



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

## **Лабораторная работа** по дисциплине «Газоснабжение»

# **«Методика исследования коэффициента полезного действия газового аппарата»**



Авторы  
Чеботарев В.И.,  
Тихомиров С.А.,  
Харабаджахов Н.М.

Ростов-на-Дону, 2018



## Аннотация

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы студентами по направлению «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Для выполнения лабораторной работы разработаны методические указания и стенд в лаборатории кафедры. Стенд испытаний газового аппарата разработан в соответствии с ГОСТ 20219-74 «Аппараты отопительные газовые бытовые с водяным контуром».

Дана характеристика стенда. И размещение контрольно-измерительных приборов (КИП), изложен порядок проведения работ, методы проведения и обработки опытов.

## Автор

д.т.н., профессор Чеботарев В. И.  
зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и  
вентиляция», к.т.н. Тихомиров С. А.  
магистр Харабаджахов Н.М.





## Оглавление

<b>1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Методика исследования коэффициента полезного действия газового аппарата» ...</b>	<b>5</b>
2.1 Теоретические основы .....	5
2.2 Описание лабораторной установки .....	7
2.3 Методы испытаний .....	8
2.4 Обработка экспериментальных данных .....	11
2.5 Контрольные вопросы .....	17

## 1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты допускаются к проведению лабораторных работ после прохождения ими инструктажа по технике безопасности. Преподаватель или зав. лабораторией перед началом занятий проводит инструктаж и оформляет его в специальном журнале, хранящемся в производственной лаборатории кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция».

В целях соблюдения техники безопасности при выполнении лабораторных работ все студенты разбиваются на группы по 3 – 4 человека, которые поочередно под руководством преподавателя выполняют лабораторную работу на стенде.

После выполнения всех замеров группа студентов садится за столы в лаборатории и обрабатывает опытные данные.

### **Студентам категорически запрещается:**

1. Самостоятельно включать лабораторный стенд и останавливать его работу.
2. Осматривать или изучать лабораторный стенд, который не относится к теме текущих занятий.
3. Открывать или закрывать краны на газопроводе или газовом оборудовании (АОГВ – 29).
4. Подходить к электрощиту или вентилятору.
5. Покидать лабораторию без разрешения преподавателя или зав. лабораторией.

### **Каждый студент обязан:**

1. Ознакомиться с планом эвакуации из лаборатории в случае аварийной ситуации.
2. Строго соблюдать дисциплину при выполнении порученных лабораторных работ.

## 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### «МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ГАЗОВОГО АППАРАТА»

Целью лабораторной работы является изучение прихода и расхода тепловой энергии используемого природного газа, т.е. исследование коэффициента полезного действия аппарата АОГВ – 29 с определением основного показателя работы теплогенерирующей установки (ТГУ).

При этом, если возникает необходимость, то методика предусматривает более углубленное изучение процесса тепломас-сообмена в аппарате, обусловлено определением всех показателей расхода тепловой энергии, включая  $Q_5$ .

#### 2.1 Теоретические основы

В зависимости от расхода потребления газа отопительного аппаратом происходит изменение тепловой нагрузки и соответственно изменяется КПД аппарата.

Основой исследования является определение теплового баланса выраженной в следующей формуле:

$$Q_{\text{пр}} = Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_5, \text{ Вт (кВт)} \quad (1)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  – приход тепловой энергии в аппарат АОГВ – 29, Вт (кВт);  
 $Q_1$  – полезно используемое тепло, затраченное на производство теплоносителя, Вт (кВт);  
 $Q_2$  – потери теплоты с уходящими газами, Вт (кВт);  
 $Q_3$  – потери теплоты от химического недожога, Вт (кВт);  
 $Q_5$  – потери теплоты в окружающую среду, Вт (кВт).

Для решения определения коэффициента полезного действий (КПД) или теплового баланса АОГВ -29, теоретически рассмотрим приход и расход тепловой энергии.

$$Q_{\text{пр}} = V \cdot Q_{\text{н}}, \text{ Вт (кВт)} \quad (2)$$

где  $V$  – расход природного газа, м<sup>3</sup>/ч;  
 $Q_{\text{н}}$  – низшая теплота сгорания, Вт (ккал/м<sup>3</sup>).

Низшая теплота сгорания принимается по паспортным данным состава природного газа.

Полезно используемая теплота, затраченная на производство теплоносителя, определяется по формуле:

$$Q_1 = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1), \text{ Вт (кВт)} \quad (3)$$

где  $G$  – объем вещества, кг;  
 $c_p$  – теплоемкость, Вт ( ккал/кг · °С);  
 $t_1$  – температура теплоносителя до аппарата, °С;  
 $t_2$  – температура теплоносителя после аппарата, °С.

Потери теплоты с уходящими газами определяются по формуле:

$$Q_2 = \sum V_{\text{пс}} \cdot c_p \cdot t_{\text{уг}}, \text{ Вт (кВт)} \quad (4)$$

где  $\sum V_{\text{пс}}$  – суммарный объем продуктов сгорания, %;  
 $c_p$  – теплоемкость, Вт ( ккал/кг · °С);  
 $t_{\text{уг}}$  – температура уходящих газов, °С;

По технологической характеристики газовой горелки, установленные в аппаратах АОГВ – 29, недожог ( $Q_3$ ) отсутствует, т.е.  $Q_3 = 0$ , Вт (кВт)

Потери теплоты аппаратом в окружающую среду определяются по формуле:

$$Q_5 = F \cdot k \cdot \Delta t, \text{ Вт (кВт)} \quad (5)$$

где  $F$  – поверхность аппарата, мм;  
 $k$  – коэффициент теплопередачи, ккал/м<sup>2</sup> · °С;  
 $\Delta t$  – логарифмический перепад температур, °С;  
 Коэффициент теплопередачи определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{°С} \quad (6)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от стенки аппарата к изоляционному материалу;  
 $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности аппарата к окружающей среде;  
 $\lambda$  – теплопроводность;  
 $\delta$  – толщина стенки аппарата, мм.

Принимая во внимания, что в АОГВ – 29, от продуктов сгорания теплота передается к теплоносителю (нагреваемая жидкость), через разделительную металлическую стенку в которой температура стенки со стороны продуктов сгорания и нагреваемого теплоносителя примерно одинаково, поэтому производим преобразование формулы коэффициента теплопередачи, которая равна:

$$k = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (7)$$

## 2.2 Описание лабораторной установки

На рис. 1 представлена принципиальная схема экспериментальной установки. В составе экспериментального стенда в котором основными элементами являются: отопительный аппарат **11** с устройством регулирования температуры, счетчик газовый **2**, мановакуумметр **3** для определения вакуумметрического и манометрического давления, пробоотборник **4**, термометр **5** для определения температуры теплоносителя в системе, манометр **6** для определения давления в системе, тягонапоромер **7** для измерения избыточного давления газов в дымоходе, сосуд для воды **9**, весы **10**. Элементы оборудования соединены трубопроводами и запорно-регулирующей арматурой **1**, **8**, позволяющую задавать нагрузку системы в зависимости от постановки задачи лабораторного эксперимента.

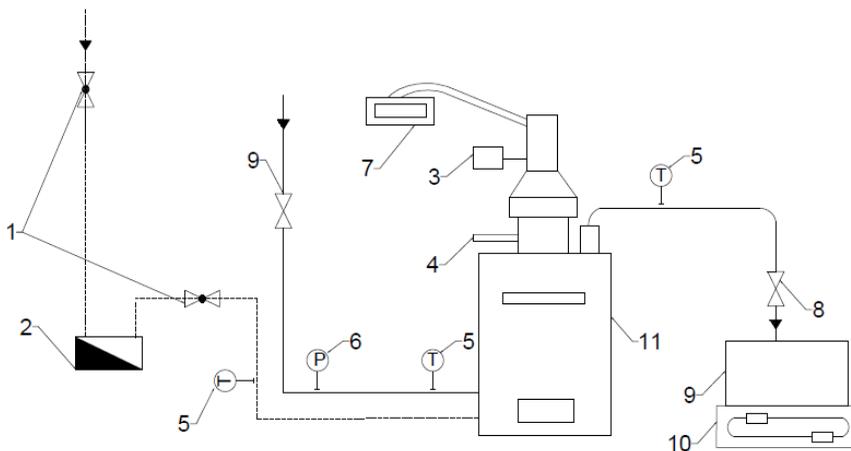


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда.  
 1 – кран пробковый; 2 – счетчик газовый; 3 – мановакуумметр;  
 4 – пробоотборник; 5 – термометр; 6 – манометр;  
 7 – тягонапорометр; 8 – вентильный кран; 9 – сосуд для воды;  
 10 – весы; 11 – аппарат отопительный.

### 2.3 Методы испытаний

В соответствии с ГОСТ 20219 –74 «Аппараты отопительные газовые бытовые с водяным контуром» типовые и периодические испытания должны проводиться при соблюдении следующих исходных данных:

1. Температура воздуха ( $20 \pm 5$ ) °С;
2. Относительная влажность, не более 80 %;
3. Содержание углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в воздухе, не более 0,2%;
4. Скорость движения воздуха в помещении, не более 0,5 м/с<sup>2</sup>;

Предварительное определение следующих данных.

1. Температура воздуха следует измерять термометром по ГОСТ 215 – 73 «Термометры ртутные стеклянные лабораторные» с ценой деления 1°С;



2. Содержание углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в воздухе определяется газоанализатором по ГОСТ 7018-75 «Газоанализатор для общественного анализа природных и промышленных газов» с погрешностью определения не более 0,1 об, %;

3. Скорость движения потока воздуха в помещении определяется ручным анемометром со счетным механизмом типа Б, по ГОСТ 6376 – 74 «Анемометры ручные со счетным механизмом»

Перед испытанием необходимо иметь исходные и вспомогательные данные, далее аппарат следует отрегулировать на начальную тепловую мощность (напр. 10 кВт). Основная и запальная горелки должны быть отрегулированы на оптимальное горение при помощи регулировочных устройств, для подачи первичного воздуха.

В исследовании аппарата используется природный сетевой газ. Основным параметром, которого является Число Воббе ( $W$ ),

$$W = \frac{Q_B}{\sqrt{p}}, \text{ ккал/м}^3 \quad (8)$$

где  $Q_B$  – высшая теплота сгорания газа, Вт (ккал/м<sup>3</sup>);  
 $p$  – плотность газа по воздуху, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность газа по воздуху определяется по формуле:

$$P(v) = M_r(\text{газа}) / M_r(\text{воздуха}), \text{ кг/м}^3 \quad (9)$$

где  $P(v)$  – относительная плотность;  
 $M_r(g)$  – относительная молекулярная масса газообразного вещества;  
 $M_r(v)$  – относительная молекулярная масса воздуха.

При испытании аппарата давление газа перед горелкой должно быть минимальное 635 Па и максимальное 1764 Па (см. таблицу 1).

Таблица 1.

Па (мм вод. ст.)

Наименование газов	Минимальное давление	Номинальное давление	Максимальное давление
Природный газ	635(65);	1274(130);	1764(180);

Все испытания следует проводить при разрежении в дымоходе 2,94Па + 0,98 Па (0,3 мм вод. ст. + 0,1 мм вод. ст.)

Разрежение в дымоходе следует измерить жидкостным микроманометром по ГОСТ 11161 – 84 «Микроманометры жидкостные».

Размещение контрольно измерительных приборов (КИП) на стенде для проведения типовых и периодических испытаний должно соответствовать схеме указанной на рисунке 1.

Тепловая мощность (Q) вычислять по формуле:

$$Q = V_r * Q_H^H, \text{ Вт (ккал/м}^3\text{)} \quad (10)$$

где  $V_r$  – часовой расход газа, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_H^H$  – низшая теплота сгорания газа, приведенная к нормальным условиям, ккал/м<sup>3</sup> (Вт).

Низшая теплота сгорания газа принимаем как исходные данные в соответствии с паспортом.

Студенты должны изучить описание лабораторной установки и заготовить протокол для записи измерений (табл. 2).

Таблица 2.

Наименование	№ опыта			
	1	2	3	4
№ опыта				
Время замера, $\tau$ , мин				
Температура газа, $t_r$ , °C				

Продолжение табл. 2.

Расход газа, $V$ , м <sup>3</sup> /ч	$V_H$				
	$V_K$				
Время замера, $\tau$ , мин					
Количество теплоносителя, $G$ , кг					
Температура теплоносителя, $t$ , °C	$T_1$				
	$T_2$				
Объем $CO_2$ в продуктах сгорания, $V_{CO_2}$ , %					
Температура уходящих газов, $t_{уг}$ , °C					
Разряжение дымоходе, $-\Delta P_d$					
Средняя температура поверхности аппарата, $t_{cp}$ , °C					
Температура окружающей среды, $t$ , °C					

## 2.4 Обработка экспериментальных данных

При обработке экспериментальных данных, методикой предусмотрено два варианта.

**Первый вариант** – упрощенная обработка экспериментальных данных с целью получения только коэффициента полезного действия (КПД).

По результатам замеров последовательно выполним обработку полученных данных в опытах.

1. Расход газа за опыт определяется по формуле:

$$V_{\Gamma} = V_{\kappa} - V_{\text{H}}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (11)$$

где  $V_{\text{H}}$  – расход газа до опыта,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $V_{\kappa}$  – расход газа после опыта,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

2. Количество теплоты получается в топочной камере при использовании природного газа ( $Q_{\text{пр}}$ ) определяется по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = V \cdot Q_{\text{H}}, \text{ Вт(кВт)} \quad (12)$$

3. Полезно используемое количество теплоты при сжигании природного газа ( $Q_1$ ) определяется по формуле:

$$Q_1 = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1), \text{ Вт (кВт)} \quad (13)$$

4. Коэффициента полезного действия (КПД) определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_{\text{пр}}} \cdot 100, \% \quad (14)$$

По результатам вычисления строим график зависимости коэффициента полезного действия (КПД) от его тепловой нагрузки аппарата  $Q_{\text{пр}}$  (рисунок 2).



Рис. 2. Графическая зависимость КПД от тепловой нагрузки ( $Q_{\text{пр}}$ ).

**Второй вариант** – обработка экспериментальных данных по классическому тепловому балансу теплогенерирующей установки (АОГВ -29)

По результатам замеров последовательно выполним обработку полученных данных в опытах.

1. Расход газа за опыт определяется по формуле:

$$V_r = V_k - V_n, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где  $V_n$  – расход газа до опыта,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $V_k$  – расход газа после опыта,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

По результатам обработки построим график (рисунок 3).



Рис. 3. Графическая зависимость расхода газа ( $V_r$ ) от давления газа ( $P_r$ ) перед горелкой.

2. Количество теплоты получается в топочной камере при использовании природного газа ( $Q_{пр}$ ) определяется по формуле:

$$Q_{пр} = V \cdot Q_n, \text{ Вт(кВт)}$$

По результатам обработки построим график (рисунок 4).



Рис. 4. Графическая зависимость тепловой нагрузки ( $Q_{пр}$ ) от давления газа ( $P_r$ ) перед горелкой.

3. Полезно используемое количество теплоты при сжигании природного газа ( $Q_1$ ) определяется по формуле.

$$Q_1 = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1), \text{ Вт (кВт)}$$

По результатам обработки построим график (рисунок 5).

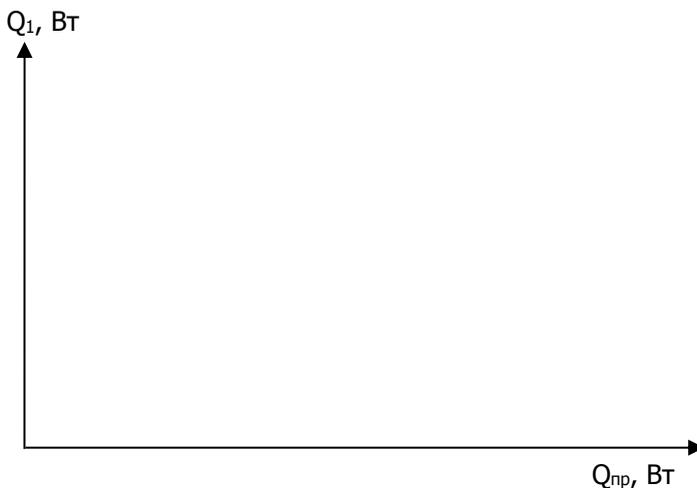


Рис. 5. Графическая зависимость полезной теплоты ( $Q_1$ ) от тепловой нагрузки ( $Q_{пр}$ ).

4. Потери теплоты с уходящими продуктами сгорания ( $Q_2$ ) определяются по формуле:

$$Q_2 = \sum V_{п.г} \cdot c_p \cdot t_{г'}, \text{ Вт (кВт)}$$

По результатам обработки построим график (рисунок 6).



Рис. 6. Графическая зависимость потери теплоты ( $Q_2$ ) от тепловой нагрузки ( $Q_{пр}$ ).

5. Потери теплоты в окружающую среду определяется по формуле:

$$Q_5 = F \cdot k \cdot \Delta t, \text{ Вт (кВт)}$$

По результатам обработки построим график (рисунок 7).



Рис. 7. Графическая зависимость потери теплоты в окружающую среду ( $Q_5$ ) от тепловой нагрузки ( $Q_{пр}$ ).

6. По результатам обработки опытов определяем эффективность АОГВ, путем нахождения коэффициента полезного действия (КПД) аппарата.

Коэффициента полезного действия (КПД) определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_{пр}} \cdot 100, \%$$

По результатам обработки построим график (рисунок 8).



Рис. 8. Графическая зависимость КПД от тепловой нагрузки ( $Q_{пр}$ ).

Примечание: если по приведённым и обработанным результатам опытов исследования отопительного аппарата на стенде по «ГОСТ 20219 –74 «Аппараты отопительные газовые бытовые с водяным контуром», получим коэффициент полезного действия (КПД) более 82%, то это значит, что отопительный аппарат типа (АОГВ-29) усовершенствован и имеет значительную экономию использования природного газа в системах теплогазоснабжения жилых домов.

## 2.5 Контрольные вопросы

1. Дайте определение высшей ( $Q_v$ ) и низшей ( $Q_n$ ) теплоте сгорания природного газа.
2. С какой целью определяют КПД АОГВ – 29?
3. Как определяется КПД отопительного аппарата.
4. Почему при определении потерь тепла с уходящими газами ( $Q_2$ ) учитываем температуру продуктов сгорания?
5. Почему при понижении температуры уходящих газов ниже допустимой величины происходит опрокидывание тяги?
6. Выполните перевод низшей теплоты сгорания ( $Q_n$ ), ккал/м<sup>3</sup> в кВт.