

## **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<sup>-1</sup>) (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<sup>-1</sup>.

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

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

Величина потенциального риска  $P_i$  (год<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>;  $Q_{dij}$  – 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 <sup>-1</sup>
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 аварийное событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год <sup>-1</sup>
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 <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> )				
	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 <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> )			
	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.):

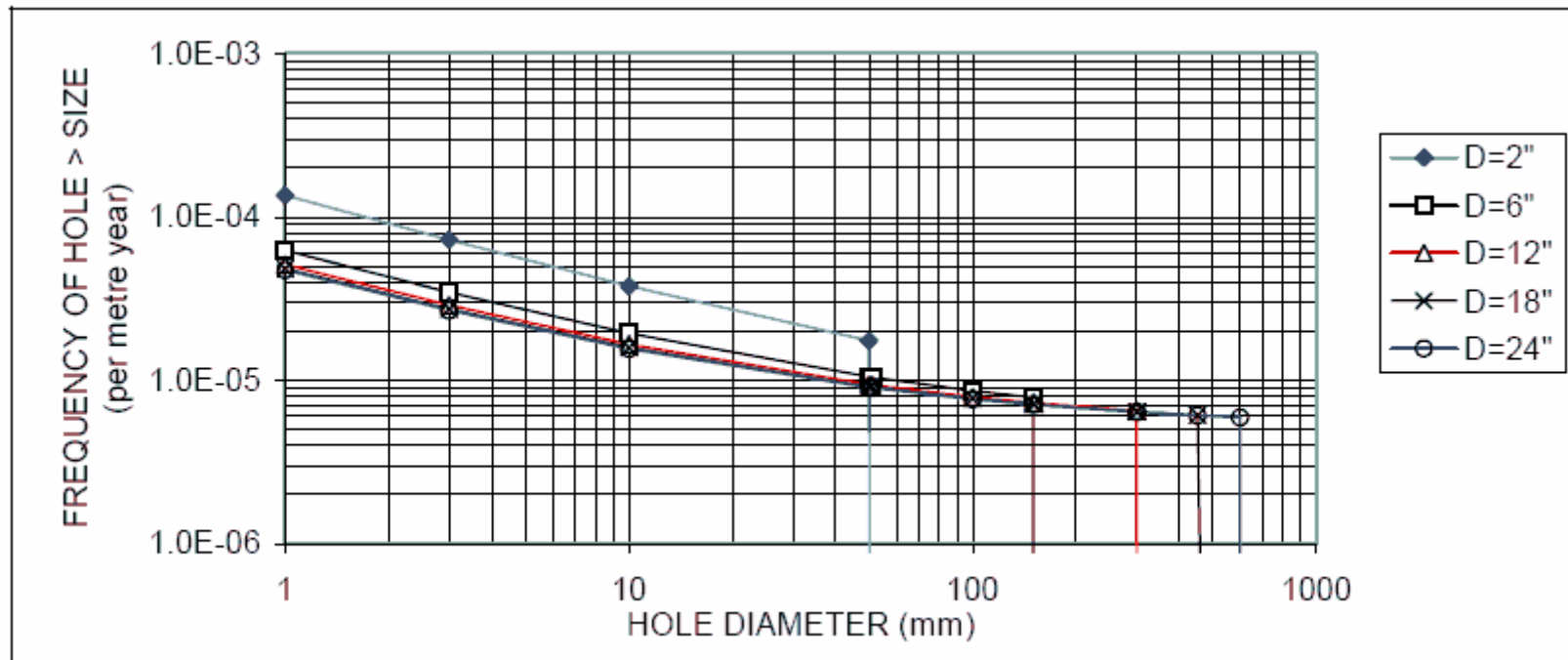
$A = 0.475 \times R \times t$ , где  $A$  – площадь аварийного отверстия (м<sup>2</sup>);  $R$  – радиус трубопровода, м;  $t$  – толщина стенки. Для газопровода Ду600 – Дмакс – 45-50 мм.

**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:*

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

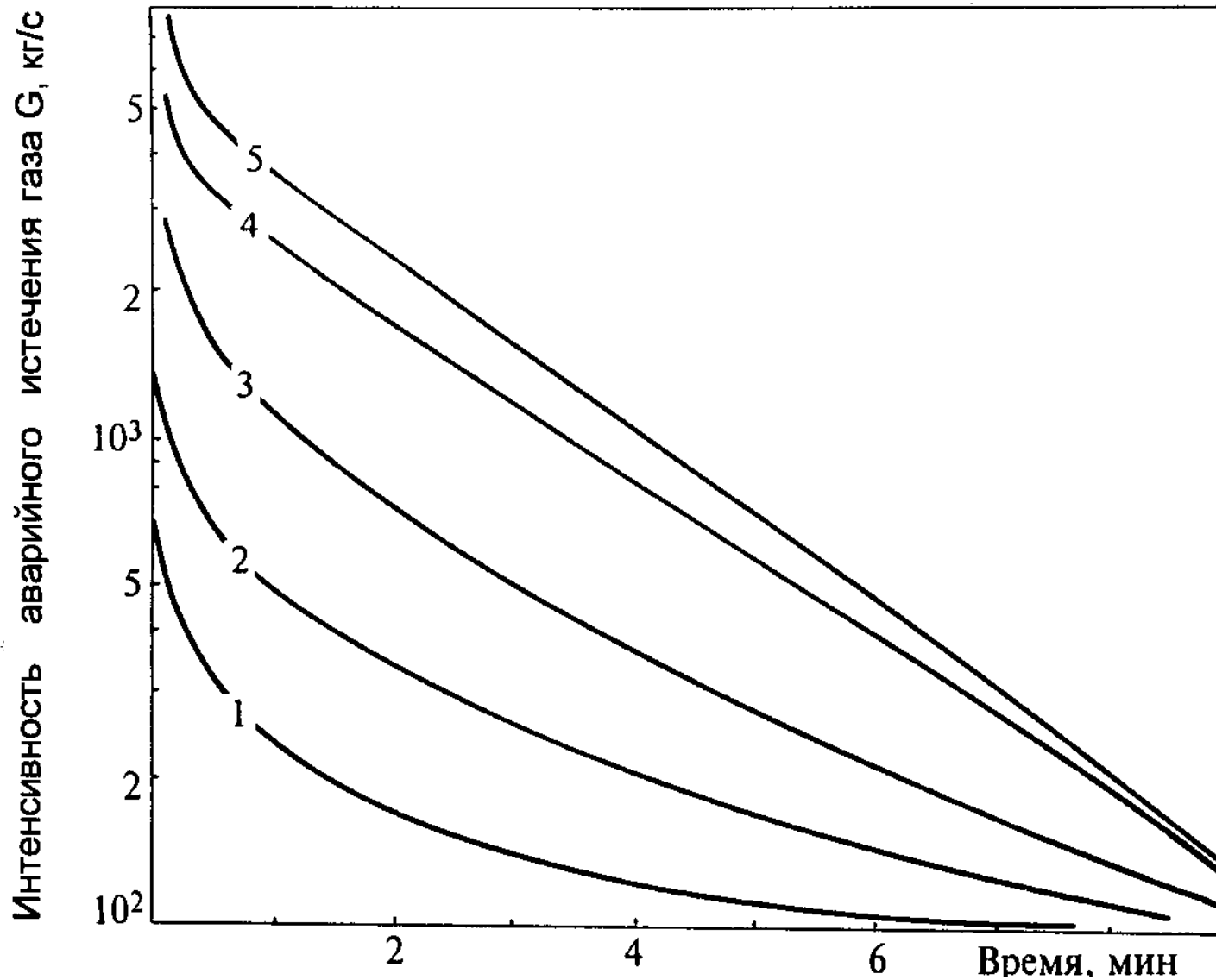
$$G = A_{\text{кол}} \mu \left[ P_V \rho_V \cdot \left( \frac{2\gamma}{\gamma-1} \right) \cdot \left( \frac{P_a}{P_V} \right)^{2/\gamma} \cdot \left\{ 1 - \left( \frac{P_a}{P_V} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right\} \right]^{1/2} ;$$

*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;  $\gamma$  – показатель адиабаты газа;  $A_{\text{кол}}$  – площадь отверстия, м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент истечения (0,6-0,8);  $\rho_V$  – плотность газа в резервуаре при давлении  $P_V$ , кг/м<sup>3</sup>.



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/м<sup>3</sup>;  $C_{НКПР}$  – 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.

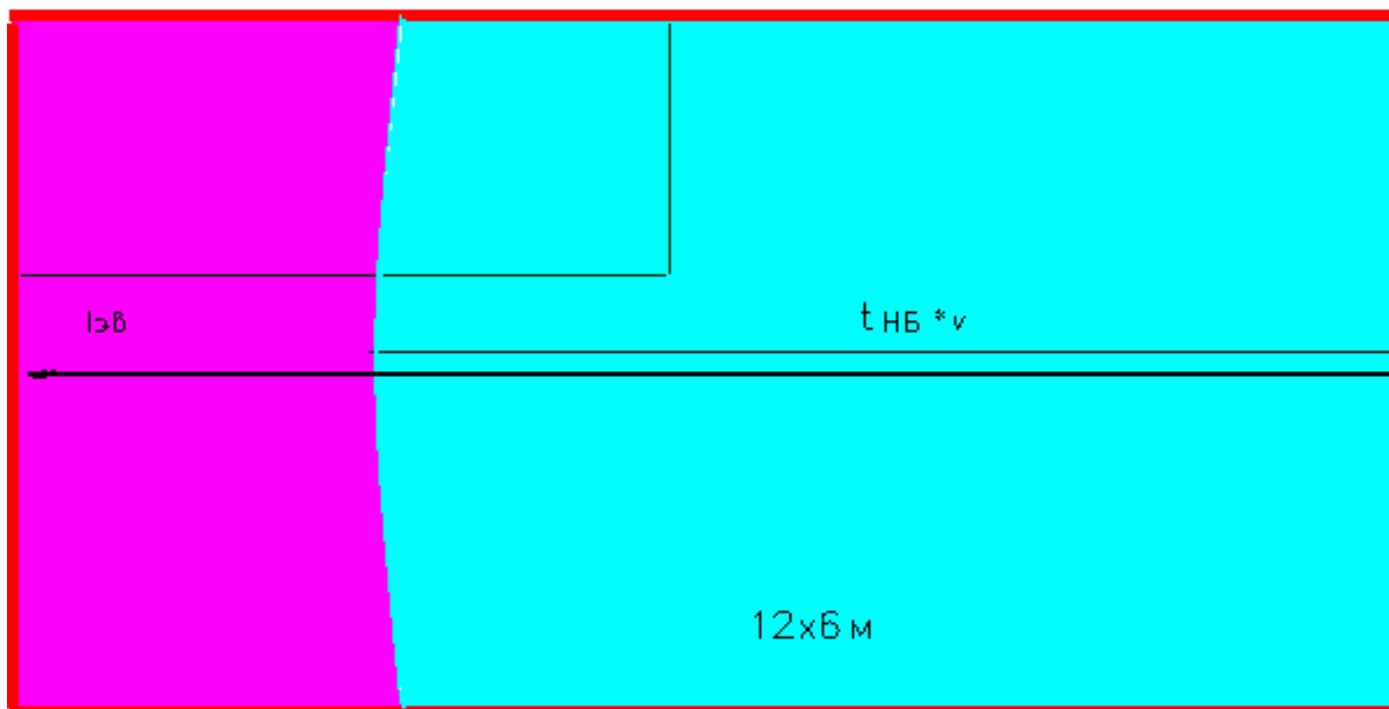
Пример: от пролива нефти (35 С, давление паров 70 кПа, мол. вес паров 50, ветер 1 м/с) 10000 кв. м. скорость испарения составит около 25 кг/с (согласно формуле 3.68), за 3600 с испарится ~90 т нефти, соответственно во взрыве будет участвовать 9 т. паров. Т.е. эквивалент по тротилу ~100 т – ситуация просто 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>;  $Q_{dij}$  – 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 м<sup>2</sup>, 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.

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