

# Современная методология оценки риска чрезвычайных ситуаций

Ведущий научный сотрудник ФГУ  
ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Бодриков Олег Васильевич

тел. 445-44-63

# Риск и теория вероятностей

Основные предпосылки и допущения:

1. Аварии на опасных производственных объектах, приводящие к ЧС

рассматриваются как случайные события

2. В первом приближении возможность возникновения аварии может быть оценена ее частотой ( $\lambda$  -

$\lambda$  -

интенсивностью) на основании статистики:

$$\lambda = \frac{\text{число аварий}}{(\text{ко-во однотипных объектов}) \cdot (\text{период рассмотрения})}$$

[1/год]

3. Вероятность возникновения аварии

$$P_A(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

-  $P_A(t)$  подчиняется закону Пуассона

$$\lambda t < 0,01)$$

и для редких событий (при которых

совпадает с интенсивностью

$$P_A(t) = \lambda t.$$

## Основные определения:

- Риск - количественная мера опасностей определенного класса
- Индивидуальный риск – вероятность (частота) поражения отдельного индивидуума в результате реализации опасностей определенного класса
- Социальный риск – интегральная функция распределения потерь
- Технический риск - вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня
- Потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) - частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке территории
- Коллективный риск - ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенное время
- Ожидаемый ущерб - математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии за определенное время

# Нормативные документы по анализу риска

- Методические указания по проведению анализа риска ОПО (РД 03-418-01), разработанные НТЦ “Промбезопасность” в 2001 году;
- Методическое руководство по оценке риска аварий на магистральных нефтепроводах, разработанное НТЦ “Промбезопасность” в 2000 году;
- Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО “ГАЗПРОМ”. СТО РД 39-1.10-084-2003;
- ГОСТ Р 12.3.047-98 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. Дата введения январь 2000 года;
- Гост 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования;
- «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» (НПБ 105-03). Приложение к приказу МЧС России от 18.06.2003 г. № 314.
- ГОСТ Р 51901-2002 Анализ риска технологических систем.

# Перечень показателей в типовом паспорте безопасности опасного объекта

- Индивидуальный риск для персонала объекта;
- Индивидуальный риск для населения на прилегающей к объекту территории;
- Ситуационный план объекта с изолиниями индивидуального (потенциального) риска.
- Частота реализации наиболее опасного и наиболее вероятного сценария развития чрезвычайной ситуации;
- Коллективный риск – ожидаемое количество пострадавших (погибших) людей (персонала и населения) в результате возможных аварий (чрезвычайных ситуаций) за определенное время (год);
- Диаграммы социального риска (F/N-диаграмма и F/G-диаграмма);

## Перечень показателей в типовом паспорте безопасности для территорий субъектов Российской Федерации и муниципальных образований

- Комплексный показатель риска для населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- карта субъекта РФ с изолиниями индивидуального (потенциального) риска;
- диаграммы социального риска (F/N-диаграмма и F/G-диаграмма) для субъекта РФ;
- частота природного явления (13 видов);
- частота наступления чрезвычайной ситуации при возникновении природного явления.

Математическая модель интегрированного риска территорий субъектов Российской Федерации, как комплексного показателя их безопасности, выраженного в едином стоимостном эквиваленте и объединяющего в себе ожидаемые ущербы социальных, материальных и экологических потерь

$$R(Y_{\Sigma}) = \begin{cases} R(Y_C) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{\alpha} R_{ij}(E_C) \cdot Y_{cijk} \\ R(Y_M) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{r=1}^{\omega} R_{ij}(E_M) \cdot Y_{Mijr} \\ R(Y_{\Theta}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^{\eta} R_{ij}(E_{\Theta}) \cdot Y_{\Theta ij q} \end{cases}$$

где  $R(Y_{\Sigma})$  - комплексный показатель риска для населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;  $R(Y_C)$  - риск социального ущерба;  $R(Y_M)$  - риск материального ущерба;  $R(Y_{\Theta})$  - риск экологического ущерба;  $Y_C$ ,  $Y_M$ ,  $Y_{\Theta}$  - соответственно социальный, материальный и экологический ущербы;  $n$  - число возможных поражающих факторов, формирующихся в результате реализации существующих опасностей техногенного и природного характера присущих рассматриваемому региону;  $m$  - число рассматриваемых зон потенциальной опасности находящихся на территории данного региона;  $\alpha$  - число степеней поражения человека;  $\omega$  - число составляющих материального ущерба;  $\eta$  - число составляющих экологического ущерба;  $R(E)$  - потенциальный риск возникновения ЧС для реципиента вида  $E$ .

## Перечень задач для определения количественных показателей риска

- Анализ технологии объекта с разбиением его на отдельные АТБ
- Выявление причин и построение сценариев развития ЧС
- Определение вероятностей инициирующих и последующих событий, составляющих сценарии развития ЧС
- Исследование физико-химических особенностей аварии (интенсивностей, и продолжительности выбросов опасных веществ) для всего спектра нежелательных событий
- Определение зон действия поражающих факторов при различных сценариях аварии
- Оценка возможного числа пострадавших (погибших) среди персонала и населения
- Оценка величины материального ущерба



# Сценарий - полное и формализованное описание развития аварии, включая количественные характеристики событий, их пространственно-временные параметры и причинные связи

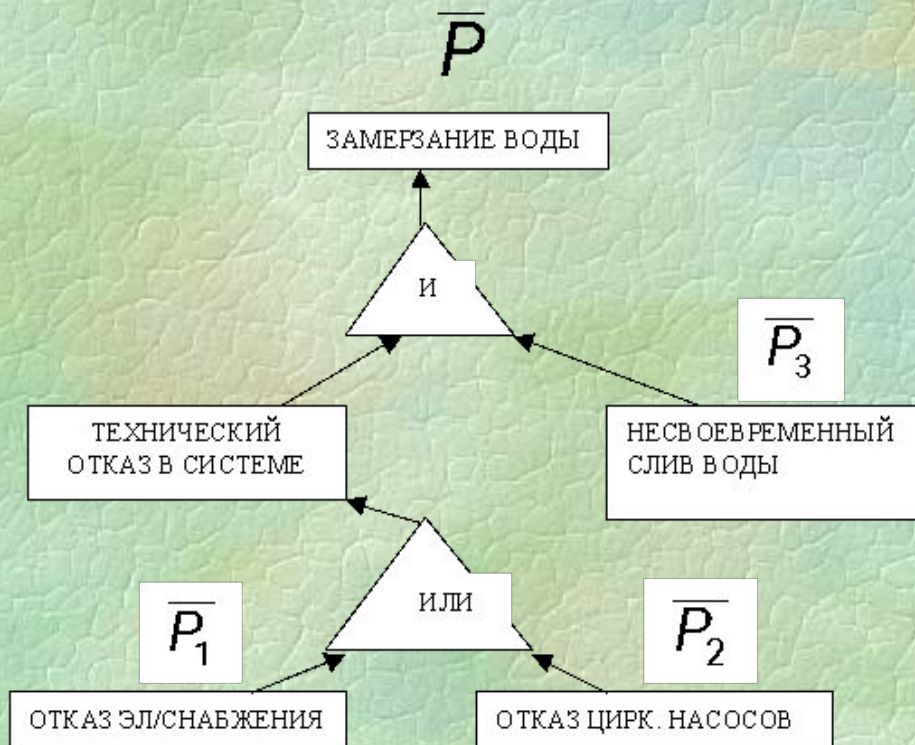
## Классы причин, приводящих к аварии

- Отказы оборудования (задвижек, клапанов, средств автоматики и т. п.);
- Отклонения от технологического регламента;
- Ошибки производственного персонала;
- Сторонние действия (стихийные бедствия, аварии на соседних объектах, диверсия).

## Методы определения частот реализации сценариев

- Использование ретроспективных данных об отказах оборудования и авариях, со статистической обработкой и применением метода экспертных оценок;
- Использование графических представлений совокупности различных случайных событий, приводящим к авариям (метод «деревьев отказов» и метод «деревьев событий»);
- Использование моделей состояния исследуемой системы (моделей марковских процессов), выражаемых дифференциальными уравнениями Колмогорова-Чепмена;

# ДЕРЕВО ОТКАЗОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ АВАРИИ НА СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ



$$\bar{P} = [\bar{P}_1 + \bar{P}_2 - \bar{P}_1 \cdot \bar{P}_2] \cdot \bar{P}_3$$

$$\bar{P} = \bar{P}_1 \cdot \bar{P}_2 \cdot \bar{P}_3 + \bar{P}_1 \cdot \bar{P}_3$$

# Дерево отказов, приводящее к взрыву в реакторе окисления

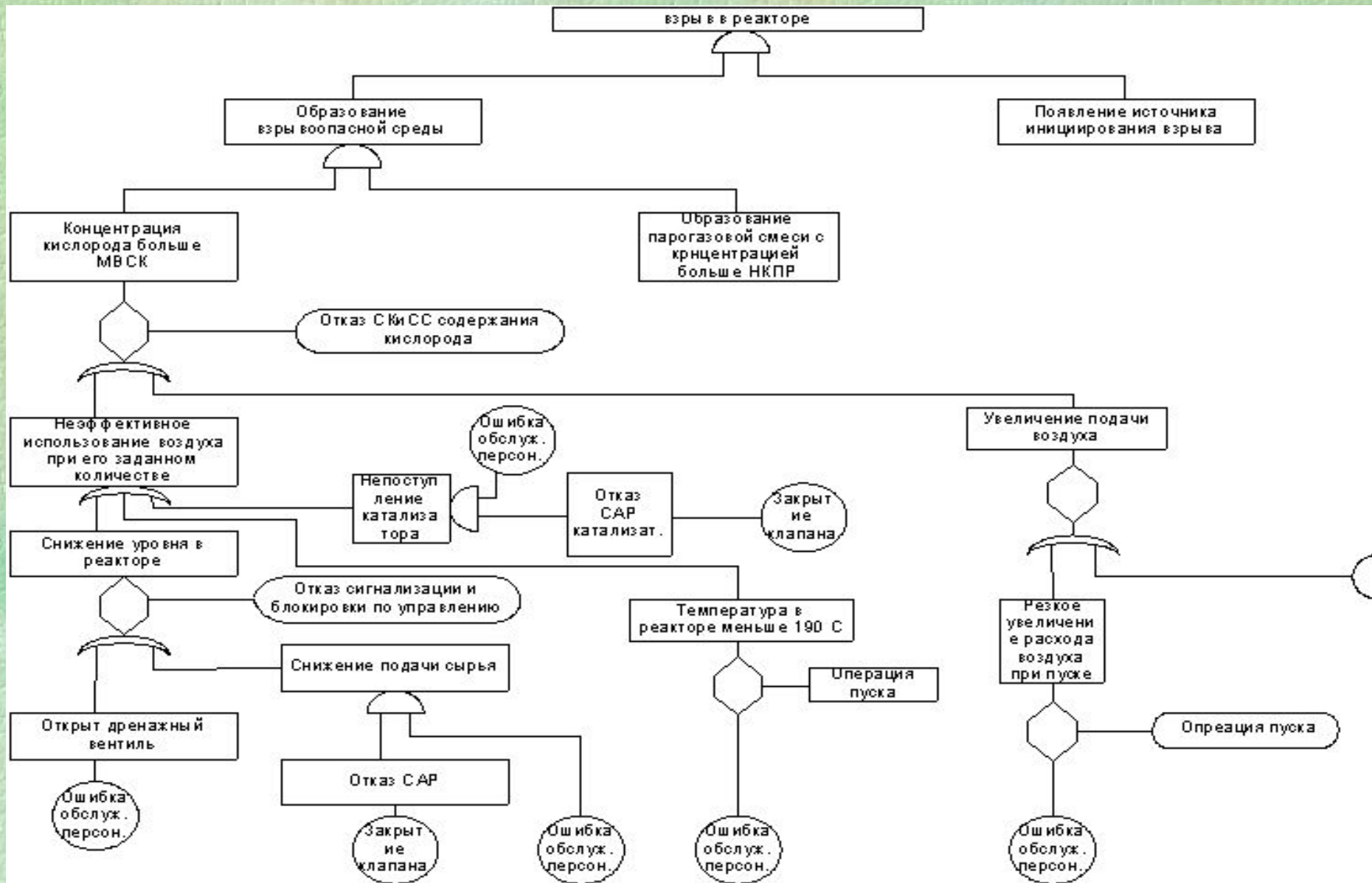


Рис. 12.6 Дерево отказов, приводящих к взрыву в реакторе окисления ТД-201

# Частоты инициирующих событий, связанных с выбросом опасных веществ

Наименование элемента	Частота событий, 1/год				
	Свищ	Трещина	Разрыв	Общая по элементу	Общая с нарастанием по элементам
УЧАСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕЖДУ АППАРАТАМИ, ВХОДЯЩИМИ В БЛОК					
линия трубопровода 101001	3,28E-05	1,71E-05	7,57E-06	5,75E-05	5,75E-05
линия трубопровода 101002	9,30E-06	4,74E-06	2,10E-06	1,61E-05	7,36E-05
линия трубопровода 101003	3,38E-06	1,72E-06	7,63E-07	5,87E-06	7,95E-05
линия трубопровода 105101	9,47E-06	4,83E-06	2,14E-06	1,64E-05	9,59E-05
АППАРАТЫ, ВХОДЯЩИЕ В В БЛОК (разгерметизация фланцев и отрыв штуцеров)					
Сепаратор сырьевого газа 101-V1	1,21E-04	3,94E-05	1,95E-05	1,80E-04	1,80E-04
Сепаратор конденсата 101-V2	8,05E-05	2,63E-05	1,30E-05	1,20E-04	2,99E-04
Фильтр сырьевого газа 101-F1	7,98E-05	2,61E-05	1,29E-05	1,19E-04	4,18E-04
Теплообменник сырьевого газа 105-E3	1,21E-04	3,97E-05	1,96E-05	1,81E-04	5,99E-04
РАЗРЫВ АППАРАТА					
Сепаратор сырьевого газа 101-V1	-	-	-	3,86E-09	3,86E-09
Сепаратор конденсата 101-V2	-	-	-	7,71E-09	1,16E-08
Фильтр сырьевого газа 101-F1	-	-	-	7,69E-09	1,93E-08
Теплообменник сырьевого газа 105-E3	-	-	-	1,34E-08	3,27E-08
В целом по блоку					6,94E-04

## Дерево событий для аварий на линейной части МГ в соответствии со сценариями СТО РД 39-1.10-084-2003

Ду, мм	500					
Исходное событие	Дальнейшее развитие аварии		Конечное событие	Вероятность сценария	Вероятность аварии	
			Пожар в котловане	0.21	0.3	
			0.3			
		Образование котлована				
		0.7				
			Безопасное рассеивание	0.49		
			0.7			
Гильотинный разрыв			Струйное горение	0.027		
1			0.3			
		Струя под углом 15 градусов к горизонту				
		0.3				
			Безопасное рассеивание	0.063		
		Выбрасывание труб	0.7			
		0.3				
			Струйное горение	0.063		
			0.3			
		Горизонтальная настильная струя				
		0.7				
			Безопасное рассеивание	0.147		
			0.7			
			<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>		

# Аварийная утечка нефти

Образование пазрыва с хапарктерным паазмером  $\Gamma_m$

$f_m^{Lp}$

$\Gamma_m = 0.3 \text{ D } f_1^{Lp} = 0.55$

$\Gamma_m = 0.75 \text{ D } f_1^{Lp} = 0.35$

$\Gamma_m = 1.5 \text{ D } f_1^{Lp} = 0.10$

Утечка нефти в напорном режиме объемом  $V_{mj}^H$  ( $m = 1, 2, 3; j = 1, 2$ ) до остановки перекачки за время  $\tau_1$  с  $f_1^H = 0,7$   $\tau_2$   $f_2^H = 0,3$  амотечном режиме за время закрытия задвижек равным 4 мин.

$\tau_1 = 15$

$\tau_2 = 1$

$\tau_1 = 5$

$\tau_2 = 10$

$\tau_1 = 5$

$\tau_2 = 10$

$V_{11}$

$V_{12}$

$V_{21}$

$V_{22}$

$V_{31}$

$V_{32}$

Утечка нефти в самотечном режиме объемом  $V_{k(mj)}^C$  с вероятностью  $f_m^{Lp} \cdot f_j^H$

Прибытие аварийно-восстановительной бригады (АВБ). Меры по локализации аварии успешны: Да -  $f_1^C = 0,7$ ;  $f_2^C = 0,3$

Да

Нет

$V_{1(mj)}^C$

ытия АВБ ( $k = 1$ )

$V_{2(mj)}^C$

йного участка ( $k = 1$ )

Полный объем утечки для каждого сценария:  $V_i^y = V_{mi}^H + V_{k(mi)}^C$

Определение объемов потерь нефти для каждого сценария  $V_i = (1 - k_{сб}) V_i^y$

Определение средней массы потерь нефти  $M_s$

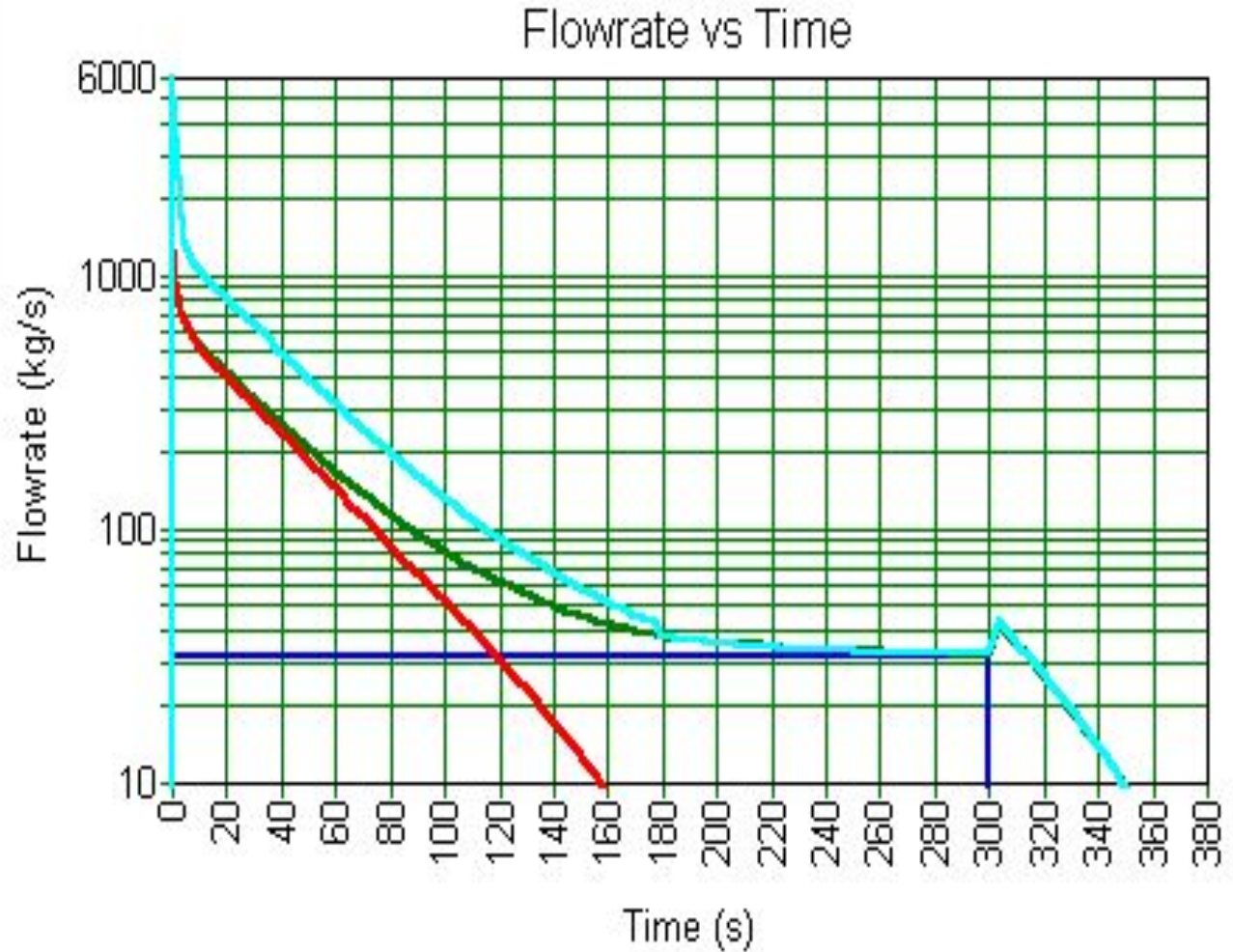
# Оценка частоты реализации сценариев аварий для емкостного оборудования резервуарных парков объекта

Краткое описание конечной стадии сценария аварии	Частота реализации (1/год) сценария для основного емкостного оборудования			
	РВС 200	РВС 1000	УМТ 2000	МТ 3000
<b>Иницирующие событие:</b> образование НКПВ снаружи резервуара вследствие "больших и малых дыханий"				
Горение разлива ЖФ	1,32E-06	1,32E-06	2,21E-06	2,35E-06
Горение пролива жидкости. Переход аварии на стадию "Б"	4,41E-07	4,41E-07	7,35E-07	7,84E-07
Пожар на резервуаре. Тепловое воздействие от пожара (возможен переход аварии на стадию "Б")	1,76E-06	1,76E-06	2,94E-06	3,14E-06
Прекращение горения пожара на резервуаре (оперативная ликвидация пожара)	6,55E-06	6,55E-06	1,09E-05	1,16E-05
Взрыв ПГФ в резервуаре. Разрушение резервуара с последующим образованием гидродинамической волны прорыва и переходом аварии на стадию "Б".	8,64E-07	8,64E-07	1,44E-06	1,54E-06
Пожар на резервуаре.	2,42E-06	2,42E-06	4,03E-06	4,30E-06
Разрушение резервуара, действие ВУВ.	1,04E-06	1,04E-06	1,73E-06	1,84E-06
Загазованность без опасных последствий для персонала объекта.	1,30E-04	1,30E-04	2,16E-04	2,30E-04
<b>Иницирующие событие:</b> образование НКПВ внутри резервуара вследствие неплотностей				
Горение разлива ЖФ	5,91E-07	5,91E-07	9,84E-07	1,05E-06
Горение пролива жидкости. Переход аварии на стадию "Б"	1,97E-07	1,97E-07	3,28E-07	3,50E-07
Затяжной пожар на резервуаре. Тепловое воздействие от пожара (возможен переход аварии на стадию "Б")	7,88E-07	7,88E-07	1,31E-06	1,40E-06
Прекращение горения пожара на резервуаре (оперативная ликвидация пожара)	2,93E-06	2,93E-06	4,88E-06	5,20E-06
Взрыв ПГФ в резервуаре. Разрушение резервуара с последующим образованием гидродинамической волны прорыва и переходом аварии на стадию "Б".	5,40E-06	5,40E-06	9,00E-06	9,60E-06
Срыв крыши с последующим пожаром на резервуаре	1,26E-05	1,26E-05	2,10E-05	2,24E-05

# Изменение массовой скорости выброса газа при гильотинном разрушении газопровода

Study Folder: Kamchatca  
Audit No. 1315  
Model : 1 ychastok  
Weather : Category 1.5/F  
Material: METHANE

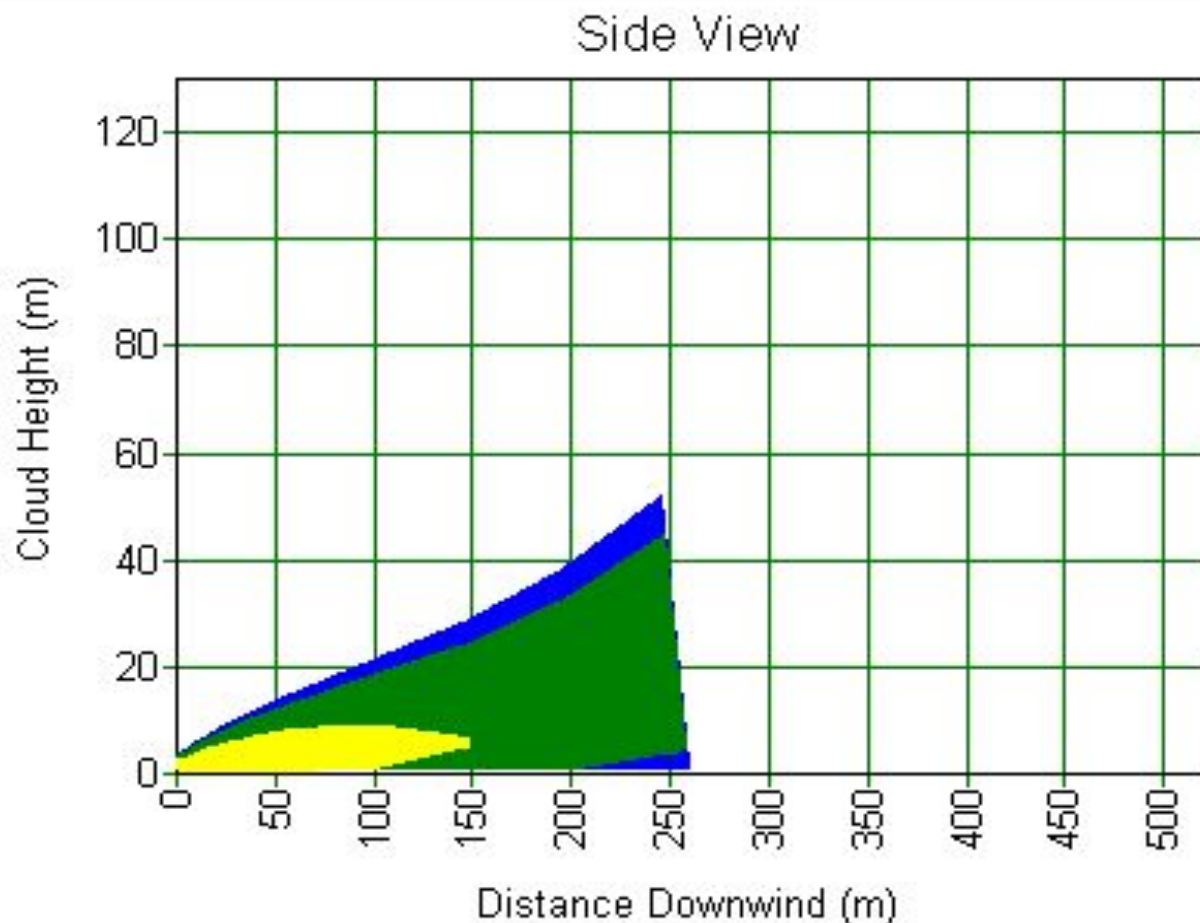
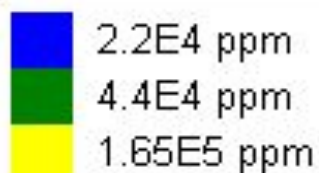
- A-Upstream
- A-Orifice
- B-Upstream
- B-Orifice
- T-Total








# Распределение концентраций метана при гильотинном разрыве газопровода и образовании настильной струи газа (время после аварии 10 сек)

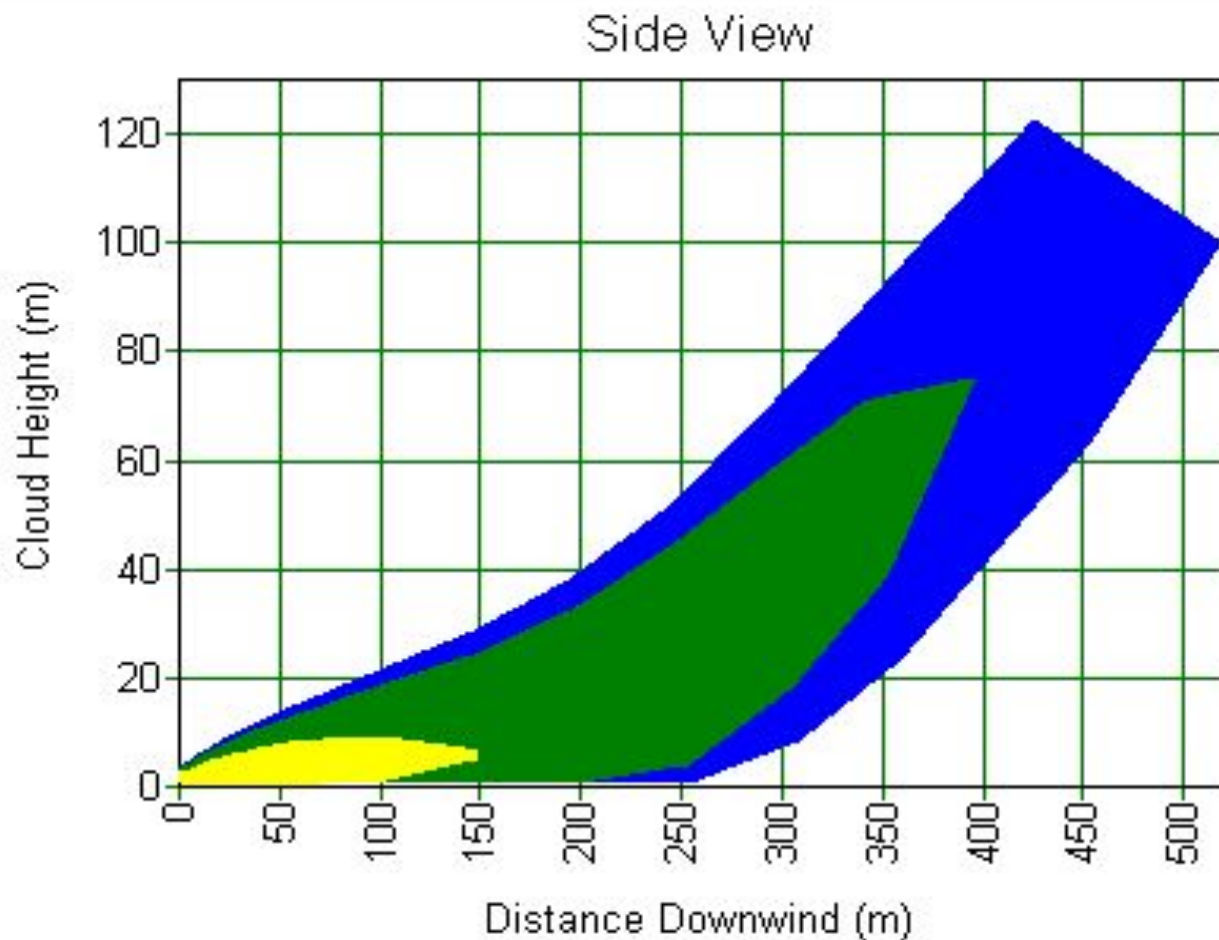
Study Folder: Газопровод  
Audit No. 463  
Model : Gazoprovod  
Weather : Category 1.5/F  
Material: METHANE  
Averaging Time:  
Flammable(18.75s)  
C/L Offset 0 m  
Legend : Concentration  
Time: 10.12 s



# Распределение концентраций метана при гильотинном разрыве газопровода и образовании настильной струи газа (время после аварии 42 сек)

Study Folder: Газопровод  
Audit No. 463  
Model : Gazoprovod  
Weather : Category 1.5/F  
Material: METHANE  
Averaging Time:  
Flammable(18.75s)  
C/L Offset 0 m  
Legend : Concentration  
Time: 42.17 s

 2.2E4 ppm  
 4.4E4 ppm  
 1.65E5 ppm

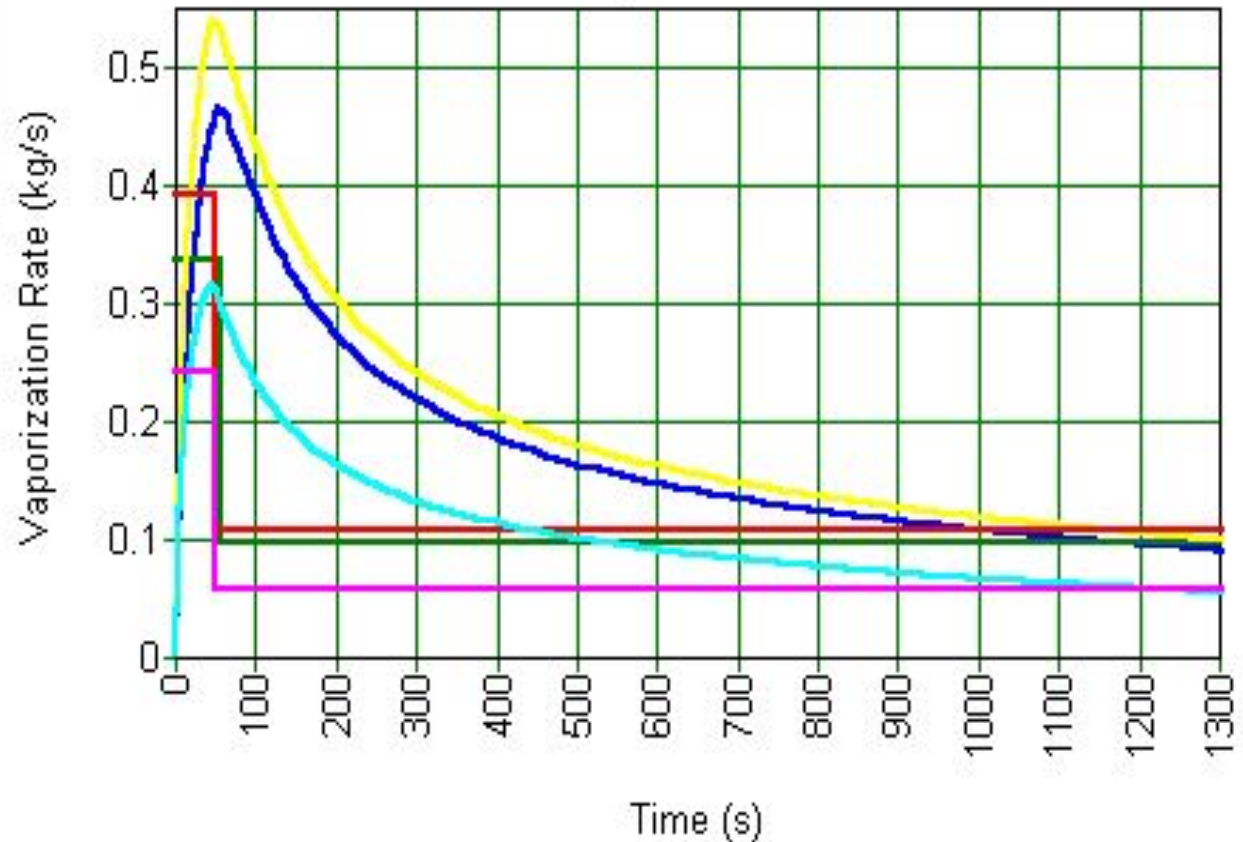


# Интенсивность массовой скорости испарения аммиака при разгерметизации линейного ресивера в зависимости от состояния атмосферы и скорости ветра

Study Folder: LiResiver  
Audit No. 67  
Model : line resiver  
Material: AMMONIA  
Legend : Weathers

- Category 1.5/F
- Category 1.5/F (Avg)
- Category 1.5/D
- Category 1.5/D (Avg)
- Category 5/D
- Category 5/D (Avg)

Pool Vaporization Rate



# Эволюция аммиачного облака

Study Folder: LiResiver

Audit No. 68

Model : line resiver

Weather : Category 1.5/D

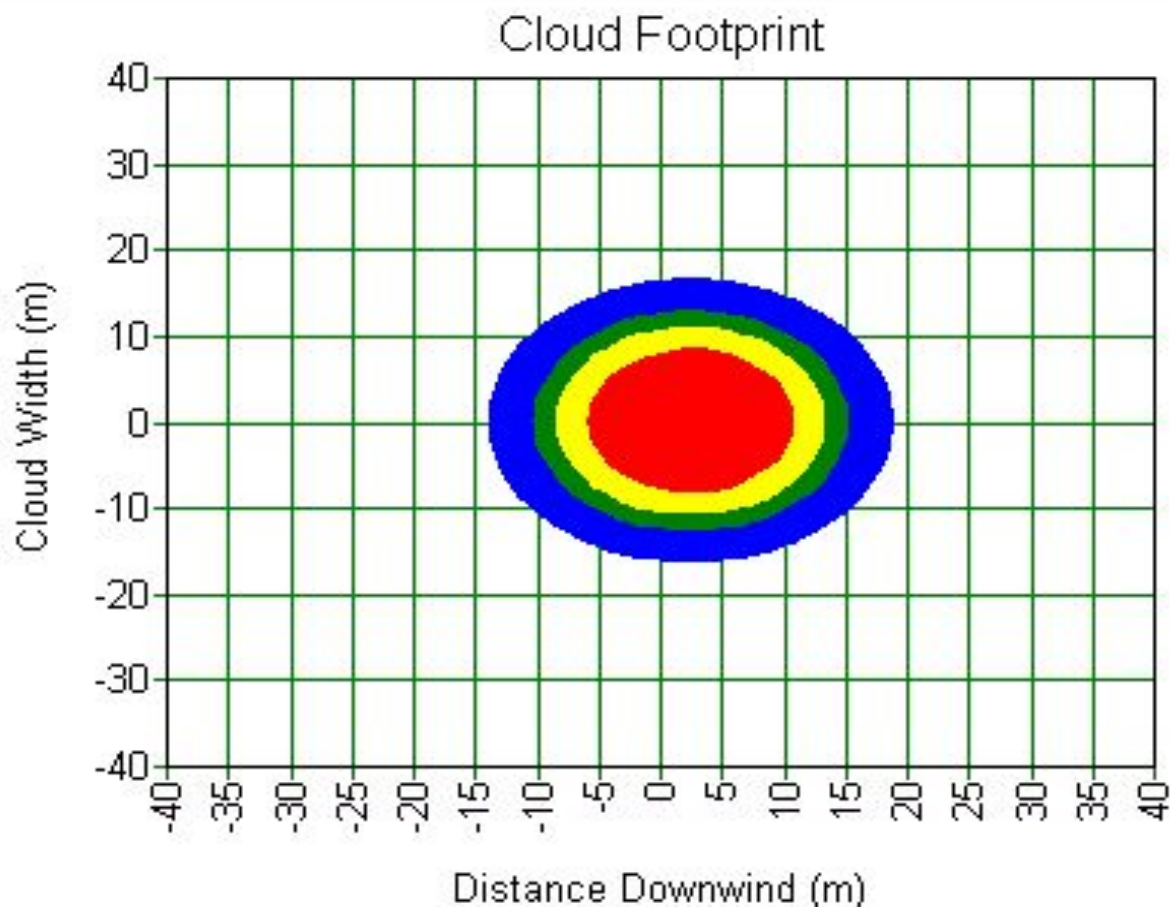
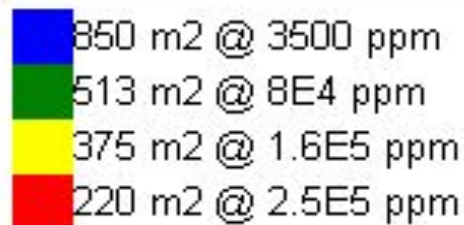
Material: AMMONIA

Averaging Time: Toxic(600s)

Height 0 m

Legend : Concentration

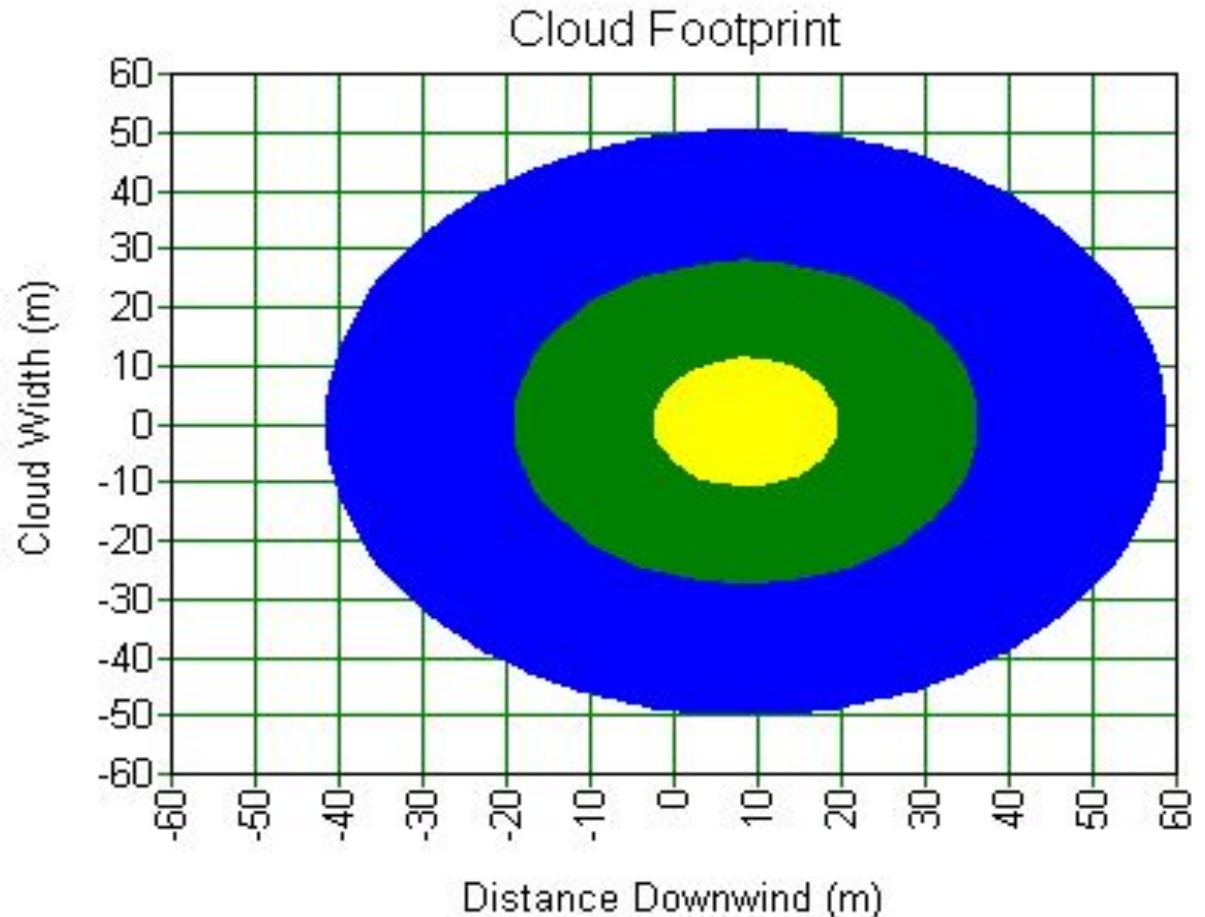
Time: 3.286 s



# Эволюция аммиачного облака

Study Folder: LiResiver  
Audit No. 68  
Model : line resiver  
Weather : Category 1.5/D  
Material: AMMONIA  
Averaging Time: Toxic(600s)  
Height 0 m  
Legend : Concentration  
Time: 8.215 s

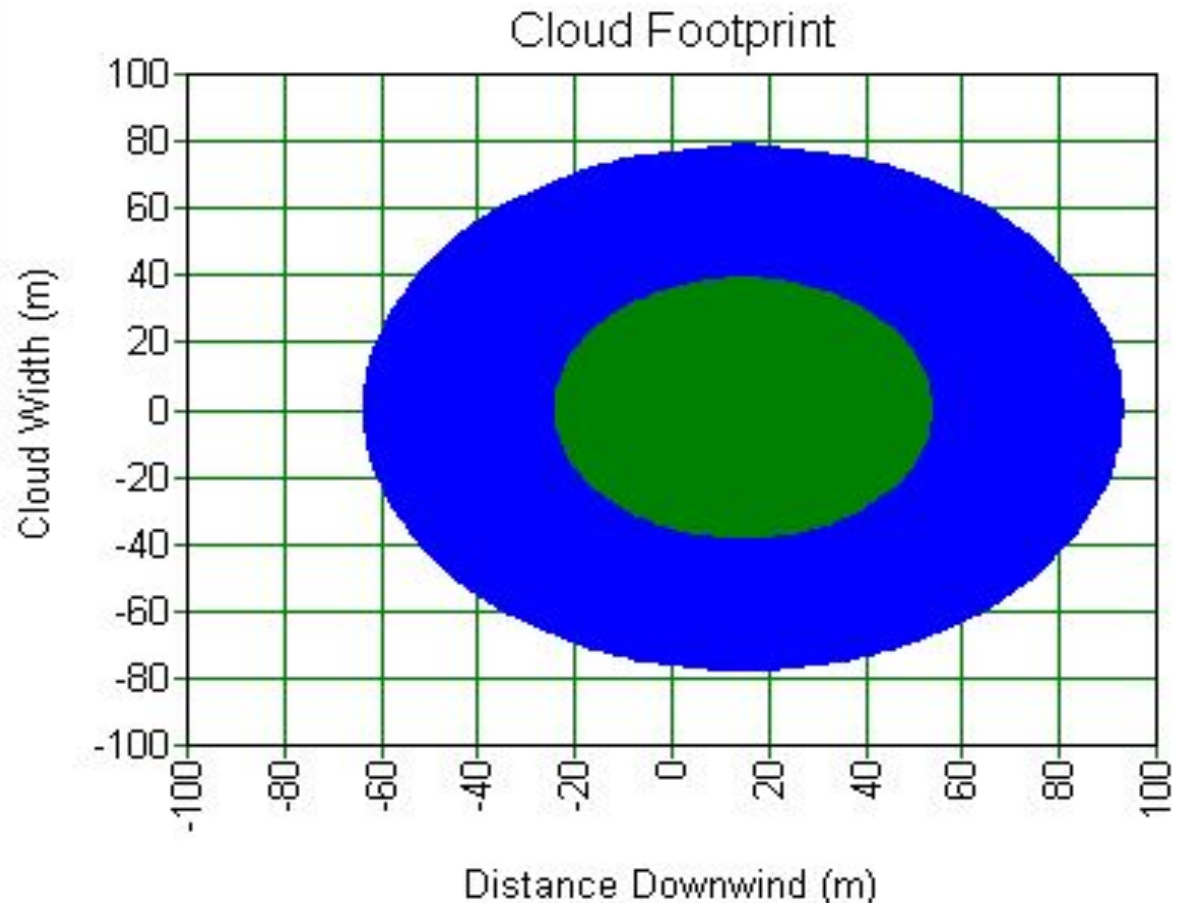
7923 m<sup>2</sup> @ 3500 ppm  
2409 m<sup>2</sup> @ 8E4 ppm  
381 m<sup>2</sup> @ 1.6E5 ppm



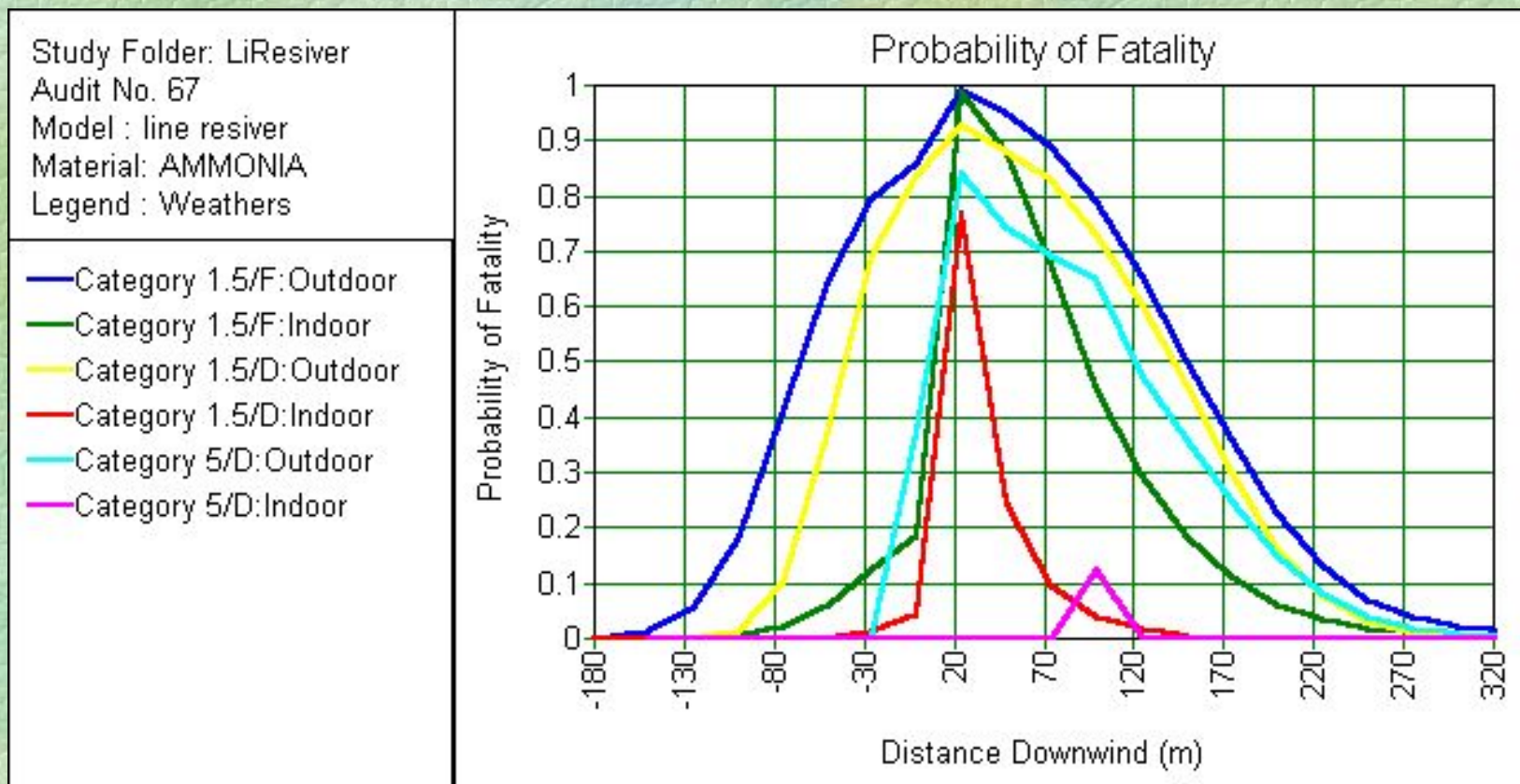
# Эволюция аммиачного облака

Study Folder: LiResiver  
Audit No. 68  
Model : line resiver  
Weather : Category 1.5/D  
Material: AMMONIA  
Averaging Time: Toxic(600s)  
Height 0 m  
Legend : Concentration  
Time: 13.14 s

■ 19314 m2 @ 3500 ppm  
■ 4765 m2 @ 8E4 ppm



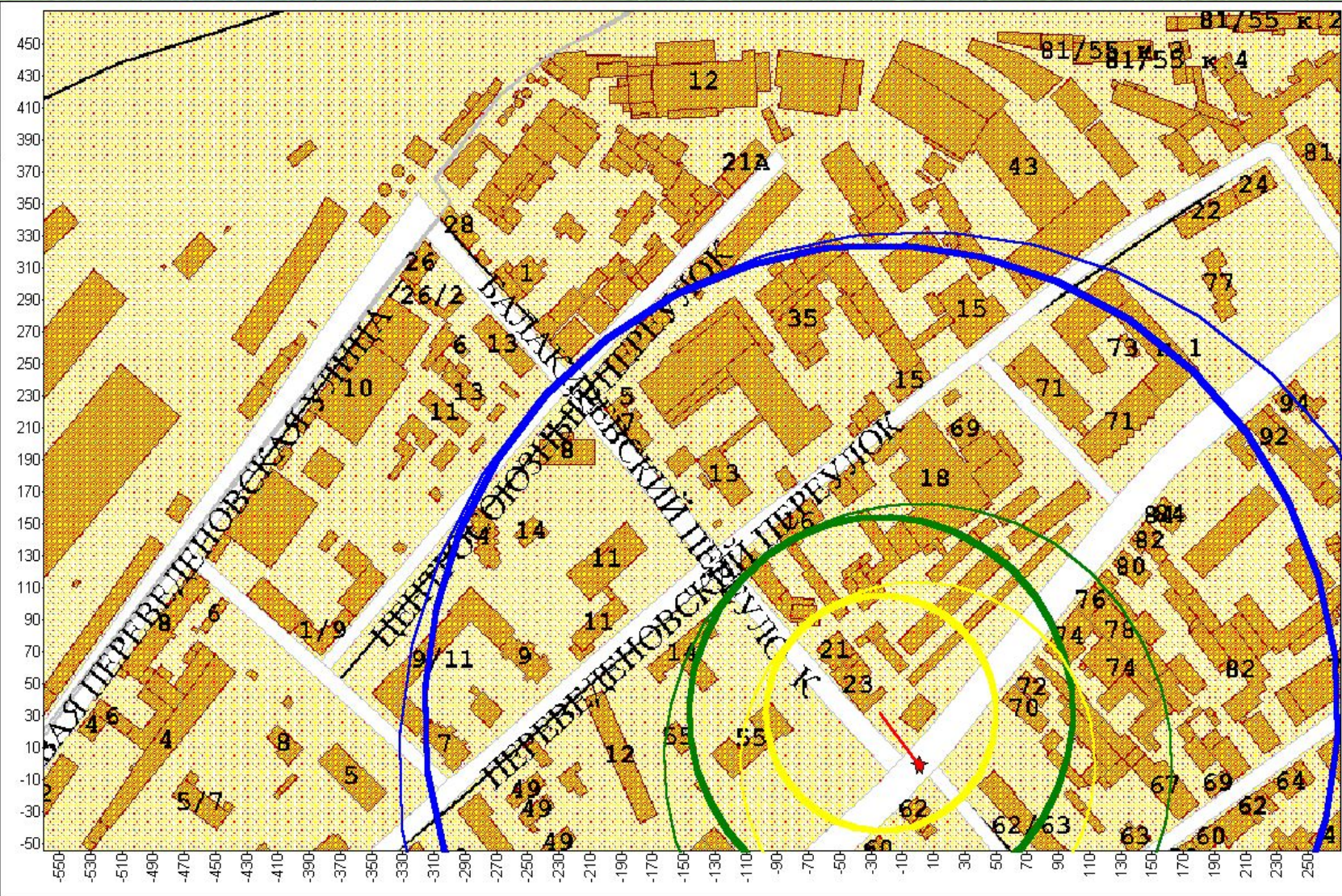
# Вероятность гибели людей в зданиях и на открытой местности при разгерметизации линейного ресивера с аммиаком для различных погодных условий



# Зоны барического поражения при ДТП с пропаном (поздний взрыв; масса пропана 3,95 тонны)

Late Expl. Overpressure  
 Study Folder: 4C  
 Audit No. 5472  
 Model: Propan  
 Weather: Category 2,9/F  
 Material: PROPANE  
 Legend: OverPressures

- ★ Origin
- Worst Case @ 0.1 bar
- Effect Zone @ 0.1 bar
- Worst Case @ 0.35 bar
- Effect Zone @ 0.35 bar
- Worst Case @ 0.7 bar
- Effect Zone @ 0.7 bar
- Drift Line





# Зоны барического поражения при ДТП с бутаном (поздний взрыв; масса пропана 3,95 тонны)

Late Expl. Overpressure  
Study Folder: 4C  
Audit No. 5475  
Model : Bytan  
Weather : Category 2,9/F  
Material: 1-BUTENE  
Legend : OverPressures

- ★ Origin
- Worst Case @ 0.1 bar
- Effect Zone @ 0.1 bar
- Worst Case @ 0.35 bar
- Effect Zone @ 0.35 bar
- Worst Case @ 0.7 bar
- Effect Zone @ 0.7 bar
- Drift Line



# Потенциальный риск R(E)

Значение потенциального риска конкретного набора сценариев наиболее крупных или наиболее характерных аварий из каждого класса возможных аварий на объекте (например: аварий приводящих к возникновению ЧС), проводится с использованием дискретной формулы полной вероятности:

$$R(E) = \sum_{j=1}^k P(M_j) \cdot P(\Gamma / M_j)$$

где: j – номер сценария;

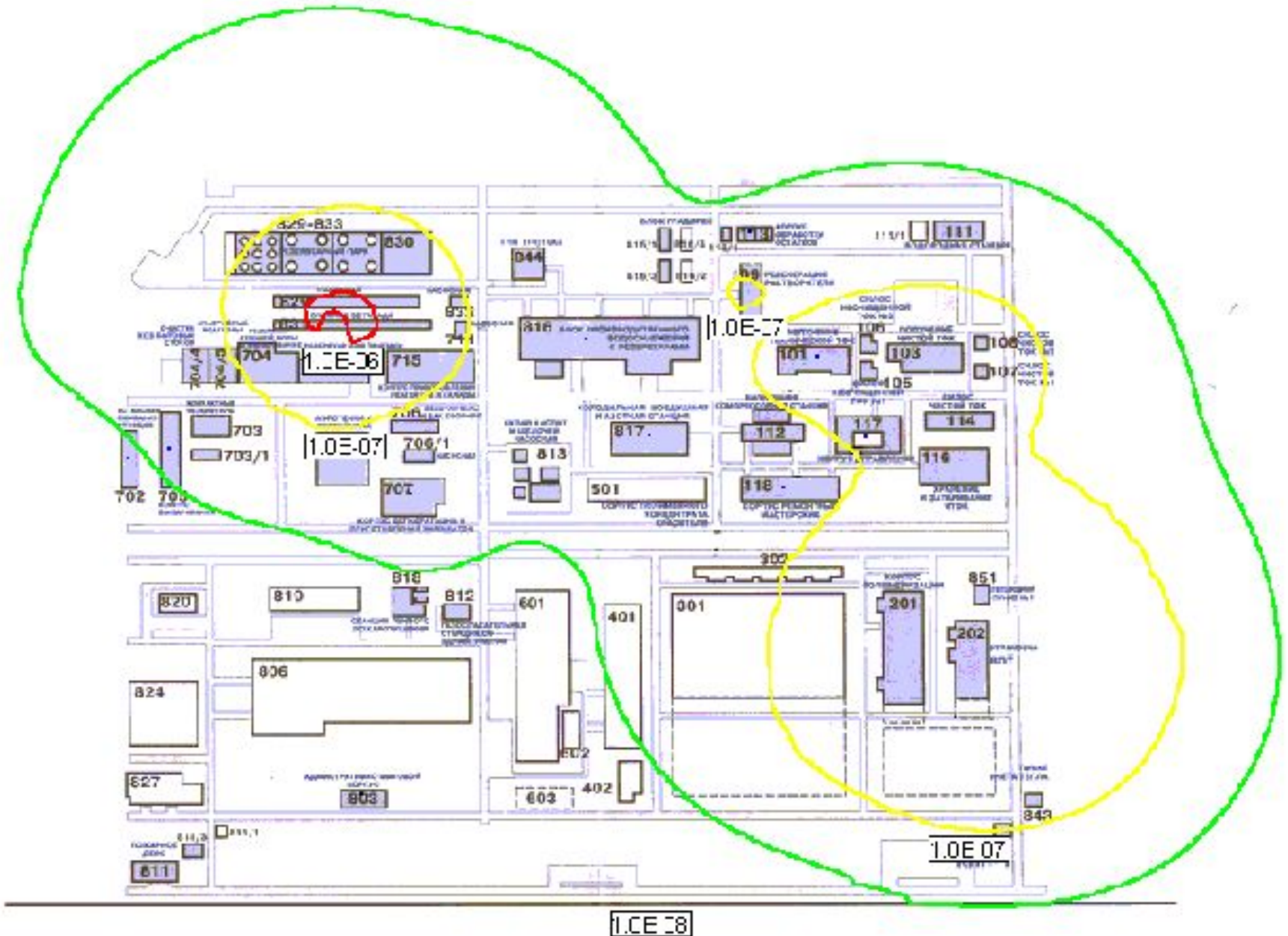
k- число рассматриваемых сценариев;

$P(M_j)$  – вероятность реализации j-го сценария;

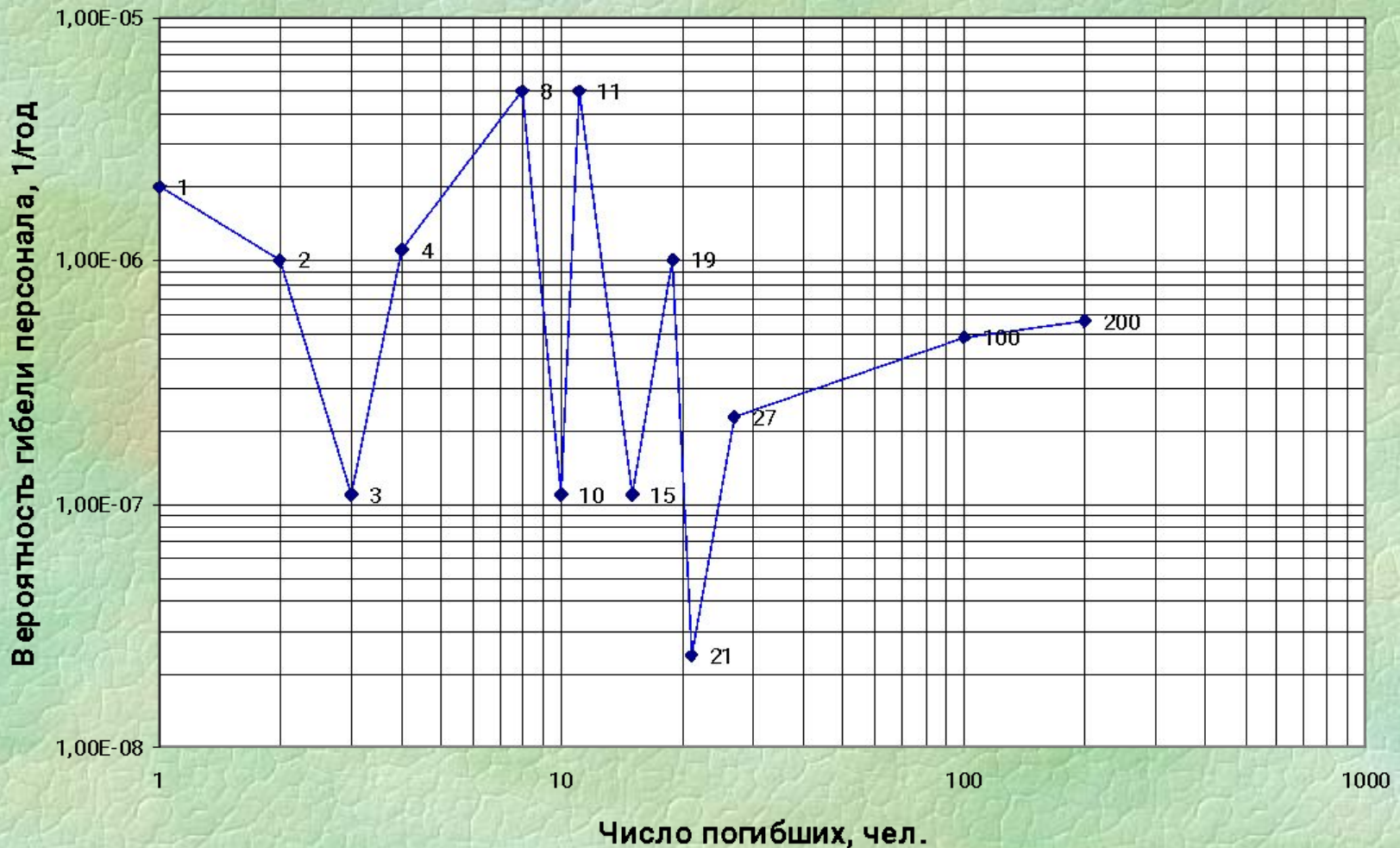
$P(\Gamma/M_j)$  – условная вероятность координатного поражения человека при реализации j-го сценария.

Для получения величины индивидуального риска необходимо значение потенциального риска в конкретной точке умножить на вероятность нахождения в этой же точке человека.

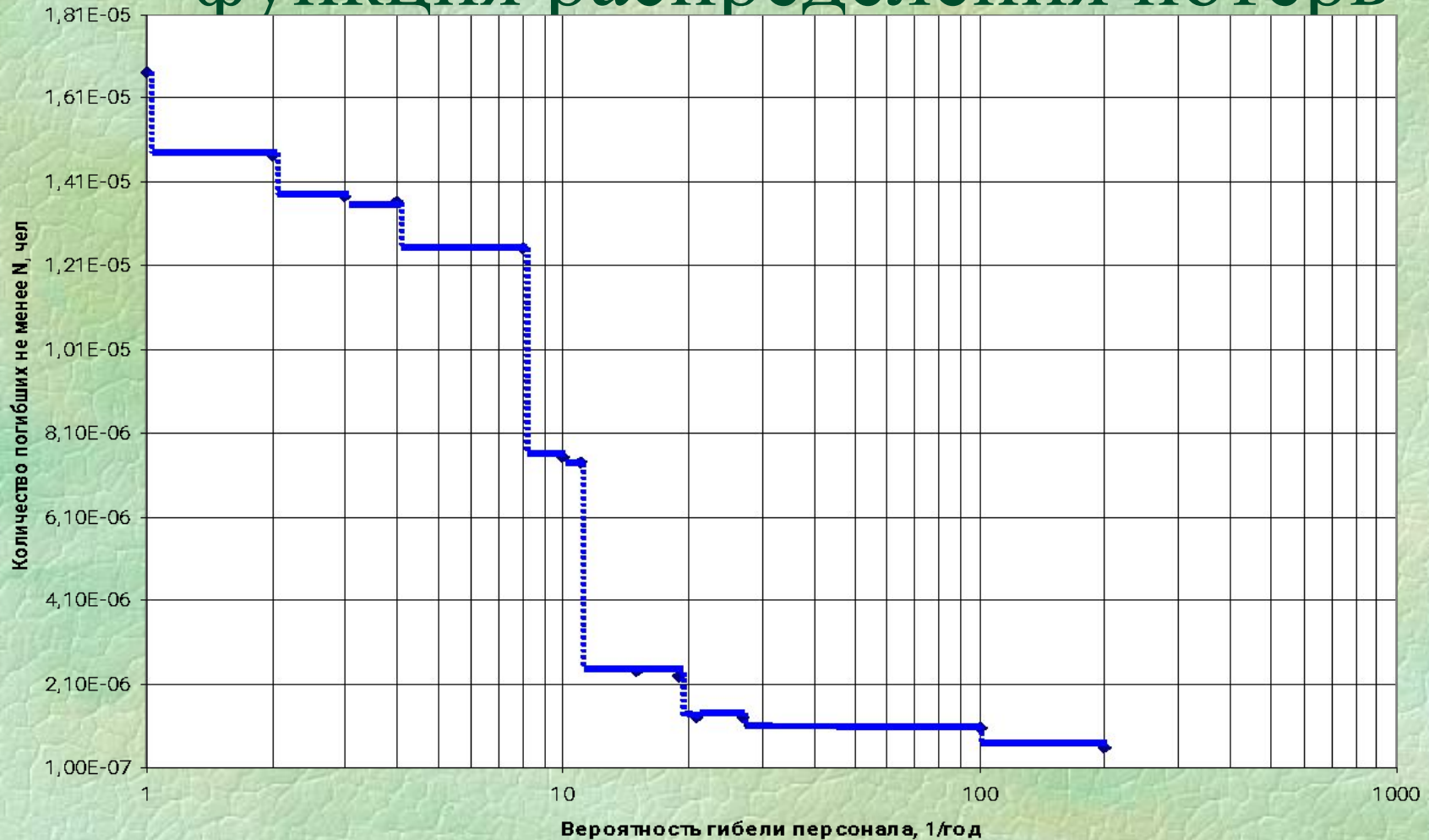
# Построение изолиний потенциального (индивидуального) риска



# Многоугольник распределения числа погибших при авариях на ОПО



# Социальный риск – интегральная функция распределения потерь



# Риск гибели от “неестественных” причин в России

Причина гибели	Число погибших, чел/год	Индивидуальный риск, 1/год
Самоубийства	до 55 000	$3.7 \times 10^{-4}$
Наркотики	до 50 000 (как минимум 75% из них - молодые люди в возрасте до 30 лет)	$3.4 \times 10^{-4}$
ЛТП	более 33 000	$2.2 \times 10^{-4}$
Отравление некачественным алкоголем	( 33 000	$2.2 \times 10^{-4}$
Убийства	более 32 000 (30-40	$2.1 \times 10^{-4}$
Гибель на воде	20000 - 25000	$1.4 \times 10^{-4}$
Пожары	до 19 000 (80% секторе)	$1.3 \times 10^{-4}$
Несчастные случаи на производстве	5000-6000	$3.4 \times 10^{-5}$
Природные ЧС	2000 - 2500	$1.4 \times 10^{-5}$
Техногенные ЧС	до 1500	$1.02 \times 10^{-5}$
Всего	250 000 - 257 000	$1.68 \times 10^{-3}$

# Предельно допустимые уровни индивидуального риска

По критерию новизны промышленного объекта:

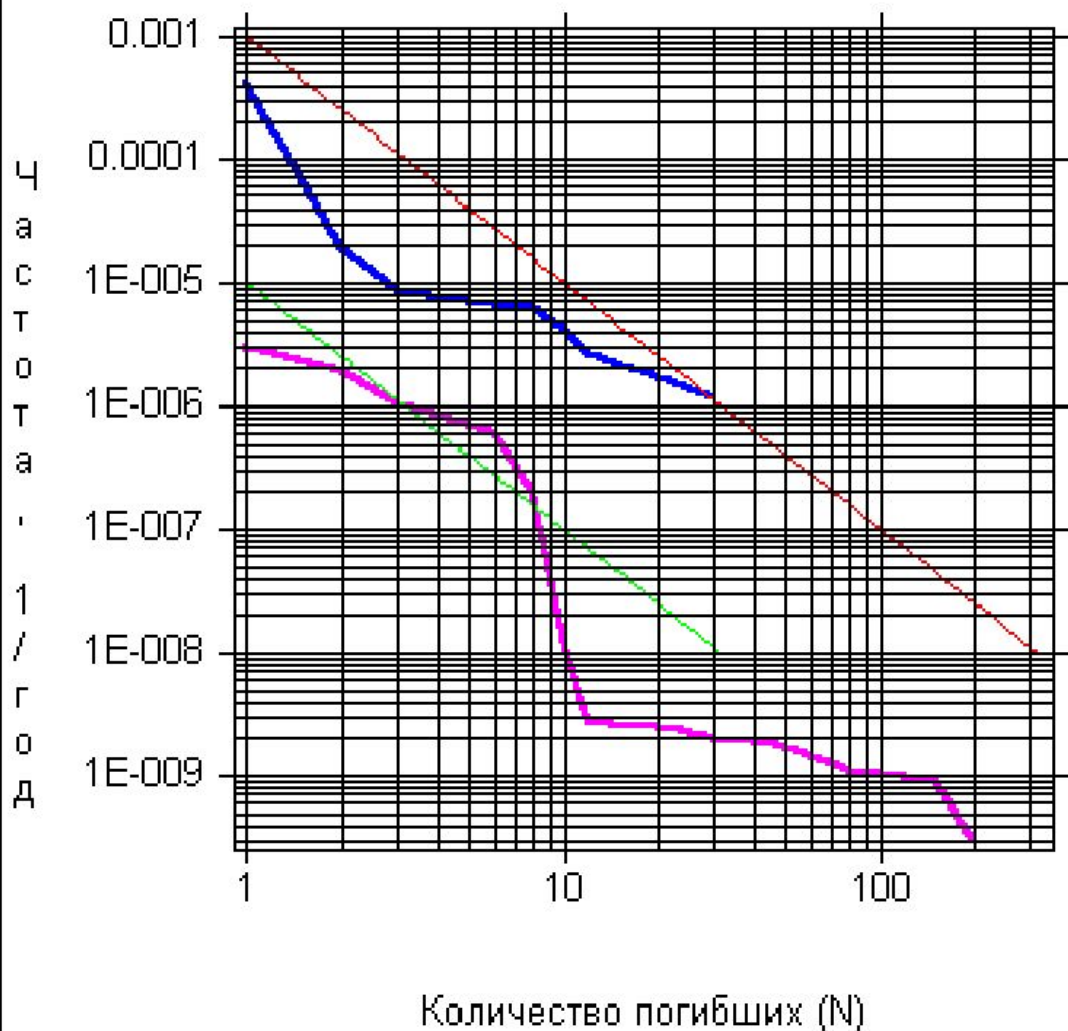
- не более  $10^{-4}$  в год – для действующих объектов;
- не более  $10^{-5}$  в год – для новых (вновь возводимых) объектов.

По критерию опасного воздействия:

- не более  $10^{-5}$  в год – для систематического воздействия вредных факторов на здоровье населения (при этом показатель не более  $10^{-7}$  в год является нормативной величиной пренебрежимого уровня риска);
- не более  $10^{-4}$  в год – для совместного (комбинированного) воздействия вредных факторов на здоровье населения (при этом показатель не более  $10^{-6}$  в год является нормативной величиной пренебрежимого уровня риска);

# Нормирование социального риска

F/N диаграмма социального риска



SAFETI Professional Ver 5.3

Обозначения

- Персонал объекта
- Население
- Maximum risk criteria
- Minimum risk criteria