

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОГРЕЙНЫХ АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ

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

RESEARCH OF THERMAL EFFICIENCY THE WATER-HEATING DEVICES WORKING ON GAS FUEL

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

В статье приводятся результаты технико-экономических 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: водогрейные аппараты, тепловая эффективность, газовое топливо, коэффициент полезного действия.

The article gives the results of technical and economic researches of thermal effectiveness of devices and equipment working on gas fuel. The algorithm of definition of relative coefficient of efficiency and results of experimental researches of the household gas equipment according to their thermal efficiency estimation are given.

Keywords: water-heating devices, thermal effectiveness, gas fuel, coefficient of efficiency.

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. Однако следует отметить, что эксплуатация газоиспользующих установок в режиме, отличном от номинального

Номинальное давление газа перед бытовыми газовыми приборами

Таблица 1

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

(при повышенном или пониженном давлении газа), снижает тепловую эффективность использования газа, то есть КПД газоиспользующих установок.

Характерный график эксплуатационных параметров газоиспользующих установок в зависимости от относительного давления газа (относительной подведенной мощности) приводится на рисунке.

Как видно из графика (см. рисунок), максимальное значение КПД обеспечивается при отношении $P/P_{ном} = 1$. При отношении $P/P_{ном} > 1$ КПД газоиспользующей установки снижается за счет повышенной температуры уходящих продуктов сгорания. Аналогичная ситуация имеет место при отношении $P/P_{ном} < 1$. Уменьшение КПД газоиспользующей установки 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.

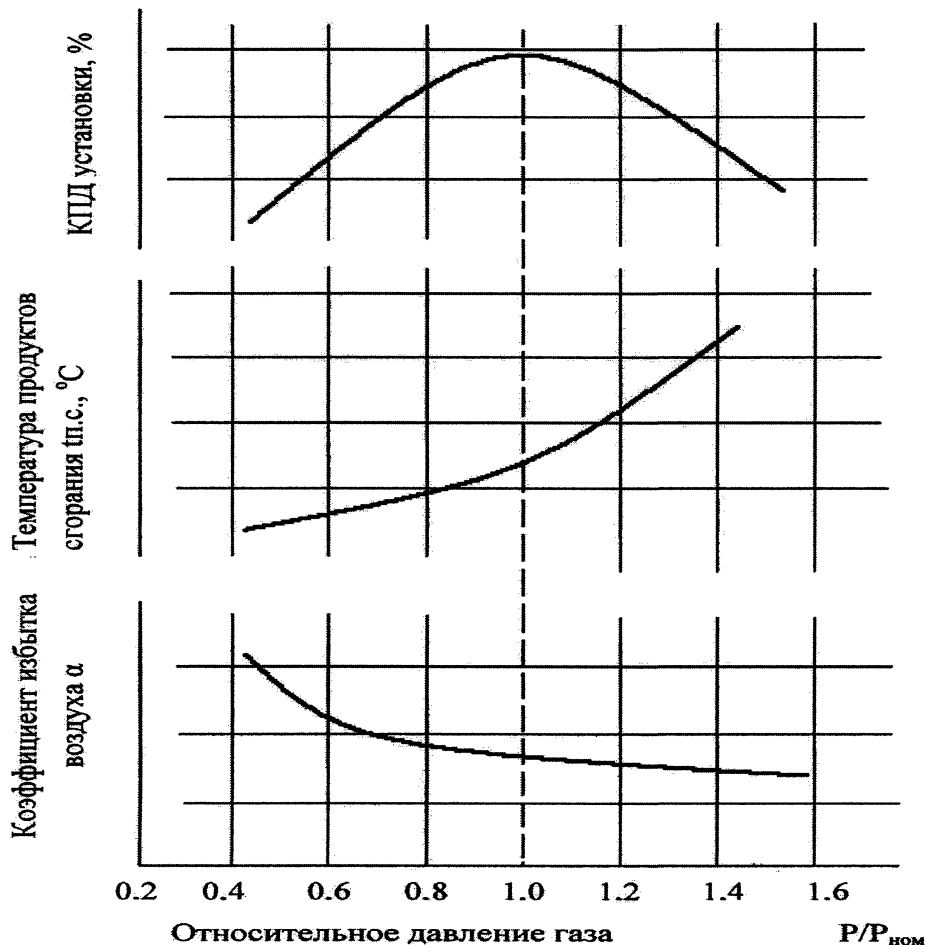
Согласно ГОСТ на испытание газовых водогрейных аппаратов [2, 3], экспериментальное определение КПД требует измерения расхода и темпе-

ратурного 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) предъявляют высокие требования к точности экспериментальных исследований, к минимизации погрешности средств измерения и контроля, методике обработки экспериментальных данных.

Указанное обстоятельство обуславливает повышенную трудоёмкость экспериментальных работ, требует применения высокоточной измерительной техники, специальных методов статистической обработки экспериментальных материалов.

Поэтому при проведении сертификационных испытаний газовых водогрейных аппаратов коэффициент полезного действия последних определяется, как правило, только при номинальном режиме эксплуатации, то есть при максимальной тепловой эффективности.

Экспериментальные исследования водогрейных газовых аппаратов существенно упрощаются, если оценивать их тепловую эффективность с помощью относительного КПД. Последний представляет собой отношение КПД газового аппарата



Зависимость КПД, температуры продуктов сгорания и коэффициента избытка воздуха за газоиспользующей установкой от относительного давления газа [1]

при текущем и номинальном режимах эксплуатации:

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

тогда используя уравнение:

$$\eta = \frac{mc(t_2 - t_1)}{BQ_{\text{H}}^{\text{P}}}, \quad (2)$$

можно записать:

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{mc(t_2 - t_1)B_{\text{ном}}Q_{\text{H}}^{\text{P}}}{BQ_{\text{H}}^{\text{P}}m_{\text{ном}}c(t_2^{\text{ном}} - t_1^{\text{ном}})} = \frac{m(t_2 - t_1)B_{\text{ном}}}{Bm_{\text{ном}}(t_2^{\text{ном}} - t_1^{\text{ном}})}, \quad (3)$$

где m - расход нагреваемой воды, кг/ч; c - удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг·°C); t_1 - температура воды на входе в аппарат, °C; t_2 - температура воды на выходе из аппарата, °C; 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 $m = m_{\text{ном}}$ уравнение (3) принимает следующий вид:

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

Как показывают многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, расход газа газоиспользующим аппаратом B , м³/ч, связан с давлением газа P , Па, следующим соотношением [4]:

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

где b - проводимость аппарата, м³/(ч·Па^{1/2}).

Тогда по (4) с учетом (5) имеем:

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

где P , $P_{\text{ном}}$ - текущее и номинальное давление 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):

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

где $\eta_{\text{ном}}$ - максимальный КПД аппарата, соответствующий номинальному режиму его эксплуатации. Значения $\eta_{\text{отн}}$, полученные по результатам сертификационных испытаний, приводятся в паспортных данных газовых водогрейных аппаратов.

Определение КПД газовых водогрейных котлов и водонагревателей проводилось на экспериментальной установке. Испытания проводились в соответствии с нормативной методикой [2, 3] в РИЦ ГАО института «Гипронегаз» и в учебно-исследовательской лаборатории кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция» Саратовского ГТУ.

В качестве объектов испытаний использовались: котлы АОГВ-10, «Хопер», «Proterm», а также газовые водонагреватели «Аврора» и ВПГ-10.

Испытания газовых аппаратов проводились при следующих значениях начальной температуры воды:

- котлы газовые водогрейные $t_1 = 40$ °C;
- газовый проточный водонагреватель $t_1 = 18$ °C.

Конечная температура воды на выходе из аппаратов при их работе на номинальном режиме эксплуатации ($P_{\text{ном}} = 200$ даПа) обеспечивалась в следующих пределах:

- котлы газовые водогрейные $t_2^{\text{ном}} = 60$ °C;
- газовый проточный водонагреватель $t_2^{\text{ном}} = 58$ °C.

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 единицу, 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. В целях оценки погрешности результатов исследований была проведена статистическая обработка экспериментальных материалов.

Как показывают результаты статистического анализа, результирующая погрешность определения относительного КПД котла АОГВ-10 в исследуемом диапазоне изменения давления газа находится в пределах 1,4-2,1 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 $\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta}{\eta_{\text{ном}}}$ и

управляющим параметром $P_{\text{отн}} = \frac{P}{P_{\text{ном}}}$.

Результаты экспериментальных исследований аппроксимируются следующей зависимостью с коэффициентом корреляции 0,8877:

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

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

Литература

1. Эстеркин, Р.И. КПД котельных агрегатов при сжигании газа / Эстеркин Р.И. // Теория и практика сжигания газа. -Л.: Недра, 1975. - № 4. - С. 407-412.

2. ГОСТ 51733-2001. Котлы газовые центрального отопления, оснащенные атмосферными горелками номинальной тепловой мощностью до 70кВт. Требования безопасности и методы испытаний. - М.: Госстандарт России, 2001. - 58 с.

3. ГОСТ Р 51847-2001. Аппараты водонагре-

вательные проточные газовые бытовые типа А и С. Общие технические условия. - М.: Госстандарт России, 2002. - 26 с.

4. Ионин, А. А. Газоснабжение / А.А. Ионин. - М.: Стройиздат, 1989. - 439 с.

Поступила в редакцию 10 марта 2009 г.

Курицын Борис Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» Саратовского государственного технического университета.

Область научных интересов: системы газоснабжения.

Kuritsyn Boris Nikolaevich, doctor of Engineering Science, professor, the head of the Heat and Gas Supply and Ventilation department of Saratov State Technical University.

Scientific interests: systems of gas supply.

Медведева Оксана Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Саратовского государственного технического университета.

Область научных интересов: исследования в области оптимизации межпоселковых и распределительных систем газоснабжения.

Medvedeva Oksana Nikolaevna, candidate of Engineering Science, associate professor, associate professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation department of Saratov State Technical University.

Scientific interests: researches in the field of optimization of inter-settlement and distributive systems of gas supply.

Иванов Антон Александрович, аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Саратовского государственного технического университета.

Область научных интересов: исследования в области надежного снабжения потребителей сетевым газом, оптимизация систем газоснабжения.

Ivanov Anton Aleksandrovich, post-graduate student of the Heat and Gas Supply and Ventilation department of the Saratov State Technical University.

Scientific interests: researches in the field of reliable supply of consumers with network gas, optimization of gas supply systems.

Контактный телефон: 8 (8452) 52-57-97.

Contact phone: 8 (8452) 52-57-97.