

**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»

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)

Одобрено редакционно-издательским советом
Академии ГПС МЧС России

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. – 13 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 закачкой воды в скважину и водяными струями из лафетных стволов. Определяется коэффициент использования огнетушащего средства.

По результатам расчётов должны быть сформулированы 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, режим истечения струи и др.;

- 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 различными способами;

- провести анализ на соответствие полученных расчетных результатов нормативным требованиям и сделать выводы.

Задание: компактный газовый фонтан состава (см. табл. 1), истекающий через устье диаметром d (табл. 2), имеет высоту факела пламени H_{ϕ} (табл. 2).

Химический недожог в зоне горения составляет η_x от низшей теплоты сгорания (табл. 3). Тушение пожара осуществляется одним из двух способов (табл. 4).

Рассчитать:

1. Дебит газового фонтана и режим истечения газовой струи.
2. Теплоту пожара.
3. Время воспламенения растительных материалов (древесины) под влиянием тепловых потоков.

4. Изменение интенсивности лучистого теплового потока в зависимости от расстояния до устья скважины и определение безопасных расстояний.

5. Адиабатическую температуру потухания.

6. Удельный расход воды на тушение фонтана.

7. Минимальный секундный расход воды.

8. Коэффициент использования воды.

Исходные данные для расчета

Таблица 1

Состав газового фонтана

№ п/п	Компонент	Содержание компонентов, % об.								
		Номер варианта								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Метан	90	95	70	75	84	85	80	90	70
2.	Этан	-	10	20	-	6	-	-	8	-
3.	Пропан	-	-	-	10	-	-	15	-	20
4.	Сероводород	5	-	-	8	7	-	5	-	4
5.	Сероуглерод	-	-	4	-	-	10	-	2	-
6.	Азот	3	-	-	-	-	-	-	-	-
7.	Диоксид углерода	-	2	2	-	-	5	-	-	6
8.	Кислород	2	3	4	7	3	-	-	-	-

Таблица 2

Параметры газового фонтана

№ варианта	Диаметр устьевого оборудования, мм	Высота факела пламени, м								
		Номер варианта								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	65	15	17	14	16	12	18	13	19	16
2.	100	25	20	16	12	19	15	9	13	16
3.	150	14	10	20	25	22	17	12	12	22
4.	200	16	20	28	23	16	18	30	15	14
5.	250	19	18	21	28	30	15	22	25	17
6.	300	12	29	27	32	35	31	25	34	28

Таблица 3

Химический недожог, (η_x), (в долях от низшей теплоты сгорания)

Вариант	Химический недожог
1	0,05
2	0,10
3	0,08
4	0,12
5	0,07
6	0,10
7	0,15
8	0,07
9	0,15
10	0,10

Таблица 4

Способ тушения газового фонтана

Вариант	Способ тушения
1	Закачка воды в скважину
2	Водяные струи из лафетных стволов

Таблица 5

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 обрудование	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

Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

Для успешного 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. Драйздейл Д. «Введение в динамику пожаров». Стройиздат, М., 1990.
3. Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К., Крылов Е.В. «Процессы горения». РИО ВИПТШ МВД СССР, М., 1984.
4. Андросов А.С., Салеев Е.П. Примеры и задачи по курсу «Теория горения и взрыва». - М., 2008.
5. Рекомендации по тушению пожаров газовых и нефтяных фонтанов. ГУПО МВД СССР, М., 1976.
6. 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

По выданному преподавателем варианту задания с помощью таблиц (1÷4) выбираем условие задания к курсовой работе. Например, вариант 25931. По табл. 1 состав газового фонтана – 2 вариант; по табл. 2 диаметр устьевого оборудования – 5 вариант и высота факела пламени – 9 вариант; по табл. 3 величина химического недожога – 3 вариант; по табл. 4 способ тушения – 1 вариант.

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).

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

Режим истечения газовой струи может быть определен сравнением эффективной скорости истечения (V_3) со скоростью звука (V_0)

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

V – секундный расход газа, м³/с;

d – диаметр устья скважины, м.

Скорость звука в метане (V_0) составляет 430 м/с.

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

$$q_{\text{п}} = Q_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{х}}) \cdot V \quad (3)$$

где $Q_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания смеси газов, кДж/м³;
 $\eta_{\text{х}}$ – химический недожог (табл. 3);
 V – секундный расход газа (м³/с).

Низшая теплота сгорания смеси газов рассчитывается по уравнению

$$Q_{\text{н}} = \frac{1}{100} \sum Q_{\text{ни}} \cdot \varphi_{\text{ги}} \quad (4)$$

(см. [4] п. 1.32, стр. 23),

где $Q_{\text{ни}}$ – низшая теплота сгорания i -го горючего компонента смеси, кДж/м³;
 $\varphi_{\text{ги}}$ – содержание i -го горючего компонента в смеси, % об.

Низшая теплота сгорания каждого горючего компонента смеси рассчитывается, исходя из закона Гесса (см. [4] п. 1.30, стр. 23).

3. Время воспламенения растительных материалов под влиянием лучистого теплового потока рассчитывается по уравнению:

$$\tau_{\text{в}} = \frac{2,4 \cdot 10^5}{q_{\text{л}}^{2,6}} \quad (5)$$

(см. [3] п. 8.2, стр. 174),

где $\tau_{\text{в}}$ – время воспламенения, с;

$q_{\text{л}}$ – интенсивность (мощность) лучистого теплового потока, кВт/м².

Данное уравнение справедливо при условии, что $q_{\text{л}} \geq 8$ кВт/м².

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

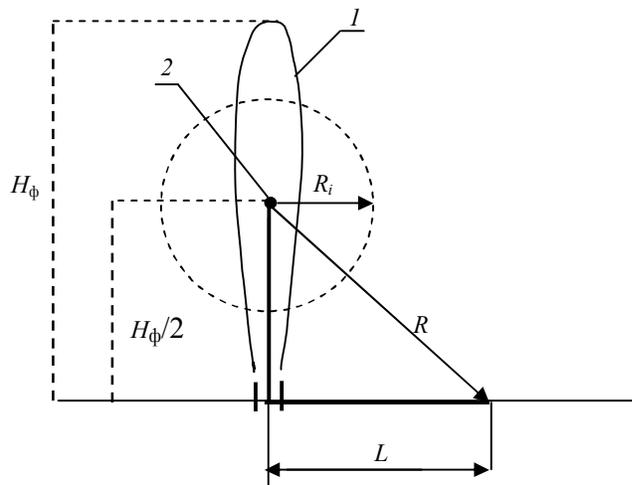


Рис. 1. Модель для расчета мощности излучения пламени.

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

$$Q_{\text{л}} = \eta_{\text{л}} \cdot Q_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{х}}) \cdot V, \text{ кВт} \quad (6)$$

где $\eta_{\text{л}}$ – теплопотери излучением пламени;

$\eta_{\text{х}}$ – химический недожог (доли от низшей теплоты сгорания).

Теплопотери излучением газового фонтана могут быть определены по уравнению

$$\eta_{\text{л}} = 0,048\sqrt{M} \quad (7)$$

(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:

$$M = \frac{1}{100} \sum M_i \cdot \varphi_i \quad (8)$$

где M_i – молекулярная масса i -го компонента, кг/(кмоль);

φ_i – содержание i -го компонента в смеси, % об.

Это излучение воспринимается поверхностью шара

$$S = 4\pi R^2, \text{ м}^2 \quad (9)$$

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

$$R^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + L^2 \quad (10)$$

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

$$q_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{л}}}{S} = \frac{\eta_{\text{л}} \cdot Q_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{х}}) \cdot V}{4\pi \left[\left(\frac{H}{2}\right)^2 + L^2 \right]} = \frac{\eta_{\text{л}} \cdot q_{\text{н}}}{4\pi \left[\left(\frac{H}{2}\right)^2 + L^2 \right]} \quad (11)$$

Для определения границ искомых зон (табл. 5) и времени воспламенения древесины от излучения пламени рекомендуется по формулам (5) и (11) провести расчёты и представить их в виде табл. 6.

Таблица 6

№ п/п	Расстояние до устья скважины (L), м	Мощность излучения от пламени ($q_{л}$), кВт/м ²	Время воспламенения древесины ($\tau_{в}$), с

Произвольно задаваясь расстоянием до устья скважины ($L = 0; 1; 5; 10$ и т.д., м) по (11) рассчитывается мощность теплового потока от пламени, а по уравнению (5) время воспламенения деревянных конструкций зданий и сооружений.

По результатам расчётов, представленных в табл. 6, строятся графики:

- зависимость мощности теплового потока от расстояния до устья скважины;

- зависимость времени воспламенения древесины от расстояния до устья скважины.

5. 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. [4] п. 2.2, стр.34);

- по уравнению Ле-Шателье определяется нижний предел для газовой смеси $\varphi_{н}^{cm}$ (см. [4] п. 2.5, стр.35);

- по $\varphi_{н}^{cm}$ определяется коэффициент избытка воздуха (α) на НКПР (см. [3] п. 2.2, стр.34)

$$\alpha = \frac{100 - \varphi_{н}^{cm}}{\varphi_{н}^{cm} \cdot V_{в}^0} \quad (12)$$

где $V_{в}^0$ – теоретический объём воздуха для горения газовой смеси фонтана (см. [4] п. 1.5, стр. 4);

- рассчитывается избыток воздуха на НКПР

$$\Delta V_{в} = V_{в}^0 (\alpha - 1) \quad (13)$$

(см. [4] п. 1.9, стр. 4);

- методом последовательных приближений (см. [4] табл. 1.7, стр. 27) рассчитывается адиабатическая температура горения на нижнем концентрационном пределе (адиабатическая температура потухания).

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

- расчёт теплосодержания продуктов горения при температуре потухания проводится согласно [4] п. 5, табл. 1.7, стр. 27)

$$Q_{\text{пт}}^{T_{\text{пот}}} = \sum H_i^{T_{\text{пот}}} \cdot V_{\text{пти}}^0 \quad (14)$$

где $H_i^{T_{\text{пот}}}$ – теплосодержание i -го продукта горения (CO_2 , H_2O , N_2 , SO_2) при температуре потухания, кДж/м^3 (см. [4] табл. 1б приложения, стр. 63);

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

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

$$Q_{\text{отв}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{пт}}^{T_{\text{пот}}} \quad (15)$$

где $Q_{\text{н}}$ – низшая теплота горения газовой смеси, кДж/м^3 ;

$Q_{\text{пт}}^{T_{\text{пот}}}$ – теплосодержание продуктов горения при температуре потухания, кДж/м^3 .

Минимальный удельный расход воды рассчитывается по соотношению:

$$q_{\text{уд}}^0 = \frac{Q_{\text{отв}}}{Q_{\text{ох}}} \quad (16)$$

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

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

$$Q_{\text{ох}} = C (T_{\text{кип}} - T_0) + Q_{\text{исп}} + Cp (T_{\text{пот}} - T_{\text{кип}}) \quad (17)$$

где $T_{\text{кип}}$, T_0 – соответственно температуры кипения воды ($100 \text{ }^\circ\text{C}$) и начальная температура ($\sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$);

C – теплоёмкость воды ($4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$);

Cp – теплоёмкость водяного пара ($2,52 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$);

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

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

$$V_{\text{min}} = q_{\text{уд}}^0 \cdot V \quad (18)$$

где V – секундный расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$.

Полученное по (18) расчетное значение секундного расхода воды сравнить с фактическим, приведенным в [5] (см. табл. 1 и 2 приложения).

8. По данным табл. 1 или 2 приложения рассчитать фактический удельный расход воды $(q_{y\phi})$, л/м³:

$$q_{y\phi}^{\phi} = \frac{V_{\phi}}{V}; \quad \text{л/м}^3 \quad (19)$$

где V_{ϕ} – фактический секундный расход воды на тушение газового фонтана, л/с (табл.1, 2 приложения);

V – секундный расход газа, м³/с.

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

$$K_u = \frac{q_{y\phi}^o}{q_{y\phi}^{\phi}} \quad (20)$$

10. Результаты расчёта представляются в виде итоговой таблицы

Таблица 7

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				расчётн.	фактич.	
		4,2	8,4	10,5	14,0			

11. Выводы

В краткой форме изложить Ваши решения по защите личного состава от излучения при тушении пожара газового фонтана, организации и проведении аварийно-спасательных работ.

П Р И Л О Ж Е Н И Е

Таблица 1

Требуемые расходы воды при тушении закачкой ее
в скважину (фонтан компактный)

Диаметр устья, мм	Требуемый расход воды, л/с, при дебите фонтана, млн. м ³ /сут. газа или тыс. м ³ /сут. нефти					
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
65	10	20	30	40	-	-
100	10	20	30	40	50	60
150	20	25	30	40	50	60
200	30	40	45	50	50	60
250	40	50	60	70	70	80
300	50	60	80	90	95	100

Таблица 2

Требуемые расходы воды при тушении водяными
струями (фонтан компактный)

Диаметр устья, скважины, мм	Требуемый расход воды, л/с, при дебите фонтана, млн. м ³ /сут. газа или тыс. м ³ /сут. нефти				
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
65	20	30	40	50	60
100	35	50	60	70	80
150	60	75	90	100	120
200	90	110	130	140	160
250	120	150	180	200	220
300	140	180	220	250	280

