

Научная статья  
УДК 621.181  
doi: 10.28983/asj.y2022i5pp93-95

### Водный режим жаротрубных котлов

**Павел Александрович Хаванов** Анатолий Сергеевич Чуленёв

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия  
e-mail: roverton@mail.ru

**Аннотация.** Активное развитие автономного теплоснабжения последние 25 лет привело к широкому применению водогрейных котлов малой мощности до 2,5 МВт. Рациональное использование при проектировании автономных источников теплоснабжения конструктивных особенностей водогрейных котлов существенно улучшает их технико-экономические и эксплуатационные показатели. В работе рассмотрены и проанализированы ряд особенностей конструирования, режимов работы и эксплуатации водогрейных котлов малой мощности, существенно влияющие на эффективность и надежность их применения.

**Ключевые слова:** вода; автономное теплоснабжение; теплоноситель.

**Для цитирования:** Хаванов П. А., Чуленёв А. С. Водный режим жаротрубных котлов // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 93–95. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp93-95>.

### AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

### Water regime of fire-tube boilers

**Pavel A. Khavanov** Anatoliy S. Chulenyov

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia  
e-mail: roverton@mail.ru

**Abstract.** The active development of autonomous heat supply over the past 25 years has led to the widespread use of low-power hot water boilers up to 2.5 MW. Rational use in the design of autonomous sources of heat supply of the design features of hot water boilers significantly improves their technical, economic and operational performance. The paper considers and analyzes a number of design features, modes of operation and operation of low-power hot water boilers, which significantly affect the efficiency and reliability of their use.

**Keywords:** water; autonomous heat supply; coolant.

**For citation:** Khavanov P. A., Chulenyov A. S. Water regime of fire-tube boilers. Agrarny nauchny zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(5):93–95 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp93-95>.

**Введение.** Бытовые водогрейные теплогенераторы и водогрейные котлы малой мощности конструктивно группируются по трем типам: чугунные секционные; стальные жаротрубные водогрейные; водотрубные проточные.

Основное отличие связано с организацией гидравлического режима котла. Так, в первых двух типах котлов движение теплоносителя естественное гравитационное в ограниченном объеме со скоростями не более  $w \leq 0.03-0.05$  м/с. Поэтому недопустимо менять местами вход и выход теплоносителя в котле, нарушая внутрикотловую гидравлику, а также уменьшать расход воды через котел, ограничивая или отказываясь от рециркуляции теплоносителя. В проточных конструкциях водотрубных котлов принудительное побуждение движения с организованными потоками теплоносителя, имеющими, как правило, скорости движения  $w \leq 3-6$  м/с и более, ограниченными по верхнему пределу гидравлическими сопротивлениями котла. Этот фактор позволяет создать металлоемкую компактную конструкцию проточного котла с максимальной форсировкой тепловых процессов и малым объемом теплоносителя, что обуславливает исключительно высокие теплодинамические характеристики котла.

Стальные водогрейные жаротрубные котлы имеют наибольший водяной объем, хотя и позволяют создать более компактную конструкцию (менее металлоемкую), чем чугунные секционные котлы.

Использование низкоуглеродистых сталей в котлах обеспечивает их устойчивость к тепловым нагрузкам [1], повышает малоцикловую надежность, но эти стали менее, чем чугун, устойчивы к кислотной электрохимической коррозии.

**Методика исследований.** Физико-химические процессы горения и теплообмена в котлах малой мощности в силу уменьшения геометрических размеров характеризуются в 2–3 раза большими тепловыми напряжениями топочного объема и тепловыми потоками на поверхности теплообмена в топке [2]. В то же время в конвективных поверхностях для интенсификации теплообмена со стороны продуктов сгорания часто используют различного рода турбулизаторы, оребрения, ошиповку и др. Компактные конструкции котлов обуславливают значительную неравномерность процессов теплопередачи с зональными тепловыми потоками в 3–4 раза выше средних значений. Особенно это проявляется в котлах с реверсивными топками в зоне разворота факела, а также при нарушении условий по тяге и работе котла с разрежением на выходе более 30 Па (при необходимом разрежении 0 Па) и на малых нагрузках, в этом случае происходит ранний разворот факела в топке вблизи горелки и перегрев сильно турбулизированным потоком продуктов трубной решетки и начальных участков труб конвективного пакета. Иногда подобные процессы происходят при удалении предусмотренных конструкцией котла турбулизаторов.

При запуске в эксплуатацию и пуско-наладочных работах заказчику часто демонстрируются высокие технические характеристики котельной даже в случае серьезных нарушений технологических и режимных условий работы. Нарушения в работе котельного оборудования проявятся через относительно короткий период, и связаны они преимущественно с нарушением тепловых режимов и волно-химическими условиями работы.





Более подробно, в рамках публикации, остановимся на втором вопросе. Требования к водно-химическому режиму водогрейных котлов несколько мягче, чем для паровых котлов, что связано с обязательным условием невоскипания теплоносителя, что существенно снижает требования по образованию минеральных отложений и коррозионной активности котловой (сетевой) воды. Учитывая перечисленные ранее особенности различных конструкций водогрейных котлов, следует акцентировать внимание на жаротрубных стальных котлах, как наиболее подверженным негативным процессам связанным с водно-химическим режимом работы.

Отложения на внешней поверхности теплообмена, как и на внутренней, увеличивают термическое сопротивление теплопередачи, снижают эффективность водогрейного котла [3]. Однако, внешние отложения снижают температуру металла, а внутренние её увеличивают весьма существенно, так при толщине отложений менее 1 мм, температура поверхности стенки может увеличиться до 120 °С, а при толщине отложений 3–4 мм, температура поверхности может увеличиваться до 550 °С и выше, такой перегрев труб из малоуглеродистых сталей приводит к потере прочности, пластической деформации и разрушению.

Малая скорость движения и низкая турбулизация потока воды в жаротрубных водогрейных котлах в сочетании со значительной плотностью локальных тепловых потоков интенсифицируют формирование минеральных отложений различной плотности из котловой воды на поверхности нагрева.

Для иллюстрации указанных положений приведены фотографии (рис. 1–3), разрезов жаротрубного водогрейного котла, эксплуатация которого осуществлялась с нарушениями водно-химического режима работы в зоне трубной доски входа продуктов сгорания в конвективную часть, максимальных тепловых потоков и перегрева.

Основными составляющими минеральных отложений являются сульфаты, карбонаты, силикаты, фосфаты и др. соли кальция и магния, обуславливающие общую жесткость воды.

Требования к качеству воды циркулирующей в контуре водогрейного котла устанавливаются РД 24.031.120-91 (актуализированы в 2016 г.) «Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля». Эти требования для всех типов водогрейных котлов определяют допустимую общую жесткость воды не более мг-экв./л. Следует отметить, что указанное значение уже более 50 лет без изменений переход из одних нормативных документов в другие.

Указанное значение общей жесткости по величине можно сравнительно оценить исходя из значения средней условно равновесной общей жесткости для воды длительное время циркулирующей в контуре котла, или по приобретенной общей жесткости деминерализованной воды (конденсата, с нулевой общей жесткостью, 0 мг-экв./л) после длительного контакта с накипью [4] в рабочем контуре эксплуатируемого котла.

Значение условно равновесной общей жесткости составляет для рабочей температуры воды в котле 115 °С ~ 0.01 мг-экв./л.



Рис. 1. Фрагментарная резка котла



Рис. 2. Отложения в котле в зоне разреза

**Результаты исследований.** В этой связи показано, что требования зарубежных производителей из стран ЕС при формировании гарантийных обязательств опираются на требования стандарта EN 12953-10. Котлы жаротрубные. Требования к качеству питательной воды, выдержки из которой приведены в таблице.

Возможно, указанные в таблице требования по общей жесткости сетевой воды представляются чрезмерно высокими, однако, уже многократно отмечено, что уровень общей жесткости воды 0.7 мг-экв./л не позволяет безопасно, безаварийно эксплуатировать водогрейные жаротрубные котлы длительное время (25–30 лет) [5].

Наиболее плотные отложения формируют сульфаты и силикаты кальция и магния, а наиболее рыхлые и пористые бикарбонаты и карбонаты кальция и магния (соли временной жесткости). Преимущественно последние совместно с окислами, гидроокисью железа и органикой



Рис. 3. Фрагмент трубной доски с отложениями

## Требования к качеству питательной воды

Характеристики	Ед. измерения	Давление ≤ 20 бар
Прямая проводимость	мкСМ/см	< 6000
Общая жесткость	ммоль/л	< 0,01
	мг-экв./л	< 0,018
	°dH	< 0,05
РН при 25 °С	-	> 9,2
Кислород (O <sub>2</sub> )	мг/л	< 0,05
Железо (Fe)	мг/л	< 0,3

зависимое или независимое подключение системы отопления, а также качеством и состоянием тепловых сетей, объемами компенсации утечек и потерь теплоносителя. Чем больше эти расходы, тем объективно больше риски значительных минеральных отложений в котле и ниже надежность эксплуатации.

Способы и методы водоподготовки в значительной мере определяются характеристиками исходной воды [7], среди них самый простой и распространенный метод – применение ионообменных смол в процессах натрий- или водород-натрий-катионирования с использованием сильнокислотных катионитов, чаще всего сульфоуголь, КУ–1; КУ–2; КУ–2–8, отличающиеся стабильностью свойств и высокой обменной емкостью. Условие применения методов катионного и анионного обмена можно найти в [8].

Для котельных малой мощности можно проводить комплексную обработку воды, при которой в сетевую воду дозируется подача комплексонов, образующих прочные химические соединения с катионами кальция и магния, которые переводят соли жесткости в растворимое состояние. Однако такая обработка часто не обеспечивает требуемое качество воды.

Глубоко умягченную, практически обессоленную воду позволяют получить системы обратного осмоса, но высокая стоимость оборудования, большие объемы дренажных стояков и частая необходимость процесса предварительной обработки воды, значительно усложняет и удорожает установки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ильичев М. В., Мордынский В. Б., Терешонок Д. В., Тюфтяев А. С., Чикунов С. Е. Экспериментальное определение зависимости коэффициента теплопроводности стали от температуры // ТВТ. 2015. Т. 53. № 2. С. 198.
- Аскарлова А. С., Болегова С. А., Максимов В. Ю., Бекмухамет А., Бекетаева М. Т., Габитова З. Х. Вычислительный метод исследования горения твердого топлива в камерах сгорания ТЭЦ // ТВТ. 2015. Т. 53. № 5. С. 792.
- Наумова О. В., Чесноков Б. П., Угаров Г. Г., Чеснокова Е. В. Подготовка воды для теплотехнических устройств // Научное обозрение. 2015. № 4. С. 36.
- Кудрявцев Ф. Е. Водоподготовка водогрейных котлов // Материалы Всерос. студенческой науч. конф. / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. М., 2014. С. 148.
- Ермаков И., Лопаткин М., Трошин Д., Кукушкин А., Ермаков П. Водоподготовка технологических систем паровых и водогрейных котлов: прозрачность воды и методика ее измерения // ТехНадзор. 2016. № 1 (110). С. 100.
- Делягин Г. Н., Лебедев В. И., Пермяков Б. А., Хаванов П. А. Теплогенерирующие установки: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2010. 624 с.
- Кузнецов Е. В., Абрамов П. И., Гадлевская А. С. Технологии водоподготовки // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 4 (88). С. 46.
- СНиП II-35-76. Свод правил. Котельные установки. Актуализированная редакция СП 89.13330.2012: утв. Минрегионом России 30.06.2012: введ. в действие с 01.01.2013. М., 2012.

### REFERENCES

- Ilyichev M. V., Mordynsky V. B., Tereshonok D. V., Tyuftayev A. S., Chikunov S. E. Experimental determination of the dependence of the thermal conductivity coefficient of steel on temperature. / *TVT*. 2015; 53; 2: 198. (In Russ.).
- Askarova A. S., Bolegenova S. A., Maksimov V. Yu., Bekmukhamet A., Beketayeva M. T., Gabitova Z. Kh. Computational method for studying the combustion of solid fuel in the combustion chambers of a thermal power plant. *TVT*. 2015; 53; 5: 792. (In Russ.).
- Naumova O. V., Chesnokov B. P., Ugarov G. G., Chesnokova E. V. Water treatment for heat engineering devices. *Scientific review*. 2015; 4: 36. (In Russ.).
- Kudryavtsev F. E. Water treatment of hot water boilers. *Materials of All-Russian student scientific conf.* / Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Moscow, 2014: 148. (In Russ.).
- Ermakov I., Lopatkin M., Troshin D., Kukushkin A., Ermakov P. Water treatment of technological systems of steam and hot water boilers: water transparency and methods of its measurement. *Tekhnadzor*. 2016; 1 (110): 100. (In Russ.).
- Delyagin G. N., Lebedev V. I., Permyakov B. A., Khavanov P. A. Heat generating installations: a textbook for universities. 2nd ed., Moscow, 2010. 624 p. (In Russ.).
- Kuznetsov E. V., Abramov P. I., Gadlevskaya A. S. Water treatment technologies. *Water cleaning. Water treatment. Water supply*. 2015; 4 (88): 46. (In Russ.).
- SNiP II-35-76. Set of rules. Boiler installations. Updated version of SP 89.13330.2012: approved. Ministry of Regional Development of Russia 06/30/2012. Moscow, 2012. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 14.11.2021; одобрена после рецензирования 28.11.2021; принята к публикации 11.12.2021.

The article was submitted 14.11.2021; approved after reviewing 28.11.2021; accepted for publication 11.12.2021.

