

# ТРАНСПОРТ И ЭНЕРГЕТИКА

*Кожевников В. П., канд. техн. наук, проф.,*

*Кулешов М. И., канд. техн. наук, доц.,*

*Губарев А. В., инж.,*

*Трубаев П. А., д-р техн. наук, проф.,*

*Погонин А. А., д-р техн. наук, проф.,*

*Мочалин А. А., аспирант,*

*Фейгельман М. О., магистрант*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## СТЕНД И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

### ТОПЛИВОСБЕРЕГАЮЩЕГО КОНДЕНСАЦИОННОГО ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА\*

artwo0248@mail.ru

*В статье рассмотрена принципиальная схема испытательного стенда топливосберегающего конденсационного водогрейного котла, произведено ее описание, а также приведены основные результаты, полученные в ходе испытаний котла, в сопоставлении с расчетными данными.*

**Ключевые слова:** системы теплоснабжения, топливосбережение, конденсационный водогрейный котел, испытательный стенд.

В настоящее время в Белгородской области наблюдается интенсивное строительство объектов различного назначения: жилых, административных, общественных зданий и сооружений. Также можно отметить, что теплоснабжение указанных объектов предпочтительно организуется с использованием автономных систем, т.е. систем, в которых тепловой источник располагается непосредственно в объекте теплопотребления, а тепловые сети отсутствуют. Преимущества использования автономных систем теплоснабжения приведены в большом количестве публикаций, например [1–3], поэтому в данной работе рассмотрены не будут.

Для использования в качестве теплогенерирующих установок в тепловых источниках автономных систем теплоснабжения, в частности, для вновь строящихся зданий и сооружений может быть предложен двухконтурный топливосберегающий конденсационный водогрейный котел (далее КВК), конструкция которого разработана сотрудниками БГТУ им. В.Г. Шухова [4–6].

Отличительной особенностью этого котла является наличие двух контуров: в первом – высокотемпературном (радиационной части – РЧ) – вырабатывается горячая вода для целей отопления; во втором контуре (контактно-рекуперативной части – КРЧ) вырабатывается горячая вода для целей горячего водоснабжения (ГВС).

Радиационная часть водонагревателя конструируется по аналогии с современными водогрейными котлами жаротрубно-дымогарного типа. Контактно-рекуперативная часть представляет собой пенно-барботажный скруббер с

установленным в его корпусе трубным пучком, по трубкам которого протекает нагреваемый теплоноситель, не загрязняемый компонентами, входящими в состав продуктов горения топлива. По межтрубному пространству КРЧ при этом проходит двухфазный восходящий поток конденсат – продукты горения природного газа. Принципиальным отличием КРЧ является то, что в этом аппарате одновременно достигается решение двух задач: 1 – возможен максимальный (практически полный) отбор тепла от уходящих газов; 2 – температура теплоносителя, утилизирующего теплоту газа, может достигать теоретического максимума – температуры мокрого термометра газа на его входе в КРЧ. Организация движения теплоносителей в КРЧ позволяет переохладить уходящие газы, полезно используя до 80% скрытой теплоты конденсации содержащихся в продуктах горения водяных паров.

Таким образом, тепловой КПД указанного котла существенно (на величину до 15 %) превышает тепловой КПД традиционных водогрейных котлов. Сравнивая предлагаемый топливосберегающий конденсационный водогрейный котел с конденсационными аналогами, необходимо отметить, что заявляемая производителем тепловая эффективность некоторых из этих аналогов может превышать аналогичный показатель КВК, но в большинстве случаев указанное превышение по тепловой эффективности имеет место при работе этих конденсационных водонагревателей на неполных нагрузках. При этом эффективность использования теплоты, характеризующая эксергетическим КПД, в топливосберегающем конденсационном котле су-

ущественно превышает этот показатель для других конденсационных водонагревателей [7, 8].

С целью проверки соответствия основных расчетных характеристик котла фактическим параметрам, определяющим КПД теплогенератора, а также соответствия температур нагреваемых теплоносителей требованиям регламентирующих документов Российской Федерации был создан стенд испытаний пилотного образца топливосберегающего конденсационного водогрейного котла, принципиальная схема которого приведена на рис.

В этом испытательном стенде теплообменник 2, в котором охлаждается отопительная вода, движущаяся в замкнутом контуре, является имитатором системы отопления. Водо-водяной подогреватель 3 используется для регулирования соотношения теплоты, направляемой системой на покрытие отопительной нагрузки и нагрузки на горячее водоснабжение.

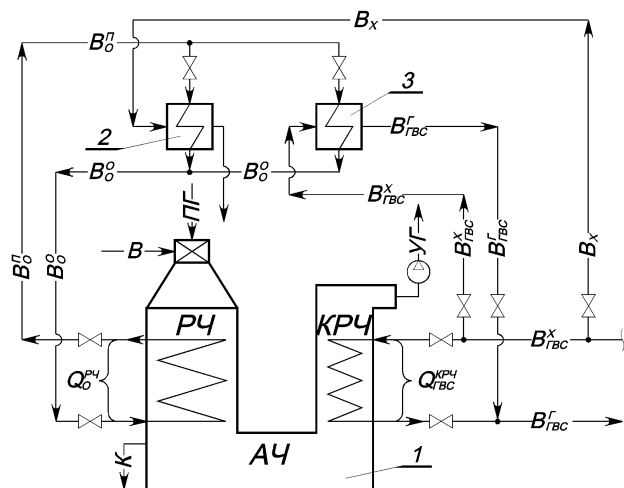


Рис. 1. Принципиальная схема испытательного стенда конденсационного водогрейного котла:

1 – конденсационный водогрейный котел (КВК);  
2 – теплообменник охлаждения отопительной воды;  
3 – водо-водяной подогреватель – бойлер; РЧ – радиационная часть; КРЧ – контактно-рекуперативная часть; АЧ – адиабатная часть; ПГ – природный газ; В – воздух;  $V_x$  – охлаждающая вода;  $V_o^o$ ,  $V_o^п$  – отопительная вода обратная и прямая, соответственно;  $V_{гвс}^x$ ,  $V_{гвс}^г$  – вода на горячее водоснабжение холодная и горячая, соответственно; УГ – уходящие газы; К – конденсат;  $Q_o^{РЧ}$ ,  $Q_{гвс}^{КРЧ}$  – теплота, вырабатываемая в радиационной и контактно-рекуперативной частях, соответственно

Работа экспериментального стенда осуществляется следующим образом. Межтрубное пространство РЧ конденсационного водогрейного котла, а также теплообменников 2 и 3 заполняется умягченной водой. В отопительном контуре стенда при этом организована постоянная циркуляция греющего теплоносителя. Трубное

пространство КРЧ конденсационного водогрейного котла находится под постоянным расходом водопроводной воды. Охлаждение отопительной воды в теплообменниках 2 и 3 осуществляется посредством направления в их трубное пространство холодной водопроводной воды  $V_x$  и  $V_{гвс}^x$ . Вода, нагретая в подогревателе 3, в последующем смешивается с потоком воды, нагреваемой в КРЧ, и так же, как и вода, нагреваемая в теплообменнике 2, во время испытаний сбрасывается в канализацию.

В процессе испытаний после организации вышеуказанной циркуляции теплоносителей в топочную камеру КВК подавались топливо и воздух. После выхода на установившийся режим работы производились замеры давлений участвующих в процессе сред, расходов природного газа, нагреваемых теплоносителей и конденсата, генерируемого в контактно-рекуперативной части котла, а также температур продуктов горения после РЧ, уходящих газов, отопительной воды и воды на нужды ГВС на входе в котел и на выходе из него. Затем производилось изменение нагрузки котла путем увеличения или уменьшения расхода топлива, производились необходимые регулировочные мероприятия и процедура измерений повторялась. Измерения расходов, температур и давлений всех теплоносителей, указанных на рис., производились соответствующими приборами, прошедшими поверку.

Основные расчетные и измеренные параметры, определяющие эффективность топливосберегающего конденсационного водогрейного котла, приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы, измеренные в ходе испытаний характеристики конденсационного водогрейного котла весьма близки расчетным значениям, а температуры нагреваемых теплоносителей соответствуют требованиям регламентирующих документов.

Необходимо отметить, что при использовании децентрализованных систем теплоснабжения с установкой в качестве теплогенератора топливосберегающего конденсационного водогрейного котла, разработанного в БГТУ им. В.Г. Шухова, существенно (почти в 2 раза) уменьшается расход природного газа на цели отопления и горячего водоснабжения жилых, общественных и промышленных объектов, повышается надежность систем теплоснабжения, что весьма необходимо, поскольку эти системы входят в число наиболее важных систем жизнеобеспечения, снижается в 3,5–4 раза себестоимость потребляемого тепла.

Таблица 1

**Основные расчетные и фактические технические параметры конденсационного водогрейного котла**

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Единицы измерений	Величины параметров	
				расчетные	фактические
1	Расход природного газа	$B$	нм <sup>3</sup> /ч	23,5	11,0–23,28
2	Коэффициент избытка воздуха	$\alpha$	–	1,1	1,09–1,14
3	Температура отопительной воды: прямой обратной	$t_{\text{O}}^{\text{п}}$	°С	95	75–105
		$t_{\text{O}}^{\text{п}}$	°С	60	50–65
4	Температура уходящих газов (после КРЧ)	$t_{\text{Г5}}$	°С	35	20–45
5	Температура воды для ГВС начальная конечная	$t_{\text{ГВС}}^{\text{X}}$	°С	~10	~10
		$t_{\text{ГВС}}^{\text{Г}}$	°С	55	40–64 <sup>*1</sup>
6	Температура продуктов горения после РЧ и перед КРЧ	$t_{\text{Г3}}$	°С	250 ( $Q_{\Sigma}=43\%$ ) 370 ( $Q_{\Sigma}=100\%$ )	177 ( $Q_{\Sigma}=46\%$ ) 340 ( $Q_{\Sigma}=97\%$ )
7	Доля тепла, полезно усваиваемая в КРЧ <sup>*2</sup>	$Q_{\text{КРЧ}}$	%	22,6	18,3–19,65
8	Потери тепла с уходящими газами	$q_{\text{вх}}$	%	3,88	1,74–6,4
9	Тепловой КПД по высшей теплоте сгорания топлива <sup>*3</sup>	$\eta_{\text{в}}$	%	96,12	98,26–95,6
10	Расход генерируемого конденсата при номинальной нагрузке	$G_{\text{к}}$	л/ч	~30	~30
11	Габариты длина ширина высота		мм	1100	1100
			мм	1000	1000
			мм	2200	2200
12	Масса		кг	460	460

<sup>\*1</sup> По действующим нормам и ГОСТ РФ температура воды для ГВС регламентируется 55–60°С;

<sup>\*2</sup> За 100% принята полная энтальпия влажного газа при коэффициенте  $\alpha=1,1$  и адиабатной (калориметрической) температуре  $t_{\text{ад}}=1895$  °С,  $I=3220$  кДж/кг<sub>с.г.</sub>;

<sup>\*3</sup> Учитываются только потери тепла с уходящими газами.

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

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.

2. Лихтер, Ю. М. Автономное теплоснабжение зданий / Ю. М. Лихтер, В. А. Константинов // Энергетик. – 1995. – №4. – С. 9–10.

3. Кулешов, М.И. Повышение эффективности топливоиспользования в системах теплоснабжения жилых, общественных и промышленных теплопотребителей / М.И. Кулешов, А.В. Губарев // Экология и ресурсо- и энергосберегающие технологии на предприятиях народного хозяйства (промышленность, транспорт, сельское хозяйство): сб. статей V Всероссийск. науч.-практич. конф., Пенза, 27–28 окт. 2005 г. – Пенза, 2005. – С. 66–68.

4. 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.

5. 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.

6. Губарев, А.В. Варианты компоновки радиационной части конденсационного водогрейного котла / А.В. Губарев, М.И. Кулешов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 1. – С. 182–184.

7. Зайцев, Е.А. Анализ эксергетических потерь в водогрейных котлах / Е.А. Зайцев, П.А. Трубаев, А.В. Губарев, М.И. Кулешов // Промышленная энергетика. – 2011. – № 1. – С. 32–34.

8. Трубаев, П.А. Энерготехнологический анализ высокотемпературных процессов и аппаратов производства силикатных материалов / П.А. Трубаев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2007. – № 1. – С. 11–13.