

Критический анализ методики пожарного риска

Швыряев А.А. (МГУ, Химический ф-т)

10 июня 2009 г. приказом №404 по МЧС введена в действие «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах»

Ранняя версия «Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий.-М.:ВНИИПО,2006.-93с»

Методики для сравнения:РД 03-409-01 и СТО РД Газпром 39-1.10.-084-2003

Величина потенциального пожарного риска $P(a)$ (год⁻¹) (далее – потенциального риска) в определенной точке (a) как на территории производственного объекта, так и на прилегающей к объекту территории определяется с помощью соотношения:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) Q_j,$$

где J - число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров) (ветвей логического дерева событий); $Q_{dj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному иницирующему аварии событию; Q_j - частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.

$$R(x, y) = \sum_1^J \lambda_j * P_j(x, y)$$

λ_j (1/год) - частота реализации, $P_j(x, y)$ - вероятностная зона поражения человека, J – набор сценариев аварий.

Величина потенциального риска P_i (год⁻¹) в i -ом помещении здания определяется по формуле:

$$P_i = \sum_{j=1}^J Q_j Q_{dij}$$

где J – число сценариев возникновения пожара в здании; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария пожара, год⁻¹; Q_{dij} – условная вероятность поражения человека при его нахождении в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.

Методика

Наименование оборудования	Иницирующее аварийное событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25	$6,2 \cdot 10^{-6}$
		50	$3,8 \cdot 10^{-6}$
		100	$1,7 \cdot 10^{-6}$
	Полное разрушение		$3,0 \cdot 10^{-7}$
Насосы (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости или двухфазной среды	5	$4,3 \cdot 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$
		25	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		50	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Диаметр подводящего / отводящего трубопровода	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Компрессоры (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением газа	5	$1,1 \cdot 10^{-2}$
		12,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$
		25	$3,9 \cdot 10^{-4}$
		50	$1,3 \cdot 10^{-4}$
		Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$
		100	$1,2 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Резервуары с плавающей крышей	Пожар в кольцевом зазоре по периметру резервуара	-	$4,6 \cdot 10^{-3}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	-	$9,3 \cdot 10^{-4}$
Резервуары со стационарной крышей	Пожар на дыхательной арматуре	-	$9,0 \cdot 10^{-5}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	-	$9,0 \cdot 10^{-5}$

Руководство

Наименование оборудования	Событие, иницирующее аварию	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары, емкости, сосуды и аппараты под давлением	Разгерметизация с последующим истечением жидкости, газа или двухфазной среды	5	$4,0 \cdot 10^{-5}$
		12,5	$1,0 \cdot 10^{-5}$
		25	$5,0 \cdot 10^{-6}$
		50	$5,0 \cdot 10^{-6}$
		Полное разрушение	$2,0 \cdot 10^{-6}$
	Внешнее воздействие, приводящее к реализации огненного шара	-	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Насосы (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением жидкости или двухфазной среды	5	$4,3 \cdot 10^{-3}$
		12,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$
		25	$5,1 \cdot 10^{-4}$
		50	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Компрессоры (центробежные)	Разгерметизация с последующим истечением газа	5	$1,1 \cdot 10^{-2}$
		12,5	$1,3 \cdot 10^{-3}$
		25	$3,9 \cdot 10^{-4}$
		50	$1,3 \cdot 10^{-4}$
		Полное разрушение	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	Все типы	$1,0 \cdot 10^{-4}$
	Квазимгновенное разрушение	-	$5,0 \cdot 10^{-6}$
Резервуары с плавающей крышей	Пожар в кольцевом зазоре по периметру резервуара	-	$4,6 \cdot 10^{-3}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	-	$9,3 \cdot 10^{-4}$
Резервуары со стационарной крышей	Пожар на дыхательной арматуре	-	$9,0 \cdot 10^{-5}$
	Пожар по всей поверхности резервуара	-	$9,0 \cdot 10^{-5}$

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек, (м ⁻¹ · год ⁻¹)				
	Малая (диаметр отверстия 12,5 мм)	Средняя (диаметр отверстия 25 мм)	Большая (диаметр отверстия 50 мм)	Большая (диаметр отверстия 100 мм)	Разрыв
50	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	-	-	$1,4 \cdot 10^{-6}$
100	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	-	$2,4 \cdot 10^{-7}$
150	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$
250	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$
600	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$
900	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-9}$
1200	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$

Частоты утечек из технологических трубопроводов

Диаметр трубопровода, мм	Частота утечек, (м ⁻¹ · год ⁻¹)			
	Малая (диаметр отверстия 12,5 мм)	Средняя (диаметр отверстия 25 мм)	Большая (диаметр отверстия 50 мм)	Разрыв
50	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$
100	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$
150	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
250	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$
600	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$
900	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
1200	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$

(SINTEF (1991). Handbook for Fire Calculations and Fire Risk Assessment in the Process Industry.):

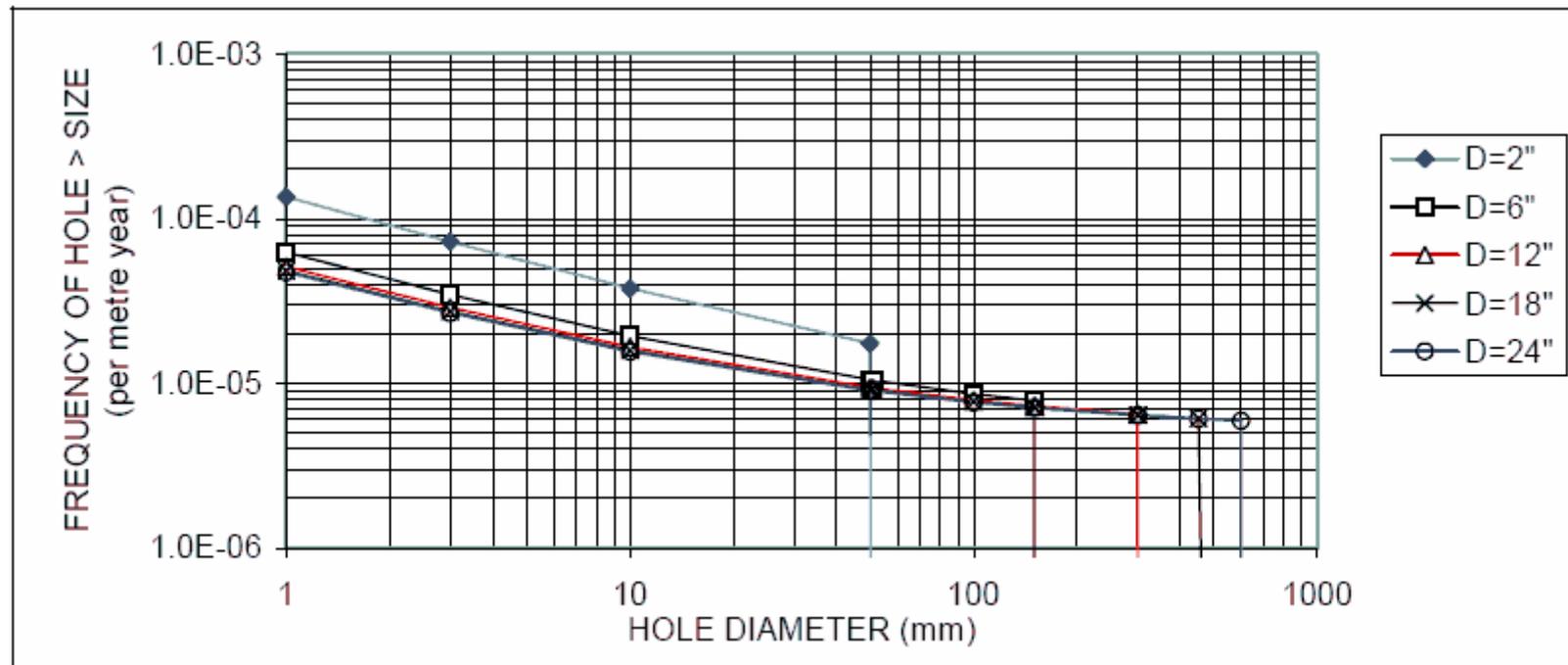
$A = 0.475 \times R \times t$, где A – площадь аварийного отверстия (м²); R – радиус трубопровода, м; t – толщина стенки. Для газопровода Ду600 – Дмакс – 45-50 мм.

Table III.5 Leak Frequencies for Selected Pipe Diameters

Hole Diameter		Leak Frequency (per metre year)				
Range	Nominal	2" Dia (50 mm)	6" Dia (150 mm)	12" Dia (300 mm)	18" Dia (450 mm)	24" Dia (600 mm)
1-3 mm	2 mm	6.3E-05	2.8E-05	2.2E-05	2.1E-05	2.0E-05
3-10 mm	5 mm	3.5E-05	1.5E-05	1.2E-05	1.2E-05	1.1E-05
10-50 mm	25 mm	3.8E-05*	8.9E-06	7.2E-06	6.7E-06	6.6E-06
50-150 mm	100 mm	-	1.0E-05*	2.1E-06	2.0E-06	1.9E-06
>150 mm	Full-bore	-	-	7.3E-06	7.1E-06	7.1E-06
TOTAL		1.4E-04	6.2E-05	5.1E-05	4.8E-05	4.7E-05

* Suggested nominal size is full-bore.

Figure III.1 Leak Frequency Functions for Selected Pipe Diameters



Приложение 3 Методы оценки опасных факторов

Массовая скорость истечения сжатого газа из резервуара описывается соотношениями:

докритическое истечение:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_V} \geq \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} ;$$

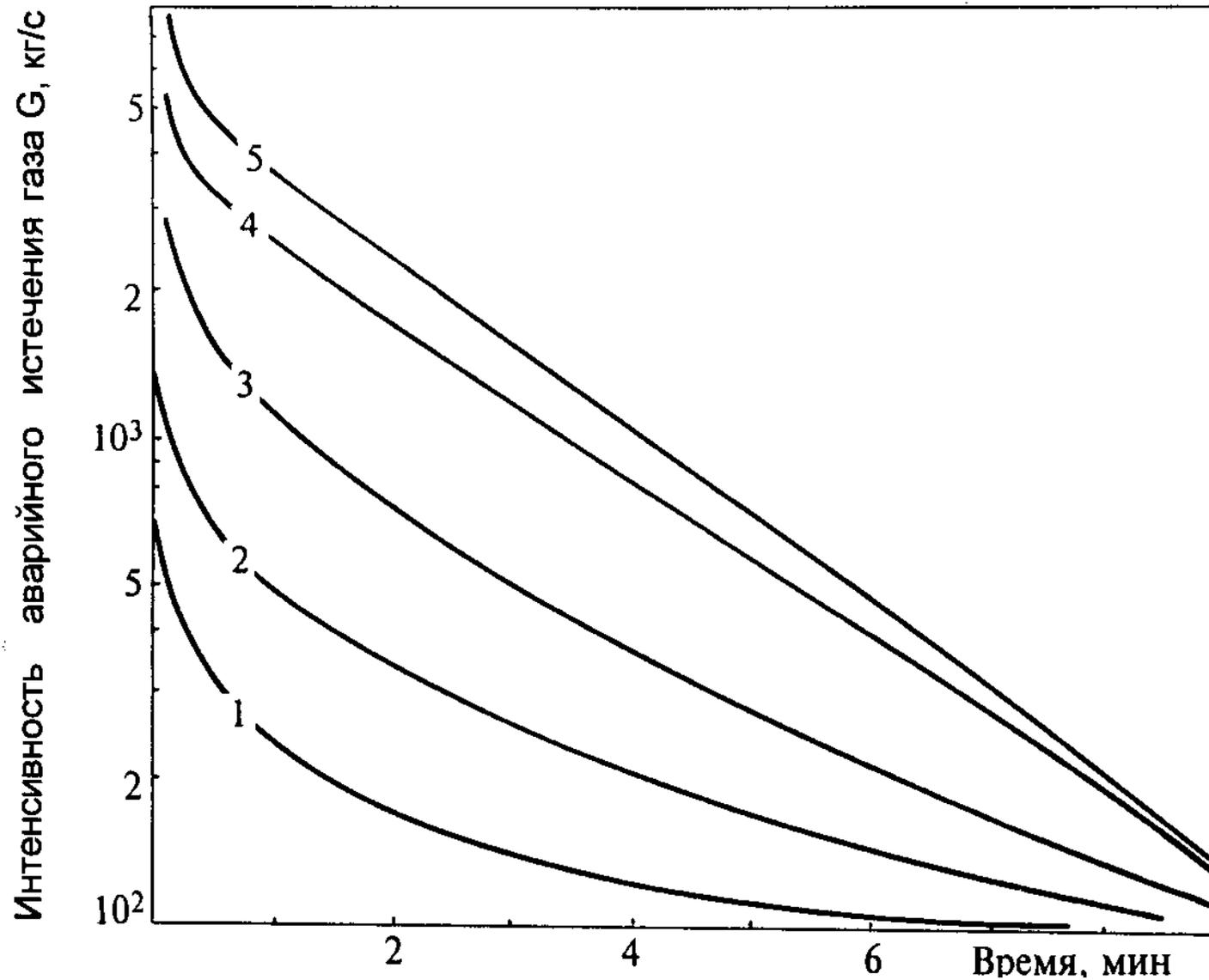
$$G = A_{\text{кол}} \mu \left[P_V \rho_V \cdot \left(\frac{2\gamma}{\gamma-1} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{P_V} \right)^{2/\gamma} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{P_a}{P_V} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right]^{1/2} ;$$

сверхкритическое истечение:

$$\text{при } \frac{P_a}{P_V} < \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} ;$$

$$G = A_{\text{кол}} \mu \left[P_V \rho_V \cdot \gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)} \right]^{1/2} ;$$

где G – массовый расход, кг/с; P_a – атмосферное давление, Па; P_V – давление газа в резервуаре, Па; γ – показатель адиабаты газа; $A_{\text{кол}}$ – площадь отверстия, м²; μ – коэффициент истечения (0,6-0,8); ρ_V – плотность газа в резервуаре при давлении P_V , кг/м³.



Влияние технологических параметров на динамику опорожнения отсеченного с одного конца участка газопровода длиной 10 км
 (1 – Ду500 мм, P=55 ат; 2 – Ду700 мм, P=55 ат, 3 – Ду1000 мм, P=55 ат;
 4 – Ду1200мм, P=75 ат; 5 – Ду1400 мм, P=75 ат).

3.3. Максимальные размеры взрывоопасных зон

Радиус ($R_{НКПР}$, м) и высота ($Z_{НКПР}$, м) зоны, ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), при неподвижной воздушной среде рассчитывают по формулам:

для горючих газов (ГГ)

$$R_{НКПР} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{Г}}{\rho_{Г} \cdot C_{НКПР}} \right)^{0,33}, \quad (3.32)$$

$$Z_{НКПР} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{Г}}{\rho_{Г} \cdot C_{НКПР}} \right)^{0,33}, \quad (3.33)$$

где $m_{Г}$ – масса ГГ, поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг; $\rho_{Г}$ – плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³; $C_{НКПР}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ, % об.

для паров ЛВЖ

$$R_{НКПР} = 3,2 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_{Н}}{C_{НКПР}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{Д}}{\rho_{Д} \cdot P_{Н}} \right)^{0,33}, \quad (3.34)$$

$$Z_{НКПР} = 0,12 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_{Н}}{C_{НКПР}} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_{Д}}{\rho_{Д} \cdot P_{Н}} \right)^{0,33}, \quad (3.35)$$

где $m_{Д}$ – масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, но не более 3600 с, кг; $\rho_{Д}$ – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа; $P_{Н}$ – давление насыщенных паров при расчетной температуре, кПа;

$$K = T/3600;$$

T – продолжительность поступления паров в открытое пространство, с; $C_{НКПР}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени паров, % об.

За начало отсчета горизонтального размера зоны принимают внешние габаритные размеры пролива.

При необходимости может быть учтено влияние различных метеорологических условий на размеры взрывоопасных зон.

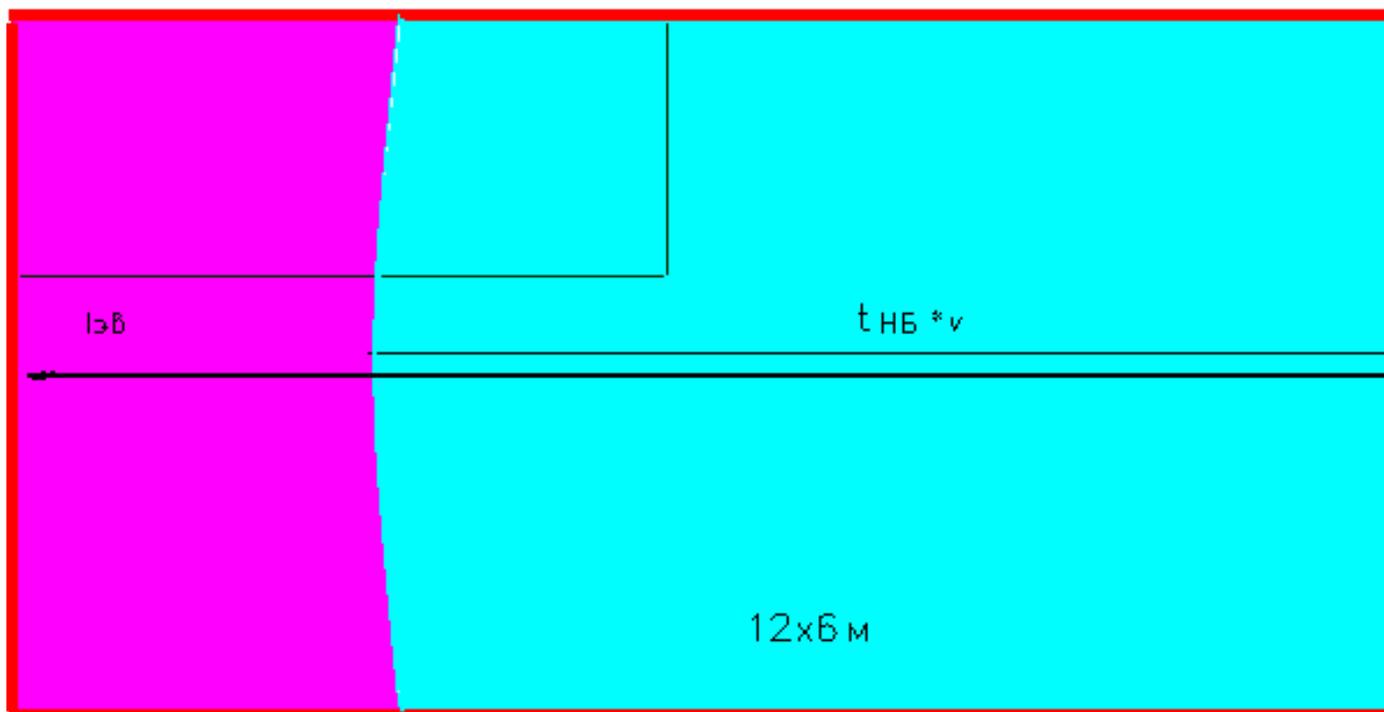
Пример: от пролива нефти (35 С, давление паров 70 кПа, мол. вес паров 50, ветер 1 м/с) 10000 кв. м. скорость испарения составит около 25 кг/с (согласно формуле 3.68), за 3600 с испарится ~90 т нефти, соответственно во взрыве будет участвовать 9 т. паров. Т.е. эквивалент по тротилу ~100 т – ситуация просто невероятная. Более того, данный подход при усилении ветра вообще искажает суть физических процессов, а масса, участвующая во взрыве, при этом будет возрастать. Например при скорости 10 м/с во взрыве может участвовать около 50 т паров нефти (тротильный эквивалент прим. – 500 т !!!!)

Использование моделей атмосферной дисперсии облака полностью решает вопросы
Неопределенность оценки массы.

Величина потенциального риска P_i (год⁻¹) в i -ом помещении здания определяется по формуле:

$$P_i = \sum_{j=1}^J Q_j Q_{dij}$$

где J – число сценариев возникновения пожара в здании; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария пожара, год⁻¹; Q_{dij} – условная вероятность поражения человека при его нахождении в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара.



Помещения размерами 12 м x 6 м и высотой 4 м, в котором находится расходный бак с дизельным топливом. При разгерметизации бака площадь пролива составляет 15 м², а пожар рассматривается как случай горения с неустановившейся скоростью (n=1,5). Для этого сценария основной причиной блокирования эвакуации является фактор потери видимости. Время блокирования эвакуации составит – 5,3 сек. При скорости эвакуации 100 м/мин время эвакуации из дальней точки помещения (12 м) составит 7,2 сек.

$R_{э} = S(\text{зона успешной эвакуации}) / S(\text{помещения}) = 0,74$