

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 (λ -

интенсивностью) на основании статистики:
$$\lambda = \frac{\text{число аварий}}{(\text{количество объектов}) \cdot (\text{период рассмотрения})} \quad [1/\text{год}]$$

3. Вероятность возникновения аварии $P_A(t)$ подчиняется закону Пуассона

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

$$\lambda t < 0,01$$

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

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

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_{Θ} – 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; α – число степеней поражения человека; ω – число составляющих материального ущерба; η – 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

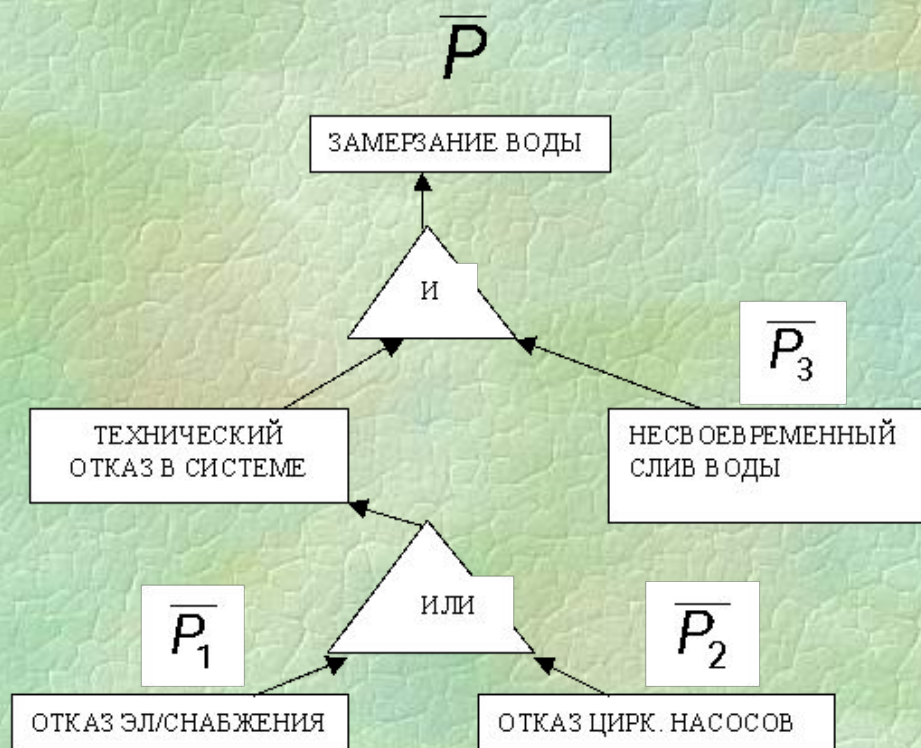
Классы причин, приводящих к аварии

- 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



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

$$\bar{P} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 + \bar{P}_1 \cdot \bar{P}_3$$

Дерево отказов, приводящее к взрыву в реакторе окисления

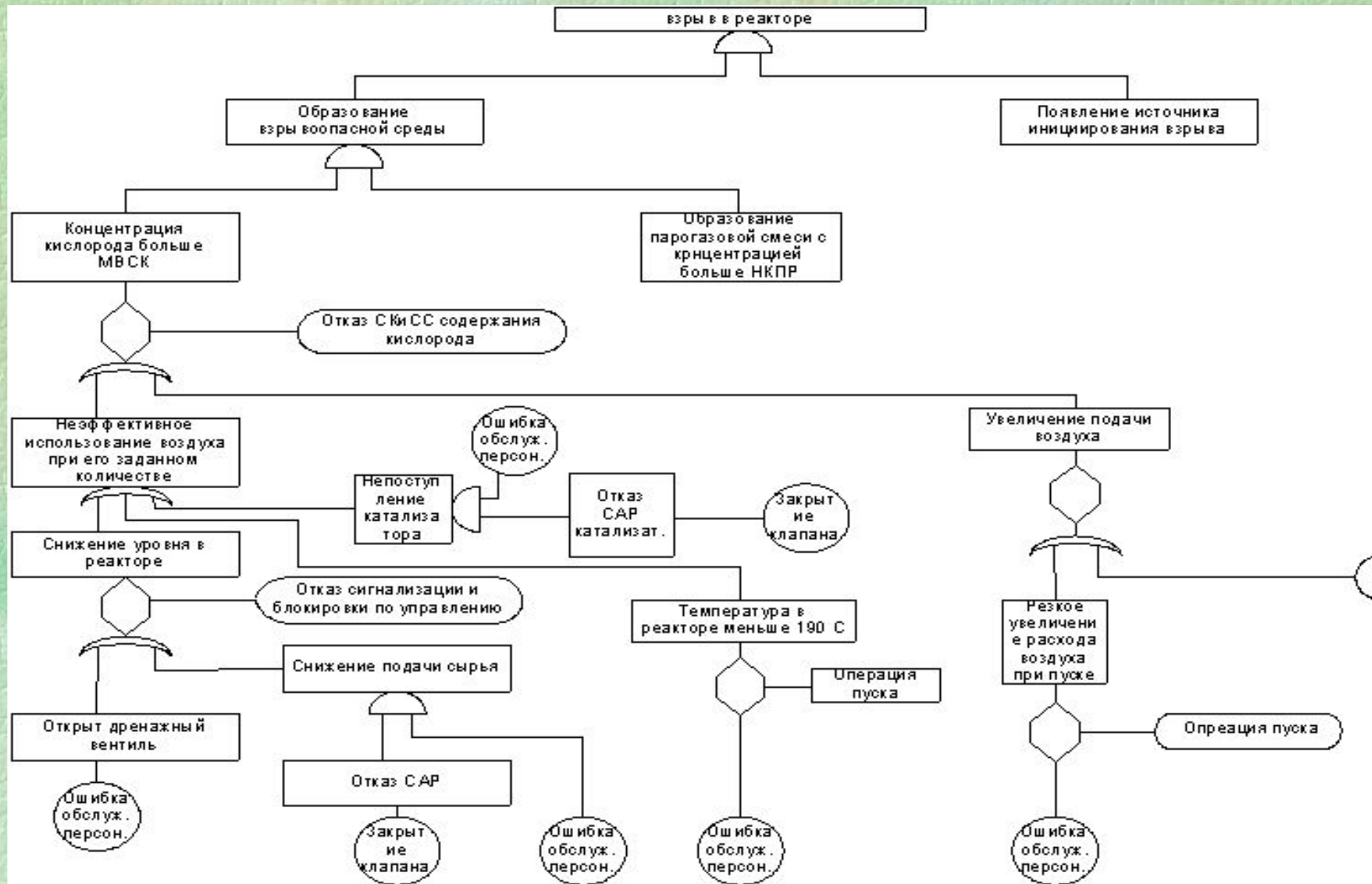


Рис. 12.6 Дерево отказов, приводящих к взрыву в реакторе окисления ТД-201

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

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

Аварийная утечка нефти

Образование пазрыва с характерным размером Γ_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 τ_1 с $f_1^H = 0,7$ τ_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_{21}

V_{22}

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_o

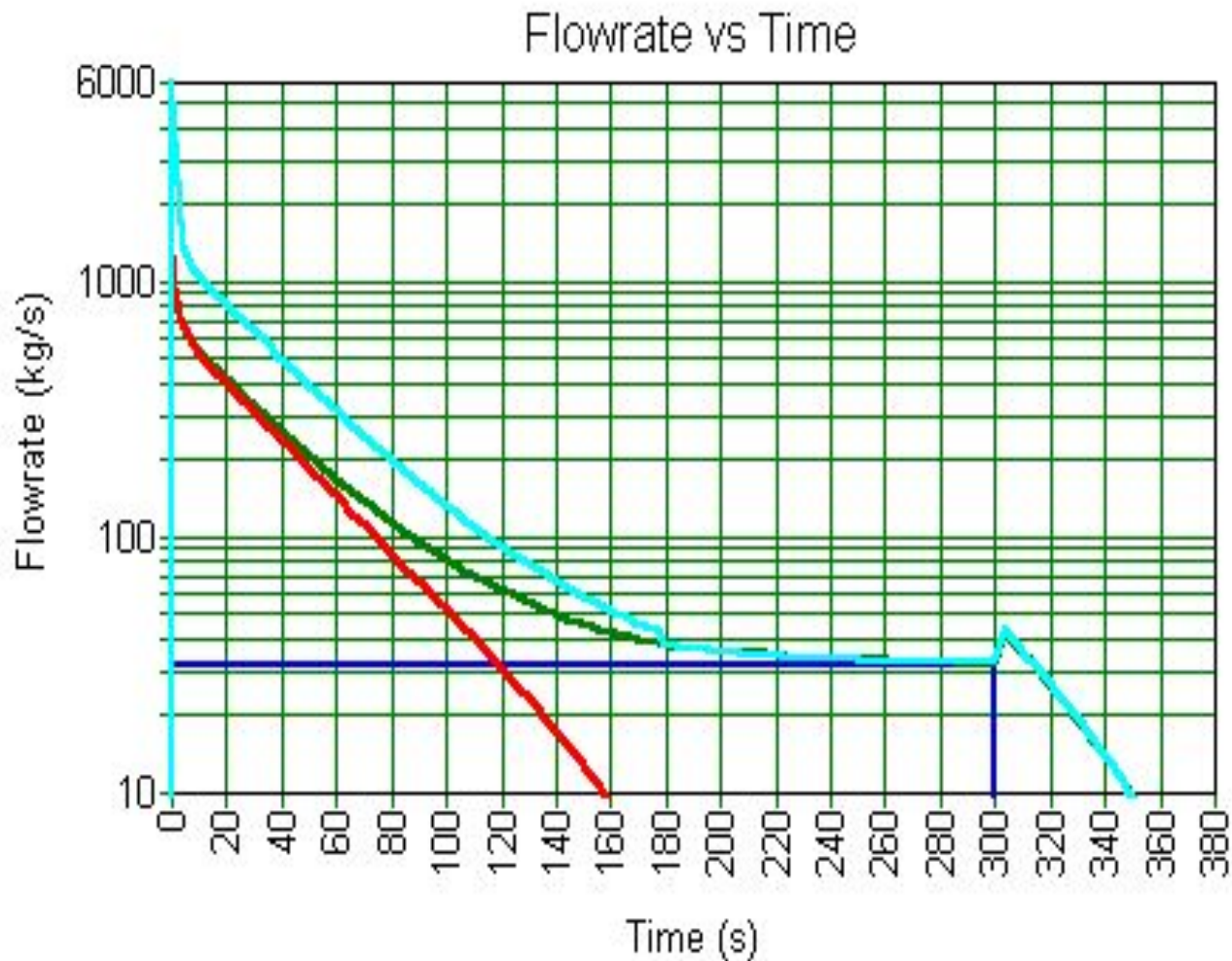
Оценка частоты реализации сценариев аварий для емкостного оборудования резервуарных парков объекта

Краткое описание конечной стадии сценария аварии	Частота реализации (1/год) сценария для основного емкостного оборудования			
	PBC 200	PBC 1000	УМТ-2000	УМТ-3000
Иницирующие событие: 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
Иницирующие событие: 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

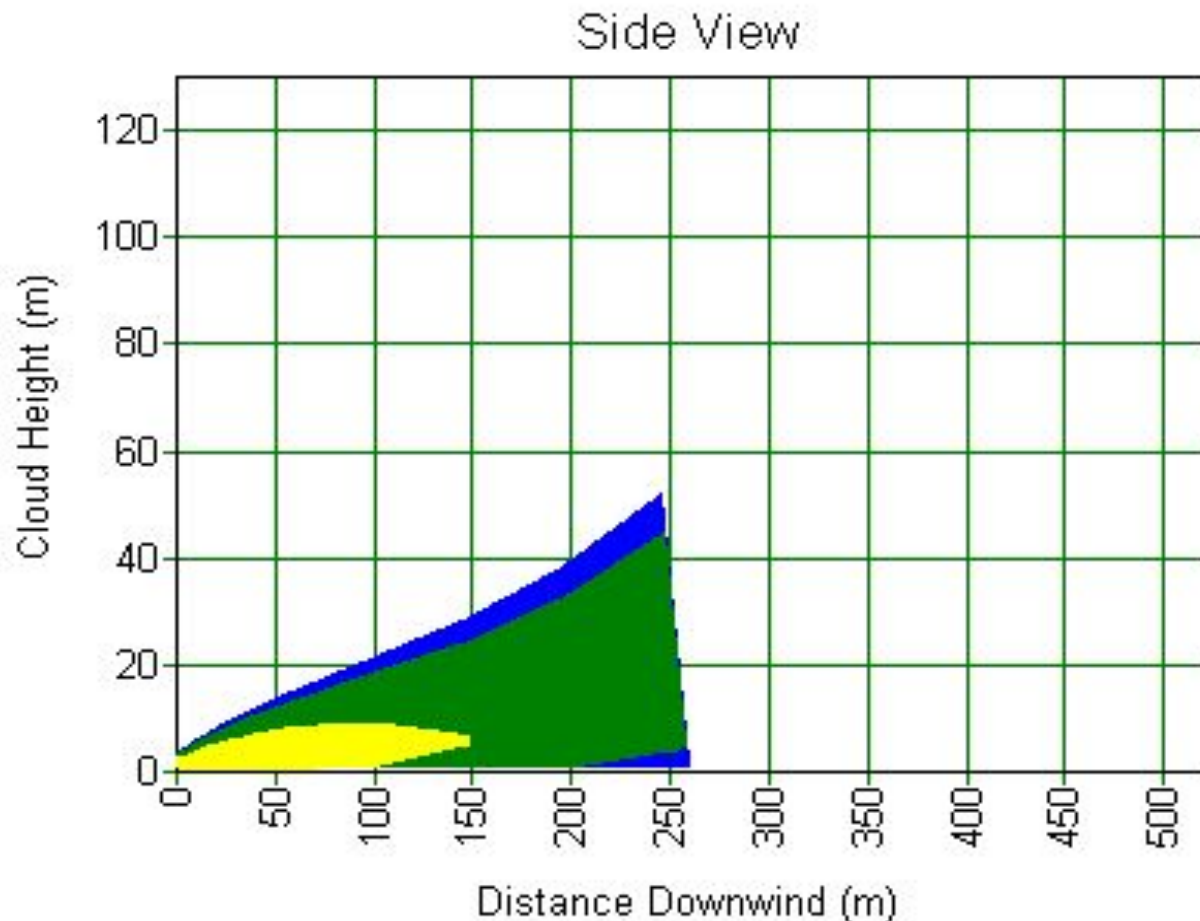
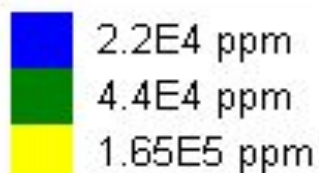
Study Folder: Kamchatca
Audit No. 1315
Model : 1 ychastok
Weather : Category 1.5/F
Material: METHANE

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



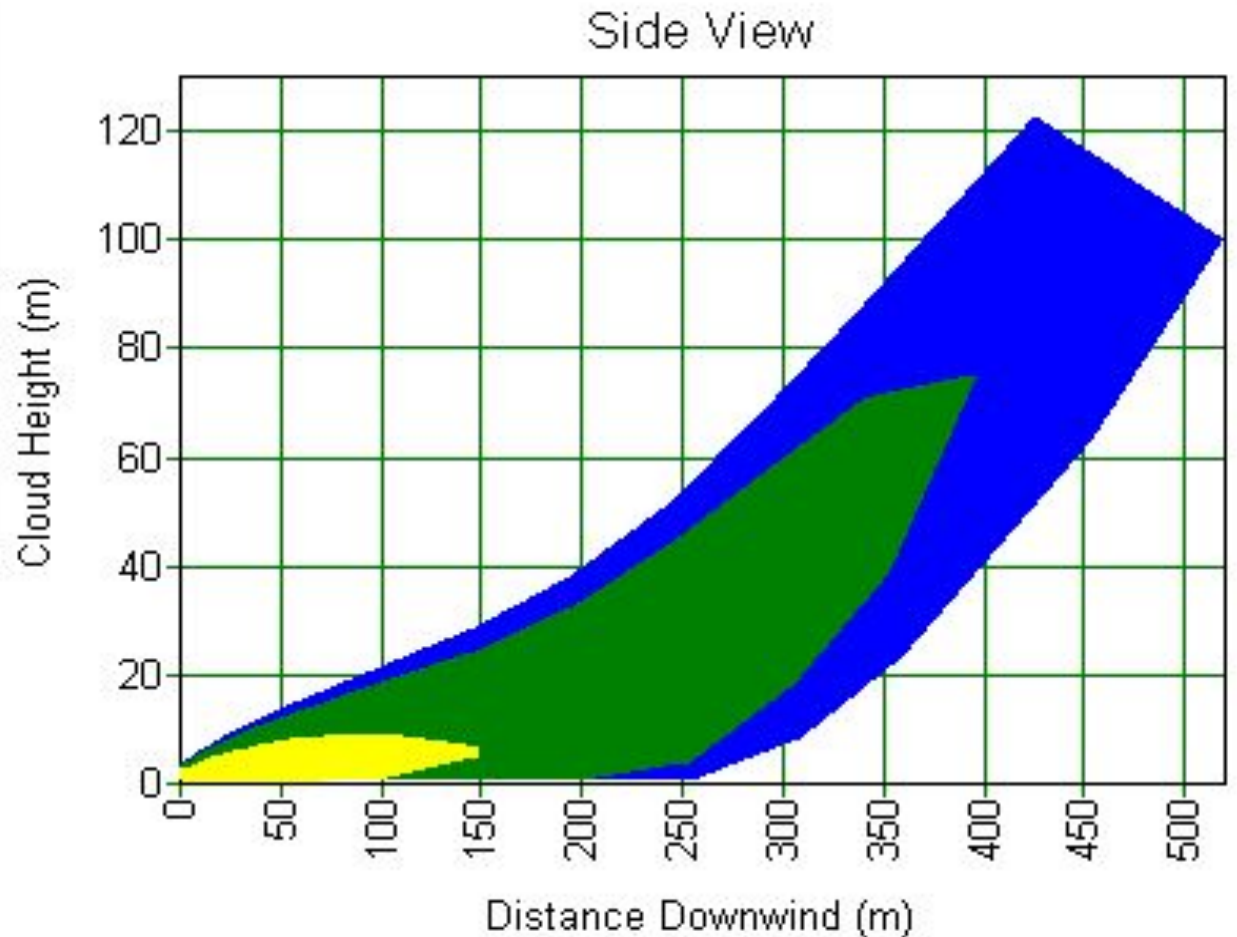
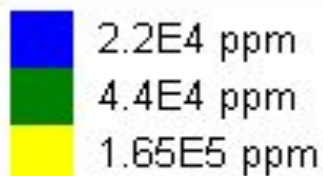
Распределение концентраций метана при гильотинном разрыве газопровода и образовании настильной струи газа (время после аварии 10 сек)

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)

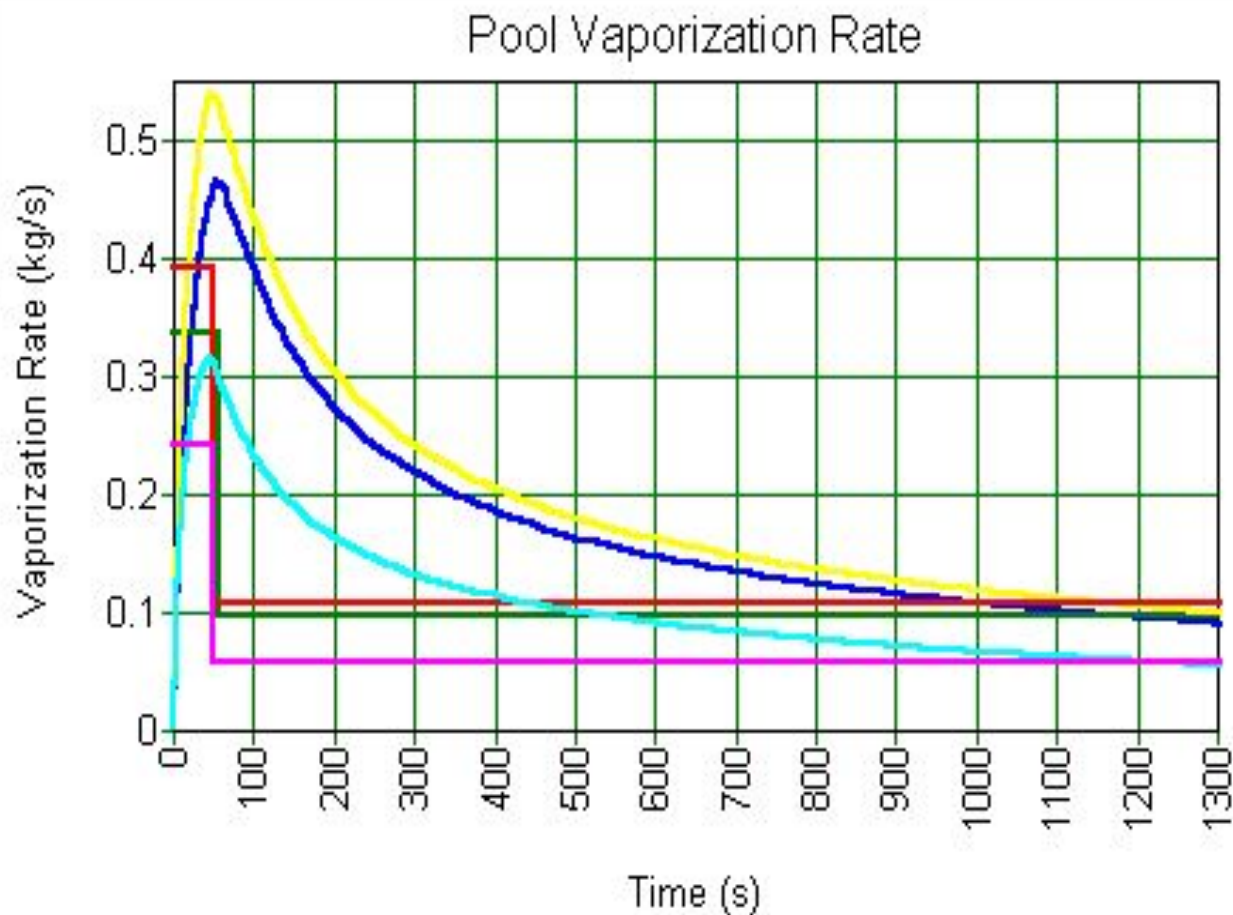
Study Folder: Газопровод
Audit No. 463
Model : Gazoprovod
Weather : Category 1.5/F
Material: METHANE
Averaging Time:
Flammable(18.75s)
C/L Offset 0 m
Legend : Concentration
Time: 42.17 s



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)



Эволюция аммиачного облака

Study Folder: LiResiver

Audit No. 68

Model : line resiver

Weather : Category 1.5/D

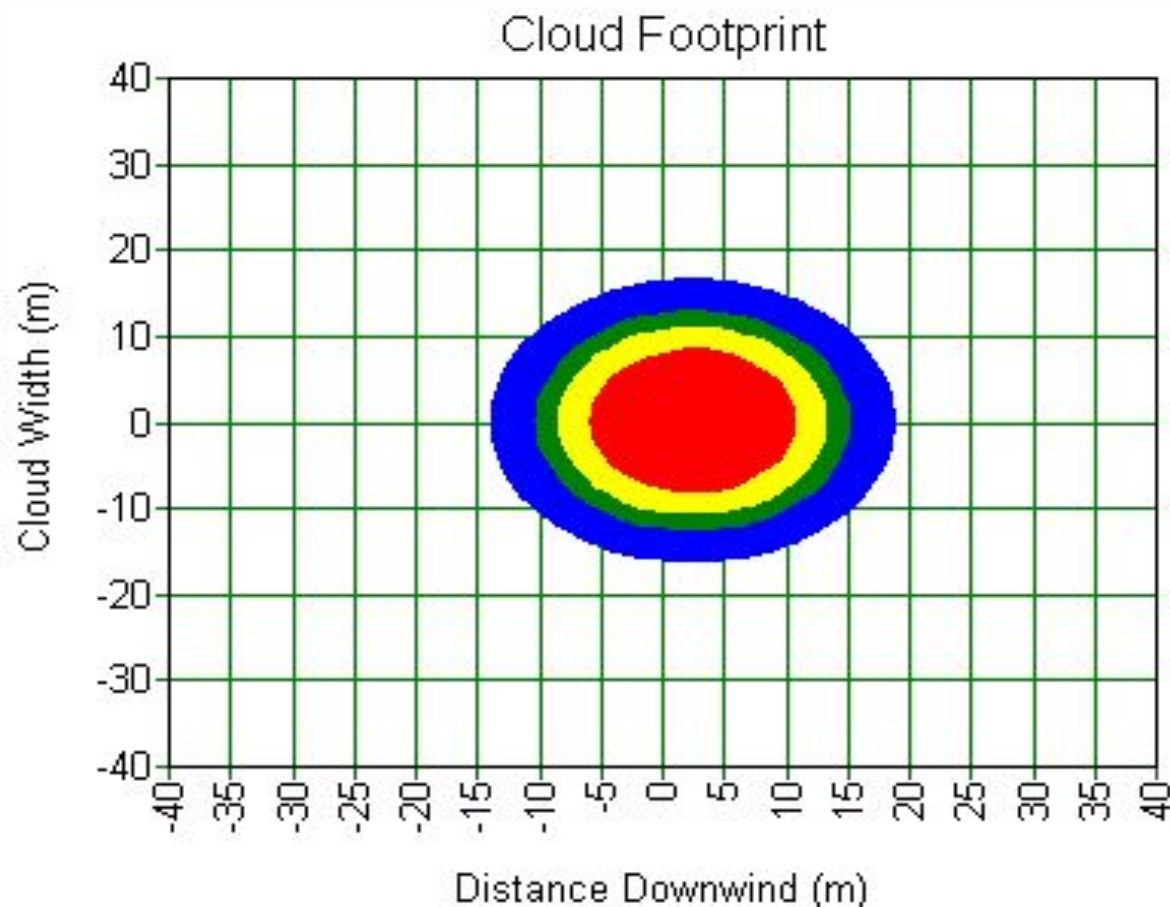
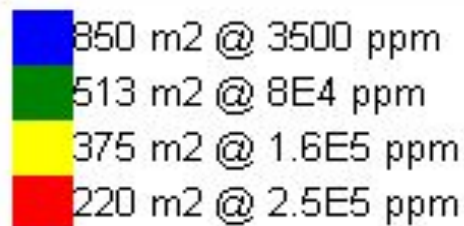
Material: AMMONIA

Averaging Time: Toxic(600s)

Height 0 m

Legend : Concentration

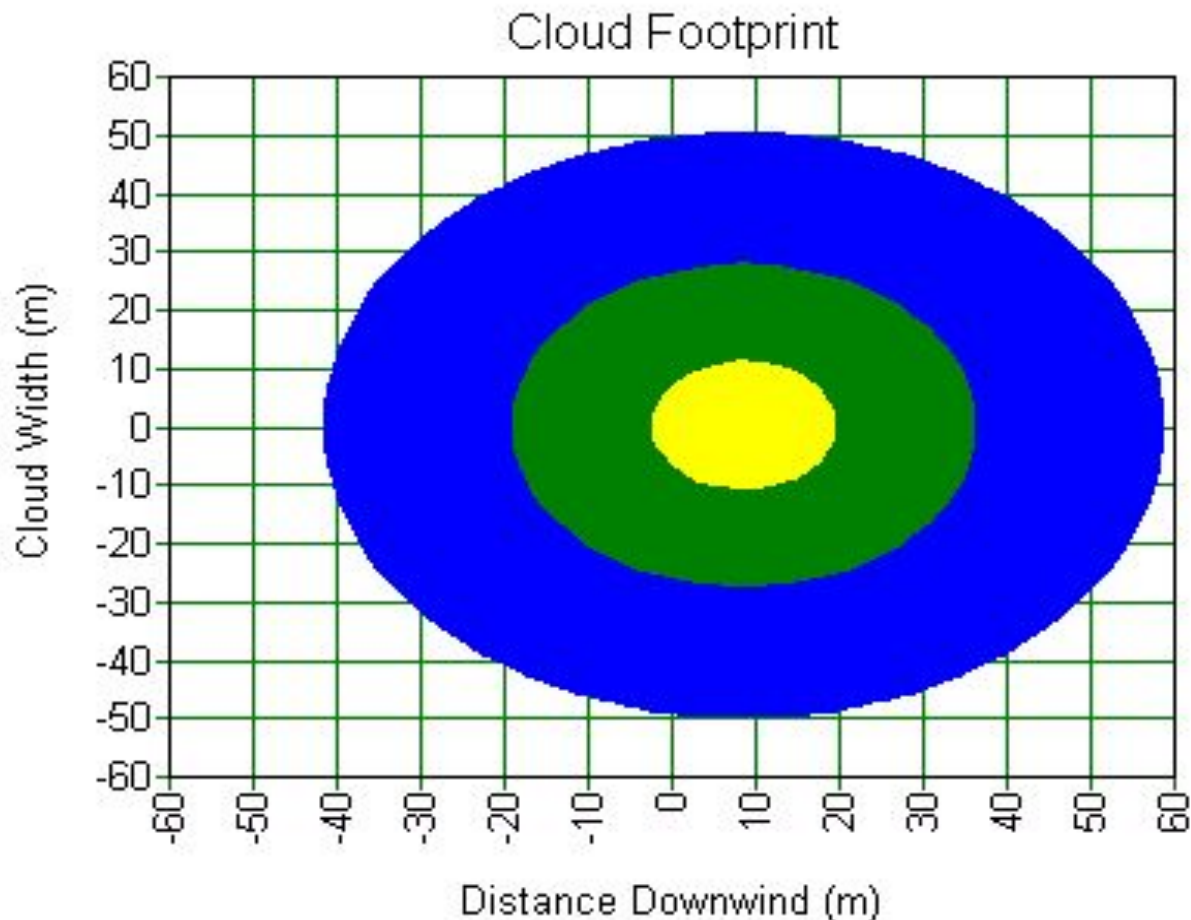
Time: 3.286 s



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 m2 @ 3500 ppm
2409 m2 @ 8E4 ppm
381 m2 @ 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)

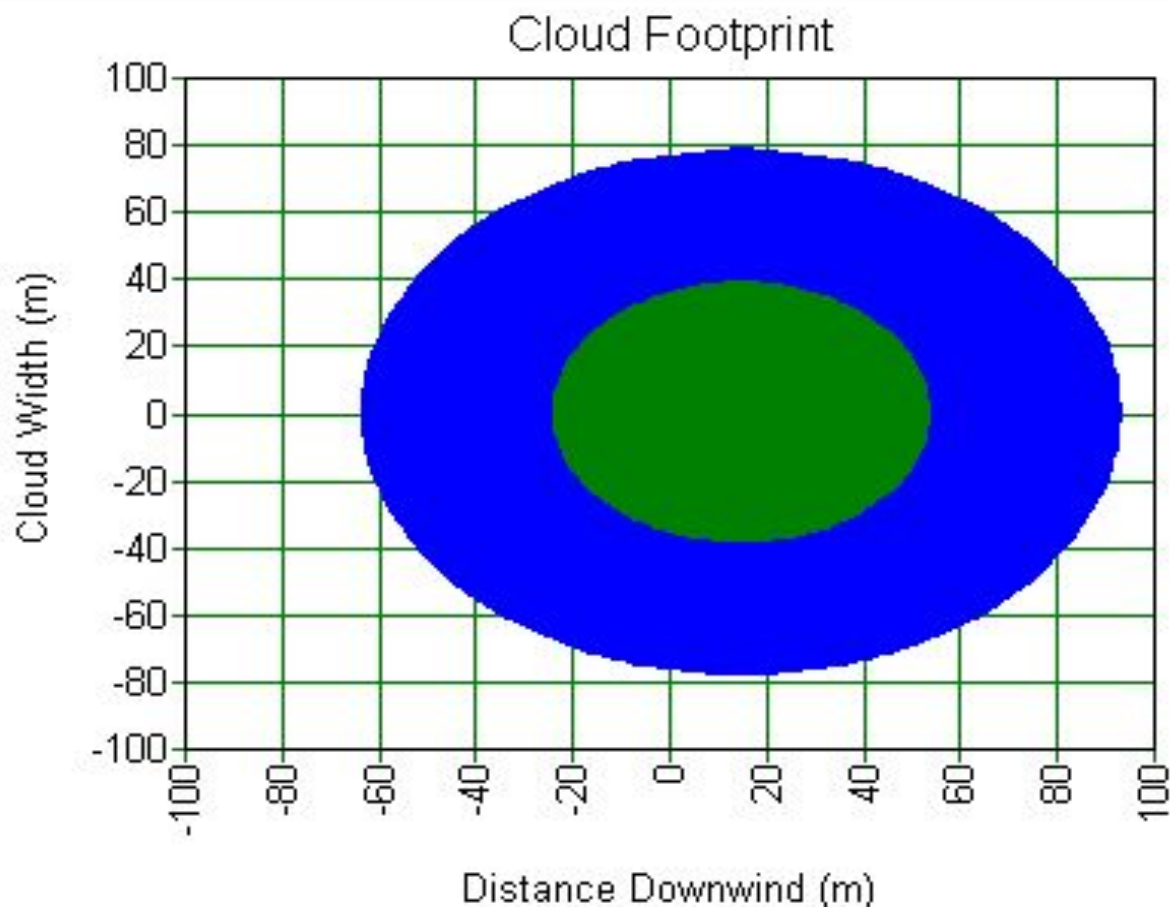
Height 0 m

Legend : Concentration

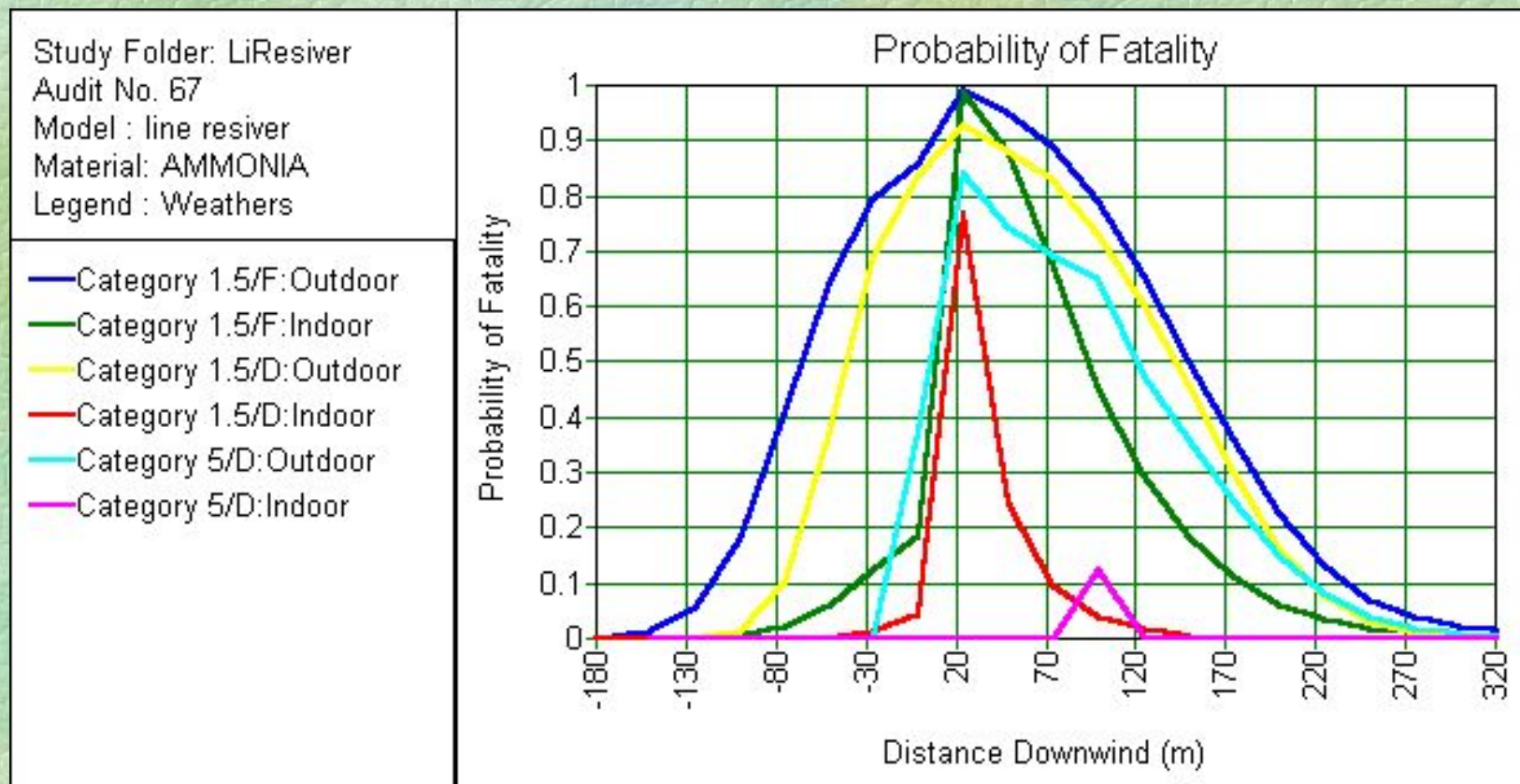
Time: 13.14 s

■ 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

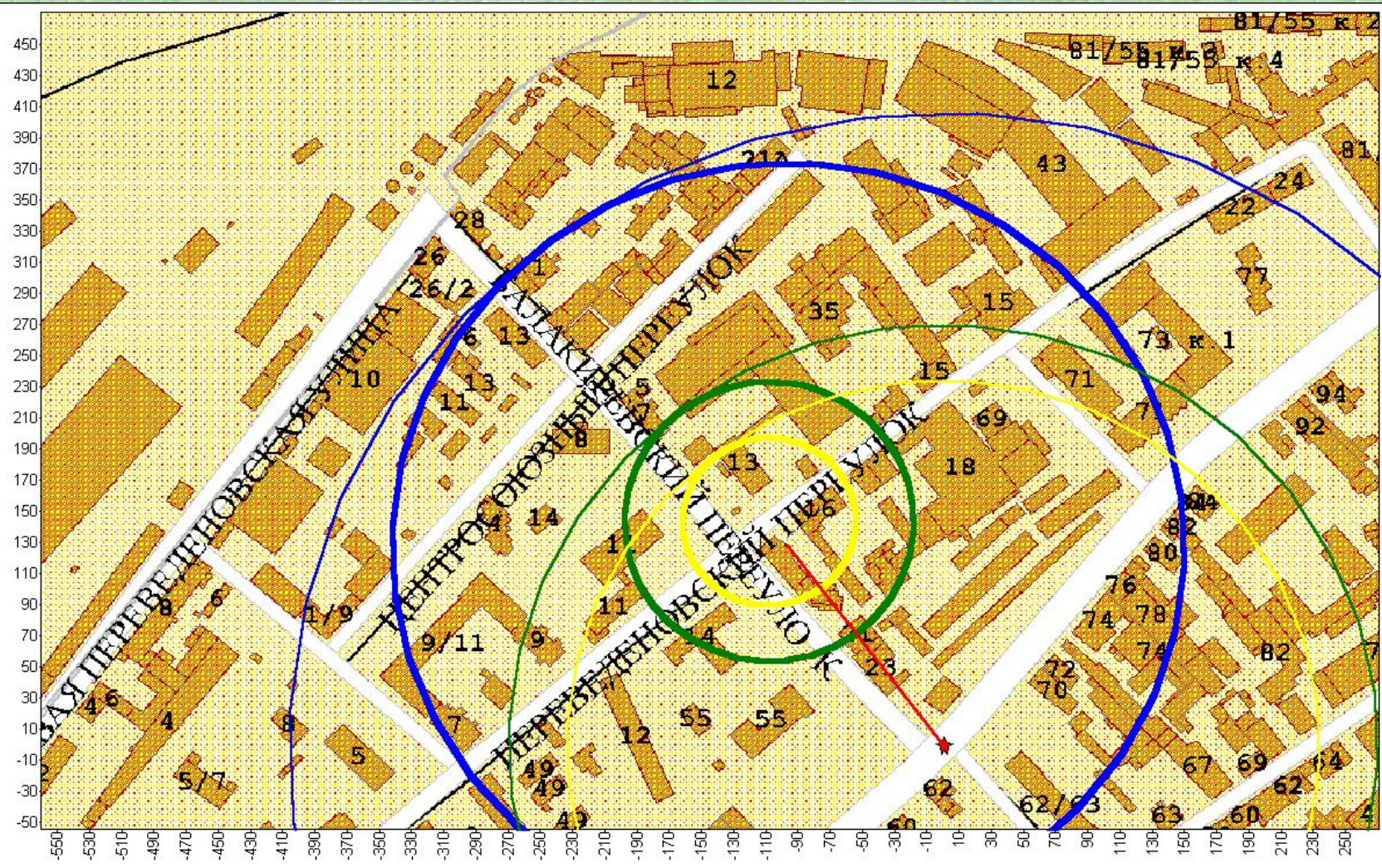
★ Origin
— Worst Case @ 0.1 bar
— Effect Zone @ 0.1 bar
— Worst Case @ 0.35 bar
— Effect Zone @ 0.35 bar
— Worst Case @ 0.7 bar
— Effect Zone @ 0.7 bar
— Drift Line



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;

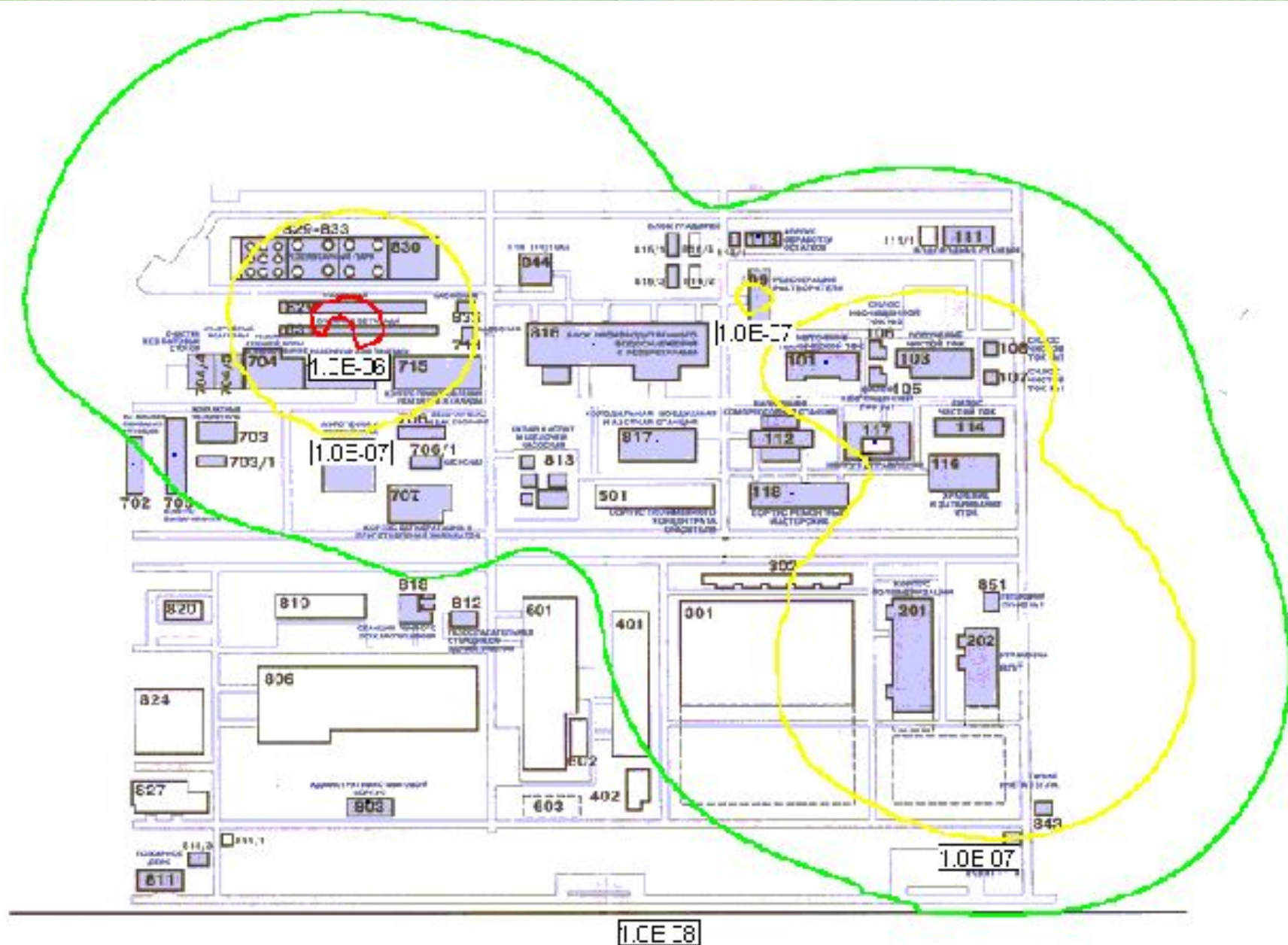
k - число рассматриваемых сценариев;

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

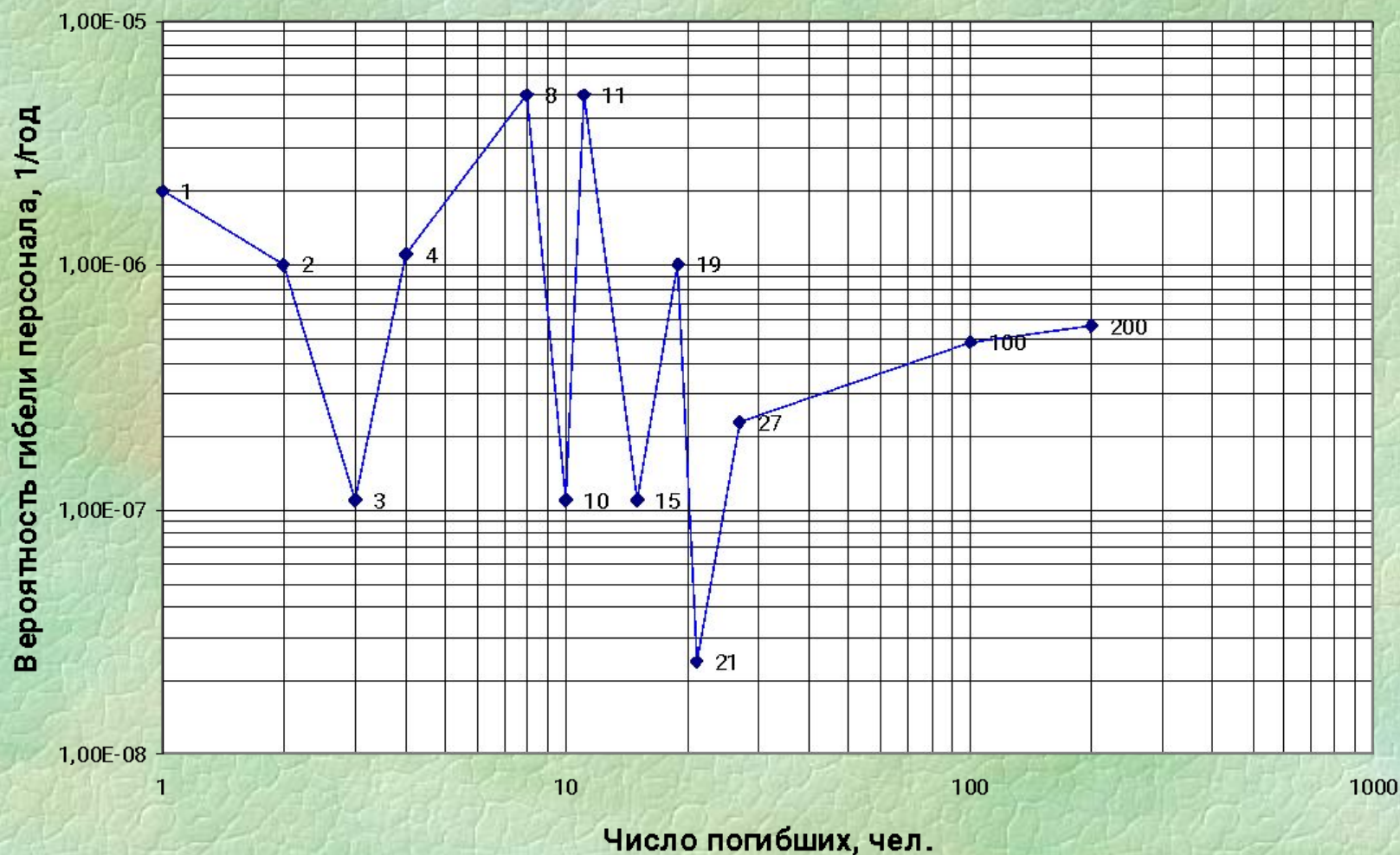
$P(\Gamma / M_j)$ – условная вероятность координатного поражения человека при реализации j -го сценария.

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

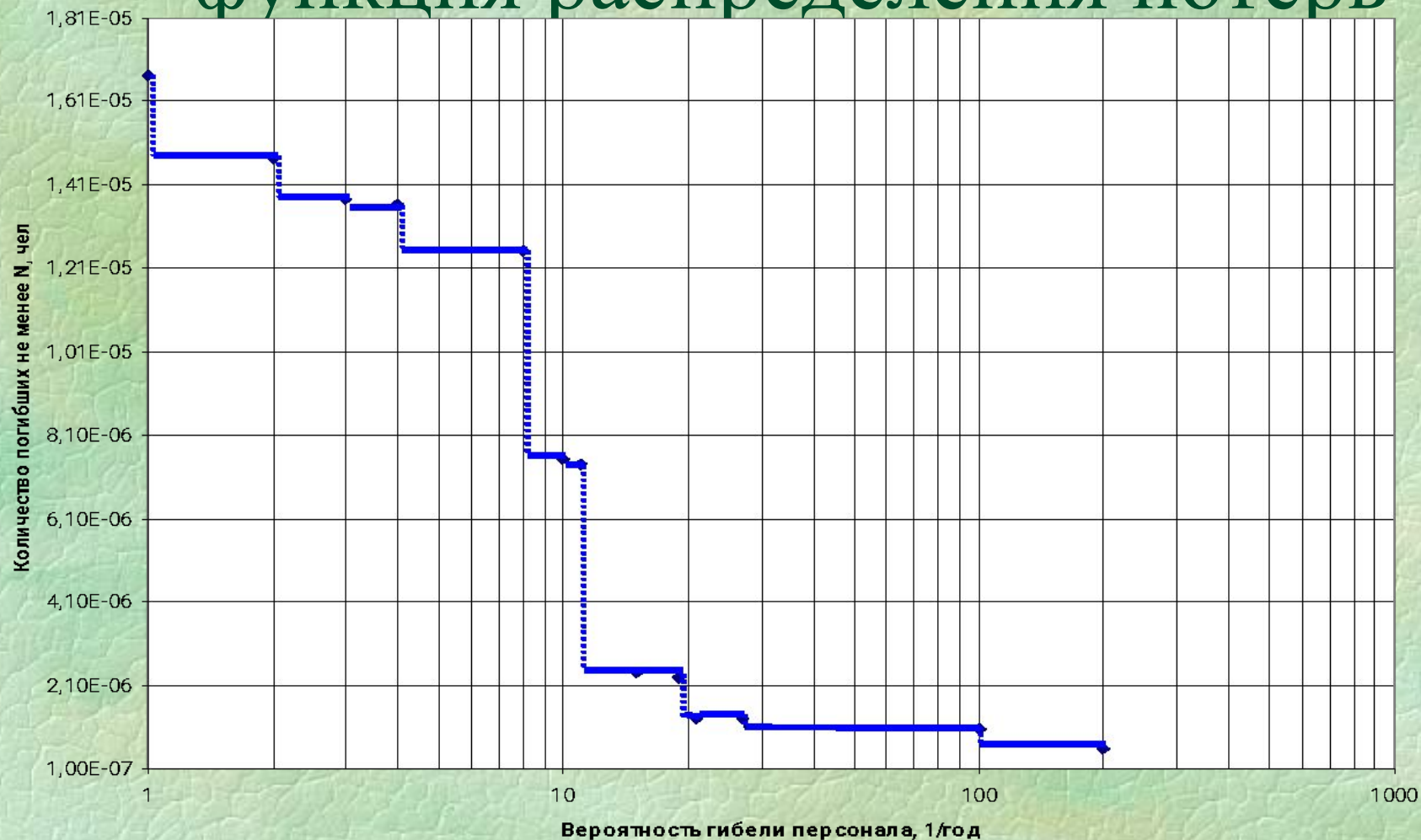
Построение изолиний потенциального (индивидуального) риска



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

Предельно допустимые уровни индивидуального риска

По критерию новизны промышленного объекта:

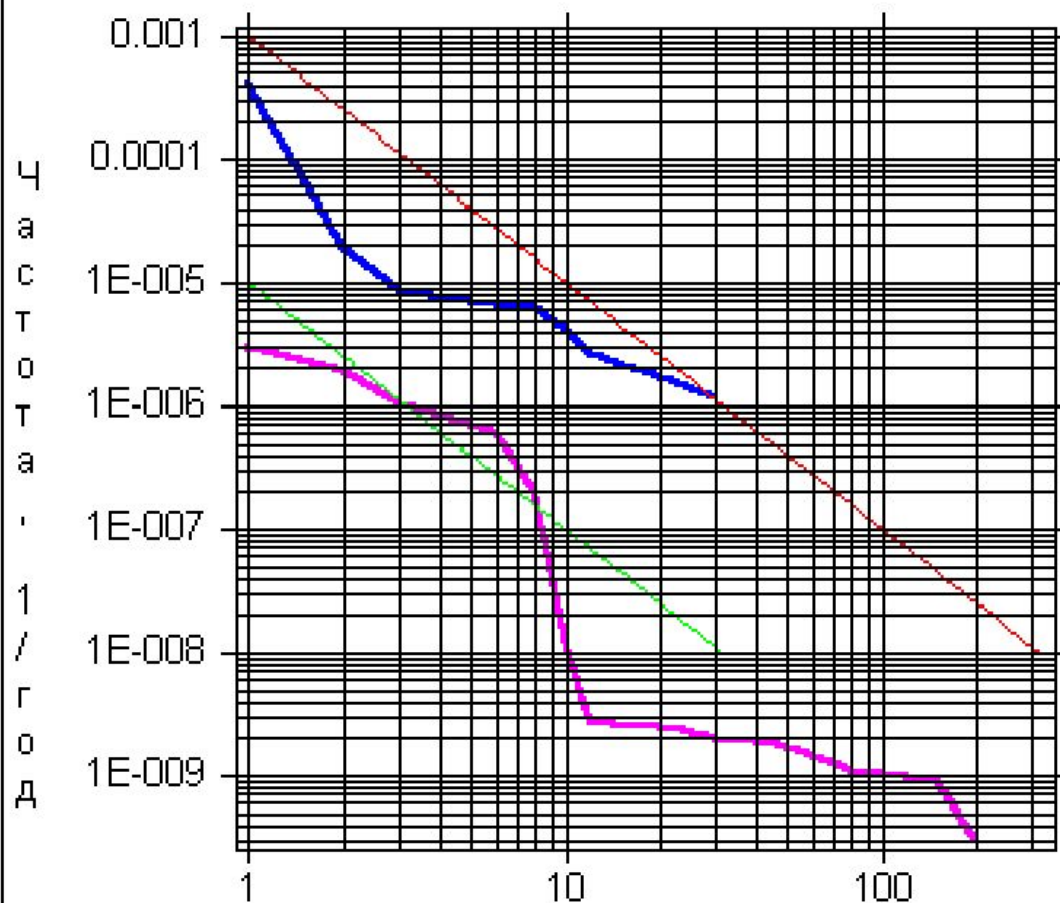
- не более 10^{-4} в год — для действующих объектов;
- не более 10^{-5} в год — для новых (вновь возводимых) объектов.

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