



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Методические указания
к лабораторным работам для подготовки
бакалавров дневного и заочного отделений
направления 08.03.01 «Строительство»,
профиль «Теплогазоснабжение и
вентиляция»

**«Исследование
устойчивости горения
природного газа. Отрыв и про-
скок пламени»**

Авторы
Чеботарев В.И., Гришин Г.С.,
Федоровский В.Г.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения направления 08.03.01 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Дается техника безопасности при проведении лабораторных работ, теоретические основы, описания лабораторной установки, порядок проведения работ и методов обработки опытных данных. Для закрепления материалов по лабораторной работе приводятся контрольные вопросы по теме работы.

Авторы

д.т.н., профессор кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Чеботарев В.И.

ассистент кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Гришин Г.С.

ассистент кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Федоровский В.Г.





Оглавление

Лабораторная работа №1 Определение скорости нормального распространения пламени. Отрыв и проскок пламени.....	4
ЛИТЕРАТУРА.....	13

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ НОРМАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ. ОТРЫВ И ПРОСКОК ПЛАМЕНИ

Цель работы: освоение студентами методики определения скорости нормального распространения пламени по конусу пламени горелки Бунзена, т.е. наиболее простым способом.

Теоретические основы

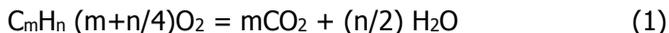
Скорость нормального распространения пламени является важной физико-химической характеристикой, необходимой для расчетов процесса горения газообразного топлива и конструирования газогорелочных устройств.

Существует несколько способов опытного определения скорости распространения пламени: по конусу пламени горелки Бунзена, на основе кино – фоторегистрации пламени в трубке, по изменению давления в бомбе постоянного объема и др.

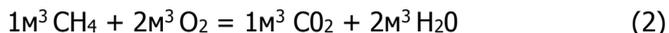
Горелка Бунзена представляет собой инжекционную горелку предварительного смешения газа с частью (около 55 – 65%) потребного для полного сжигания воздуха.

Расчеты реакций горения

Горение газообразного топлива — процесс быстрого окисления его горючих компонентов кислородом, сопровождающийся интенсивным тепловыделением. Горение любого углеводорода в кислороде в общем виде выражается уравнением:

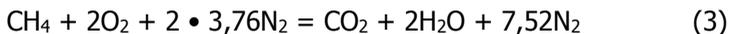


Уравнение (1) выражает соотношение компонентов, участвующих в процессе реакции горения до ее начала и после завершения. Объем 1 кмоль любого газа при нормальных условиях равен 22,4 м³, следовательно, уравнение горения метана примет вид:



Исходя из уравнения (2) определяем, что для полного сгорания 1 м³ метана необходимо израсходовать 2 м³ кислорода. В результате получится 1 м³ углекислого газа и 2 м³ водяных паров. Необходимый для горения газа кислород содержится в составе воздуха в количестве 21% от общего объема, и 79 % азота, который, как известно, не участвует в горении. Значит, на 1 м³

кислорода приходится $79/21 = 3,76$ м³ азота. Исходя из вышеизложенного, реакция горения метана в воздухе в идеальных условиях выражается соотношением (3):



Исходя из данных расчетов следует, что теоретически для сгорания 1 м³ метана необходимо 9,52 м³ воздуха.

В газовых горелках воспламенение газозвушной смеси осуществляется внешним источником зажигания. В этом случае фронт горения от места зажигания распространяется по струе, вытекающей из горелки газозвушной смеси за счет нагревания соседних слоев смеси до температуры воспламенения. Скорость и характер распространения фронта горения по потоку газозвушной смеси зависят от множества факторов.

Как известно, газозвушная смесь, заключенная в замкнутом объеме, не всегда может быть воспламенена внешним источником зажигания. Воспламеняются только те смеси, содержание горючего газа в которых находится в определенных для каждого газа пределах. При воспламенении «бедных» смесей (смесей с недостаточным содержанием горючего газа) тепла, выделившегося при горении в очаге поджигания, не хватает для нагрева соседних слоев смеси до температуры воспламенения и самопроизвольное горение смеси не достигается. «Богатые» смеси (смеси с чрезмерным содержанием горючего газа) при поджигании также не горят самостоятельно, потому что из-за недостатка воздуха в газозвушной смеси у очага поджигания сгорает малое количество газа и выделяющегося при этом тепла недостаточно для поддержания температуры воспламенения.

Этим двум условиям соответствуют нижний и верхний концентрационные пределы воспламеняемости (взрываемости) газа. Нижний предел соответствует минимальному, а верхний – максимальному содержанию горючего газа в смеси, при котором происходит ее воспламенение при зажигании и самопроизвольное (без притока тепла извне) распространение пламени. Вне концентрационных пределов газозвушные смеси не горят и не взрываются. В интервале между нижним и верхним пределами смеси при поджигании в атмосфере горят, а в замкнутом объеме взрываются.

С повышением температуры пределы воспламеняемости газозвушных смесей расширяются, с повышением давления и увеличением негорючих компонентов – сужаются.

Скорость горения газа

При сжигании газовой смеси зона горения распространяется по объему смеси с определенной скоростью, называемой скоростью распространения пламени. Определение ее величины при различных условиях горения производится экспериментально с учетом состава смеси, температуры, давления, режима движения, методов сжигания и ряда других факторов.

Устройство экспериментальной установки

Экспериментальная установка (Рис. 1) – это устройство, состоящее из штуцера для подачи газа, инжектора, металлической трубки с отверстиями для поступления в трубку воздуха из атмосферы, закрепленной на подставке, при этом отверстия выполнены на боковой поверхности трубки, на которой для изменения подачи воздуха в горелку, установлена подвижная заслонка, изменяющая площадь проходного сечения этих отверстий, рядом с трубкой закреплена линейка для измерения высоты внутреннего конуса горения.

При работе горелки газ в виде струи с большой скоростью выходит из сопла инжектора, создавая разрежение в трубке, в результате чего воздух из атмосферы засасывается в горелку через отверстия в трубке, и при движении вверх вдоль трубки смешивается с газом, образуя газоздушную смесь, которая поджигается на выходе из горелки.

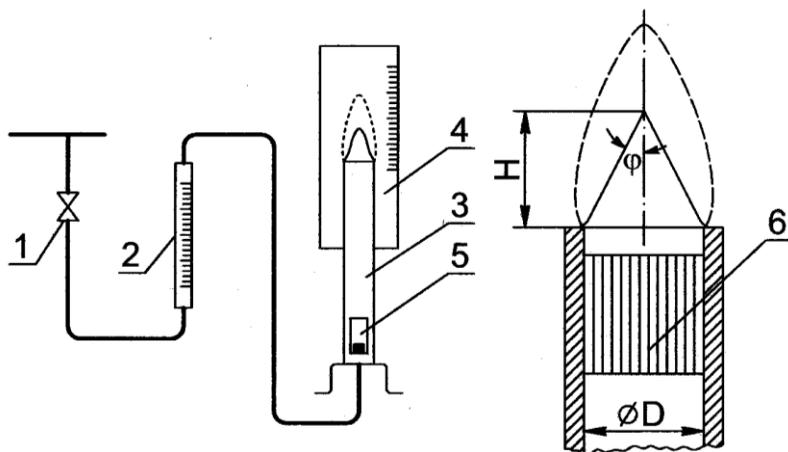


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и конструкция наконечника горелки

Для экспериментальной установки созданы насадки различных форм и диаметров ($d=20$ мм, 16 мм, 12 мм, 8 мм, 4 мм, насадки-сетки) (Рис. 2).



Рис. 2. Насадки для экспериментальной установки

Экспериментальный метод определения скорости распространения пламени

В работе применяется динамический метод определения скорости распространения пламени, который основывается на измерении геометрических параметров конуса фронта пламени газовой горелки экспериментальной установки (Рис. 3). С помощью этого метода можно определить так называемую нормальную скорость распространения пламени u_n , направленную по нормали к фронту горения газозвушной смеси.

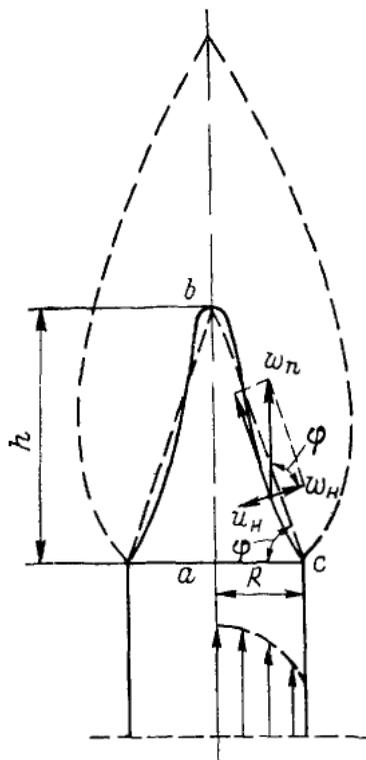


Рис. 3. Схема пламени экспериментальной установки

Из треугольника вектора скоростей на рисунке 3 видно, что:

$$\omega_n = \omega_p \cos \phi = u_n, \quad (4)$$

где

ω_n – нормальная составляющая скорости потока;
 ω_p – скорость потока (для приближенных расчетов можно принять, что скорость потока одинакова по всему сечению);
 ϕ – угол между скоростью потока и нормалью к фронту горения;
 u_n – нормальная скорость распространения пламени.
 Средняя скорость потока, м/сек равна:

$$\omega_{ср.п} = V_{см} / (\pi R^2) \quad (5)$$

где $V_{см}$ – расход газозвушной смеси в устье горелки, $м^3/с$;
 R – внутренний радиус горелки.

По расходу газа рассчитывают количество горючей смеси газа с воздухом по уравнению:

$$V_{см} = V_r(1 + 9,5\alpha') \quad (6)$$

здесь $\alpha' = 0,65$

Если предположить, что конус горения правильной геометрической формы, то из треугольника abc следует:

$$\begin{aligned} h &= R \operatorname{tg} \varphi = R \sin \varphi / \cos \varphi = \\ R \sqrt{(1 - \cos^2 \varphi) / \cos \varphi} &= R \sqrt{(1 / \cos^2 \varphi) - 1}, \end{aligned} \quad (7)$$

но, так как из выражения (4):

$$\cos \varphi = u_n / \omega_n \quad (7)$$

то получаем:

$$h = R \sqrt{\left(\left(\frac{\omega_n}{u_n} \right)^2 - 1 \right)} \quad (8)$$

Из уравнения (8) можно сделать вывод, что при увеличении радиуса сопла горелки и скорости потока газозвушной смеси высота внутреннего конуса горения увеличивается, а при увеличении нормальной скорости распространения пламени – уменьшается. Из уравнения (8) получаем:

$$u_n = \frac{\omega_n R}{\sqrt{R^2 + h^2}} \quad (9)$$

Таким образом, определение нормальной скорости распространения пламени динамическим методом сводится к вычислению средней скорости газозвушной смеси в горелке и измерению высоты внутреннего конуса горения.

При этом методе регулированием состава и скорости газозвушной смеси, ламинарно вытекающей из горелки, добиваются образования устойчивого резко очерченного голубого внутреннего

конуса горения (Рис. 4). Стабильность формы этого конуса обеспечивается тем, что в каждой точке его поверхности нормальная скорость распространения пламени u_n , направленная по нормали внутрь конуса, будет равна прямопротивоположно направленной составляющей ω_n скорости потока ω_n газовой смеси.

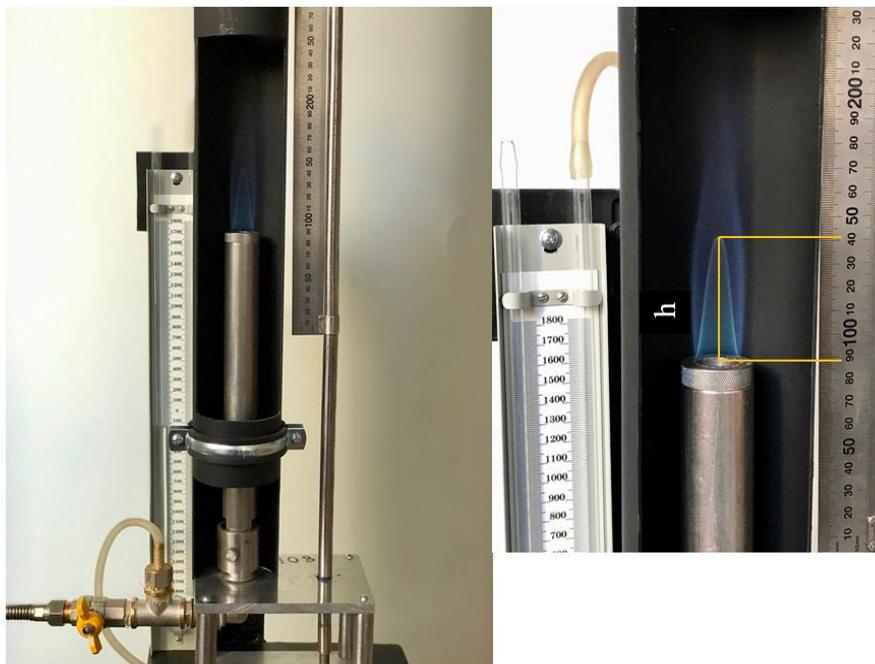


Рис. 4. Устойчивое горение пламени

При увеличении расхода смеси ламинарный режим постепенно переходит в турбулентный, устойчивость горения нарушается и пламя отрывается от горелки. Если расход уменьшить, скорость распространения пламени в пристенной зоне потока может превысить скорость истечения смеси и пламя втягивается внутрь горелки. Первое явление получило название отрыв пламени, второе – проскок или обратный удар пламени.

Отрыв пламени (Рис. 5) недопустим в любом виде, так как при полном отрыве несгоревший газ, а при частичном – продукты незавершенного горения образуют в окружающей атмосфере или

топке взрывоопасные или токсичные смеси. Отрыв пламени зависит от содержания первичного воздуха в смеси и диаметров огневых отверстий. С увеличением диаметров огневых отверстий увеличивается скорость истечения смеси, при которой происходит отрыв пламени. Увеличение содержания первичного воздуха в смеси приводит к снижению скорости отрыва пламени.



Рис. 5. Отрыв пламени

Если скорость истечения газовой смеси становится меньше скорости распространения пламени, то происходит проскок пламени. В этом случае пламя может погаснуть, обычно с хлопком, или переместиться в смеситель горелки, перегревая его и препятствуя притоку первичного воздуха. Проскок пламени недопустим, так как приводит к истечению из горелки

несгоревшего газа или продуктов незавершенного горения, а также перегреву горелки.

Таким образом, пределы устойчивой работы горелок ограничиваются скоростями отрыва и проскока пламени.

Данные замеров и расчетов сводятся в таблицу 1.

Таблица 1

№ опытов	Расход газа	Высота конуса пламени	Количество горючей смеси	Скорость распространения пламени
1.				
2.				
3.				

Контрольные вопросы

1. Какие процессы протекают при горении горючих газов?
2. Объясните стабилизацию пламени в Бунзеновской горелке.
3. Какие условия необходимы для возникновения и протекания процесса горения горючих газов?

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы практической теории горения /Под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергия, 1973.
2. Н.А. Скафтымов «Основы газоснабжения», издательство «Недра», Ленинград, 1975 г. – 338 с.
3. Н.Л. Стаскевич, Г.Н. Северинец, Д.Я. Вигдорчик «Справочник по газоснабжению и использованию газа», Ленинград, издательство «Недра», 1990 г. – 762 с.
4. В.И. Чеботарев, Н.Н. Грищенко, Г.М. Кравченко учебное пособие «Основы газоснабжения», Редакционно-издательский центр Ростовской-на-Дону государственной академии строительства, Ростов-на-Дону, 1994 г. – 109 с.
5. А.Я. Корольченко «Процессы горения и взрыва», издательство «Пожнаука», Москва, 2007 г. – 266 с.
6. С.С. Кислый, Р.Ю. Орехов, Г.С. Гришин «Исследование устойчивости горения природного газа на экспериментальной установке», 18 Международная научно-практическая конференция «Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение», издательство ДГТУ, 2016 г.