

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

Академия Государственной противопожарной службы

А. С. Андросов

КУРСОВАЯ РАБОТА
по дисциплине «Физико-химические основы
развития и тушения пожаров»

«Расчет основных параметров горения
и тушения пожара газового фонтана»

Для слушателей Института заочного и дистанционного обучения

Москва 2011

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

А. С. Андросов

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Физико-химические основы
развития и тушения пожаров»

«Расчет основных параметров горения
и тушения пожара газового фонтана»

(задание и методические рекомендации по выполнению)

Для слушателей Института заочного и дистанционного обучения

Утверждено редакционно-издательским советом
Академии ГПС МЧС России в качестве
учебно-методического пособия

Москва 2011

УДК 614.8 (075.8)

ББК 38.96

А 66

Р е ц е н з е н т ы:

начальник кафедры химии, д.т.н., профессор

С. С. Воевода,

заместитель начальника кафедры инженерной теплофизики и гидравлики

к.т.н., доцент

В. В. Андреев

А 66 Андросов А.С.

Теоретический расчет основных параметров горения и тушения пожара газового фонтана: Курсовая работа по дисциплине «Физико-химические основы развития и тушения пожаров». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 21 с.

В методических указаниях рассмотрен расчет основных параметров горения и тушения пожаров газовых фонтанов различного состава и дебита. Проводится сравнение результатов расчета с нормативными параметрами тушения компактного фонтана водяными струями из лафетных стволов. Определяется коэффициент использования огнетушащего средства.

По результатам расчётов необходимо сформулировать мероприятия по защите личного состава и техники при тушении пожара.

УДК 614.8 (075.8)

ББК 38.96

Издано в авторской редакции.

© Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, 2011

1. Введение

Одним из основных условий организации и проведения аварийно-спасательных работ является обеспечение безопасности личного состава. При чрезвычайных ситуациях условия труда, как правило, граничат с предельно допустимыми нагрузками. В экстремальных условиях необходимо, во-первых, иметь научно обоснованные методы оценки опасных факторов, влияющих на условия труда, безопасность как личного состава, так и спасаемых и, во-вторых, уметь применять их на практике.

На открытых пожарах к таким опасным факторам относится излучение пламени. Мощность или интенсивность излучения определяет допустимое время пребывания и границы зон, в которых могут проводиться те или другие виды аварийно-спасательных работ.

Целью курсовой работы является привитие навыков использования теоретических знаний, полученных при изучении дисциплин «Теория горения и взрыва» и «Физико-химические основы развития и тушения пожаров» при проведении расчетов параметров развития и тушения пожаров.

В результате выполнения курсовой работы слушатель должен:

знать и уметь оценивать расчетными методами:

- параметры пожара газового фонтана: дебит, теплоту пожара, интенсивность лучистого теплового потока на различных расстояниях от устья скважины;
- параметры тушения газового фонтана: адиабатическую температуру потухания, теоретические значения секундного и удельного расходов воды для прекращения горения фонтана, коэффициент использования огнетушащего средства при тушении пожара фонтана;
- проводить анализ на соответствие полученных расчетных результатов нормативным требованиям и делать выводы по результатам.

Задание: компактный газовый состав (см. табл. 1), истекающий через устье скважины диаметром 200 мм (табл. 2), имеет высоту факела пламени H_{ϕ} (табл. 2). Химический недожог составляет 15 % от низшей теплоты сгорания. Тушение пожара осуществляется водяными струями из лафетных стволов.

Рассчитать:

1. Дебит газового фонтана и эффективную скорость истечения газа из устья скважины.

2. Теплоту пожара.
3. Мощность (интенсивность) излучения на различных расстояниях от устья скважины.
4. Адиабатическую температуру потухания.
5. Удельный расход воды на тушение пожара.
6. Минимальный секундный расход.
7. Коэффициент использования воды.

Выбор варианта

Вариант задания выбирается по двум последним цифрам зачётной книжки: по последней цифре – вариант по таблице 1, по предпоследней цифре – вариант по таблице 2.

Таблица 1

Состав газового фонтана

№ п/ п	Компонент фонтана	Содержание компонентов, % об.									
		Номер варианта									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Метан	80	75	85	70	80	70	90	84	72	85
2.	Этан	-	-	-	20	-	-	-	-	10	-
3.	Пропан	-	15	5	-	-	-	-	6	-	-
4.	Бутан	10	-	-	-	-	20	5	-	8	-
5.	Сероводород	4	5	-	5	15	10	-	10	5	5
6.	Азот	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-
7.	Диоксид углерода	-	10	-	-	5	-	-	-	-	-
8.	Кислород	6	-	-	5	-	-	5	-	5	10

Таблица 2

Высота факела пламени

Вариант	Высота пламени, м
0	30
1	28
2	14
3	21
4	29
5	16
6	27
7	18
8	31
9	25

Например, номер зачётной книжки заканчивается цифрами 73. Тогда из таблицы 1 находим состав фонтана: метан – 70 %, этан – 20 %, сероводород – 5 %, кислород – 5 %; из таблицы 2 – высота факела пламени 18 м.

Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

Для выполнения курсовой работы необходимо пользоваться материалами лекций и практических занятий по дисциплинам «Физико-химические основы развития и тушения пожаров», «Теория горения и взрыва», а также следующей учебной, учебно-методической и нормативной литературой:

1. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. «Физико-химические основы развития и тушения пожаров». РИО ВИПТШ МВД СССР, М., 1980.

2. Андросов А.С., Салеев Е.П. Примеры и задачи по курсу «Теория горения и взрыва». - М., 2008.

3. Рекомендации по тушению пожаров газовых и нефтяных фонтанов. ГУПО МВД СССР, М., 1976.

4. Бобков С.А., Бабурин А.В., Комраков П.В. Примеры и задачи по курсу «Физико-химические основы развития и тушения пожара», М., 2010.

Рекомендуемый порядок выполнения курсовой работы

1. Дебит газового фонтана (V_d , млн. м³/сутки) может быть рассчитан по высоте факела пламени (H_ϕ , м) [1] (п. 5.2, стр. 55).

$$V_d = 0,0025H_\phi^2 \quad (1)$$

Эффективная скорость истечения (V_3) газовой струи может быть определена по уравнению:

$$V_3 = \frac{4V}{\pi d^2} \quad (2)$$

V – секундный расход газа, м³/с;
 d – диаметр устья скважины, м.

2. Теплота пожара – тепловыделение в зоне горения в единицу времени (кВт)

$$q_{п} = Q_n (1 - \eta_x) \cdot V \quad (3)$$

где Q_n – низшая теплота сгорания смеси газов, кДж/м³;
 η_x – химический недожог (табл. 3);
 V – секундный расход газа (м³/с).

Низшая теплота сгорания смеси газов рассчитывается по уравнению

$$Q_n = \frac{1}{100} \sum Q_{ni} \cdot \varphi_{ri} \quad (4)$$

(см. [2] п. 1.32, стр. 23),

где Q_{ni} – низшая теплота сгорания i -го горючего компонента смеси, кДж/м³;

φ_{ri} – содержание i -го горючего компонента в смеси, % об.

Низшая теплота сгорания каждого горючего компонента смеси рассчитывается, исходя из закона Гесса (см. [2] п. 1.30, стр. 23).

3. При расчёте мощности лучистого теплового потока в зависимости от расстояния до устья скважины рассматривается следующая схема (рис. 1).

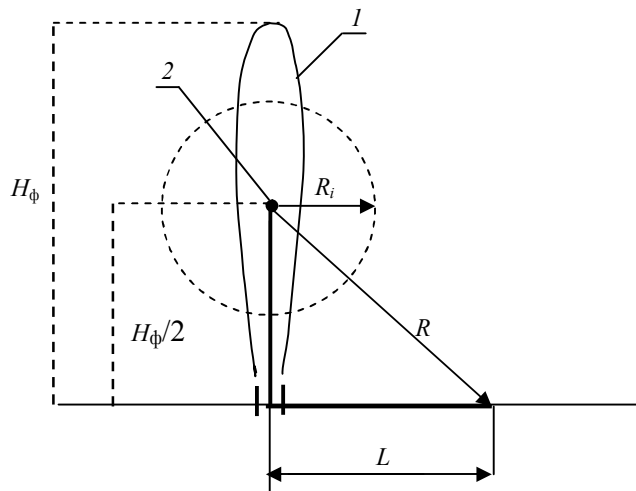


Рис. 1. Модель для расчета мощности излучения пламени.

Поверхность пламени фонтана (1) заменяется точкой (2), расположенной над устьем на $\frac{1}{2}$ высоты факела, и излучающей тепловую энергию в единицу времени такую же как и весь факел

$$Q_l = \eta_l \cdot Q_n (1 - \eta_x) \cdot V, \text{ кВт} \quad (5)$$

где η_l –теплопотери излучением пламени;

η_x – химический недожог (доли от низшей теплоты сгорания).

Теплопотери излучением газового фонтана могут быть определены по уравнению

$$\eta_l = 0,048\sqrt{M} \quad (6)$$

(см. [1] п. 5.6, стр. 59),

где M – средняя молекулярная масса газовой смеси, кг/(кмоль).

Определение молекулярной массы (M) фонтанирующего газа, состоящего из нескольких компонентов, можно провести по соотношению:

$$M = \frac{1}{100} \sum M_i \cdot \varphi_i \quad (7)$$

где M_i – молекулярная масса i -го компонента, кг/(кмоль);
 φ_i – содержание i -го компонента в смеси, % об.

Это излучение воспринимается поверхностью шара

$$S = 4\pi R^2, \text{ м}^2 \quad (8)$$

С возрастанием радиуса шара интенсивность излучения снижается, так как возрастает поверхность, воспринимающая это излучение.

Согласно рис. 1 и известной теореме Пифагора для расчёта мощности теплового потока, поступающего на поверхность земли, в уравнении (9) проведена замена R на её составляющие

$$R^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + L^2 \quad (9)$$

Таким образом, мощность лучистого теплового потока от пламени на различных расстояниях от устья скважины может быть рассчитана по уравнению:

$$q_n = \frac{Q_n}{S} = \frac{\eta_n \cdot Q_n (1 - \eta_x) \cdot V}{4\pi \left[\left(\frac{H}{2}\right)^2 + L^2 \right]} = \frac{\eta_x \cdot q_n}{4\pi \left[\left(\frac{H}{2}\right)^2 + L^2 \right]} \quad (10)$$

Для определения границ искомых зон от излучения пламени рекомендуется по формуле (11) провести расчёты и представить их в виде табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Расстояние до устья скважины (L), м	Мощность излучения от пламени (q_n), кВт/м ²

Произвольно задавая расстояние до устья скважины ($L = 0; 1; 5; 10$ и т.д., м) по (10) рассчитывается мощность теплового потока от пламени.

По результатам расчётов, представленных в табл. 3, строится график зависимости мощности теплового потока от расстояния до устья скважины.

4. За адиабатическую температуру потухания можно принять минимально возможную температуру горения, например, температуру

горения на нижнем концентрационном пределе распространения пламени (НКПР).

Порядок расчёта:

- определяется НКПР ($\varphi_{нi}$) для индивидуальных горючих компонентов газовой смеси, например, по аппроксимационной формуле (см. [2] п. 2.2, стр.34);

- по уравнению Ле-Шателье определяется нижний предел для газовой смеси φ_n^{cm} (см. [2] п. 2.5, стр.35);

- по φ_n^{cm} определяется коэффициент избытка воздуха (α) на НКПР

$$\alpha = \frac{100 - \varphi_n^{cm}}{\varphi_n^{cm} \cdot V_B^0} \quad (11)$$

где V_B^0 – теоретический объём воздуха для горения газовой смеси фонтана (см. [2] п. 1.5, стр. 4);

- рассчитывается избыток воздуха на НКПР

$$\Delta V_B = V_B^0 (\alpha - 1) \quad (12)$$

(см. [2] п. 1.9, стр. 4);

- методом последовательных приближений (см. [2] табл. 1.7, стр. 27) рассчитывается адиабатическая температура горения на нижнем концентрационном пределе (адиабатическая температура потухания).

5. Для расчёта теоретического (минимального) удельного расхода воды на тушение необходимо провести:

- расчёт теплосодержания продуктов горения при температуре потухания проводится согласно [2] п. 5, табл. 1.7, стр. 27)

$$Q_{пт}^{T_{пот}} = \sum H_i^{T_{пот}} \cdot V_{пти}^0 \quad (13)$$

где $H_i^{T_{пот}}$ – теплосодержание i -го продукта горения (CO_2 , H_2O , N_2 , SO_2) при температуре потухания, kJ/m^3 (см. [2] табл. 1б приложения, стр. 63);

$V_{пти}^0$ – теоретический объём i -го продукта горения;

- расчёт количества тепла, необходимого для отвода от зоны пламени для снижения температуры горения до температуры потухания

$$Q_{отв} = Q_n - Q_{пт}^{T_{пот}} \quad (14)$$

где Q_n – низшая теплота горения газовой смеси, kJ/m^3 ;

$Q_{пт}^{T_{пот}}$ – теплосодержание продуктов горения при температуре потухания, kJ/m^3 .

Минимальный удельный расход воды рассчитывается по соотношению:

$$q_{уд}^0 = \frac{Q_{отв}}{Q_{ох}} \quad (15)$$

где $Q_{ох}$ – охлаждающий эффект воды, кДж/кг(л).

Очевидно, что охлаждающий эффект воды при её нагреве от начальной температуры (T_0) до температуры потухания ($T_{пот}$) может быть определён по соотношению:

$$Q_{ох} = C (T_{кип} - T_0) + Q_{исп} + Cp (T_{пот} - T_{кип}) \quad (16)$$

где $T_{кип}$, T_0 – соответственно температуры кипения воды (100 °С) и начальная температура (~20 °С);

C – теплоёмкость воды (4,2 кДж/(кг·К));

Cp – теплоёмкость водяного пара (2,52 кДж/(кг·К));

$Q_{исп}$ – скрытая теплота парообразования воды (~2260 кДж/кг(л)).

6. Минимальный секундный расход воды (V_{min}) составит:

$$V_{min} = q_{уд}^0 \cdot V \quad (17)$$

где V – секундный расход газа, м³/с.

Полученное по (17) расчетное значение секундного расхода воды сравнить с фактическим, приведенным в [3] (см. табл. 3 приложения).

7. По данным табл. 3 приложения рассчитать фактический удельный расход воды ($q_{уд}^{\phi}$), л/м³:

$$q_{уд}^{\phi} = \frac{V_{\phi}}{V}; \quad \text{л/м}^3 \quad (18)$$

где V_{ϕ} – фактический секундный расход воды на тушение газового фонтана, л/с (табл. 3 приложения);

V – секундный расход газа, м³/с.

8. Определить коэффициент использования огнетушащего средства при тушении пожара газового фонтана

$$K_u = \frac{q_{уд}^o}{q_{уд}^{\phi}} \quad (19)$$

9. Результаты расчёта представляются в виде итоговой таблицы

Таблица 4

Дебит фонтана, млн м ³ /сут.	Теплота пожара, кВт	Границы зоны теплового воздействия пожара, м				Удельный расход воды, л/м ³		Коэффициент использования огнетушащего средства
		Мощность теплового потока, кВт/м ²				расчёти.	фактич.	
		4,2	8,4	10,5	14,0			

10. Выводы

В краткой форме изложить Ваши решения по защите личного состава от излучения пламени при тушении пожара газового фонтана.

Пример выполнения курсовой работы

Согласно варианта задания газовый фонтан состава: метан (СН₄) – 80 %, сероводород (Н₂С) – 15 % и кислород (О₂) – 5 % имеет высоту факела пламени 20 м.

1. Дебит фонтана:

$$V_d = 0,0025H_{\phi}^2 = 0,0025 \cdot 20^2 = 1,0 \text{ млн м}^3/\text{сут.}$$

Секундный расход газа:

$$V = \frac{V_d}{24 \cdot 3600} = \frac{1,0 \cdot 10^6}{24 \cdot 3600} = 11,5 \text{ м}^3/\text{с.}$$

2. Теплота пожара рассчитывается по (3):

$$q = Q_n (1 - \eta_x) \cdot V;$$

низшая теплота горения газовой смеси:

$$Q_n = \frac{1}{100} \sum Q_{ni} \cdot \varphi_{ti}$$

где Q_{ni} – низшая теплота сгорания i -го горючего компонента, кДж/м³;

φ_{ti} – содержание i -го горючего компонента в смеси, % об.

Низшая теплота сгорания отдельных компонентов рассчитывается или по уравнению Гесса (см. [2] п. 1.32, стр. 23), или выбирается в таблице 1 приложения.

Содержание компонентов даётся в условии задания

$$Q_n = \frac{1}{100} (35982 \cdot 80 + 23400 \cdot 15) = 32296 \text{ кДж/м}^3.$$

Потери тепла за счёт химического недожога согласно условию задания составили 15 % от Q_n , т.е. $\eta_x = 0,15$

$$q_n = 32296(1-0,15) \cdot 11,5 = 315693 \text{ кВт} \approx 315,7 \text{ МВт.}$$

3. Мощность теплового излучения факела пламени рассчитывается по (10).

Для определения теплоотдачи излучением пламени (η_l) по (6) определим среднюю молекулярную массу фонтанирующей газовой смеси по (7):

$$M = \frac{1}{100} \sum M_i \cdot \varphi_i = \frac{1}{100} (16 \cdot 10 + 34 \cdot 15 + 32 \cdot 5) = 19,5 \text{ кг/кмоль.}$$

Тогда $\eta_l = 0,048 \sqrt{19,5} = 0,21.$

Мощность излучения от расстояния до устья скважины (L):

$$q_l = \frac{\eta_l \cdot q_n}{4\pi \left[\left(\frac{H_\Phi}{2} \right)^2 + L^2 \right]} = \frac{0,21 \cdot 315693}{4 \cdot 3,14 \left[\left(\frac{20}{2} \right)^2 + L^2 \right]}$$

Задаваясь произвольно L , определяем q_l

Таблица 5

№ п/п	Расстояние до скважины, м	Мощность излучения пламени, кВт/м ²
1.	2	50,8
2.	5	42,2
3.	10	26,4
4.	15	16,2
5.	20	10,6
6.	25	7,3
7.	30	5,3
8.	35	4,0
9.	40	3,1

По результатам расчёта, представленным в табл. 5, строится график зависимости мощности излучения от расстояния до устья скважины, по которому определяются границы зон I – IV (табл. 6).

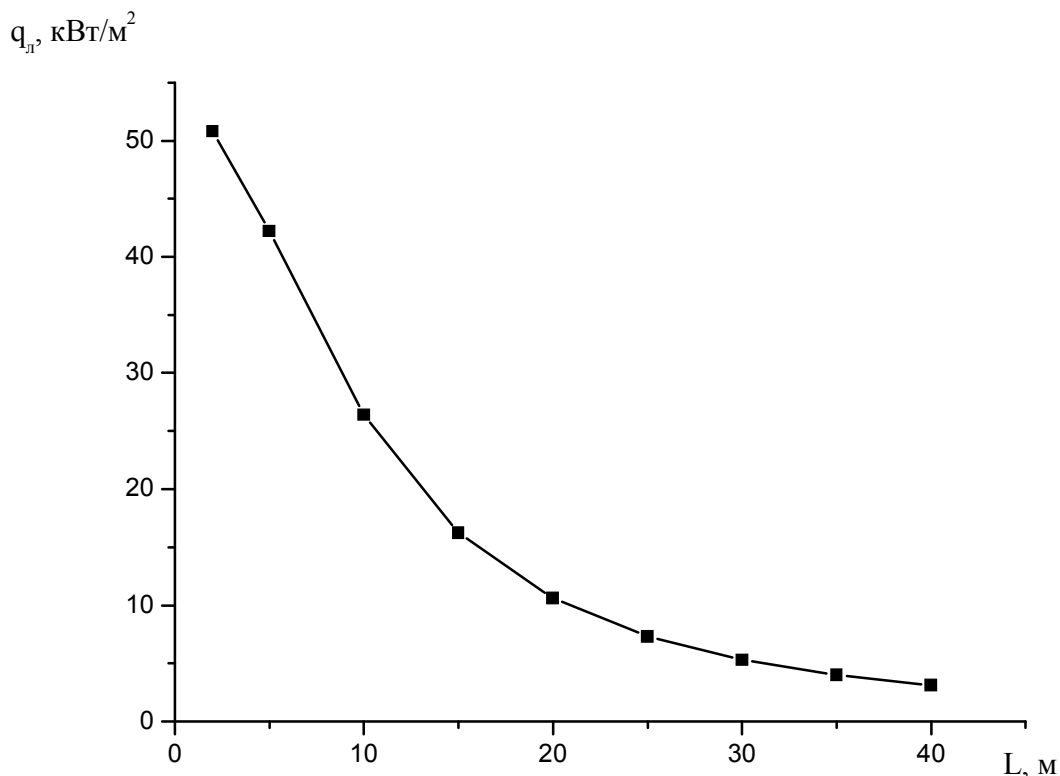


Рис. 2. Зависимость мощности теплового потока от расстояния до устья скважины

Из графика, представленного на рис. 2, определяются зоны теплового воздействия пламени.

Таблица 6

Зоны теплового воздействия пламени	Граница зоны до устья скважины, м
I	34
II	23
III	20
IV	17

4. За адиабатическую температуру потухания как предельный параметр процесса горения может быть принята адиабатическая температура горения на нижнем концентрационном пределе распространения пламени (НКПР)

4.1. Определяется НКПР для индивидуальных компонентов смеси (CH_4 и H_2S) по аппроксимационной формуле или выбирается из таблицы 1 приложения:

для метана $\varphi_{\text{H}} = 5,3 \%$,

для сероводорода $\varphi_{\text{H}} = 4,3 \%$.

По формуле Ле-Шателье рассчитывается НКПР смеси газов, для этого доля горючих компонентов приводится к единице (т.е 100 %).

$$M_{\text{CH}_4} = \frac{80}{80+15} = 0,84$$

$$M_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{15}{80+15} = 0,16$$

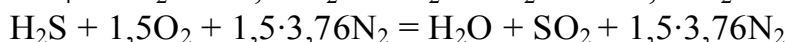
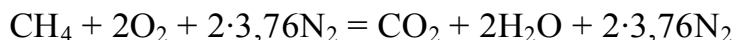
$$\varphi_{\text{H}}^{\text{cm}} = \frac{1}{\frac{0,84}{5,3} + \frac{0,16}{4,3}} = 5,1\%$$

4.2. Для нахождения коэффициента избытка воздуха на НКПР для данной смеси газов рассчитаем теоретический объём воздуха:

$$V_{\text{B}}^0 = \frac{\sum n_{\text{O}_2} \varphi_{\text{Г}} - \varphi_{\text{O}_2}}{21}$$

где n_{O_2} - стехиометрический коэффициент при кислороде в уравнении химической реакции горения CH_4 и H_2S ;

φ_{O_2} - содержание кислорода в горючем газе (согласно условию задания 5 % об.)



Для $n_{\text{O}_2} = 2$, для сероводорода $n_{\text{O}_2} = 1,5$

$$V_{\text{B}}^0 = \frac{2 \cdot 80 + 1,5 \cdot 5 - 5}{21} = 8,5 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

По (11) определяется коэффициент избытка воздуха, а по (12) – избыток воздуха

$$\alpha = \frac{100 - \varphi_{\text{H}}^{\text{cm}}}{\varphi_{\text{H}}^{\text{cm}} \cdot V_{\text{B}}^0} = \frac{100 - 5,1}{5,1 \cdot 8,5} = 2,2$$

$$\Delta V_{\text{B}} = V_{\text{B}}^0 (\alpha - 1) = 8,5(2,2 - 1) = 10,1 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

4.3. Для расчёта адиабатической температуры потухания методом последовательных приближений – из уравнения химической реакции горения определяется объём и состав продуктов горения

$$\varphi_{\text{пр}i} = \frac{\sum n_{\text{пр}i} \cdot \varphi_{\text{г}i}}{100}$$

$$\varphi_{\text{CO}_2} = \frac{1 \cdot 80}{100} = 0,8 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2 \cdot 80 + 1 \cdot 15}{100} = 1,75 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\varphi_{\text{SO}_2} = \frac{1 \cdot 15}{100} = 0,15 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

$$\varphi_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot V_{\text{в}}^0 = 0,79 \cdot 8,5 = 6,72 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Общий объём продуктов горения с учётом избытка воздуха

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{N}_2} + \Delta V_{\text{в}} = 0,8 + 1,75 + 0,15 + 6,72 + 10,1 = 19,52 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

- рассчитывается среднее теплосодержание продуктов горения

$$H_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{н}}}{V_{\text{пр}}} = \frac{32296}{19,52} = 1654,5 \text{ кДж/м}^3$$

- по таблице 2 приложения определяется первая приближённая температура, ориентируясь на азот, количество которого в продуктах горения наибольшее,

$$T_1 = 1100 \text{ }^\circ\text{C};$$

- рассчитывается теплосодержание при этой температуре

$$Q_{\text{пр}}^I = \sum \Delta H_{\text{пр}i} \cdot V_{\text{пр}i}$$

ΔH_i – теплосодержание i -го продукта горения при T_1 (табл. 3)

$$Q_{\text{пр}}^I = 10^2(24,6 \cdot 0,8 + 19,3 \cdot 1,75 + 24,9 \cdot 0,15 + 15,5 \cdot 6,72 + 15,6 \cdot 10,1) = 31892 \text{ кДж/м}^3;$$

- проводится сравнение $Q_{\text{пр}}^I$ и $Q_{\text{н}}$. Видно, что $Q_{\text{н}} > Q_{\text{пр}}^I$, следовательно, T_1 занижена, задаётся $T_2 > T_1$, $T_2 = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Q_{\text{пр}}^{II} = 10^2(27,2 \cdot 0,8 + 21,3 \cdot 1,75 + 27,1 \cdot 0,15 + 17,1 \cdot 6,72 + 17,2 \cdot 10,1) = 35174 \text{ кДж/м}^3;$$

- проводится сравнение величин $Q_{\text{пр}}^{II}$ и $Q_{\text{н}}$. Видно, что $Q_{\text{н}} < Q_{\text{пр}}^{II}$. Следовательно истинная температура потухания находится между

температурами T_1 и T_2 . Методом линейной интерполяции находится температура потухания

$$T_{\text{пот}} = T_1 + \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{пр}}^I}{Q_{\text{пр}}^{\text{II}} - Q_{\text{пр}}^I} (T_2 - T_1)$$

$$T_{\text{пот}} = 1100 + \frac{32296 - 31892}{35174 - 31892} (1200 - 1100) = 1112^\circ \text{C}$$

5. Расчёт теплосодержания теоретического объёма продуктов горения при температуре потухания проводится методом последовательных приближений с линейной интерполяцией, для чего используются данные табл. 2 приложения

$$\Delta H_i = \Delta H^I + \frac{\Delta H_i^{\text{II}} - \Delta H_i^I}{T_2 - T_1} (T_{\text{пот}} - T_1)$$

Результаты сводятся таблицу 7.

Таблица 7

Теплосодержание продуктов горения при температуре потухания

№ п/п	Продукт горения (теоретический)	Теплосодержание, кДж/м ³
1.	Диоксид углерода	$24,9 \cdot 10^2$
2.	Пары воды	$19,5 \cdot 10^2$
3.	Диоксид серы	$25,2 \cdot 10^2$
4.	Азот	$15,7 \cdot 10^2$

- теплосодержание продуктов горения при температуре потухания (13):

$$Q_{\text{пр}} = 10^2 (24,9 \cdot 0,8 + 19,5 \cdot 1,75 + 25,2 \cdot 0,15 + 15,7 \cdot 6,72) = 16333 \text{ кДж/м}^3;$$

- количество тепла, которое должно быть отведено от зоны горения огнетушащим средством, рассчитывается по (14):

$$Q_{\text{отв}} = 32296 - 16333 = 15963 \text{ кДж/м}^3;$$

- отвод тепла от зоны пламени происходит в результате нагрева воды от начальной температуры до температуры потухания. Охлаждающий эффект воды определяется по (16):

$$Q_{\text{охл}} = 4,2(100-20) + 2260 + 2,52(1112-100) = 5146 \text{ кДж/кг(л)}.$$

5. Минимальный (теоретический) удельный расход воды на тушение определяется по (15):

$$q_{уд}^0 = \frac{15963}{5146} = 3,1 \text{ л/м}^3$$

6. Минимальный секундный расход воды по (17)

$$V_{\min} = 3,1 \cdot 11,5 = 35,6 \text{ л/с.}$$

7. По таблице 3 приложения находится фактический (нормативный) секундный расход воды на тушение фонтана дебитом 1,0 млн м³/сутки, истекающим из скважины диаметром 200 мм

$$V_{\phi} = 110 \text{ л/с.}$$

Фактический удельный расход воды рассчитывается по (18):

$$q_{уд}^{\phi} = \frac{110}{11,5} = 9,6 \text{ л/м}^3$$

8. Коэффициент использования огнетушащего средства составит:

$$K_u = \frac{3,1}{9,6} = 0,32$$

9. Заполняется итоговая таблица

Таблица 8

Дебит фонтана, млн м ³ /сут	Теплота пожара, кВт	Границы зон теплового воздействия пожара, м				Удельный расход воды, л/м ³		Коэффициент использования
		Мощность теплового потока, кВт/м ²				расчётн.	факт.	
		4,2	8,4	10,5	14,0			
1,0	315693	34	23	20	17	3,1	9,6	0,32

10. Выводы:

Используя данные таблицы 4 приложения, обязательно отразить мероприятия по защите личного состава и техники, участвующих в тушении пожара.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Основные свойства некоторых газов

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Молекулярная масса, кг/кмоль	Низшая теплота сгорания, кДж/м ³	Концентрационные пределы, % об.	
					нижний	верхний
1.	Метан	CH ₄	16	35982	5,3	15,0
2.	Этан	C ₂ H ₆	30	70357	2,9	15,0
3.	Пропан	C ₃ H ₈	44	91250	2,3	9,4
4.	Бутан	C ₄ H ₁₀	58	118616	1,8	9,1
5.	Сероводород	H ₂ S	34	93400	4,3	46,0
6.	Азот	N ₂	28	-	-	-
7.	Диоксид углерода	CO ₂	44	-	-	-
8.	Кислород	O ₂	32	-	-	-

Таблица 2

Энтальпия (теплосодержание) газов

Температура, а, °С	Теплосодержание, кДж/м ³ ·10 ⁻²						Температура, °С
	O ₂	N ₂	Воздух	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	
0	0	0	0	0	0	0	0
100	1,3	1,3	1,3	1,7	1,5	1,8	100
200	2,7	2,6	2,6	3,6	3,0	3,8	200
300	4,1	3,9	3,9	5,6	4,7	5,9	300
400	5,5	5,3	5,3	7,7	5,9	8,2	400
500	6,7	6,7	6,7	9,3	6,3	10,3	500
600	8,5	8,1	8,1	12,3	9,7	12,7	600
700	10,0	9,5	9,6	14,6	11,5	15,1	700
800	11,6	11,0	11,1	17,1	13,4	17,5	800
900	13,2	12,5	12,6	19,5	15,3	19,9	900
1000	14,8	14,0	14,1	22,1	17,2	22,4	1000
1100	16,4	15,5	15,6	24,6	19,3	24,9	1100
1200	18,0	17,1	17,2	27,2	21,3	27,4	1200
1300	19,7	18,6	18,8	29,8	23,5	29,8	1300
1400	21,3	20,1	20,4	32,4	25,6	22,4	1400
1500	23,0	21,8	21,9	35,1	27,8	34,9	1500
1600	24,6	23,4	23,6	37,7	30,0	37,5	1600
1700	26,3	25,0	25,2	40,4	32,3	40,0	1700
1800	28,0	26,6	26,8	43,1	34,6	42,6	1800
1900	29,7	28,2	28,4	45,8	36,9	45,3	1900
2000	31,4	29,8	30,0	48,5	39,3	47,9	2000
2100	33,1	31,4	31,7	51,2	41,7	50,6	2100
2200	35,0	33,0	33,3	53,9	44,1	53,4	2200
2300	36,6	34,7	35,0	56,6	46,7	56,1	2300
2400	38,3	36,3	36,6	59,3	48,9	58,9	2400
2500	40,0	38,0	38,3	62,1	51,4	61,7	2500
2600	41,8	39,5	40,0	64,9	53,9	64,6	2600
2700	43,7	41,4	41,6	67,6	56,4	67,5	2700
2800	45,5	43,0	43,2	70,3	59,0	70,5	2800
2900	47,3	44,7	44,8	73,1	61,6	73,5	2900
3000	49,4	46,3	46,5	75,9	64,3	76,6	3000

Таблица 3

Нормативные расходы воды при тушении лафетными стволами компактного фонтана, истекающего из скважины диаметром устья 200 мм [5]

№ п/п	Дебит фонтана, млн м ³ /сут	Расход воды, л/с
1.	0,5	90
2.	1,0	110
3.	1,5	130
4.	2,0	140
5.	3,0	160

Таблица 4

Зоны теплового воздействия пламени фонтана

Границы зон	Макс. плотность теплового потока на границе зоны, кВт/м ²	Последствия теплового воздействия				Характеристика зон по условиям работы личного состава
		на кожу человека	на технику			
			металлическое оборудование	деревянные элементы	резина, одежда, ткань	
I	4,2	болевые ощущения через 20 с	Без видимых изменений			Личный состав может находиться и выполнять физическую работу длительное время в боевой одежде без специального теплозащитного снаряжения
II	8,4	появление волдырей через 20 с	вспучивание краски	разложение	обугливание	–
III	10,5	–	обгорание краски	загорание	загорание	–
IV	14,0	–	обгорание краски	загорание	загорание	Личный состав может выполнять физическую работу не более 5 минут в теплозащитном снаряжении, под защитой распыленных водяных струй

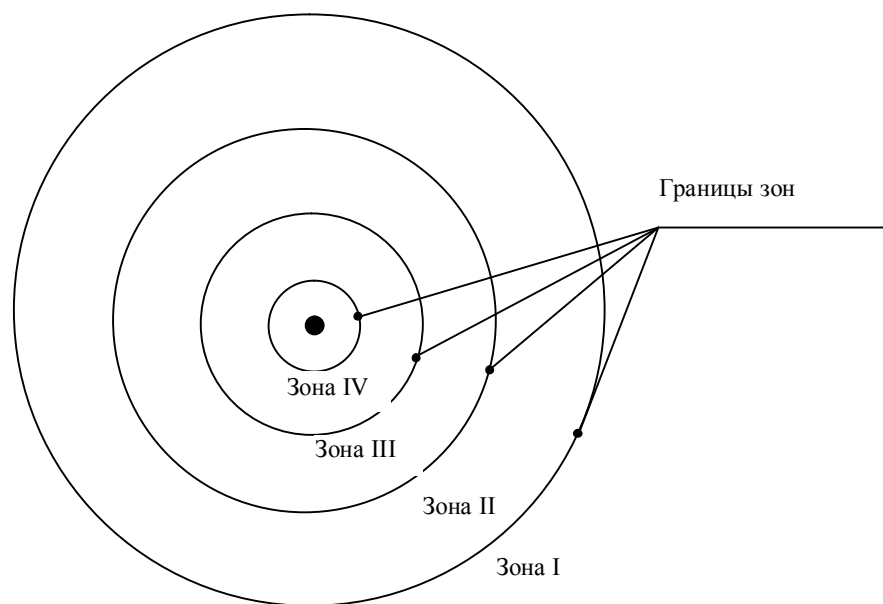


Рис. 1. Схема зон теплового излучения пожара (пояснение к табл. 4)

