



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Методические указания
для проведения практических занятий по
дисциплине

**«Теплогазоснабжение и
вентиляция»
Часть II. Газоснабжение**

для обучающихся по направлению
подготовки 08.03.01 «Строительство»

Авторы
Тихомиров А.Л.,
Тихомиров С.А.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Методические указания для проведения практических занятий по дисциплине «Теплогазоснабжение и вентиляция» для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Приведены примеры решения задач по основным разделам дисциплины «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тихомиров А.Л.

к.т.н., доцент кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Тихомиров С.А.





Оглавление

1. Определение свойств газообразного топлива	4
2. Определение расходов газа потребителями города	9
3. Выбор системы газоснабжения города	12
Литература	14

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

При известном составе газообразного топлива теплофизические характеристики его определяются по свойствам простых газов – компонентов смеси.

Плотность газового топлива в нормальных условиях находится по формуле [1,2]

$$\rho_{\text{осм}} = 0,01 \sum_{i=1}^n \rho_{oi} y_i \quad (1.1)$$

где y_i – объемное процентное содержание i – го компонента в газовой смеси, %;

ρ_{oi} – плотность i – го компонента при нормальных условиях, кг/м³, принимаемая по справочным данным [1,2] или определяемая из выражения

$$\rho_{oi} = \frac{M_i}{V_{M_i}},$$

где M_i – молярная масса i – го компонента смеси, кг/кмоль,
 V_{M_i} – объем одного киломоля i – го компонента, м³/кмоль.

Низшая объемная теплота сгорания сложных газов рассчитывается по составу газообразного топлива и теплоте сгорания компонентов [1,2]

$$Q_{\text{нсм}} = 0,01 \sum_{i=1}^n y_i Q_{ni}, \quad (1.2)$$

где Q_{ni} – объемная низшая теплота сгорания i – го компонента, входящего в смесь кДж/ м³.

Концентрационные пределы воспламенения для смесей горючих газов, не содержащих балластных примесей, определяется по правилу аддитивности по формуле Ле Шателье [1,2]

$$L_{\text{см}} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{L_i}}, \quad (1.3)$$

где $L_{см}$ – нижний или верхний предел воспламенения смеси горючих газов в газозвушной смеси, %;

L_i – нижний или верхний предел воспламенения i – го компонента в газозвушной смеси, %.

Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для полного сгорания 1 м^3 природного газа составляет [1,2]

$$V_0 = 0,0476 \left[\sum \left(n + \frac{m}{4} \right) C_n H_m + 1,5 H_2S \right], \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (1.4)$$

где $C_n H_m$ – объемное процентное содержание углеводородов, входящих в состав газовой смеси, %;

n, m – соответственно число атомов углерода и водорода в каждом углеводороде;

H_2S – объемное процентное содержание сероводорода в газовом топливе, %.

Теоретический расход влажного воздуха больше подсчитанного по выражению (1.4) на объем содержащихся в нем водяных паров

$$V^{в\lambda} = V_0 + 0,00124 d_b V_0, \quad (1.5)$$

где d_b – влагосодержание воздуха, $\text{г}/\text{м}^3$;

$0,00124$ – объем 1 г водяного пара, $\text{м}^3/\text{г}$.

Вследствие несовершенства смешения горючих компонентов с окислителем в процессе горения топочные процессы ведутся с некоторым избытком воздуха (для исключения химической неполноты сгорания), поэтому действительное количество воздуха, необходимого для сжигания газа, составит [1,2]

$$V_d = \dot{\alpha} V^{в\lambda}, \quad (1.6)$$

где $\dot{\alpha}$ – коэффициент избытка воздуха. Его величина зависит от условий смесеобразования газа и воздуха и обычно принимается в пределах $1,05 - 1,2$.

В состав продуктов сгорания входят углекислый газ, водяные пары, азот, кислород, а иногда и сернистый ангидрид.

Количество углекислого газа, образующегося при сгорании 1 м^3 газообразного топлива зависит от содержания углерода в компонентах смеси и балласте топлива [1,2]

$$V_{CO_2} = 0,01 (\sum n C_n H_m + CO_2), \quad (1.7)$$

где CO_2 – объемное процентное содержание углекислого газа в составе смеси, %.

Количество образующихся водяных паров складывается из объема паров, получающихся в результате сгорания водорода, входящего в состав углеводородов и других соединений, водяных паров, содержащихся в газовом топливе в виде балласта и поступающих с воздухом [1,2]

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01[\sum m/2 C_n H_m + \text{H}_2\text{S} + 0,00124(d_r + \dot{a}d_v V_0)], \quad (1.8)$$

где d_r – влагосодержание газа, г/ м³.

Количество кислорода в продуктах сгорания определяется коэффициентом избытка воздуха, при котором ведется процесс горения

$$V_{\text{O}_2} = 0,21(\dot{a} - 1) V_0 \quad (1.9)$$

Содержание азота в продуктах сгорания также зависит от коэффициента избытка воздуха и наличия азота в балласте топлива

$$V_{\text{N}_2} = 0,79\dot{a}V_0 + 0,01N_2 \quad (1.10)$$

где N_2 – объемное процентное содержание азота в составе смеси.

Полный объем продуктов сгорания 1м³ газообразного топлива составит

$$V_{\text{пр.сг}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2} \quad (1.11)$$

Основные характеристики некоторых простых газов, входящих в состав природных газов, которые необходимы при определении свойств газовой смеси, приведены в табл. 9.1 [3].

Пример. Определить теплофизические характеристики сухого природного газа следующего состава:

CH_4 – 93,0%; C_2H_4 – 4,0%; C_3H_8 – 0,9%; C_4H_{10} – 0,4%;

C_5H_{12} – 0,3%; CO_2 – 0,1%; N_2 – 1,3%.

Решение. Для определения плотности газовой смеси находим по таблице 9.1 [3] значение плотности отдельных компонентов и подставляем их в формулу (1.1):

Теплогазоснабжение и вентиляция

$$\rho_{\text{осм}} = 0,01(0,717*93,0 + 1,356*4,0 + 2,004*0,9 + 2,702*0,4 + 3,457*0,3 + 1,977*0,1 + 1,251*1,3) = 0,78 \text{ кг/ м}^3.$$

Низшая теплота сгорания по выражению (1.2) равняется

$$Q_{\text{нсм}} = 0,01(35760*93 + 63650*4 + 91140*0,9 + 118530*0,4 + 146180*0,3) = 37536 \text{ кДж/ м}^3.$$

Для определения пределов воспламенения находим состав горючей части газа без балластных примесей по формуле

$$y_i^I = \frac{y_i}{100-B} 100;$$

$$y_{CH_4}^I = \frac{93,0}{100-(0,1+1,3)} 100 = 94,32 \text{ \%};$$

$$y_{C_2H_6}^I = \frac{4,0}{98,6} 100 = 4,05 \text{ \%};$$

$$y_{C_3H_8}^I = \frac{0,9}{98,6} 100 = 0,91 \text{ \%};$$

$$y_{C_4H_{10}}^I = \frac{0,4}{98,6} 100 = 0,41 \text{ \%};$$

$$y_{C_5H_{12}}^I = \frac{0,3}{98,6} 100 = 0,31 \text{ \%};$$

$$\sum y_i^I = 94,32 + 4,05 + 0,91 + 0,41 + 0,31 = 100\%$$

Используя данные таблицы 9.1 [3], находим нижний и верхний пределы воспламенения горючей части газа по формуле (1.3):

$$L_{\text{смн}} = \frac{100}{\frac{94,32}{5,0} + \frac{4,05}{3,0} + \frac{0,91}{2,0} + \frac{0,41}{1,7} + \frac{0,31}{1,35}} = 4,73 \text{ \%};$$

$$L_{\text{см.в}} = \frac{100}{\frac{94,32}{15,0} + \frac{4,05}{12,5} + \frac{0,91}{9,5} + \frac{0,41}{8,5} + \frac{0,31}{8,0}} = 14,7 \%$$

Теоретическое количество сухого воздуха, необходимого для сжигания газа, определяем по формуле (1.4)

$$V_0 = 0,0476(2*93,0 + 3,5*4,0 + 5*0,9 + 6,5*0,4 + 8*0,3) = 9,97 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Содержание водяных паров в воздухе при $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\phi = 60\%$ составляет $d_{\text{в}} = 17,3*0,6 = 10 \text{ г}/\text{м}^3$.

Тогда теоретический расход влажного воздуха равняется

$$V^{\text{вл}} = 9,97 + 0,00124 + *10*9,97 = 10,09 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Действительное количество влажного воздуха, необходимого для сжигания газа, при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,1$ составит

$$V_{\text{д}} = 1,1*10,9 = 11,1 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Объем углекислого газа, образующегося при сжигании 1 м^3 рассматриваемого газа:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01(1*93,0 + 2*4,0 + 3*0,9 + 4*0,4 + 5*0,3 + 0,1) = 1,07 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Объем водяных паров в продуктах сгорания составит

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01[2*93,0 + 3*4,0 + 4*0,9 + 5*0,4 + 6*0,3 + 0,00124(0 + 1,1*10*9,97)] = 2,06 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Количество кислорода в продуктах сгорания

$$V_{\text{O}_2} = 0,21(1,1 - 1)9,97 = 0,21 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Количество азота в продуктах сгорания

$$V_{\text{N}_2} = 0,79*1,1*9,97 + 0,01*1,3 = 8,67 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Полный объем продуктов сгорания

$$V_{\text{пр.сг}} = 1,07 + 2,06 + 0,21 + 8,67 = 12,01 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ГАЗА ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ГОРОДА

Годовое потребление газа городом является основой для составления проекта газоснабжения. Расчет годового потребления производится по средним нормам, разработанным на основе многолетнего опыта. Для расчета необходимо определить количество жителей в городе (в отдельных кварталах и целом). Количество жителей N , чел., находится по формуле [4]:

$$N = FP, \quad (2.1)$$

где F – площадь квартала в красных линиях застройки, га;
 P – расчетная плотность населения, чел/га.

Размеры квартала определяются по генплану города. Плотность населения принимается в зависимости от зоны различной степени градостроительной ценности территории и климатического подрайона, в котором расположен город. Для жилых районов она определяется по таблице 1, а для микрорайонов – по таблице 2 приложения 4 [4].

Годовой расход газа на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды равномерно распределенными потребителями определяется по выражению [1].

$$V_{\text{год}} = N n x \frac{Q_{\text{год}}}{Q_{\text{H}}}, \quad (2.2)$$

где N – численность населения, чел.;
 n – число расчетных потребителей на 1 тыс. жителей;
 x – степень охвата газоснабжением в долях единицы;
 $Q_{\text{год}}$ – нормативный расход газа в тепловых единицах на хозяйственно-бытовые нужды, кДж/год;
 Q_{H} – низшая теплота сгорания газа, кДж/м³.

Расход газа котельными определяется по выявленным затратам теплоты, кВт, на отопление жилых и общественных зданий Q_{O} , вентиляцию общественных зданий $Q_{\text{В}}$, горячее водоснабжение жилых и общественных зданий $Q_{\text{ГВ}}$. Расходы теплоты находятся по укрупненным показателям.

Расход газа котельными находится по формуле

$$V_{\text{КОТ}} = \frac{3600(Q_{\text{O}} + Q_{\text{В}} + Q_{\text{ГВ}})}{n_{\text{К}} Q_{\text{H}}}, \quad (2.3)$$

где η_k – к.п.д. котельной установки. Для котельных малой и средней мощности принимается 0,75-0,8; для котельных большой мощности 0,85-0,9.

Количество котлов в квартальной котельной

$$n = \frac{V_{\text{кк}}}{V_{\text{к}}}, \quad (2.4)$$

где $V_{\text{кк}}$ – расход газа квартальной котельной, м³/ч.

Пример. Определить расчетный расход газа районной котельной, обслуживающей район города с населением 45000 человек. Город застроен 5, 7, 9 – этажными домами. В зоне 5 – этажной застройки проживает 15000 чел.; 7 – этажной застройки – 10000 чел.; 9 – этажной – 20000 чел. В квартирах 5 – этажных жилых домов установлены проточные газовые водонагреватели. В зоне 5 – этажной застройки предусматривается квартальная котельная, обслуживающая квартал с населением 2100 человек. На территории больницы расположена отдельная котельная, покрывающая все ее расходы теплоты на горячее водоснабжение, отопление и вентиляцию. Используется природный газ с $Q_{\text{н}} = 35600$ кДж/ м³.

Решение. Для определения расходов газа котельными находим расходы теплоты на отопление жилых и общественных зданий, вентиляцию общественных зданий и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий. Вначале находим тепловые нагрузки для районной котельной. Приняв $q_0 = 79,4$ Вт/м² при $t_0 = -24$ °С (табл. 9.5 [3]), получим

$$Q_0 = 79,4 * 18 * 45000(1 + 0,25) * 10^{-3} = 80325,5 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{в}} = 0,25 * 0,6 * 79,4 * 18 * 45000 * 10^{-3} = 9647,1 \text{ кВт}.$$

Приняв норму расхода горячей воды на одного человека $\dot{d} = 105$ л/(сут чел), находим $q_{\text{гв}} = 376$ Вт/чел (табл. 9.5 [3]).

Тогда для жилых и общественных зданий в зоне 7-ми и 9-ти этажной застройки

$$Q_{\text{гв}} = 376 * 30000 * 10^{-3} = 11280 \text{ кВт}.$$

Для зоны с 5-ти этажной застройкой расход теплоты на горячее водоснабжение учитываем только для общественных зданий (в кухнях квартир жилых домов установлены газовые нагреватели):

$$Q_{\text{гв общ}} = 73 \cdot 15000 \cdot 10^{-3} = 1095 \text{ кВт.}$$

Для выявленного теплотребления района города расход газа котельной будет равен

$$V_{\text{кот}} = \frac{3600(80392,5 + 9647,1 + 11280 + 1095)}{0,85 \cdot 35600} = 12184 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Нагрузка квартальной котельной определяется аналогичным путем. Расходы теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий квартала соответственно равны:

$$Q_o = 79,4 \cdot 18 \cdot 2100(1 + 0,25) = 3752 \text{ кВт;}$$

$$Q_v = 0,25 \cdot 0,6 \cdot 79,4 \cdot 18 \cdot 2100 = 450 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{гв}} = 0,073 \cdot 2100 = 153 \text{ кВт.}$$

Расход газа на квартальную котельную равен:

$$V_{\text{кк}} = \frac{3600(3752 + 450 + 153)}{0,85 \cdot 35600} = 550 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

К установке приняты котлы «Факел» с поверхностью нагрева 45,0 м² и теплопроизводительностью 26000 Вт/ м²

Расход газа квартальной котельной

$$V_{\text{к}} = \frac{3,6 \cdot 45,0 \cdot 26000}{0,8 \cdot 35600} = 147,9 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Количество котлов в котельной

$$n = \frac{550}{147,9} = 3,7$$

Принимается к установке 4 котла.

Уточненный расход газа на квартальную котельную составит

$$V_{\text{кк}} = 147,9 \cdot 4 = 591,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

На эту нагрузку рассчитывается и подбирается оборудование ГРУ котельной.

3. ВЫБОР СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

При выборе системы газоснабжения города следует учитывать ряд факторов: характер источника газа и его свойства; размеры города, особенности его планировки и застройки; плотность и численность населения; направление использования газа и степень охвата газоснабжением различных категорий потребителей газ (промышленные предприятия, ТЭЦ, районные котельные); наличие больших естественных и искусственных препятствий для прокладки газопроводов (рек, озер, железнодорожных узлов); ширину уличных проездов и насыщенность их инженерными коммуникациями; климатические и геологические условия; перспективный план застройки города.

При численности населения города до 100 тысяч человек со сравнительно большой плотностью нагрузки (значительная часть города застраивается 5-ти, 7-ми, 9-ти этажными зданиями) и с компактным размещением крупных потребителей газа принимается двухступенчатая система газоснабжения с давлением первой ступени 0,6 (0,3) МПа, во второй – 3,0 кПа. Применение высокого давления 0,6 МПа вместо среднего не всегда возможно из-за необходимости выдерживать гораздо большие расстояния до зданий и подземных сооружений.

Одноступенчатая система газоснабжения нецелесообразна, так как приведет к значительному удорожанию сети низкого давления. Применение трехступенчатой системы также нецелесообразно: крупных потребителей газа за городом нет; загородное кольцо высокого давления будет дублировать кольцо среднего давления и существенно увеличит стоимость сети.

Сеть среднего (высокого) давления следует проектировать кольцевой. Такая сеть с двухсторонним питанием обладает достаточно высокой надежностью. Трасса кольца выбирается так, чтобы уменьшить общую протяженность сети среднего (высокого) давления. Газопроводы среднего (высокого) давления прокладываются по улицам, и от них делаются ответвления к сетевым ГРП и сосредоточенным потребителям. На кольце предусматриваются секционирующие задвижки так, чтобы любой поврежденный участок сети можно было отключить с двух сторон и чтобы любого потребителя или группу из двух – трех потребителей можно было питать с любой стороны кольца.

В зависимости от потребности в газе, принимается количество ГРС, указывается их месторасположение.

Газопроводы низкого давления от ГРП до потребителей (жилые дома, предприятия общественного питания и мелкие предприятия бытового обслуживания) прокладываются внутри кварталов и микрорайонов по кратчайшему пути, т.е. из условия минимальной протяженности сети. Сети низкого давления проектируются смешанными с кольцевыми только основных линий. Газопроводы соседних ГРП соединяются между собой перемычками.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. – СПб., 2004 – 80 с.
2. Иссерлин А.С. Основы сжигания газового топлива. – Л.: Недра, 1987. – 331 с.
3. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование./ Под. ред. проф. Б.М. Хрусталева – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 784 с.
4. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. – Л.: Недра, 1990. – 762 с.