

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КОСТРОМСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ»  
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и теплоэнергетика»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

*к практической работе*  
**«ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ,  
СВЯЗАННЫХ С ПОЖАРАМИ»**

для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 35.03.06 "Агроинженерия",  
23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»,  
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Составил:  
доц. Румянцев С.Н.

Рассмотрена и утверждена  
на заседании кафедры  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.

Караваево

## ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, СВЯЗАННЫЕ С ПОЖАРАМИ

Пожары отличаются большим разнообразием (бытовые, производственные, лесные, торфяные и т.д.).

К опасным факторам пожара относятся:

1. высокая температура (1000°C и более);
2. образование продуктов неполного сгорания, которые являются ядовитыми и взрывоопасными;
3. дым, затрудняющий видимость;
4. взрывы различных веществ;
5. разрушение конструкций, обрушение элементов здания и др.

Ликвидация пожаров — задача профессионалов. Однако можно сформулировать некоторые общие правила, знать которые полезно всем.

1. Начальная стадия пожара называется загоранием. В случае своевременных и грамотных действий загорание может быть ликвидировано с помощью огнетушителей, воды или других подручных средств.

2. На предприятиях в соответствии с Федеральным законом «О пожарной безопасности» (21.12.94 № 69-ФЗ) должна создаваться добровольная пожарная охрана. Пожарные расчеты в случае пожара действуют по заранее определенной схеме, обеспечивая тушение пожара в начальной стадии.

3. На предприятиях и в организациях должны разрабатываться и вывешиваться в доступных местах схемы эвакуации.

4. Эвакуация людей — первоочередное мероприятие при возникновении пожара.

5. Для выхода из горящего здания иногда предусматриваются специальные противогазы (самоспасатели).

6. Для спасения горящих людей следует прибегать к использованию самодельных приспособлений (пальто, плащи), которыми накрывают пострадавших, прекращая доступ кислорода. Для входа в горящее помещение имеются специальные костюмы. В исключительных случаях можно для кратковременного пребывания в горящем помещении использовать смоченную водой ткань или одежду.

7. В организациях должны разрабатываться планы ликвидации пожаров, в которых четко определены действия должностных лиц и работников.

### 2. Прогнозирование и оценка последствий аварий, связанных с пожарами

Основным поражающим фактором пожара является термическое воздействие продуктов горения, обусловленное тепловым излучением пламени.

Термическое воздействие определяется величиной плотности потока поглощенного излучения  $q^{\text{погл}}$ , кВт/м<sup>2</sup>, и временем теплового излучения  $\tau$ , с.

Плотность потока поглощенного излучения  $q^{\text{погл}}$  связана с плотностью потока падающего излучения  $q^{\text{пад}}$  соотношением  $q^{\text{погл}} = \varepsilon q^{\text{пад}}$ , где  $\varepsilon$  - степень черноты (поглощательная способность) тепловоспринимающей поверхности. Чем ниже степень черноты (больше отражательная способность), тем меньше при прочих равных условиях величина  $q^{\text{погл}}$ . Далее мы будем оперировать с величиной  $q^{\text{погл}}$  (далее  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>).

Человек ощущает сильную (едва переносимую) боль, когда температура верхнего слоя кожи превышает 45°C. Время достижения «порога» боли  $\tau$ , с, определяется по формуле:

$$\tau = (35/q)^{1,33}. \quad (29)$$

Различают три степени термического ожога кожи человека (табл.1).

Таблица 1

## Характеристика ожогов кожи человека

Степень	Повреждение	Температура, t, °C	Доза воздействия q τ, кДж/м <sup>2</sup>	Характеристика
I	Эпидермиса	< 55	< 42	Покраснение кожи (q <sup>1,15</sup> τ = 5500)
II	Дермы	> 55	42 – 84	Волдыри (q <sup>1,33</sup> τ = 8700)
III	Подкожного слоя		> 84	Летальный исход при поражении более 50% кожи

Время воспламенения горючих материалов при воздействии на них теплового потока плотностью q, кВт/м<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$\tau = A / (q - q_{кр})^n, \quad (30)$$

где q<sub>кр</sub> – критическая плотность теплового потока, кВт/м<sup>2</sup>,

A, n – константы для конкретных материалов (например, для древесины A=4300, n=1,61).

Значения q<sub>кр</sub> для разных материалов и результаты расчета по формуле (30) приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики критических тепловых нагрузок (q<sub>кр</sub>) и времени воспламенения (τ) от плотности теплового потока (q) для различных веществ и материалов

Вещество, материалы	q <sub>кр</sub> , кВт/м <sup>2</sup>	Время воспламенения, τ, сек				
		Плотность теплового потока, q, кВт/м <sup>2</sup>				
		20	50	100	150	200
Солома	7,0	70,3	10,2	2,9	1,4	0,91
Пенопласт	7,40	73,7	10,3	2,9	1,5	0,91
Хлопок-волокно	7,50	74,7	10,4	2,9	1,5	0,92
Х/б ткани	8,37	83,9	10,7	3,0	1,5	0,92
Торф кусковой	9,8	103,6	11,4	3,1	1,5	0,93
Картон серый	10,8	122,4	11,8	3,1	1,5	0,94
Картон фибровый	10,88	124,1	11,9	3,1	1,5	0,94
Темная древесина, ДСП	12,56	172,3	12,7	3,2	1,5	0,96
Древесина сосновая	12,8	181,5	12,9	3,3	1,6	0,96
Резина	7,0	70,3	10,2	3,4	1,6	1,02
Битумная кровля	7,0	70,3	10,2	3,4	1,6	1,02
Пластик слоистый	7,0	70,3	10,2	3,4	1,6	0,97
Фанера	7,0	70,3	10,2	3,4	1,6	0,97
Бензин А-78	7,0	70,3	10,2	3,4	1,7	0,98
Древесина крашеная	7,0	70,3	10,2	3,4	1,7	0,99
Древесина обугленная	7,0	70,3	10,2	3,4	1,7	1,0

При использовании детерминированного подхода к определению степени термического поражения можно использовать приведенные ниже плотности теплового потока:

37 кВт/м<sup>2</sup> – разрушение соседних емкостей, зона смертельного поражения (вероятность смертельного исхода 90% при длительности экспозиции 30 с);

12 кВт/м<sup>2</sup> – воспламенение деревянных конструкций, зона сильных ожогов (вероятность смертельного исхода 15%, вероятность ожогов второй степени 50% при длительности экспозиции 30 с);

10,5 кВт/м<sup>2</sup> – обгорание краски на окрашенных металлических конструкциях, обугливание деревянных конструкций, воспламенение резины, одежды и тканей при длительном тепловом воздействии;

8,4 кВт/м<sup>2</sup> – вспучивание краски на окрашенных металлических конструкциях, разложение деревянных конструкций, обугливание резины, одежды и тканей при длительном тепловом воздействии;

4 кВт/м<sup>2</sup> – безопасные для объектов расстояния, зона слабого поражения людей (вероятность ожогов первой степени 10% при длительности экспозиции 30 с).

При воздействии на людей открытого пламени вероятность их смертельного поражения, как правило, принимается равной единице.

При пожарах в резервуарных парках наибольшую опасность представляет термическое воздействие на соседние резервуары. Оно может вызвать как взрыв резервуара (с возможным образованием огненного шара), так и его повреждение с последующей утечкой и возгоранием содержимого (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость времени воспламенения  $\tau$ , с, резервуара с нефтепродуктами от величины теплового потока плотностью излучения  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>

$\tau$	5	10	15	20	29	> 30
$q$	34,9	27,6	24,8	21,4	19,9	19,5

При использовании вероятностного подхода к определению поражающего фактора теплового излучения значения  $R_{пор}$  определяют по таблице, приведенной в таблице 4, используя для случая летального исхода при термическом поражении следующие выражения для пробит-функции  $R_r$  (таблица 5).

Таблица 4

Зависимость степени поражения (разрушения) от пробит-функции

$R_{пор}$ %	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,38	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,82
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Таблица 5

Выражение пробит-функции при различных степенях термического поражения человека

№	Степень поражения	Формула пробит-функции
---	-------------------	------------------------

1	Ожог первой степени	$-4,09 + 3,0186 \ln(q^{4/3} \cdot \tau)$
2	Ожог второй степени	$-12,43 + 3,0186 \ln(q^{4/3} \cdot \tau)$
3	Летальный исход	$-9,5 + 2,56 \ln(q^{4/3} \cdot \tau)$

Время термического воздействия  $\tau$ , с, для случаев пожара разлития и горения здания (сооружения, штабеля и т.п.) равно:

$$\tau = \tau_0 + x/u, \quad (32)$$

где  $\tau_0$  – характерное время обнаружения пожара (допускается принимать 5 с);  
 $x$  – расстояние от места нахождения человека до зоны, где плотность потока теплового излучения не превышает  $4 \text{ кВт/м}^2$ , м;

$u$  – скорость движения человека (допускается принимать 5 м/с).

В случае образования огненного шара время термического воздействия принимается равным времени существования огненного шара.

## 2.1. Пожар разлития

Пожар разлития может произойти в ряде ситуаций. Одна из пространственно ограниченных форм его проявления - это, вероятно, пожар в резервуаре хранения, например, когда в результате либо внутреннего, либо внешнего взрыва резервуар остается без крыши. В резервуарах, сделанных из алюминия, стенки могут оплавиться до уровня жидкости, и, таким образом, резервуар будет становиться все более низким по мере того, как сгорает жидкость. Следующий по пространственному ограничению случай - это пожар разлития. В обеих ситуациях подразумеваются четко определенные граница и форма, последняя может быть круглой или прямоугольной.

В других ситуациях пожары разлития происходят после того, как жидкость выбрасывается на поверхность земли; форма и глубина разлития определяются особенностями места разлития. На заводах и в аэропортах, хотя они занимают большие территории, выброшенная жидкость вероятнее всего будет устремляться в водостоки, где она может гореть под землей. Дренажные каналы вдоль автомобильных дорог обычно несут воды в близлежащее русло. Поэтому при выбросе на дороге потоки горючей жидкости могут переносить огонь на сотни метров. Наконец, происходят выбросы жидкостей непосредственно на поверхности водостоков, рек, озер или моря, где возможности для распространения фактически неограниченны. Чаще всего рассматриваются две из этих ситуаций: пожар в обваловании и пожар на поверхности воды.

Пожары разлития в круглых или прямоугольных обвалованиях по своей форме приближаются к цилиндру. При отсутствии ветра это будет вертикальный цилиндр, но в обычных обстоятельствах (при ветре) цилиндр будет наклонным. Примечательная черта пожаров разлития - это "накрытие" или "растяжение пламени" с подветренной стороны. Это покрытие (рис. 1) в экспериментах, составляло 25 - 50% диаметра обвалования (20 м). Таким образом, эффективный диаметр пожара разлития оказывается значительно большим, чем диаметр обвалования. Характер пожаров разлития может изменяться во времени.



Рис. 1. Схематическое изображение пожара разлива.

Самой крайней формой проявления пожара разлива является горение нефти, которая содержит углеводороды от  $CН_4$  до  $C_{25}$  и выше. В качестве примера здесь можно привести крупный пожар при разлиии 40 тыс. т нефти в ходе аварии 8 января 1979 г. в заливе Бантри (Ирландия). В результате пожара погибло 50 человек и был сильно поврежден пирс.

При нарушении герметичности сосуда, содержащего сжиженный горючий газ или жидкость, часть жидкости (или вся) может заполнить поддон или обваловку, растечься по поверхности грунта или заполнить какую-либо естественную впадину.

Если поддон или обваловка имеют размеры  $a \times b$  (радиус  $r_{под}$ ), то глубину заполнения (толщину слоя)  $h$ , м, можно найти по формуле:

$$h = m_{ж} / (\rho_{ж} F_{под}), \quad (33)$$

где  $m_{ж}$ ,  $\rho_{ж}$  – масса и плотность разлившейся жидкости кг, и  $кг/м^3$ ;

$F_{под}$  – площадь поддона,  $м^2$ .

При авариях в системах, не имеющих защитных ограждений, происходит растекание жидкости по грунту и (или) заполнение естественных впадин. Обычно при растекании на грунт площадь разлива ограничена естественными и искусственно созданными границами (дороги, дренажные каналы и т.п.), а если такая информация отсутствует, то принимают толщину разлившегося слоя равной  $h = 0,05$  м и определяют площадь разлива  $F_{раз}$ , м, по формуле:

$$F_{раз} = m_{ж} / (h \cdot \rho_{ж}), \quad (34)$$

Отличительной чертой пожаров разлива является "накрытие" (рис.2) с подветренной стороны. Это накрытие может составлять 25-50% диаметра обвалования

$$(D = 2r = \sqrt{\frac{4F_{раз}}{\pi}}).$$

Пламя пожара разлива при расчете представляют в виде наклонного по направлению ветра цилиндра конечного размера (рис.2), причем угол наклона  $\Theta$  зависит от безразмерной скорости ветра  $Wв$ :

$$\cos\Theta = 0,75(W_в)^{-0,49}. \quad (35)$$

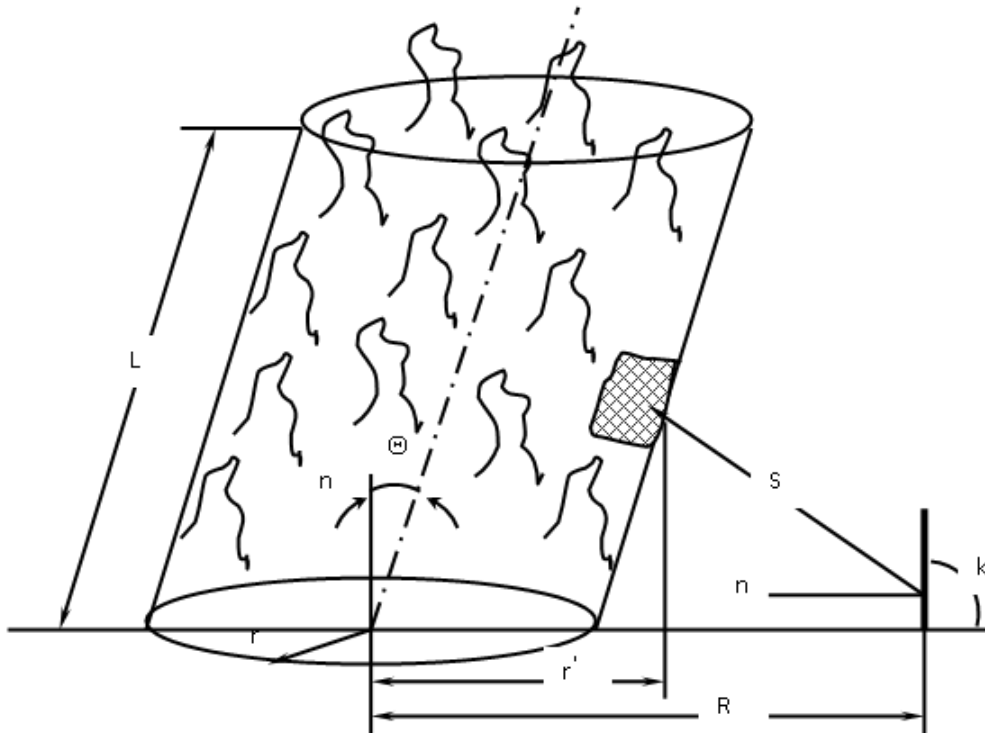


Рис.2. Расчетная схема пожара разлива

Геометрические параметры факела пожара разлива можно определить по формуле Томаса:

$$\frac{L}{D} = a \cdot \left( \frac{m_{\text{выг}}}{\rho_в \cdot \sqrt{gD}} \right)^b \cdot W_в^c,$$

где:  $L$  – высота пламени пожара, м;

$W_в^c = w(m_{\text{выг}} gD/\rho_п)^{-1/3}$  – безразмерная скорость ветра, м/с;

$m_{\text{выг}}$  – массовая скорость выгорания, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$\rho_п$ ,  $\rho_в$  – плотность пара и воздуха, соответственно, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$D$  – диаметр зеркала разлива, м;

$w$  – скорость ветра, м/с.

Эмпирические коэффициенты в формуле Томаса ( $a=55$ ;  $b=0,67$  и  $c=-0,2$ ) получены по результатам экспериментов, выполненных для широкого диапазона изменения параметров:

$$(10^{-3} \leq L/D \leq 10; \quad 10^{-6} \leq \frac{m_{\text{выг}}}{\rho_в \sqrt{gD}} \leq 10^{-2}),$$

Скорость выгорания жидкостей определяют, как правило, экспериментально. Для экспертной оценки скорости выгорания  $m_{\text{выг}}$  кг/(м<sup>2</sup>·с), можно воспользоваться эмпирической формулой:

$$m_{\text{выг}} = \frac{C \rho_{\text{ж}} Q_n^P}{L_{\text{исп}}}, \quad (37)$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$Q_n^P$  – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг;

$L_{\text{исп}}$  – скрытая теплота испарения жидкости, Дж/кг;

$C$  – коэффициент пропорциональности. Значение коэффициента пропорциональности  $C=1,25 \cdot 10^{-6}$  м/с получено путем обработки многочисленных экспериментальных данных по выгоранию большинства органических жидкостей и их смесей (рис.2).

Степень термического воздействия пожара разлива (плотность теплового потока, падающего на элементарную площадку, расположенную параллельно ( $\kappa=0^0$ ) и перпендикулярно ( $\kappa=90^0$ ), (рис.1)  $q^{\text{пад}}$ , кВт/м<sup>2</sup>) несложно найти по формуле:

$$q^{\text{пад}} = q^{\text{соб}} \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} (R - r)] \varphi, \quad (38)$$

где  $\varphi$  – угловой коэффициент излучения с площадки боковой поверхности пламени пожара разлива на единичную площадку, расположенную на уровне грунта (рис. 1), определяемый по графику (рис. 3),

$q^{\text{соб}}$  – средняя по поверхности плотность потока собственного излучения пламени, кВт/м<sup>2</sup>, значения которой для некоторых жидких углеводородных топлив приведены в табл. 6.

Таблица 6

Значения  $q^{\text{соб}}$ , кВт/м<sup>2</sup>, для некоторых жидких углеводородных топлив

Топливо	$q^{\text{соб}}$ , кВт/м <sup>2</sup>					$m_{\text{выг}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)
	d = 10 м	d = 20 м	d = 30 м	d = 40 м	d = 50 м	
СПГ (метан)	220	180	150	130	120	0,08
СУГ (пропан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Диз. топливо	40	32	25	21	18	0,04
Нефть	25	19	15	12	10	0,04

*Примечание:* Для диаметров очагов менее 10 м и более 50 м следует принимать величину  $q^{\text{соб}}$  такой же, как и для очагов диаметром 10 и 50 м соответственно.

При горении топлива в котлованах без ограничивающих стенок (очаг горения на уровне земли) имеет место так называемое "волочение" или "переливание" пламени под действием ветра за пределы очага горения, так что оно как бы стелется по поверхности земли на расстояние  $r^*$  (рис.1), определяемое по формуле:

$$r^* / r = k_1 [W_B / (gd)]^{k_2} (\rho_B / \rho_n)^{k_3}, \quad (39)$$

Обозначения те же, что и в формуле (1.29). Для углеводородных топлив  $k_1=1,0$ ;  $k_2= 0,069$ ;  $k_3= 0,48$ ; для сжиженного газа:  $k_1= 1,5$ ;  $k_2= 0,069$   $k_3 = 0$ .



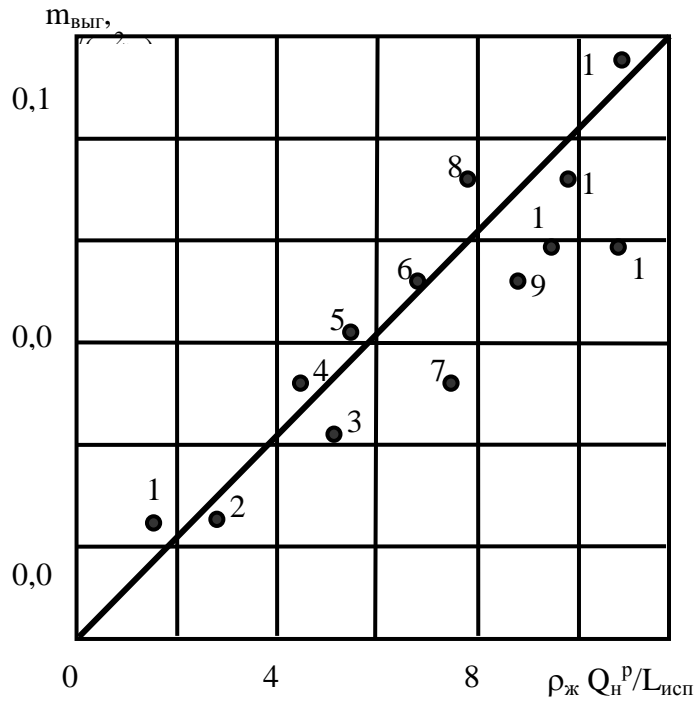


Рис. 3. Обобщение экспериментальных данных по скорости выгорания различных жидкостей:

1 – метанол; 2 – диэтилентриамин; 3 – ацетон; 4 – диаметилгидрозинг; 5 – ракетное топливо; 6 – ксилол; 7 – бензин; 8 – бензол; 9 – гексан; 10 – бутан; 11 – сжиженный энергетический газ; 12 – сжиженный природный газ; 13 – сжиженный нефтяной газ.

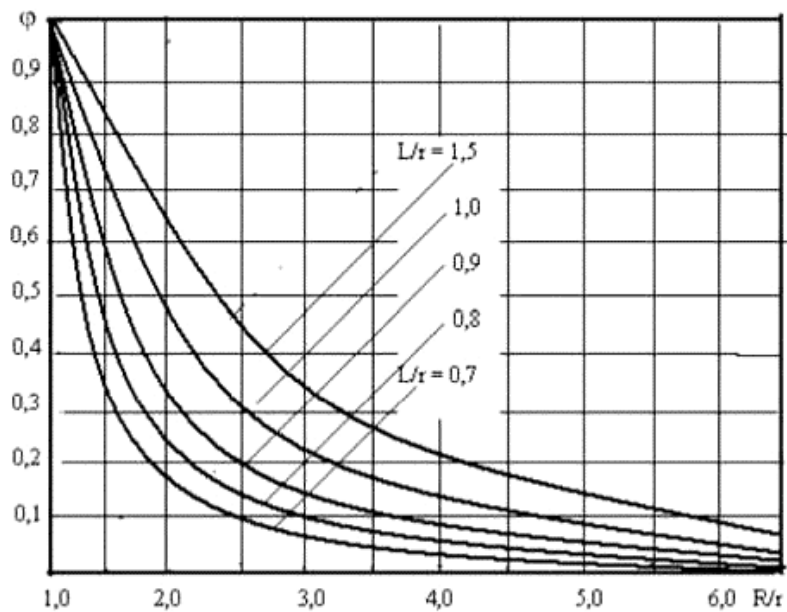


Рис. 4. Зависимость углового коэффициента излучения  $\phi$  с цилиндрического пламени пожара разлития на элементарную площадку от  $R/r$

## 2.2. Горение парогазовоздушного облака

«Огненный шар» - это крупномасштабное диффузионное горение парогазовоздушного облака, реализуемое при разгерметизации резервуара с перегретой горючей жидкостью или газом под давлением, а также со сжиженными газами.

Облако пара (газа), смешанного с воздухом, но переобогащенное топливом и не способное поэтому объемно детонировать, начинает гореть вокруг своей внешней оболочки, образуя «огненный шар». Такие «огненные шары» крайне опасны. Если они вызваны горением углеводородов, то светятся и излучают тепло, что может причинить смертельные ожоги наблюдателям и зажечь дерево или бумагу. Поднимаясь, «огненный шар» образует грибовидное облако, ножка которого - это сильное восходящее конвективное течение. Такое течение может всасывать отдельные предметы, зажигать их и разбрасывать горящие предметы на большие площади.

«Огненные шары» возникают в момент воспламенения парогазовых облаков еще не достигших стехиометрической концентрации во всем своем объеме, которые образуются в результате полного разрушения резервуаров, содержащих перегретые жидкости и газы под давлением. Объем и форма первоначально образующихся облаков существенно зависят от характера разрушения сосудов. При мгновенном полном разрушении сосуда облако имеет сферическую форму. Образование трещин в оболочке обуславливает строгую направленность струи газо- парожидкостной среды и придает облаку плоскую или вытянутую форму. После окончательного формирования «огненного шара» он отрывается от земли и подпитывается воздухом за счет конвективных сил, что увеличивает его массу. После достижения стехиометрического состава смеси вовлекаемый воздух охлаждает газы и приводит в дальнейшем к полному выгоранию горючих газов или паров. Температура «огненных шаров» углеводородов может превышать 2000°С.

Продолжительность горения и размеры «огненных шаров» определяются общей массой горючего в емкости в момент аварии. Аварии такого типа наиболее часты на железнодорожных цистернах и хранилищах сжиженных газов. Отдельные «огненные шары» охватывают поверхность земли радиусом до 60 м с воспламенением горючих материалов в радиусе 350 м. Такие аварии могут вызвать катастрофические последствия, так как от теплового излучения «огненных шаров» возможно воспламенение других объектов. Кроме того, образование «огненных шаров» часто сопровождается мощной ударной волной сжатого газа (адиабатическое расширение).

Развитие «огненного шара» во времени включает четыре основные стадии:

- 1) от потери герметичности емкости до момента воспламенения;
- 2) от момента воспламенения до момента вытягивания;
- 3) от момента вытягивания до полного образования;
- 4) от полного образования до прекращения существования.

Время жизни «огненного шара» определяется с учетом процессов, протекающих при его возникновении и развитии.

Плотность теплового потока, падающего с поверхности "огненного шара" на элементарную площадку на поверхности мишени  $q^{пад}$ , кВт/м<sup>2</sup>, равна:

$$q^{над} = q^{соб} \exp\left[-7,0 \cdot 10^{-4} \left(\sqrt{X^2 + H^2} - \frac{D_{эф}}{2}\right)\right] \varphi, \quad (40)$$

где  $q^{соб}$  – плотность потока собственного излучения "огненного шара", кВт/м<sup>2</sup> допускается принимать равной 450 кВт/м<sup>2</sup>;

$X$  – расстояние от точки на поверхности земли непосредственно под центром "огненного шара" до облучаемого объекта, м;

$D_{эф}$  – эффективный диаметр "огненного шара", м, определяемый по формуле:

$$D_{эф} = 5,33m^{0,327}, \quad (41)$$

$M$  – масса горючего вещества, кг;

$H$  – высота центра "огненного шара", м, которую допускается принимать равной  $0,5 D_{эф}$ ;

$\varphi$  – угловой коэффициент излучения с "огненного шара" на элементарную площадку на поверхности облучаемой поверхности, определяемый по формуле:

$$\varphi = \frac{H / D_{эф} + 0,5}{4[(H / D_{эф} + 0,5)^2 + (X / D_{эф})^2]^{1,5}}, \quad (42)$$

Время существования "огненного шара"  $\tau$ , с, рассчитывают по формуле:

$$\tau = 0,92m^{0,303}, \quad (43)$$

Рассчитав значения  $q^{пад}$  и  $\tau$  по формулам (40) и (43), несложно по формуле (3 табл.5) определить величину пробит-функции и по таблице 4 - степень термического поражения  $R_{пор}$ .

### **2.3. Горение одиночных зданий и промышленных объектов**

Расчет протяженности зон теплового воздействия  $R$ , м, при горении зданий и промышленных объектов производится по формуле:

$$R = 0,282R^* \sqrt{(q^{соб} / q_{кр})}, \quad (44)$$

где  $q^{соб}$  – плотность потока собственного излучения пламени пожара, кВт/м<sup>2</sup>, (табл. 7);

$q_{кр}$  – критическая плотность потока излучения пламени пожара, падающего на облучаемую поверхность и приводящую к тем или иным последствиям, кВт/м<sup>2</sup>, (табл. 8);

$R^*$  – приведенный размер очага горения, м, равный:  $\sqrt{lh}$  – для горящих зданий;

$R^* = (1,75...2,0)\sqrt{lh}$  – для штабеля пиленого леса;

$0,8D_{рез}$  – для горения нефтепродуктов в резервуаре;

Где  $l, h$  – длина и высота объекта горения, м;

$D_{рез}$  – диаметр резервуара, м.

Образующиеся при пожаре продукты горения (или выделяющиеся в атмосферу и находящиеся в зоне горения ОХВ), распространяются по направлению ветра, образуя зону задымления (заражения).

Глубина зоны задымления  $\Gamma$ , м, определяется по формуле

$$\Gamma = \frac{34,2}{k_1} \left( \frac{M}{k_2 w D} \right)^{2/3},$$

где  $M$  – масса токсичных продуктов, кг;

$D$  – пороговая или летальная токсодоза, мг·мин/л (табл. 9);

$w$  – скорость ветра, м/с;

$k_1$  – коэффициент шероховатости подстилающей поверхности, равный :

1 – для открытой поверхности;

2 – для степной растительности и сельхозугодий;

2,5 – для кустарников;

3,3 – для леса и городской застройки;

$k_2$  – коэффициент степени вертикальной устойчивости атмосферы, равный:

1 – для инверсии;

1,5 – для изотермии;

2 – для конвекции.

Таблица 7

Теплотехнические характеристики материалов и веществ

Вещества, материалы	Массовая скорость выгорания, $V_{\text{выг.}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	Теплота горения, $Q_v$ , кДж/кг	Плотность потока пламени пожара, $q^{\text{собо}}$ , кВт/м <sup>2</sup>
Ацетон	0,047	28400	1200
Бензол	0,08	30500	2500
Бензин	0,05	44000	1780 – 1220
Керосин	0,05	43000	1520
Мазут	0,013	40000	1300
Нефть	0,02	43700	874
Древесина	0,015	19000	260
Каучук натуральный	0,013	42000	460
Пиломатериалы	0,017	14000	150

Таблица 8

Критические значения плотностей потока падающего излучения

$q_{\text{кр}}$ , кВт/м <sup>2</sup>	Время в сек. до того как	
	начинаются болевые ощущения (ожог I степени)	появляются ожоги (ожог II степени)
30	1	2
22	2	3
18	2,5	4,3
11	5	8,5
8	8	13,5
5	16	25
4,2	15-20	40
1,5	безопасно	безопасно
14,0	возгорание древесины	через 10 минут
17,5	возгорание древесины	через 5 минут
35,0	возгорание ЛВЖ	через 3 минуты
41,0	возгорание ГЖ	через 3 минуты

*Примечание:* ГЖ – горючие жидкости и вещества (мазут, торф, масло и т.п.); ЛВЖ – легковоспламеняемые жидкости (ацетон, бензол, спирт).

Таблица 9

## Значение токсодоз некоторых ОХВ

ОХВ	Токсодоза, мг·мин/л	
	Летальная $D_{лет}$	Пороговая $D_{пор}$
Аммиак	150	15
Угарный газ CO	60	25
Оксид азота NO <sub>x</sub>	3	1,5
Диоксид серы SO <sub>3</sub>	70	1,8
Фосген	6	0,2
Хлор	6	0,6

### Оценка последствий пожара при горении одиночного объекта (задача № 3)

В поселке (на складе пиломатериалов, в резервуарном парке) произошло возгорание деревянного дома (штабеля дров, штабеля пиломатериалов, резервуара) размером  $a \times b \times h$ , м. При пожаре произошла разгерметизация емкости с ..... и утечка в атмосферу 300 кг ОХВ (опасных химических веществ).

Определить:

- расстояние, на котором термическое воздействие будет безопасным для человека;
- расстояние, на котором человек может получить ожог второй степени;
- расстояние, на котором термическое воздействие будет безопасным для соседнего объекта;
- протяженности зон порогового и летального поражения.

№ варианта	Объект	Размеры, м			Содержимое	Соседний объект	Время термического воздействия, мин	Состояние атмосферы	ОХВ	Скорость ветра $w$ , м/с
		$a(D)$	$b$	$h$						
1	Деревянный дом	6	10	4		Деревянный дом	10	Инверсия	Аммиак	1
2	Штабель дров	7	6	2		« »	10	Конвекция	Оксиды азота	2
3	Штабель пиломатериалов	8	6	2,5		Штабель пиломатериалов	10	Изотермия	Сернистый ангидрид	3
4	Резервуар	10	-	5	Керосин	Резервуар с ГЖ	3	Инверсия	Угарный газ	4
5	«	15	-	8	Мазут	« »	3	Конвекция	Фосген	5
6	«	20	-	6	Нефть	« »	3	Изотермия	Хлор	1
7	«	22	—	10	Бензин	Резервуар с ЛВЖ	3	Инверсия	Аммиак	2
8	Деревянный дом	10	10	6		Деревянный дом	4	Конвекция	Оксиды азота	3
9	Штабель дров	10	4	2		Штабель пиломатериалов	10	Изотермия	Сернистый ангидрид	4
10	Штабель пиломатериалов	12	6	3		Тоже	4	Инверсия	Угарный газ	5
11	Резервуар	4		3	Керосин	Резервуар с ГЖ	3	Конвекция	Фосген	1
12	«	5	—	6	Мазут	« »	3	Изотермия	Хлор	2
13	«	6	—	5	Нефть	« »	3	Инверсия	Аммиак	3
14	«	7	—	7	Бензин	« »	3	Конвекция	Оксиды азота	4
15	Деревянный дом	8	8	4		Деревянный дом	10	Изотермия	Сернистый ангидрид	5
16	Штабель дров	10	6	2		« »	10	Инверсия	Угарный газ	1
17	Штабель пиломатериалов	12		2		Штабель пиломатериалов	10	Конвекция	Фосген	2
18	Резервуар	12	—	6	Керосин	Резервуар с ГЖ	3	изотермия	Хлор	3
19	«	14	—	8	Мазут	Деревянный дом	10	Инверсия	Аммиак	4

## Продолжение таблицы

№ варианта	Объект	Размеры, м			Содержимое	Соседний объект	Время термического воздействия, мин	Состояние атмосферы	ОХВ	Скорость ветра w, м/с
		a(D)	b	h						
20	Резервуар	15	-	8	Нефть	Резервуар с ГЖ	3	Конвекция	Оксиды азота	5
21	«	17	-	10	Бензин	« »	3	Изотермия	Сернистый ангидрид	1
22	Деревянный дом	4	4	3		Деревянный дом	4	Инверсия	Угарный газ	2
23	Штабель дров	4	4	2		« »	4	Конвекция	Фосген	3
24	Штабель пиломатериалов	5	5	3		Штабель пиломатериалов	10	Изотермия	Хлор	4
25	Резервуар	20	-	10	Нефть	Резервуар с ГЖ	3	Инверсия	Аммиак	5