 4 конвективного пучка, расположенным во втором газоходе – в области более низких температур топочных газов. Образующаяся пароводяная смесь (ПВС) поднимается в верхний барабан по кипяtilьным трубам 3, расположенным в первом газоходе – в области более высоких температур топочных газов.

- 2-й контур (по фронтovому экрану) – котловая вода из верхнего барабана 1 по четырем опускающим трубам 7 подводится к фронтovому коллектору 8, распределяется по нему, а образующаяся ПВС по экранным трубам 6, установленным в топке, поднимается в верхний барабан.

- 3-й контур (по заднему экрану топки) – котловая вода из нижнего барабана 2 по перепускным трубам 11 подводится к нижнему коллектору 10, распределяется по нему, а образующаяся ПВС по экранным трубам 9, расположенным в топке, поднимается в верхний барабан.

- 4-й контур (по левому боковому топочному экрану) – котловая вода из верхнего барабана 1 по опускающей трубе 15 (находится внутри обмуровки или снаружи) подводится к нижнему коллектору 13 левого бокового экрана; к коллектору 13 также подводится вода и из нижнего барабана 2, по перепускным трубам 14, после чего вода распределяется по коллектору, а образующаяся ПВС по трубам 12 левого бокового экрана, расположенным в топке, поднимается в верхний барабан.

- 5-й контур (по правому боковому экрану топки 16) – осуществляется аналогично левому боковому топочному экрану.

Вода и пароводяная смесь (ПВС) из всех контуров циркуляции поднимается в верхний барабан, где в паросепарационных устройствах 24 отделяется пар, а вода смешивается с котловой водой и процесс циркуляций повторяется. После паросепарационных устройств полученный сухой насыщенный пар идет к потребителю по паропроводу 25 или направляется в пароперегреватель 26 для получения перегретого пара.

Непрерывная продувка производится из верхнего барабана в расширитель (сепаратор) непрерывной продувки и регулируется вентилем. Периодическая продувка производится из пяти точек котла: четырех нижних коллекторов и нижнего барабана. В нижнем барабане над продувочной линией установлен паропровод, который используется для нагрева воды паром от соседних котлов во время растопки котла.

Котел снабжен двумя предохранительными клапанами 28 и соответствующей арматурой: термометр 29, манометр 30, водоуказательное стекло 27. На задней стенке котла установлен обдувочный аппарат, а на обмуровке, в верхней части топки и газода – взрывные предохранительные клапаны.

У котлов паропроизводительностью 2,5; 4; 6,5 т/ч пара конструкция аналогична ДКВР-10-13 и отличается количеством кипяtilьных и экранных труб, а также отсутствием фронтального и заднего топочных экранов, в связи с этим существуют только три контура естественной циркуляции: по конвективному пучку и по двум боковым топочным экранам. Периодическая продувка соответственно производится из трех точек: двух нижних боковых коллекторов и нижнего барабана.

7.3. Устройство и работа теплогенератора ДЕ-10-14 ГМ

Газомазутные котлы ДЕ конструкции котельного завода г. Бийска и ЦКТИ предназначены для выработки насыщенного или слабо перегретого пара с абсолютным давлением 14 кгс/см² или 24 кгс/см², паропроизводительностью 1; 4; 6,5; 10; 16 и 25 т/ч и сжигания газообразного и жидкого топлива. Основные характеристики котлов серии ДЕ и их комплектация приведены в табл. 8.20, 8.22 [5].

Принципиальная схема устройства и работы теплогенератора ДЕ-10-14 ГМ приведена на рис. 7.5.

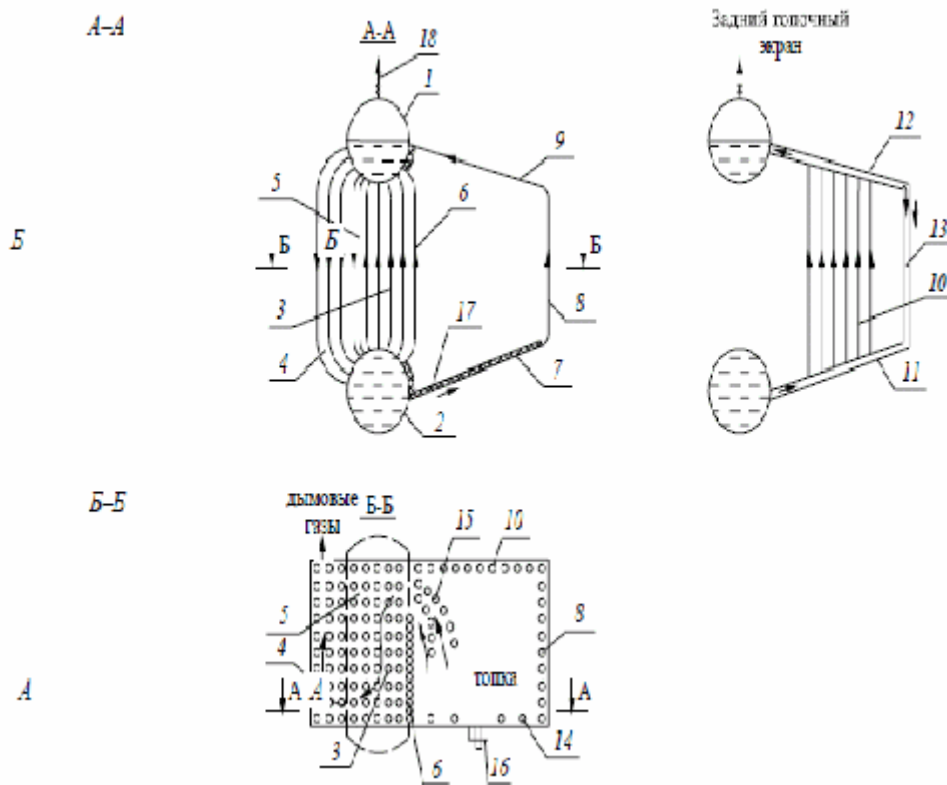


Рис. 7.5. Принципиальная схема теплогенератора ДЕ-10-14 ГМ:

1, 2 – верхний и нижний барабаны; 3, 4 – кипящие трубы первого и второго газохода; 5 – металлическая перегородка; 6 – газоплотный экран;

7, 8, 9 – подовый, правый боковой и потолочный экраны топки; 10 – задний топочный экран; 11, 12 – нижний и верхний коллекторы заднего топочного экрана; 13 – рециркуляционная трубка; 14 – фронтальный экран топки; 15 – направляющие экраны; 16 – горелка; 17 – торкрет; 18 – паропровод

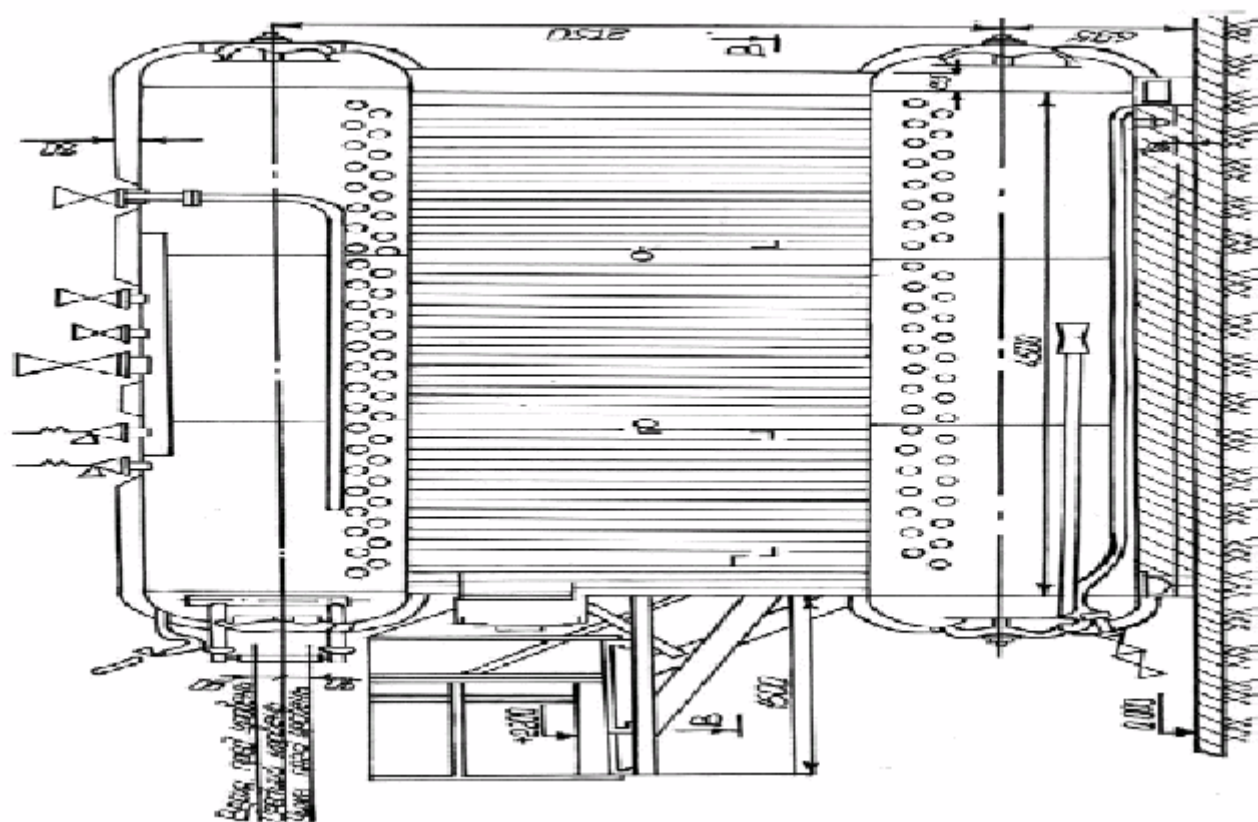


Рис. 7.6. Продольный разрез теплогенератора ДЕ-10-14

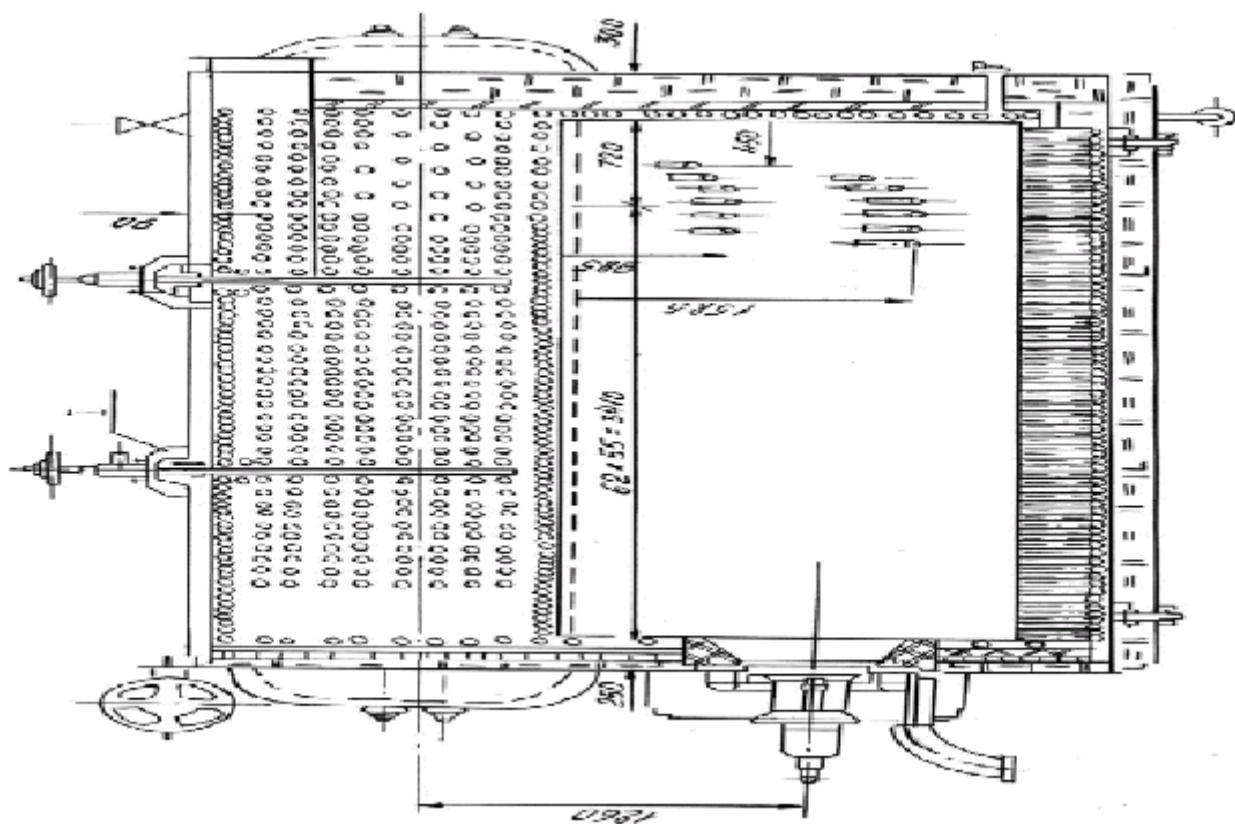


Рис. 7.7. Разрез (в плане) теплогенератора ДЕ-10-14

Все газомазутные котлы ДЕ имеют опорную наклонную раму, которая опирается на фундамент. На раму передается масса элементов котла и воды, обвязочного каркаса, натрубная обмуровка и обшивка.

Переднее днище нижнего барабана имеет неподвижную опору, а остальные опоры скользящие. На заднем днище нижнего барабана установлен репер (указатель) для контроля теплового расширения элементов котла при работе и растопке.

Теплогенераторы состоят из верхнего 1 и нижнего 2 барабанов одинаковой длины, которые соединены между собой коридорно-расположенными вертикальными изогнутыми трубами и образуют соответственно первый 3 и второй 4 газоходы конвективной поверхности нагрева. Продольный шаг кипятильных труб вдоль барабана 90 мм, а поперечный – 110 мм. Котлы паропроизводительностью 4; 6,5; 10 т/ч в конвективных пучках имеют продольные металлические перегородки 5 по всей высоте газохода с окном (от фронта котла) спереди, что обеспечивает разворот топочных газов в пучке на 180° и выход газов в экономайзер через заднюю стенку котла. Котлы паропроизводительностью 16 и 25 т/ч таких перегородок не имеют, и газы идут по всему сечению газохода к фронту котла, выходят из котла, а затем по газовому коробу, размещенному над топочной камерой, направляются в водяной экономайзер, расположенный в хвостовой части котла.

Для всех типоразмеров газомазутных котлов ДЕ диаметры верхнего и нижнего барабанов – 1000 мм, расстояние между барабанами по осям – 2750 мм. Ширина топочной камеры всех котлов по осям экранных труб – 1790 мм, средняя высота топочной камеры – 2400 мм. Барабаны котлов изготавливают из стали 16 ГС и толщиной стенки 13 и 22 мм, соответственно для избыточного давления 13 и 23 кгс/см². Все трубы радиационной и конвективной поверхности нагрева развальцованы в барабанах и имеют наружный диаметр 51 × 2,5 мм, чем достигается лучшая естественная циркуляция в контурах котла. В нижнем барабане размещены перфорированные трубы для периодической продувки и парового прогрева воды от соседних котлов при растопке, а также штуцеры для спуска воды.

Топочная камера находится сбоку (справа) от конвективного пучка и отделена от него слева газоплотной перегородкой 6 из труб, установленных с шагом 55 мм и сваренных между собой металлическими полосками. Концы труб газоплотного экрана 6 обсажены до 38 мм, выведены в два ряда и уплотнены гребенкой, примыкающей к трубам и барабану. В задней части газоплотного

экрана, на расстоянии 700 мм от задней стенки котла, имеется окно для выхода топочных газов из топки в конвективный пучок.

Подовый 7, правый боковой топочный экран 8 и потолок топки 9 образованы длинными изогнутыми трубами, установленными с шагом 55 мм. Концы этих труб разведены в два ряда и соединены непосредственно с верхним и нижним барабанами на вальцовке. Под (нижняя часть топки) в топке выложен слоем огнеупорного кирпича – торкрет 17. Шамотный кирпич также укладывается на боковую часть нижнего барабана в топке и крепится на шпильках на боковую часть верхнего барабана в топке между газоплотным 6 и потолочным 9 экранами.

Вертикальные трубы заднего топочного экрана 10 не имеют обсадных концов и приварены к нижнему 11 и верхнему 12 наклонным коллекторам диаметром 159×6 мм. Верхний коллектор заднего топочного экрана приварен к верхнему барабану с наклоном вниз, а нижний коллектор – к нижнему барабану с наклоном вверх. Кроме того, верхний и нижний коллекторы объединены не обогреваемой трубой 13 диаметром $76 \times 3,5$ мм, которая замурована в шамотный кирпич обмуровки. По рециркуляционной трубе 13 происходит сток воды из верхнего коллектора в нижний при отделении ее из пароводяной смеси. Для защиты от теплового излучения коллекторов заднего топочного экрана они снабжены двумя изогнутыми трубами, развальцованными в нижний и верхний барабаны (на схеме не показаны).

Фронтальной экран топки котлов образован четырьмя изогнутыми трубами 14, развальцованными в верхний и нижний барабаны, что позволяет разместить на фронтальной стене амбразуры горелки 16 и лаз.

Лаз совмещен с взрывным клапаном. (В первой серии котлов производительностью 4...10 т/ч фронтальной экран имел вертикальные трубы, приваренные к коллекторам, аналогично конструкции заднего топочного экрана). Котлы производительностью 4...10 т/ч имеют по две модернизированные горелки ГМГ или по одной ГМ, а котлы производительностью 16 и 25 т/ч – горелки ГМ-10 и ГМП-16.

Кроме того, у котлов производительностью 4...10 т/ч в топке впереди заднего топочного экрана установлены два ряда труб 15 по шесть штук (всего двенадцать труб), которые развальцованы в верхний и нижний барабаны и являются направляющими экранами для закрутки и хода движения топочных газов из топки в кипящий пучок труб.

Котлы ДЕ производительностью 4...10 т/ч выполнены с одноступенчатым испарением, а в котлах с производительностью 16 и 25 т/ч применено двухступенчатое испарение с внутрибарабанным солевым отсеком.

У котлов ДЕ паропроизводительностью 16 и 25 т/ч в барабанах на расстоянии 1,5 м от задней стенки установлены перегородки, которые образуют чистый, расположенный в передней части котла, и солевой отсеки. В верхнем барабане перегородка установлена до середины парового пространства, а в нижнем – сплошная перегородка, отделяющая вторую ступень испарения от первой. Опускная система первой ступени испарения состоит из последних по ходу газов рядов труб конвективного пучка. Во вторую ступень испарения выделены первые по ходу топочных газов ряды труб конвективного пучка. Опускная система контура солевого отсека состоит из трех не обогреваемых труб диаметром 159 × 4,5 мм, по которым вода из верхнего барабана опускается в нижний. Отсеки ступенчатого испарения сообщаются между собой по пару через окно над поперечной перегородкой, а по воде – через сопло, расположенное в нижней части перегородки водяного объема верхнего барабана. Это сопло выполняет роль продувки из чистого отсека в солевой.

В качестве сепарационных устройств первой ступени испарения используются установленные в верхнем барабане щитки и козырьки, направляющие пароводяную смесь из экранных труб на уровень воды. Для выравнивания скоростей пара по всей длине барабана все котлы (всех производительностей) снабжаются верхним дырчатым пароприемным потолком. На всех котлах, кроме котлов до 4 т/ч, перед пароприемным потолком установлен горизонтальный жалюзийный сепаратор. Сепарационными устройствами второй ступени испарения являются продольные щитки, направляющие движение пароводяной смеси в торец барабана к поперечной перегородке, разделяющей отсеки.

На котлах паропроизводительностью 4...10 т/ч периодическая продувка совмещается с трубой непрерывной продувки. На котлах 16 и 25 т/ч периодическая продувка производится из чистого и солевого отсеков, а непрерывная продувка осуществляется из солевого отсека верхнего барабана. Качество котловой (продувочной) воды нормируется по общему солесодержанию (сухому остатку) без учета абсолютной щелочности.

Для производства перегретого__ пара устанавливают пароперегреватель. На котлах 4...10 т/ч пароперегреватель выполнен змеевиковым из труб диаметром 32 × 3 мм, а на котлах 16 и 25 т/ч – двухрядным из труб 51 × 2,5 мм. В качестве

хвостовых поверхностей нагрева применяются стандартные чугунные водяные экономайзеры ЭП 2.

Обмуровка боковых стен, общей толщиной 100 мм, выполнена натрубной и состоит из шамотобетона (25 мм) по сетке и изоляционных (асбестовермикулитовых) плит. Обмуровка фронтальной и задней стен, общей толщиной 100 мм, состоит из шамотобетона (65 мм) и изоляционных плит; для котлов производительностью 16 и 25 т/ч толщина теплоизоляционных плит 256...300 мм. Обмуровка котла снаружи покрывается металлической листовой обшивкой для уменьшения присосов воздуха в газовый тракт.

Котлы оборудованы стационарными обдувочными аппаратами, расположенными с левой стороны конвективного пучка. Обдувочная труба, с целью повышения надежности работы, выполняется из жаропрочной стали. Вращение трубы для обдувки производится вручную при помощи шкива и цепи. Для обдувки труб котла используется сухой насыщенный или перегретый пар с давлением не менее 0,7 МПа. Котлы оборудованы индивидуальным дутьевым вентилятором и дымососом.

Каждый котел ДЕ снабжен согласно правилам котлонадзора:

- двумя пружинными предохранительными клапанами, из которых один является контрольным; на котлах без пароперегревателя оба клапана устанавливаются на верхнем барабане (и любой может быть выбран как контрольный); на котлах с пароперегревателем контрольным служит клапан на выходном коллекторе пароперегревателя;
- двумя водоуказательными приборами;
- необходимым количеством термометров, манометров, запорной, дренажной и сливной арматуры;
- приборами регулирования и безопасности.

Газовоздушный тракт. Топливо и воздух подаются в горелки 16 топки, где образуется факел горения. Теплота от топочных газов в топке, за счет радиационного и конвективного теплообмена, передается всем экраным трубам (радиационным поверхностям нагрева), где эта теплота за счет теплопроводности металлической стенки труб и конвективного теплообмена от труб передается воде, циркулирующей по экранам.

Затем топочные газы тремя потоками проходят через два ряда труб направляющего экрана 15, откуда с температурой 980...1060 °С выходят из топки и через окно переходят в первый газоход 3, где передают теплоту конвективному пучку труб. С температурой около 650 °С топочные газы огибают металлическую перегородку 5, входят во второй газоход 4 кипяточного пучка труб и с температурой около 270...370 °С выходят из котла и направляются в водяной экономайзер.

В котлах 16 и 25 т/ч топочные газы идут по всему сечению общего газохода к фронту котла, а затем по газовому коробу, размещенному над топочной камерой, направляются в водяной экономайзер,

Основные контуры естественной циркуляции котлов ДЕ-10-14 ГМ. После умягчения и деаэрации (из деаэратора и водяного экономайзера) по двум трубопроводам питательной линии питательная вода подводится в водный объем верхнего барабана 1, где смешивается с котловой водой. В водном объеме верхнего барабана находится и труба ввода фосфатов, а паровом объеме – сепарационные устройства.

В котле имеются пять контуров естественной циркуляции.

- 1-й контур (по кипяточным трубам). Котловая вода из верхнего барабана 1 опускается в нижний барабан 2 по кипяточным трубам 4 конвективного пучка, расположенным во втором газоходе – в области более низких температур топочных газов. Образующаяся пароводяная смесь (ПВС) поднимается в верхний барабан по трубам газоплотного экрана 6 и кипяточным трубам 3, расположенным в первом газоходе – в области более высоких температур топочных газов.

- 2-й контур (по фронтальному топочному экрану) – котловая вода из нижнего барабана поднимается по четырем трубам 14 вверх и в виде ПВС поступает в верхний барабан.

- 3-й контур (по подовому, правому боковому и потолочному экрану) – котловая вода из нижнего барабана заполняет все трубы и в виде ПВС поступает в верхний барабан.

- 4-й контур (по заднему топочному экрану) – котловая вода из нижнего барабана поступает в нижний коллектор 11 экрана, распределяется по экраным трубам, а образующаяся в них ПВС поднимается в верхний коллектор 12. За счет расслоения потока в верхнем коллекторе 12 пар идет в верхний барабан, а

отделившаяся из ПВС вода опускается в нижний коллектор 11 по опускной необогреваемой трубе 13.

- 5-й контур (по трубам направляющего экрана) – котловая вода из нижнего барабана заполняет все двенадцать труб 15, а образующаяся ПВС поднимается в верхний барабан.

Полученный влажный насыщенный пар в верхнем барабане проходит паросепарационные устройства, в результате чего его влажность уменьшается и образуется сухой насыщенный пар, который по паропроводу идет к потребителю или в пароперегреватель, если потребителю нужен перегретый пар.

Основные контуры естественной циркуляции котлов ДЕ-25-14 ГМ. Питательная вода подается в водный объем чистого отсека верхнего барабана, где смешивается с котловой водой. В котле шесть контуров естественной циркуляции: три в чистом и три в солевом отсеке:

- **Чистый отсек, первая ступень испарения.**

1-й контур (по кипяtilьным трубам чистого отсека). Котловая вода из верхнего барабана опускается в нижний барабан, по кипяtilьным трубам расположенным ближе к фронту котла – в области более низких температур топочных газов, а по кипяtilьным трубам, расположенным ближе к перегородке – в области более высоких температур, вода и пароводяная смесь (ПВС) поднимаются в верхний барабан.

2-й контур (по фронтальному экрану) – котловая вода из нижнего барабана по четырем трубам поднимается вверх и в виде ПВС поступает в верхний барабан.

3-й контур (по подовому, правому боковому и потолочному экрану, расположенным до перегородки) – котловая вода из нижнего барабана заполняет трубы и в виде ПВС поступает в верхний барабан.

- **Солевой отсек, вторая ступень испарения.**

4-й контур (по кипяtilьным трубам солевого отсека) – котловая вода из верхнего барабана по трем опускным необогреваемым трубам идет в нижний барабан, а по кипяtilьным трубам, расположенным за перегородкой, образующаяся ПВС поднимается в верхний барабан.

5-й контур (по заднему топочному экрану) – котловая вода из нижнего барабана поступает в нижний коллектор экрана, распределяется по экранным

трубам, а образующаяся в них ПВС поднимается в верхний коллектор. За счет расслоения потока в верхнем коллекторе пар идет в верхний барабан, а отделившаяся из ПВС вода опускается в нижний коллектор по опускной необогреваемой трубе.

6-й контур (по подовому, правому боковому и потолочному экрану, расположенным за перегородкой) – котловая вода из нижнего барабана заполняет трубы и в виде ПВС поступает в верхний барабан.

Влажно-насыщенный пар в верхнем барабане проходит паросепарационные устройства, а полученный сухой насыщенный пар отбирается из чистого отсека и по паропроводу идет к потребителю.

7.4. Устройство и работа теплогенератора БГМ-35

Газомазутные котлы БГМ конструкции котельного завода г. Белгорода предназначены для выработки сухого насыщенного или перегретого пара до 440 °С, с производительностью 35 т/ч и абсолютным давлением 4 МПа (40 кг/см²). Котел экранного типа имеет П-образную компоновку с экранированной топкой настолько, что в ней передается вся теплота, необходимая для получения пара, в результате чего отпадает необходимость в установке конвективной поверхности нагрева, а вместо кипяtilьных труб установлены хвостовые поверхности: пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухоподогреватель. Котел имеет барабан, каркас, фундамент, обмуровку, необходимую арматуру и гарнитуру. Размеры габаритные: верхняя отметка – 15,8 м, ширина по осям колонн – 5,31 м, глубина – 12,28 м. Основные характеристики теплогенератора БГМ-35 приведены в табл. 8.23 [5]. Принципиальная схема унифицированного котла БГМ-35 приведена на рис. 7.8.

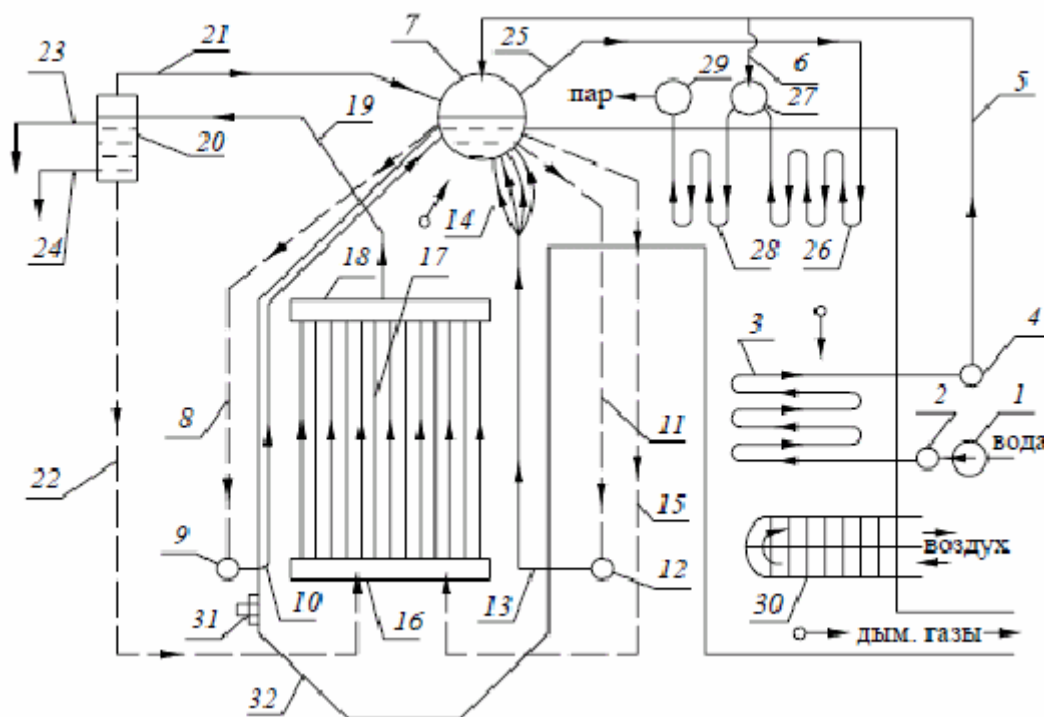


Рис. 7.8. Принципиальная схема теплогенератора БГМ-35:

1 – питательный насос; 2, 4 – коллекторы водяного экономайзера; 3 – водяной экономайзер; 5 – питательные линии; 6 – питательная линия к пароохладителю; 7 – барабан котла; 8, 11, 15, 22 – опускные трубы; 9 – нижний коллектор фронтального экрана; 10 – фронтальный экран; 12 – нижний коллектор заднего экрана; 13 – задний топочный экран; 14 – фестон; 16, 18 – нижний и верхний коллекторы левого бокового экрана; 17 – боковой экран; 19 – пароотводящие трубы; 20 – выносной циклон; 21 – пароотводящие линии; 23, 24 – непрерывная и периодическая продувка; 25 – паропровод; 26, 28 – пароперегреватель; 27 – пароохладитель; 29 – сборный коллектор перегретого пара; 30 – воздухоподогреватель; 31 – горелки; 32 – обмуровка

В котле БГМ-35 двухступенчатая схема испарения. К первой ступени испарения (чистый отсек) относят передний 10 и задний 13 экраны топки. Трубы переднего экрана внизу сварены в нижний коллектор 9, а вверху образуют потолочный экран и концы труб потолочного экрана развальцованы в барабан.

Трубы заднего экрана внизу сварены в нижний коллектор 12, а вверху, в зоне прохода топочных газов, разведены в четырехрядный фестон 14 и развальцованы в барабан.

Кроме того, фронтальный коллектор 9 соединен с верхним барабаном четырьмя опускными трубами 8, расположенными снаружи обмуровки, а нижний

коллектор 12 заднего топочного экрана соединен с верхним барабаном шестью опускными трубами 11, также расположенными снаружи обмуровки. Поперечный фронтальной коллектор 9 расположен над горелками 31.

Ко второй ступени испарения (солевой отсек) отнесены два боковых экрана – левый 17 и правый, выполненный аналогично левому. Трубы боковых экранов сварены в нижний 16 и верхний 18 коллекторы. Кроме того, нижние коллекторы боковых экранов соединены с верхним барабаном двумя опускными трубами 15, расположенными снаружи обмуровки. Левый и правый боковые экраны имеют в отдельности выносной циклон 20 и соединены между собой тремя паропроводящими трубами 19. Все экраны в топке выполнены из труб 60 × 3 мм.

Газовоздушный тракт. Воздух дутьевым вентилятором нагнетается в трубчатый двухступенчатый воздухоподогреватель 30, где нагревается примерно до 170 °С и подается в горелки 31, установленные на фронте котла в количестве пяти штук: три вверху и две внизу (причем нижние – растопочные). Топочные газы отдают теплоту в топке всем экранным поверхностям нагрева, а затем, пройдя фестон 14, трубки пароперегревателя 28 и 26, водяной экономайзер 3, воздухоподогреватель 30, с температурой 158.. 180 °С дымососом удаляются в атмосферу через дымовую трубу.

Основные контуры естественной циркуляции. Питательная вода из бака деаэрата питательным насосом 1 подается в коллектор 2, а затем в трубы 3 кипящего водяного экономайзера, где вода нагревается примерно до 145 °С и пройдя сборный коллектор 4, по трем питательным линиям 5 подается в барабан котла 7, где смешивается с котловой водой. Одна (из трех) питательная труба 6 подводится к пароохладителю 27, установленному в рассечку пароперегревателя, для регулирования температуры перегретого пара.

Чистый отсек. Часть котловой воды из барабана по четырем опускным трубам 8 подводится в нижний коллектор 9, распределяется по трубам переднего топочного экрана 10, который экранирует фронт и потолок топки, а образующаяся пароводяная смесь (ПВС) по этому экрану идет в барабан.

Часть котловой воды из барабана по шести опускным трубам 11 подводится в нижний коллектор 12, распределяется по трубам заднего топочного экрана 13, а образующаяся ПВС по этому экрану и фестону 14 идет в барабан.

Солевой отсек. Часть котловой воды из барабана по двум опускным трубам 15 подводится в нижний коллектор 16, распределяется по трубам левого бокового топочного экрана 17, а образующаяся ПВС по этому экрану поднимается

в верхний коллектор 18, откуда по трем паропроводящим трубам 19 идет в выносной циклон 20. В циклоне происходит разделение пара и воды: пар по двум паропроводящим линиям 21 идет в барабан 7, а вода из циклона 20 по трем опускным трубам 22 возвращается в нижний коллектор 16 бокового экрана. Аналогично работает и правый боковой топочный экран. Непрерывная продувка 23 производится только из двух выносных циклонов, а периодическая 24 – из нижних частей двух циклонов и из всех (четырех) нижних коллекторов котла.

Пар и пароводяная смесь из всех контуров циркуляции поднимается в барабан, где в паросепарационных устройствах отделяется пар, а вода смешивается с котловой водой и процесс циркуляций повторяется. После паросепарационных устройств полученный сухой насыщенный пар по паропроводу 25 направляется в пароперегреватель для получения перегретого пара. Сухой насыщенный пар вначале проходит дальнюю часть пароперегревателя 26, где вначале противотоком, а затем прямотоком (на схеме не показано) нагревается и поступает в пароохладитель 27 поверхностного типа. Из пароохладителя, после регулирования температуры, пар идет в ближнюю часть 28 пароперегревателя, где после движения прямотоком и противотоком (на схеме не показано) нагревается топочными газами и поступает в сборный коллектор перегретого пара 29, откуда идет к потребителю. На сборном коллекторе установлены предохранительный контрольный клапан, термометр, манометр, вентиль для продувки паропровода во время растопки котла и вентиль, соединяющий с главным паропроводом котельной.

Котлы БГМ-35 выпускаются и без циклонов, и у них нет верхних боковых коллекторов, а трубы боковых экранов развальцованы в барабан котла. Но в барабане котла имеются две поперечные перегородки с переливными трубами (соплами) в водном объеме, которые делят пространство котла на три отсека: один чистый и два солевых.

Очистка пароперегревателя осуществляется стационарными паровыми обдувочными аппаратами.

Котел также оборудован устройством для очистки поверхностей нагрева водяного экономайзера и воздухоподогревателя дробью. Обмуровка котла 32 облегченная, закрепленная на каркасе, со стальной обшивкой.

7.5. Устройство и работа котла Е-1-9

Паровые двухбарабанные вертикально-водотрубные котлы серии Е-1-9, с естественной циркуляцией (Е), предназначены для сжигания газа (Е-1-9Г) или мазута (Е-1-9М) и выработки сухого насыщенного пара производительностью 1 т/ч, давлением 0,9 МПа или 9 кгс/см². Изготовители – «Бийскэнергомаш» и Монастырищенский машиностроительный завод. Основные характеристики котлов серии Е-1-9 и их комплектация приведены в табл. 8.13 [5]. Принципиальная схема устройства и работы теплогенератора Е-1-9Г приведена на рис. 7.9.

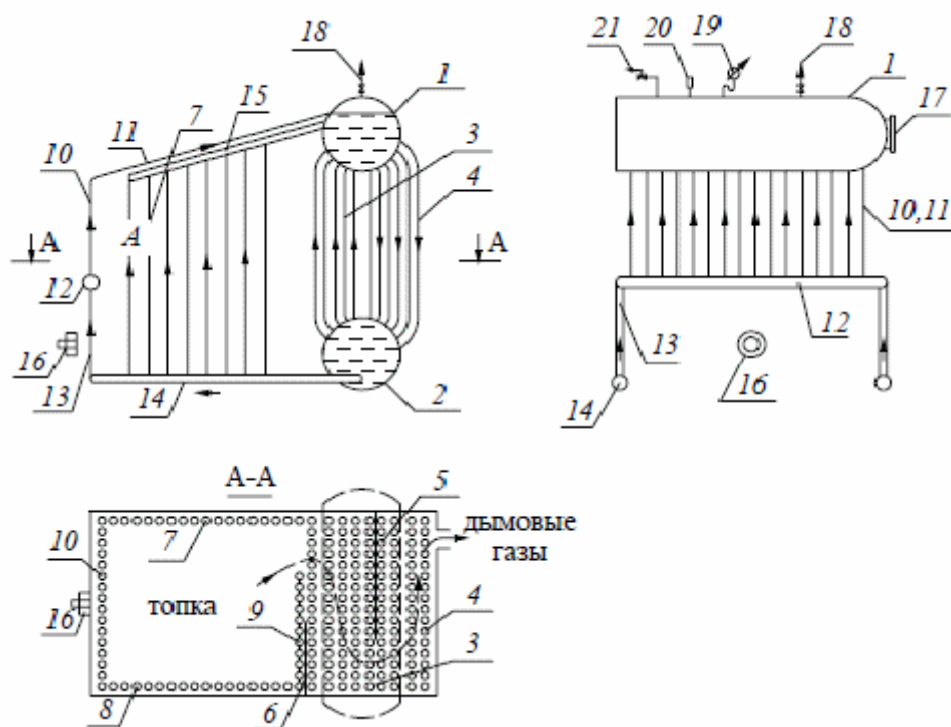


Рис. 7.9. Принципиальная схема теплогенератора Е-1-9Г:

1, 2 – верхний и нижний барабаны; 3, 4 – кипящие трубы первого и второго газодов; 5, 6 – металлические перегородки; 7, 8 – левый и правый боковые топочные экраны; 9 – задний топочный экран; 10, 11 – фронтальной и потолочный экраны; 12 – фронтальной коллектор; 13 – перепускные трубы; 14, 15 – нижний и верхний коллекторы бокового экрана; 16 – горелка; 17 – водоуказательное стекло; 18 – паропровод; 19 – манометр; 20 – термометр; 21 – предохранительный клапан

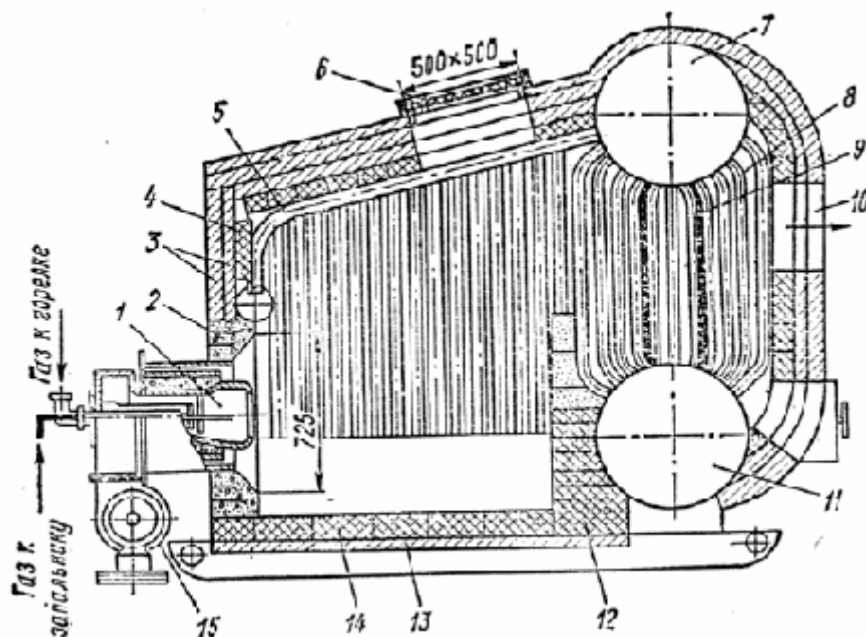


Рис. 7.10. Продольный разрез теплогенератора Е-1-9Г:

1 – горелка Г-1; 2 – амбразура для установки горелки; 3, 4 – обмуровка (совелит и огнеупорный кирпич); 5 – потолочный экран; 6 – взрывной предохранительный клапан; 7 – верхний барабан; 8 – кипяtilьные трубы конвективной поверхности нагрева; 9 – перегородка из жаростойкой стали между первым и вторым газоходами; 10 – отверстие для выхода топочных газов; 11 – нижний барабан; 12 – стенка, отделяющая топку от конвективной части; 13, 14 – под топки (диатомовый и огнеупорный кирпич);

15 – вентилятор среднего давления

Котел состоит из верхнего 1 и нижнего 2 барабанов одинаковой длины, диаметром 650×8 мм, которые размещены на одной вертикальной оси. Барабаны соединены между собой изогнутыми кипяtilьными трубами (одиннадцать рядов по четырнадцать штук), образующими соответственно первый 3 и второй 4 газоходы конвективной поверхности нагрева. Газоходы разделены между собой стальной перегородкой 5 по всей высоте газохода котла с окном (от фронта котла) справа. Трубы кипяtilьного пучка отделены от топки вертикальной перегородкой 6 из жаростойкой стали по всей высоте топки, которая не доходит до левой стенки котла, оставляя окно слева для прохода топочных газов из топки в газоход.

Вся трубная система собрана на одной раме – сварном металлическом каркасе. Часть нижнего барабана крепится неподвижно, а остальные части котла

имеют скользящие опоры и реперы, которые контролируют удлинения элементов при температурном расширении. Объем воды в котле – 1,1 м³. Габаритные размеры: длина – 4,16 м, ширина – 2,4 м, высота – 2,8 м.

Топка сформирована экранными трубами, которые образуют соответственно: 7 – левый боковой экран; 8 – правый боковой экран (аналогично левому); 9 – задний экран топки; 10, 11 – передний или фронтальной и потолочный экраны. Все трубы в радиационной и конвективной поверхности нагрева имеют наружный диаметр 51 × 2,5 мм, что обеспечивает лучшую естественную циркуляцию в контурах котла.

Экранные трубы заднего топочного экрана 9 развальцованы в верхнем и нижнем барабанах. Экранные трубы фронтальной и потолочного экрана 10 и 11 выполнены из наклонных изогнутых труб, которые своими верхними концами развальцованы в верхнем барабане 1, а нижними концами приварены к нижнему поперечному фронтальному коллектору 12, расположенному на фронтальной стене котла. Фронтальной коллектор 12 по углам топки соединен двумя перепускными трубами 13 с двумя нижними коллекторами 14 боковых экранов для обеспечения необходимой циркуляции воды в котле.

Экранные трубы заднего топочного экрана 9 развальцованы в верхнем и нижнем барабанах. Экранные трубы фронтальной и потолочного экрана 10 и 11 выполнены из наклонных изогнутых труб, которые своими верхними концами развальцованы в верхнем барабане 1, а нижними концами приварены к нижнему поперечному фронтальному коллектору 12, расположенному на фронтальной стене котла. Фронтальной коллектор 12 по углам топки соединен двумя перепускными трубами 13 с двумя нижними коллекторами 14 боковых экранов для обеспечения необходимой циркуляции воды в котле.

Левый боковой экран топки выполнен из вертикальных труб 7, приваренных к нижнему горизонтальному коллектору 14 и верхнему наклонному коллектору 15. Правый боковой экран топки выполнен аналогично левому. Нижние коллекторы боковых экранов топки вварены в нижний барабан, а верхние коллекторы – в верхний барабан. Все коллекторы имеют диаметр 159 × 6 мм. Верхние коллекторы экранов имеют лючки для очистки труб и осмотра коллектора. Горелка 16 диффузионного типа Г-1 расположена под фронтальным коллектором 12.

Обмуровка фронтальной, задней и боковых стенок котла выполнена трехслойной, а потолочного экрана – из четырех слоев, причем в первом слое применяется огнеупорный кирпич, все остальные слои состоят из изоляционных

плит. Нижняя часть в топке – под – выкладывается огнеупорным (диатомовым) кирпичом. Обмуровка котла снаружи покрывается металлической листовой обшивкой для уменьшения присосов воздуха в газовый тракт. Обмуровка, изоляция и металлическая обшивка котла закрепляются на каркасе.

Газовоздушный тракт. Топливо и воздух подаются в горелку 16, а в топке образуется факел горения. Теплота от топочных газов в топке, за счет радиационного и конвективного теплообмена, передается всем экранным трубам (радиационным поверхностям нагрева), где эта теплота передается воде, циркулирующей по экранам. Топочные газы выходят из топки и через окно слева в металлической перегородке 6 переходят в первый газоход 3, где передают теплоту конвективному пучку труб, затем огибая перегородку 5 с правой стороны и поворотом на 180°, входят во второй газоход 4 кипяточного пучка труб и с температурой примерно 250 °С через заднюю стенку выходят из котла и направляются к дымососу, а затем в дымовую трубу.

Основные контуры естественной циркуляции. Питательная вода после умягчения по трубопроводам питательной линии, питательным насосом подается в водный объем верхнего барабана 1, где смешивается с котловой водой. На питательной линии установлен обратный клапан и вентиль.

В котле имеется четыре контура естественной циркуляции.

- 1-й контур (по кипяточным трубам). Котловая вода из верхнего барабана 1 опускается в нижний барабан 2 по кипяточным трубам 4 конвективного пучка, расположенным во втором газоходе – в области более низких температур топочных газов. Образующаяся пароводяная смесь (ПВС) поднимается в верхний барабан по трубам заднего экрана топки 6 и кипяточным трубам 3, расположенным в первом газоходе – в области более высоких температур топочных газов.

- 2-й контур (по левому боковому топочному экрану) – котловая вода из нижнего барабана подводится к нижнему коллектору 14, распределяется по нему, а образующаяся ПВС по трубам 7 левого бокового экрана, расположенным в топке, поднимается в верхний коллектор 15, откуда в верхний барабан.

- 3-й контур (по правому боковому экрану топки 8) – осуществляется аналогично левому боковому топочному экрану.

- 4-й контур (по фронтальному и потолочному экрану топки) – котловая вода из нижних коллекторов боковых экранов по перепускным трубам 13 подводится к

фронтальному коллектору 12, распределяется по нему, а образующаяся ПВС по трубам фронтального 10 и потолочного 11 экрана идет в верхний барабан.

Вода и пароводяная смесь (ПВС) из всех контуров циркуляции поднимается в верхний барабан, где в паросепарационных устройствах отделяется пар, а вода смешивается с котловой водой и процесс циркуляций повторяется. После паросепарационных устройств полученный сухой насыщенный пар по паропроводу 18 идет к потребителю.

Котел снабжен двумя пружинными предохранительными клапанами 21 и соответствующей арматурой: термометр 20, манометр 19, водоуказательное стекло 17. На задней стенке котла установлен обдувочный аппарат, а на обмуровке, в верхней части топки – взрывной предохранительный клапан. В котле три точки периодической продувки: из нижнего барабана и двух нижних коллекторов боковых экранов.

Котел поставляется в комплекте с автоматикой КСУ-14, КСУМ 2-П, системой питания, включая питательный насос, дымосос, горелочным устройством и пр. В случае необходимости завод предоставляет водоумягчительную установку и дымовую трубу.

Аналогичную конструкцию имеют паровые котлы ПКН, предназначенные для обеспечения паром и горячей водой буровых установок и объектов нефтехимической промышленности.