

## ВАРИАНТЫ КОМПОНОВКИ РАДИАЦИОННОЙ ЧАСТИ КОНДЕНСАЦИОННОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА\*

artwo0248@mail.ru

Рассмотрены различные варианты расположения радиационной части конденсационного водогрейного котла, а также компоновки ее поверхностей нагрева. Для наиболее предпочтительного варианта компоновки предложено размещать U-образные дымогарные трубы в трубной решетке не радиально, а под некоторым углом к радиусу окружности осей дымогарных труб. Произведен вывод формулы для определения максимального угла поворота дымогарных труб.

**Ключевые слова:** топливосбережение, конденсационный водогрейный котел, схема движения газов, угол поворота труб.

В настоящее время в Российской Федерации наблюдаются тенденции к увеличению числа автономных котельных малой тепловой мощности для теплоснабжения потребителей различного назначения. В качестве топлива в таких котельных используется природный газ. По сравнению с централизованными системами, в которых источником тепловой энергии является квартальная или районная котельная большой мощности, системы с автономными котельными выгодно отличаются отсутствием протяженных тепловых сетей, более быстрым и дешевым регулированием отпуска тепла котельной, наиболее адекватным, кроме того, потребностям абонентов, а также значительным снижением выбросов в атмосферу загрязняющих веществ с уходящими газами [1]–[3].

Использование в автономных котельных теплогенераторов с глубоким охлаждением продуктов горения топлива, таких, как разработанный в БГТУ им. В.Г. Шухова конденсационный водогрейный котел (КВК), позволит дополнительно экономить до 15 % природного газа на

выработку тепловой энергии за счет использования скрытой теплоты конденсации содержащихся в продуктах сгорания водяных паров [1], [2].

Основными узлами КВК (рис. 1) являются высокотемпературная радиационная часть (РЧ), адиабатная часть (АЧ) и контактно-рекуперативная часть (КРЧ) [4]–[6]. Радиационная часть конструируется по аналогии с современными жаротрубно-дымогарными водогрейными котлами. Основными ее элементами являются жаровая труба и конвективный пучок дымогарных труб. В РЧ производится сжигание природного газа в жаровой трубе и нагрев воды на нужды отопления. В АЧ продукты сгорания, выходящие из радиационной части, адиабатно охлаждаются до температуры мокрого термометра. В контактно-рекуперативной части происходит глубокое охлаждение дымовых газов до температуры порядка 35 °С и конденсация большей части содержащихся в них водяных паров. Отбираемая при этом теплота идет на нагрев воды для горячего водоснабжения, протекающей по трубам трубного пучка КРЧ.

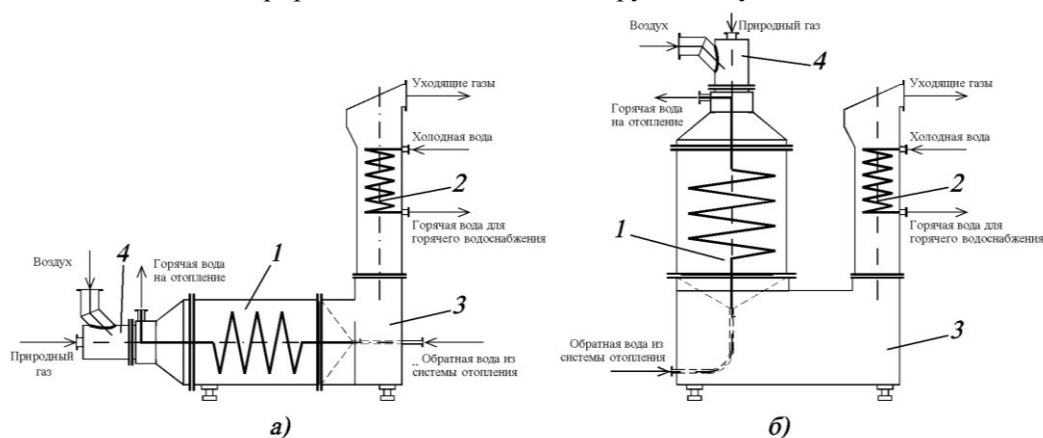


Рис. 1. Варианты расположения радиационной части конденсационного водогрейного котла: а – горизонтальное расположение; б – вертикальное расположение; 1 – радиационная часть (РЧ); 2 – контактно-рекуперативная часть (КРЧ); 3 – адиабатная часть (АЧ); 4 – газовая горелка

Возможны два основных варианта расположения радиационной части КВК: горизонтальное и вертикальное (рис. 1). Преимуществом

горизонтального расположения РЧ является возможность применения любых промышленных газовых горелок, в то время как в случае

вертикального расположения РЧ можно использовать лишь ограниченный спектр газогорелочных устройств, т.к. большинство выпускаемых горелок не допускает рабочего положения “горелка над факелом” [4]. В то же время в процессе работы топков горизонтальной компоновки неизбежно происходит деформация факела, т.е. факел по длине жаровой трубы “задирается” вверх. При этом наблюдается неравномерный нагрев по сечению жаровой трубы и трубной решетки, следствием чего является неравномерное температурное удлинение образующих жаровой трубы и, соответственно, возрастание температурных напряжений в ней и в РЧ в целом. Это обстоятельство может привести к серьезным авариям или даже к полному выходу котла из строя. Топкам котлов с вертикальным расположением РЧ указанный недостаток не присущ. Поэтому даже при необходимости использования специальных горелочных устройств наиболее предпочтительным представляется вертикальное расположение РЧ.

Для попадания продуктов сгорания из радиационной части в адиабатную необходима организация трехходовой схемы их движения. Это может быть осуществлено несколькими способами. При первом способе дымовые газы выходят из жаровой трубы снизу в поворотную камеру, из которой они попадают в трубы второго газохода. По этим трубам продукты сгорания поднимаются вверх, где также разворачиваются на  $180^\circ$ , попадают в трубы третьего газохода и, пройдя по ним, отводятся в адиабатную часть. При втором способе дымовые газы, достигнув дна топки, поворачивают на  $180^\circ$  и по периферии жаровой трубы поднимаются вверх. Здесь в полости между водоохлаждаемой крышкой жаровой трубы и верхней трубной доской продукты сгорания поворачивают на  $180^\circ$  и поступают в одноходовой конвективный трубный пучок, выходя из которого попадают в адиабатную часть [5].

По сравнению со второй схемой движения газов первая схема характеризуется увеличением габаритов и металлоемкости радиационной части. Кроме того, в обоих случаях необходимо предусматривать компенсирующие устройства во избежание разрушения РЧ вследствие неравномерности температурных удлинений жаровой и дымогарных труб, а также корпуса радиационной части. Самокомпенсация температурных удлинений может быть достигнута при использовании U-образных дымогарных труб (рис. 2). В этом случае продукты сгорания, покидая жаровую трубу снизу, поворачивают в поворотной камере на  $180^\circ$ , поступают в U-образные дымогарные трубы и, пройдя их, попадают в адиабатную часть [6].

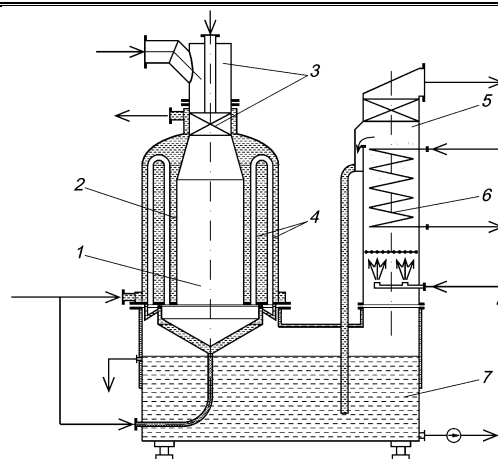


Рис. 2. Схема конденсационного водогрейного котла: 1 – радиационная часть (РЧ); 2 – жаровая труба; 3 – горелка; 4 – дымогарные трубы; 5 – контактно-рекуперативная часть (КРЧ); 6 – трубный пучок КРЧ; 7 – адиабатная часть (АЧ)

Эта схема обусловит некоторое увеличение диаметра радиационной части. Для уменьшения этого диаметра может быть рекомендовано располагать U-образные дымогарные трубы не радиально, а с поворотом на некоторый угол  $\alpha$  относительно радиуса, пересекающего ось ближнего к центру РЧ конца трубы (рис. 3). При конструировании радиационной части КВК полезно знать максимально возможную величину этого угла поворота  $\alpha_{\max}$  при известных:

- наружном диаметре дымогарных труб  $d$ ,
- относительном шаге дымогарных труб  $\sigma$  (отношении межцентрового расстояния соседних дымогарных труб  $\sigma d$  к их наружному диаметру),
- диаметре окружности, пересекающей оси концов дымогарных труб, расположенных ближе к центру радиационной части  $D$ .

Для определения значения  $\alpha_{\max}$  необходимо найти уравнение прямой, являющейся касательной к двум окружностям, ограничивающим поперечные сечения расположенных ближе к центру РЧ концов соседних U-образных дымогарных труб (рис. 4).

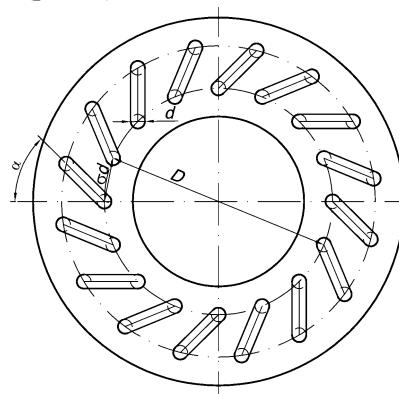


Рис. 3. Размещение U-образных дымогарных труб в радиационной части КВК

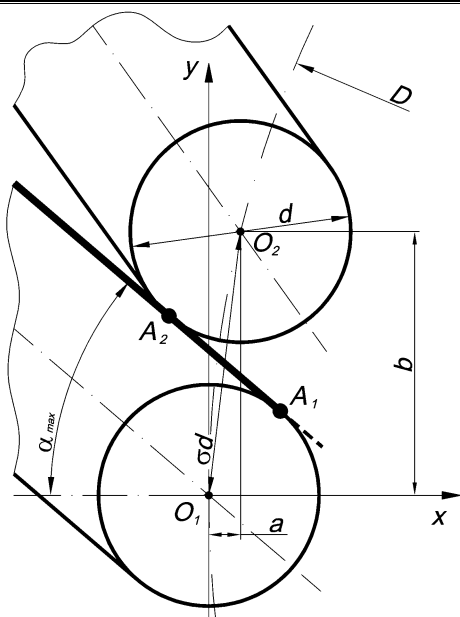


Рис. 4. К определению максимально возможного угла поворота дымогарных труб

Известно, что уравнение касательной к графику любой функции  $y = f(x)$  имеет вид

$$y = f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0), \tag{1}$$

где  $x_0$  – абсцисса точки графика (в данном случае окружности), через которую проходит касательная.

Как видно из рис. 4, прямая, уравнение которой необходимо найти, проходит через точку  $A_2$ , лежащую на нижней полуокружности окружности  $O_2$ , а также через точку  $A_1$ , лежащую на верхней полуокружности окружности  $O_1$ . Для этого случая уравнения интересующих нас полуокружностей запишем в следующем виде, соответственно, для  $O_1$  и  $O_2$

$$y = +\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - x^2}, \quad y = b - \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - (x - a)^2},$$

где  $a$  и  $b$  – соответственно, абсцисса и ордината центра окружности  $O_2$  относительно центра окружности  $O_1$  (см. рис. 4).

Таким образом, по формуле (1) определяются уравнения касательной к окружности  $O_1$ , проходящей через точку  $A_1$ , и касательной к окружности  $O_2$ , проходящей через точку  $A_2$ , соответственно

$$y = -x \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\max} + \frac{d}{2 \cos \alpha_{\max}}; \tag{2}$$

$$y = -x \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\max} - \frac{d}{2 \cos \alpha_{\max}} + \sigma d \left\{ \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma d}{D}\right)^2} + \frac{\sigma d}{D} \operatorname{tg} \alpha_{\max} \right\}. \tag{3}$$

Так как уравнения (2) и (3) являются уравнением одной и той же прямой, то, приравняв их правые части и решив получившееся уравнение, можно определить угол  $\alpha_{\max}$ . Этот угол будет вычисляться по формуле

$$\alpha_{\max} = \arcsin \frac{\sigma d + \sqrt{\left(D^2 - (\sigma d)^2\right) \left(\sigma^2 - 1\right)}}{\sigma D}. \tag{4}$$

Формула (4) справедлива для случая, когда используются дымогарные трубы одного диаметра, одинаковы их высота и радиусгиба.

Исходя из вышеописанного, наиболее целесообразным с позиций надежности работы теплогенератора является вариант вертикального расположения радиационной части КВК и компоновки ее поверхностей нагрева с одноходовой жаровой трубой и U-образными дымогарными трубами. При этом размещение каждой из дымогарных труб по отношению к радиусу, проходящему через центр поперечного сечения ближнего к центру РЧ их вертикального участка (например, через точку  $O_1$ , см. рис. 4) под углом  $\alpha$  (причем  $0 < \alpha < \alpha_{\max}$ ) позволит сохранить компактность исполнения радиационной части.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, ГК № 16.516.11.6146 от 07 октября 2011 года.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кулешов, М.И. Перспективы существенного снижения топливопотребления в теплофикации / М.И. Кулешов, А.В. Губарев, М.Э. Чифранов // Промышленная энергетика. – 2005. – № 12. – С. 28–30.
2. Кожевников, В.П. О преимуществах перехода от централизованного к индивидуальному теплоснабжению жилых, общественных и промышленных зданий / В.П. Кожевников, М.И. Кулешов, А.В. Губарев // Промышленная энергетика. – 2009. – № 5. – С. 7–9.
3. Нурмеев, Б.К. Сравнительная оценка загрязнения атмосферы при сжигании органического топлива в тепловых источниках / Б.К. Нурмеев // Промышленная энергетика. – 2004. – № 7. – С. 51–54.
4. Пат. 2411420 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 24 Н 1/00. Конденсационный водогрейный котел / Кулешов М.И., Герасимов М.Д., Герасимов Д.М.; заявитель и патентообладатель Герасимов Д.М. – № 2009130944/06; заявл. 13.08.09; опубл. 10.02.11, Бюл. № 4. – 8 с.
5. Пат. 2270405 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 24 Н 1/00, F 24 Н 1/10. Водогрейный котел Кулешова М.И. / Кулешов М.И., Губарев А.В., Лапин О.Ф., Березкин С.В.; заявитель и патентообладатель Белгор. гос. технол. ун-т. – № 2004121787/06; заявл. 15.07.04; опубл. 20.02.06, Бюл. № 5 (II ч.). – 10 с.
6. Пат. 2378582 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 24 Н 1/00. Водогрейный котел / Кулешов М.И., Кожевников В.П., Губарев А.В.; заявитель и патентообладатель Белгор. гос. технол. ун-т. – № 2008143024/06; заявл. 29.10.08; опубл. 10.01.10, Бюл. № 1. – 12 с.