

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

© 2009 Б.Н. Курицын, О.Н. Медведева, А.А. Иванов

Саратовский государственный технический университет

Поступила в редакцию 17.11.2009

В статье содержатся результаты исследований тепловой эффективности аппаратов и оборудования, работающих на газовом топливе. Приводится алгоритм определения относительного коэффициента полезного действия и результаты экспериментальных исследований бытовой газовой аппаратуры по оценке их тепловой эффективности.

Ключевые слова: *эффективность, газовое топливо, коэффициент полезного действия, водонагреватель, котел, газовая плита*

Исследованию тепловой эффективности бытовых газоиспользующих установок посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов. При использовании газообразного топлива на бытовые нужды населения применяются различные аппараты и оборудование (отопительные печи, газовые водогрейные котлы, водонагреватели, бытовые газовые плиты и т.д.). Тепловая эффективность бытовых газовых установок оценивается коэффициентом полезного действия (КПД), который представляет собой отношение полезно воспринятого тепла теплоприёмником к затраченному или к подведенной тепловой мощности. Максимальная эффективность использования газа обеспечивается при работе аппаратов на номинальном режиме эксплуатации, то есть при номинальной подведенной тепловой мощности $N_{ном}$, которой соответствует номинальное давление газа перед установкой $P_{ном}$. В реальных условиях эксплуатации бытовые газовые приборы работают в режимах, отличающихся от номинального, то есть при повышенном или пониженном давлении газа перед прибором. Предельно допустимые давления газа для бытовых газовых приборов: максимальное P_{max} , минимальное P_{min} , а также номинальное давление $P_{ном}$ приводятся в таблице 1.

В диапазоне давлений $P_{min} \leq P \leq P_{max}$ газоиспользующие установки обеспечивают устойчивое горение газа без отрыва и проскока пламени, необходимую полноту его сжигания с высоким коэффициентом полезного действия. Следует отметить, однако, что эксплуатация

газоиспользующих установок в режиме отличном от номинального (при повышенном или пониженном давлении газа) снижает тепловую эффективность использования газа, то есть КПД газоиспользующих установок. Как показывают исследования, максимальное значение КПД обеспечивается при отношении $P/P_{ном} = 1$. При отношении $P/P_{ном} > 1$ КПД снижается за счет повышенной температуры уходящих продуктов сгорания. Аналогичная ситуация имеет место при отношении $P/P_{ном} < 1$. Уменьшение КПД обуславливается тем обстоятельством, что при снижении давления, а значит и количества сжигаемого газа, возрастает коэффициент избытка воздуха, подаваемого в зону горения за счет естественной тяги или вентилятора. Это приводит к снижению КПД, несмотря на уменьшение температуры продуктов сгорания.

Согласно ГОСТ на испытание газовых водогрейных аппаратов [1, 2] экспериментальное определение КПД требует измерения расхода и температурного диапазона нагрева воды, а также расхода газа и теплоты его сгорания. Относительно небольшие изменения КПД газоиспользующих аппаратов в диапазоне рабочих режимов их эксплуатации (несколько процентов) предъявляет высокие требования к точности экспериментальных исследований, к минимизации погрешности средств измерения и контроля, методике обработки экспериментальных данных. Указанное обстоятельство требует применения высокоточной измерительной техники и специальных методов статистической обработки экспериментальных материалов. Поэтому при проведении сертификационных испытаний газовых водогрейных аппаратов КПД последних определяется, как правило, только при номинальном режиме эксплуатации, то есть при максимальной тепловой эффективности.

Курицын Борис Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Медведева Оксана Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция». E-mail: medvedeva-on@mail.ru

Иванов Антон Александрович, аспирант. E-mail: ivanov_a.a.85@mail.ru

Таблица 1. Номинальные и предельно-допустимые значения давления газа перед бытовыми газовыми приборами

Газовый прибор	P_{max} , Па	$P_{ном}$, Па	P_{min} , Па	ГОСТ
газовая плита	1764 2744	1274 1960	147 196	ГОСТ 10798-85
проточный водонагреватель	1764 2744	1274 1930	637 980	ГОСТ 19910-74
отопительный котел	1764 2744	1274 1960	635 980	ГОСТ 20219-74
газовая горелка для отопительной печи УГОП	1800 2800	1300 2000	600 1000	ГОСТ 16569-86

Экспериментальные исследования водогрейных газовых аппаратов существенно упрощаются, если оценивать их тепловую эффективность с помощью относительного КПД. Последний представляет собой отношение КПД газового аппарата при текущем и номинальном режимах эксплуатации:

$$\eta_{отн} = \frac{\eta}{\eta_{ном}} \quad (1)$$

Тогда используя уравнение:

$$\eta = \frac{mc(t_2 - t_1)}{BQ_H^P} \quad (2)$$

можно записать:

$$\eta_{отн} = \frac{m(t_2 - t_1)B_{ном}}{Bm_{ном}(t_2^{ном} - t_1^{ном})} \quad (3)$$

где m – расход нагреваемой воды, кг/ч; c – удельная теплоёмкость воды, кДж/кг·С; t_1 – температура воды на входе в аппарат, °С; t_2 – температура воды на выходе из аппарата, °С; B – расход газа, м³/ч; Q_H^P – низшая теплота сгорания газа, МДж/м³.

При постоянстве расхода воды в текущем и номинальном режимах эксплуатации, то есть при $m=m_{ном}$ уравнение (3) принимает следующий вид:

$$\eta_{отн} = \frac{B_{ном}}{B} \frac{t_2 - t_1}{t_2^{ном} - t_1^{ном}} \quad (4)$$

Как показывают многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, расход газа газоиспользующим аппаратом B , м³/ч, связан с давлением газа P , Па, следующим соотношением [3]:

$$B = v\sqrt{P} \quad (5)$$

где v – проводимость аппарата, м³/(чПа^{1/2}).

Тогда по (4) с учетом (5) имеем:

$$\eta_{отн} = \sqrt{\frac{P_{ном}}{P}} \frac{t_2 - t_1}{t_2^{ном} - t_1^{ном}} \quad (6)$$

где P , $P_{ном}$ – текущее и номинальное давления газа перед газовым аппаратом, Па.

Как видно из (6), экспериментальное определение относительного КПД требует только измерения давления газа перед газовым водогрейным аппаратом и температурных параметров нагреваемой воды. Абсолютное значение КПД определяется пересчетом по формуле (1):

$$\eta = \eta_{отн}\eta_{ном} \quad (7)$$

где $\eta_{ном}$ – максимальный КПД аппарата, соответствующий номинальному режиму его эксплуатации.

Определение КПД газовых водогрейных котлов и водонагревателей проводилось на экспериментальной установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1. Испытания проводились в соответствии с нормативной методикой [1, 2] в РИЦ ОАО «ГипроиниГаз» и в учебно-исследовательской лаборатории кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Саратовского ГТУ. В качестве объектов испытаний использовались: котлы АОГВ-10, «Хопер», «Proterm», а также газовые водонагреватели «Аврора» и ВПГ-10.

Экспериментальные исследования проводились при нескольких режимах эксплуатации оборудования при изменении давления газа от 75 до 250 даПа и следующих значениях начальной температуры воды: котлы газовые водогрейные $t_1=40^\circ\text{C}$; газовый проточный водонагреватель $t_1=18^\circ\text{C}$. Конечная температура воды на выходе из аппаратов при их работе на номинальном режиме эксплуатации ($P_{ном}=200$ даПа) обеспечивалась в следующих пределах: котлы газовые водогрейные $t_2^{ном}=60^\circ\text{C}$; газовый проточный водонагрева-

тель $t_2^{\text{НОМ}}=58^\circ\text{C}$. Замеры параметров проводились после выхода экспериментальной установки на стационарный тепловой режим, когда в течение 10 мин. температура воды на входе и на выходе из аппарата оставалась постоянной. Для каждого режима эксплуатации замеры экспериментальных параметров дублировались не менее 6 раз с интервалом в 5 мин. с последующим обобщением результатов методами математической статистики.

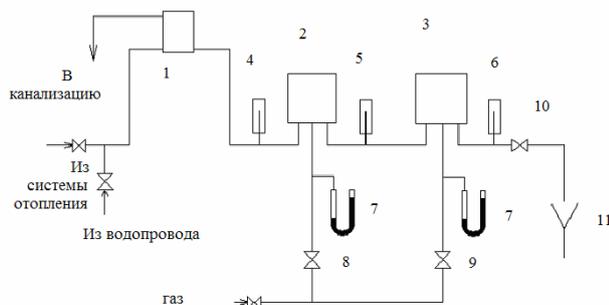


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:

1 – бак постоянного уровня; 2 – первичный подогреватель воды; 3 – газовый водогрейный котел (газовый водонагреватель); 4, 5, 6 – термометры; 7 – U-образный манометр; 8, 9, 10 – регулирующие вентили; 11 – мерный сосуд.

Как показывает анализ экспериментальных данных, режимы эксплуатации газовых аппаратов оказывают существенное влияние на эффективность использования газового топлива. Так, например, при эксплуатации котла АОГВ-10 на номинальном режиме при давлении 200 даПа относительный КПД составляет 1,0, а при снижении давления до 75 даПа, то есть при снижении тепловой мощности до 2/3 от номинальной, относительный КПД снижается до 0,947, то есть более чем на 5%. Аналогичная ситуация наблюдается и при повышенном

давлении газа. Как показывают результаты статистического анализа, результирующая погрешность определения относительного КПД котла АОГВ-10 в исследуемом диапазоне изменения давления газа находится в пределах $1,4 \div 2,1$ с доверительной вероятностью 0,95, что соответствует требованию ГОСТ к точности экспериментальных исследований. Аналогичные результаты получены и по другим типам газовых водогрейных аппаратов.

Обработка массива экспериментальных данных методами корреляционного анализа выявила тесную связь между исследуемой функцией $\eta_{\text{отн}}$ и управляющим параметром $P_{\text{отн}}$. Результаты экспериментальных исследований аппроксимируются так:

$$\eta_{\text{отн}} = -0,5136 P_{\text{отн}}^6 + 2,3548 P_{\text{отн}}^5 - 3,0664 P_{\text{отн}}^4 - 0,7648 P_{\text{отн}}^3 + 4,4265 P_{\text{отн}}^2 - 2,9919 P_{\text{отн}} + 1,553. \quad (8)$$

Наличие указанной зависимости обеспечивает необходимые предпосылки к оптимизации гидравлических режимов эксплуатации распределительных систем газоснабжения с учетом эффективности использования газового топлива у потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 51733-2001. Котлы газовые центрального отопления, оснащенные атмосферными горелками номинальной тепловой мощностью до 70 кВт. Требования безопасности и методы испытаний. М.: Госстандарт России, 2001. – 58 с.
2. ГОСТ Р 51847-2001. Аппараты водонагревательные проточные газовые бытовые типа А и С. Общие технические условия. М.: Госстандарт России, 2002. – 26 с.
3. Ионин, А.А. Газоснабжение. М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.

INCREASE OF EFFICIENCY OF THE GAS FUEL USING

© 2009 B.N. Kuritsyn, O.N. Medvedeva, A.A. Ivanov

Saratov State Technical University

In article results of researches of thermal efficiency of devices and equipment, working on gas fuel, contain. The algorithm of definition of relative efficiency and results of experimental researches of the household gas equipment according to their thermal efficiency is resulted.

Key words: *efficiency, gas fuel, water heater, boiler, gas cooker*

Boris Kuritsyn, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the "Heat and Gas Supply and Ventilation" Department
 Oksana Medvedeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Heat and Gas Supply and Ventilation" Department. E-mail: medvedeva-on@mail.ru
 Anton Ivanov, Graduate Student. E-mail: ivanov_a.a.85@mail.ru