

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ НА ПРИМЕРЕ КОТЛА КВГ - 4,0-115Н

**В.Ю. Игнатов\***, **А.В. Васильев\*\***

\* Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
Россия, Саратов, [v\\_ignatov@bk.ru](mailto:v_ignatov@bk.ru)

\*\* Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,  
Россия, Саратов, [pec@pecsar.ru](mailto:pec@pecsar.ru)

*Аннотация.* Проведен анализ расчета жаровой трубы и поворотной камеры котла КВГ-4,0-115Н. Получены значения температур стенки жаровой трубы и поворотной камеры, тепловые напряжения, коэффициент теплоотдачи со стороны газов и со стороны воды. Предложены меры предотвращения образования накипи.

*Ключевые слова:* эффективность, теплообмен, жаротрубный котел, жаровая труба, поворотная камера, накипь, подпиточная вода, температура стенки.

## IMPROVING EFFICIENCY FIRE-TUBE BOILERS FOR EXAMPLE OF BOILER KVG - 4,0-115H

**V. Yu. Ignatov \***, **A.V. Vasilyev \*\***

\* Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,  
Russia, Saratov, [v\\_ignatov@bk.ru](mailto:v_ignatov@bk.ru)

\*\* Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin,  
Russia, Saratov, [pec@pecsar.ru](mailto:pec@pecsar.ru)

*Annotation.* The analysis of calculation of a spherical pipe and the rotary camera of a copper of KVG-4,0-115N is carried out. Temperature of a wall of a spherical pipe and the rotary camera, thermal tension, thermolysis coefficient from gases are received and from water. Measures of prevention of scaling are offered.

*Keywords:* efficiency, heat exchange, fire-tube boiler, the flame tube, rotary camera, scum, make-up water, wall temperature.

В современных котельных тепловой мощностью до 100 МВт в основном используют жаротрубные котлы. Особенности эксплуатации жаротрубных котлов являются высокие требования к качеству подпиточной воды, которые обусловлены конструктивными особенностями и условиями теплообмена. Из опыта эксплуатации подобных котлов, за последние 5 – 10 лет, выявлены следующие закономерности, что при отсутствии качественной водоподготовки и наличия больших ненормативных потерь воды в котловом контуре, происходят частые выходы из строя данных котлов. Так, например, в Саратовском районе в поселках Сторожевка и Тепличный из-за отсутствия водоподготовки и наличия больших несанкционированных утечек воды, жаротрубные котлы выходят из строя в течение одного отопительного сезона. Перегорают трубы первого по ходу газа газотрубного пучка, трубные решетки после жаровой трубы, а в некоторых случаях происходит разрушение жаровой трубы, особенно в местах Г – образного стыка реверсивной топки, изображенного на рис. 1. Пережог труб происходит за счет интенсивного отложения накипи и шлама на верхней образующей жаровых труб и газотрубных пучков. При сверхнормативной подпитке котлов без водоподготовки за один сезон работы котел забивается на одну треть шламом. Ремонт такого котла мощностью 1 МВт ориентировочно стоит 500 тыс. руб., а стоимость нового такого же котла без горелки и автоматики 800 – 900 тыс. руб.

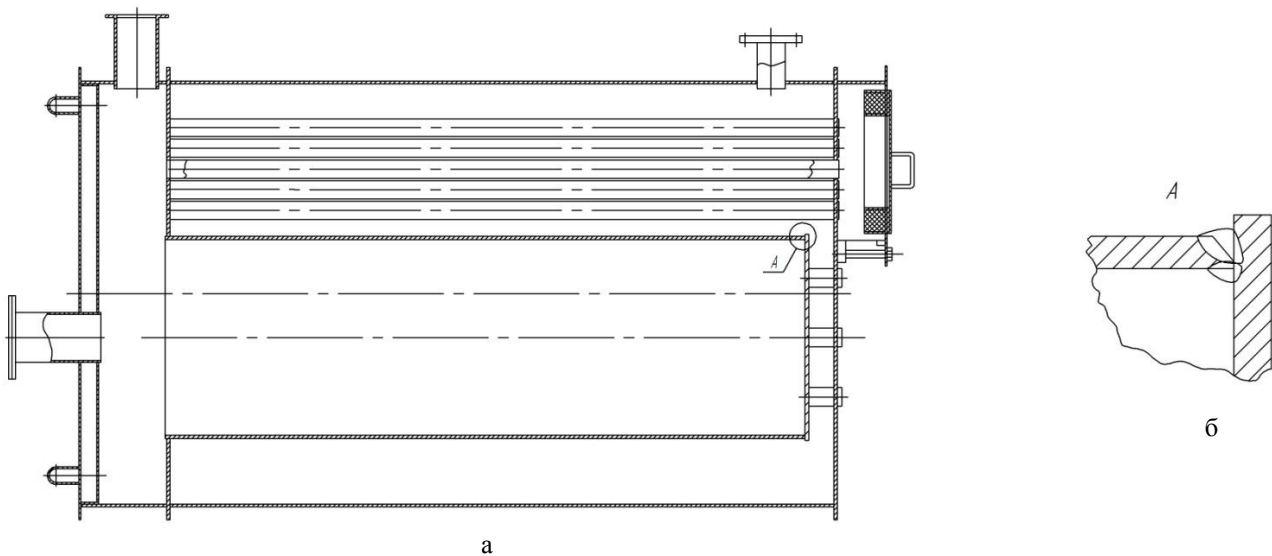


Рис. 1. Котел с реверсивной топкой (а), Г-образный шов (б)

Из тепловых расчетов жаротрубных котлов выявлено, что в жаровой трубе и поворотной камере жаротрубного котла создаются высокие тепловые напряжения  $q_f = 150 - 350 \text{ кВт/м}^2$ ,  $q_v = 200 - 400 \text{ кВт/м}^3$ . При таких тепловых напряжениях при свободном движении воды около жаровой трубы на поверхности жаровой трубы имеется интенсивное поверхностное кипение. При этом температура металла зависит от давления и при паспортном давлении воды 6 бар температура стенки со стороны воды равна составляет примерно  $170 - 172 \text{ }^\circ\text{C}$ , а со стороны газов находится на уровне  $188 - 192 \text{ }^\circ\text{C}$ , что позволяет с высокой степенью надежности использовать в качестве материала Ст. 20. Данные значения температур стенки жаровой трубы объясняются высоким коэффициентом теплоотдачи со стороны воды  $\alpha_2 = 12,84 \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{K)}$  по сравнению с не кипящей водой при свободном движении –  $\alpha_2 = 0,5 - 0,6 \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{K)}$ .

Температура стенки без наличия на ней накипи и шлама рассчитывается по формуле

$$t_{cm} = t_{cm1} + q_f \cdot \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}, \quad (1)$$

где  $t_{cm1}$  - температура стенки со стороны воды.

Однако если в воде имеют место соли жесткости, то даже при её нормативных значениях для водогрейных котлов  $700 \text{ мкг-экв/л}$ , на поверхности жаровой трубы образуется накипь. При отсутствии же водоподготовки и средней жесткости воды для Саратовского региона  $3,5 - 4,5 \text{ мг-экв/л}$ , за сезон работы котла на жаровой трубе и поворотной камере образуется накипь толщиной  $3 - 5 \text{ мм}$ . Значение температуры стенки металла с накипью на поверхности рассчитывается по формуле

$$t_{cm} = t_n + q_f \cdot \left( \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_{нак}}{\lambda_{нак}} + \frac{\delta_{мет}}{\lambda_{мет}} \right), \quad (2)$$

где  $t_n$  – температура насыщения при давлении воды в жаротрубном котле;  $\alpha_v$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к воде;  $\delta_{нак}, \delta_{мет}$  – толщина накипи и металла, соответственно;  $\lambda_{нак}, \lambda_{мет}$  – коэффициент теплопроводности накипи ( $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ) и металла, соответственно.

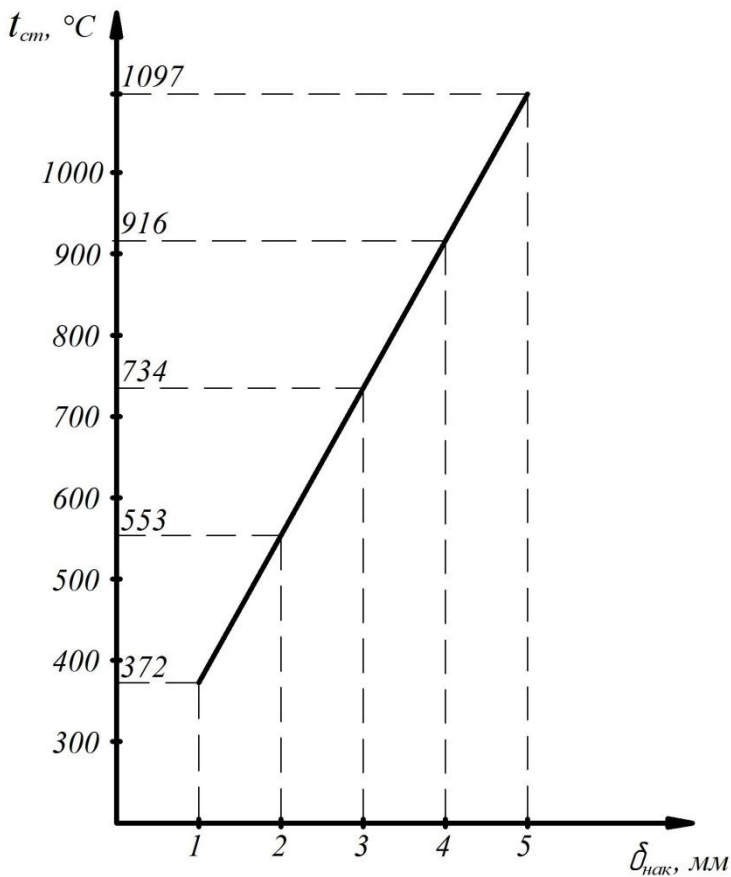


Рис. 2. График изменения температуры металла в зависимости от толщины накипи

сти жаровой трубы и поворотной камеры, либо в нижней части котла. Поэтому при значительной подпитке водогрейных котлов даже при наличии умягчения воды при помощи Na-катионирования образовавшиеся рыхлые отложения солей Na и др. смогут существенно увеличить термическое сопротивление со стороны воды, что также приведет к перегреву труб. Использование комплексонатной подготовки воды, защищает котел от образования накипи на поверхности нагрева, но при этом в котле образуются рыхлые отложения, как соединения с Ca и Mg так и с другими металлами.

На рис. 3 приведена зависимость изменения температуры стенки со стороны газов в зависимости от толщины шлама на поверхности жаровой трубы, рассчитанная по формуле

$$t_{ст} = t_n + q_f \cdot \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_{шлам}}{\lambda_{шлам}} + \frac{\delta_{мет}}{\lambda_{мет}} \right),$$

где  $\delta_{шлам}$ ,  $\lambda_{шлам}$  — толщина и коэффициент теплопроводности шлама.

При большой величине подпитки более 2 – 5% от расхода сетевой воды интенсивное шламообразование может привести к выходу котлов из строя в течение одного отопительного сезона. Расстояние от низа котла до жаровой трубы забивается шламом, через 1,5 года работы, низ трубы остается без воды перегревается и разрушается.

За счет накипи температура стенки со стороны газов значительно увеличивается. На рисунке 2 представлена зависимость изменения температуры стенки жаровой трубы от толщины накипи. Из рис. 2 видно, что при толщине накипи 1,5 – 2 мм температура стенки со стороны газов становится выше 485 °C. При таких температурах прочность металла резко снижается и даже при давлении 6 бар возможно разрушения стенки жаровой трубы. Однако в первую очередь разрушается плоские трубные решетки или места приварки жаровых труб и трубной решетки.

Необходимо отметить, что так как в жаротрубных котлах вода движется за счет свободного движения, то все рыхлые отложения, образовавшиеся в воде, оседают либо на верхней поверхности

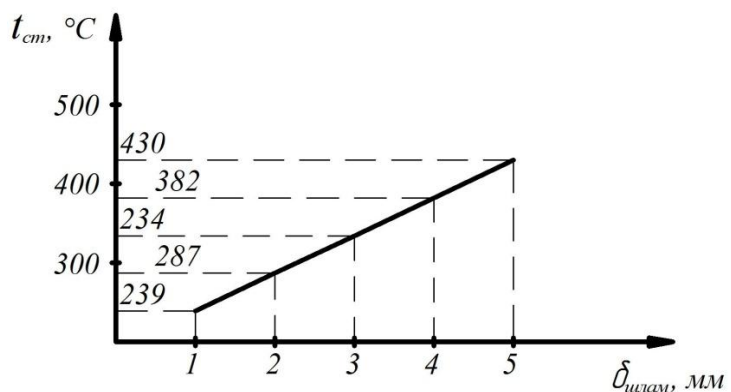


Рис. 3. График изменения температуры металла в зависимости от толщины шлама

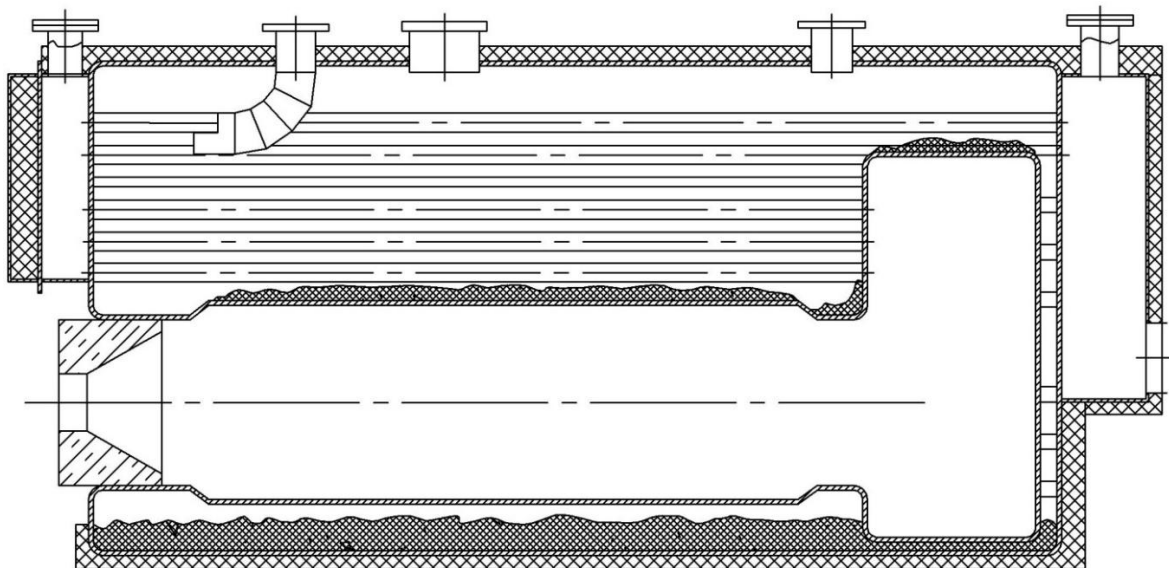


Рис. 4. Шлам, образовавшийся в котле

Интенсивный занос шламом также наблюдается сверху жаровой трубы особенно около трубной решетки. А если расстояние между трубами меньше 50 – 70 мм, то почти все трубы около жаровой трубы забиваются рыхлыми отложениями и перегорают. Особенно опасно место между жаровой трубой и первым рядом труб. Здесь минимальное расстояние должно быть не ниже 90 мм. Исходя из этого, использование комплексонатной подготовка воды для жаротрубных котлов возможно только при нормативных потерях воды и на котлах небольшой мощностью (до 1,5 МВт).

При использовании для умягчения воды Na-катионирования солесодержание в котловой воде увеличивается, относительно исходной воды и рыхлые отложения также интенсивно образуются в жаротрубных котлах. Поэтому при отсутствии обессоливания подпиточной воды, необходимо периодически осматривать состояние поверхности нагрева с водяной стороны и при необходимости очищать их от шлама при помощи водо-воздушной струи (аппараты «karcher»).

При нормативных потерях воды эту процедуру можно делать 1 раз в 1 – 2 года. Для крышных котельных, где потери воды практически отсутствуют, опыт показывает, что через 5 лет эксплуатации шлам и накипь в котле практически отсутствуют. Например, в п. Тепличный и п. Сторожевка Саратовского района из-за несанкционированного разбора сетевой воды подпитка в котельной составляют 10-15% от расхода сетевой воды и котлы выходят из строя за один отопительный сезон. Для избежания этого, необходимо либо один раз в месяц чистить котел, либо использовать закрытую систему теплоснабжения с промежуточным контуром котел-теплообменник-тепловая сеть.

Тепловую схему котельной с промежуточным контуром целесообразно использовать также при строительстве новых котельных для старых тепловых сетей. При этом теплообменник лучше всего использовать пластинчатый, где скорость теплоносителя в канале 2 – 4 м/с, и их занос рыхлыми отложениями не происходит.

Выводы:

1. На поверхности жаровой трубы, поворотной камере и трубной доски первого хода газа имеет место интенсивное поверхностное кипение воды при давлении воды менее 6 – 9 бар.

2. Для жаротрубных водогрейных котлов необходимо исключить наличие в подпиточной воде солей жесткости и требования к качеству этой воды должны быть такие же, как для паровых котлов ( $J_{\text{доп}} = 20 - 30$  мкг-экв/кг).

3. В современных водогрейных котельных с жаротрубными котлами необходимо исключить сверхнормативные потери воды, которые могут привести к значительным отложениям шлама даже при наличии интенсивного умягчения или использовать закрытую систему теплоснабжения.

#### Библиографический список

1. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М.: Энергия, 2005. 80с.
2. Кузнецов Н.В. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). М.: Энергия, 1973. 294 с.
3. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. М.: Энергия, 1980. 296 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1981. 486 с.
5. Хаустов С.А., Загорин А.С. Современные тенденции проектирования жаротрубных котлов // Вестник науки Сибири, 2014, №2 (12). 27с.