

Прогнозирование и снижение ущерба от аварий с каскадным эффектом

- 1) Описание объекта и методологии исследования;
- 2) Моделирование последствий аварии с выбросом природного газа
- 3) Оценка параметров исследуемого процесса
- 4) Прогноз и мероприятия по снижению риска каскадной аварии

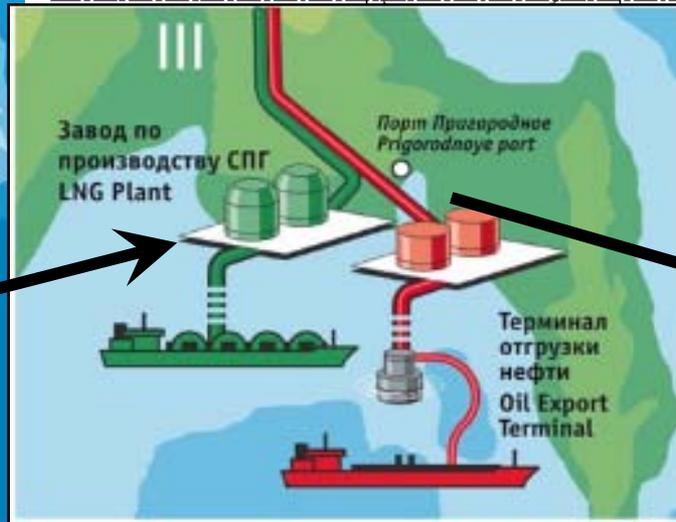
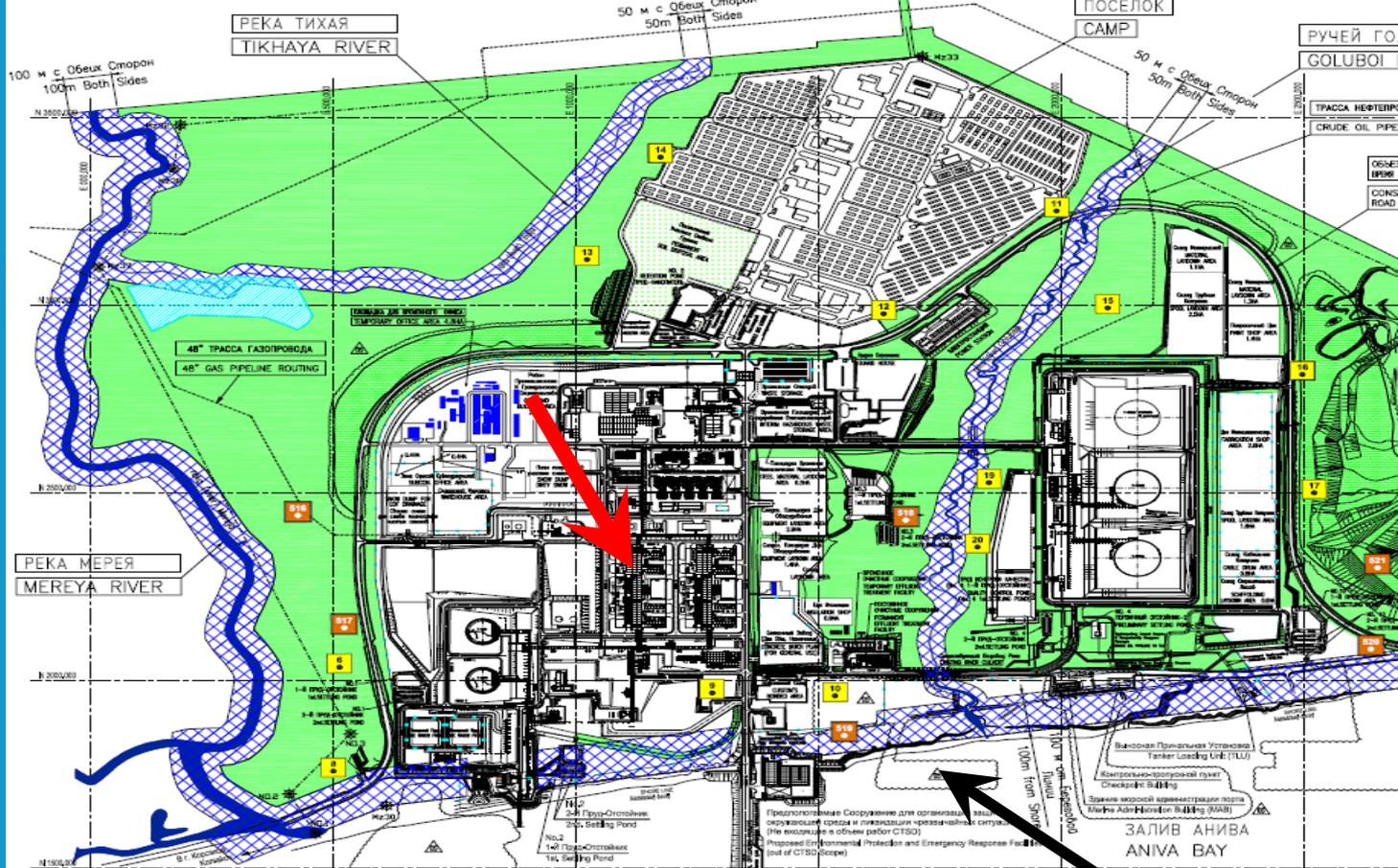
Докладчик: Комаревцева Т.А,

студентка РГТУ им К.Э.Циолковского (кафедра
природной и техногенной безопасности и управления
риском),

г. Москва, 2009г

Описание объекта и методологии исследования



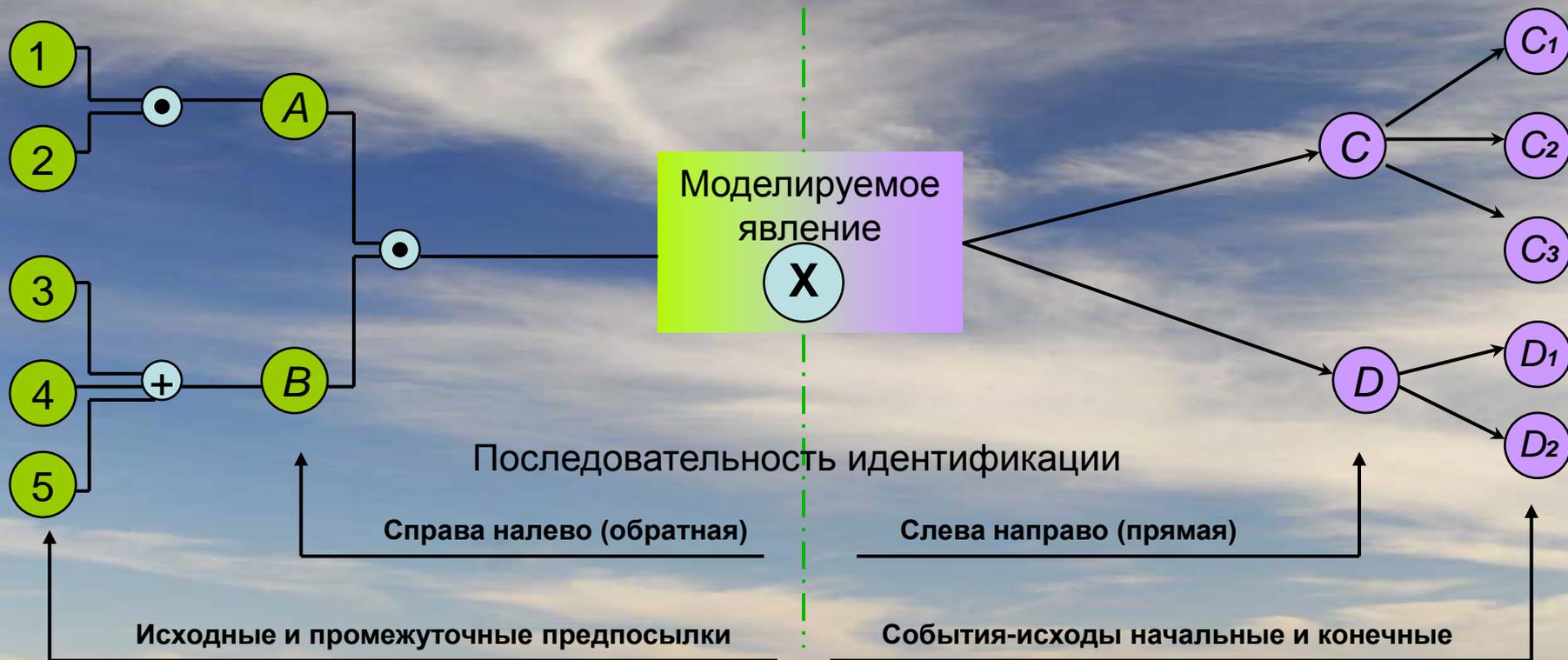


ЛОГИКА ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Методология построения причинно-следственной диаграммы

Предпосылки достижения выявляются дедуктивно-аксиоматическим методом

Сценарии проявления прогнозируются индуктивно-экспертным методом



Логические операции

$+$ сложение (дизъюнкция)

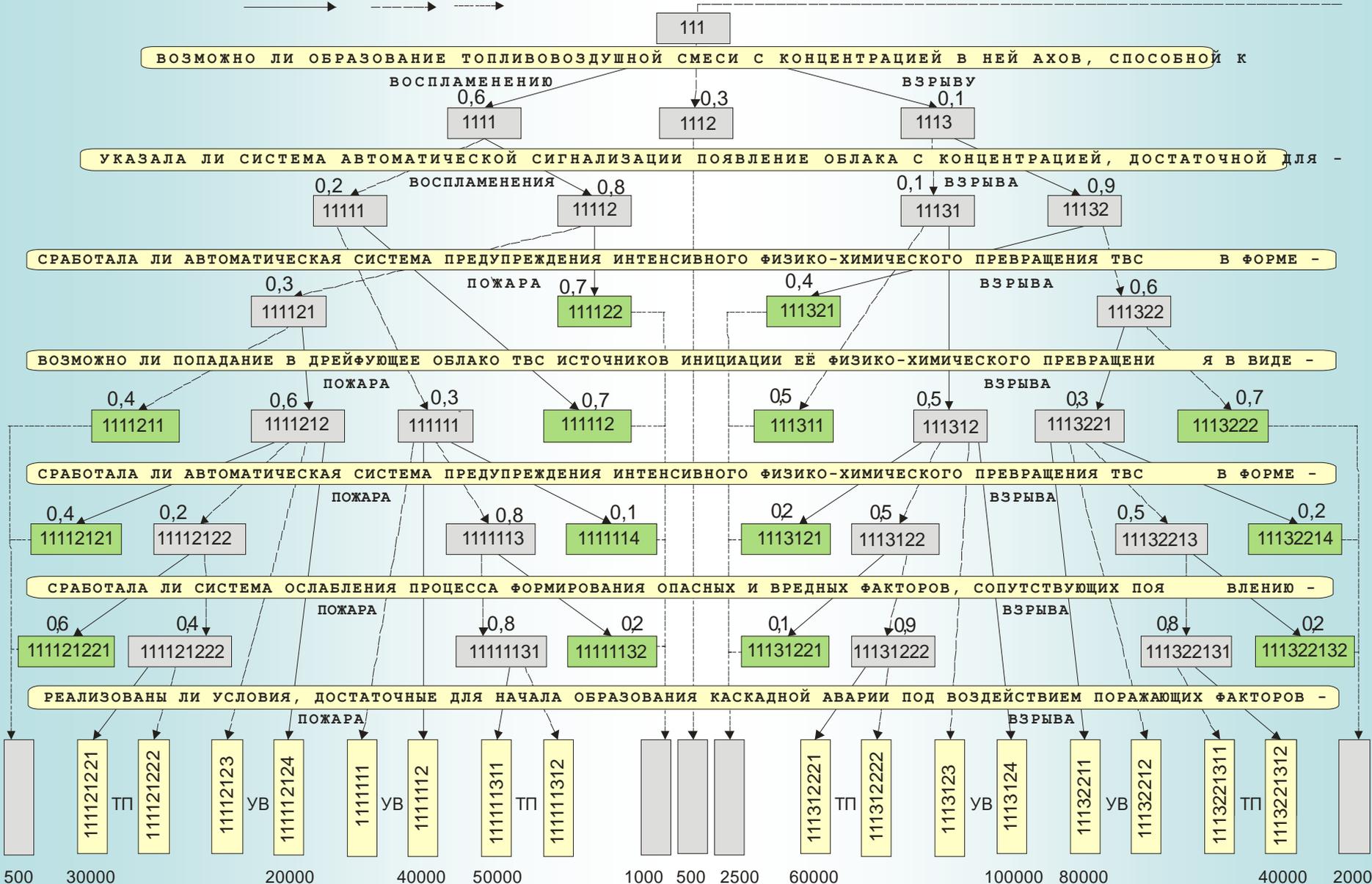
\bullet умножение (конъюнкция)

Логика построения дерева событий

ЛИНИИ ОЗНАЧАЮТ: "ДА" →

→ "НЕТ" - - - - -

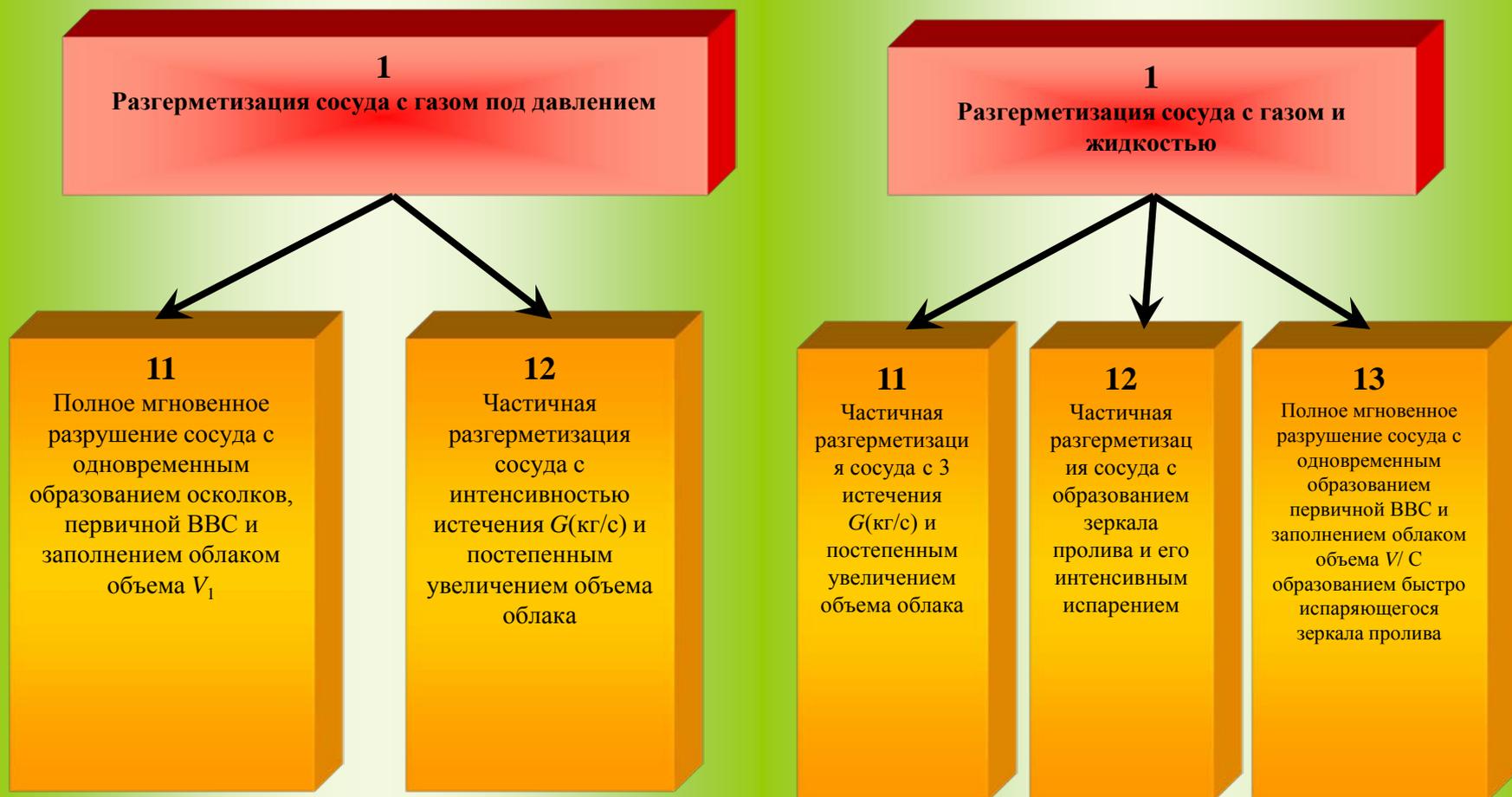
ПОВРЕЖДЕННАЯ ЁМКОСТЬ С АВАРИЙНО ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫМ ВЕЩЕСТВОМ ОТКЛЮЧЕНА



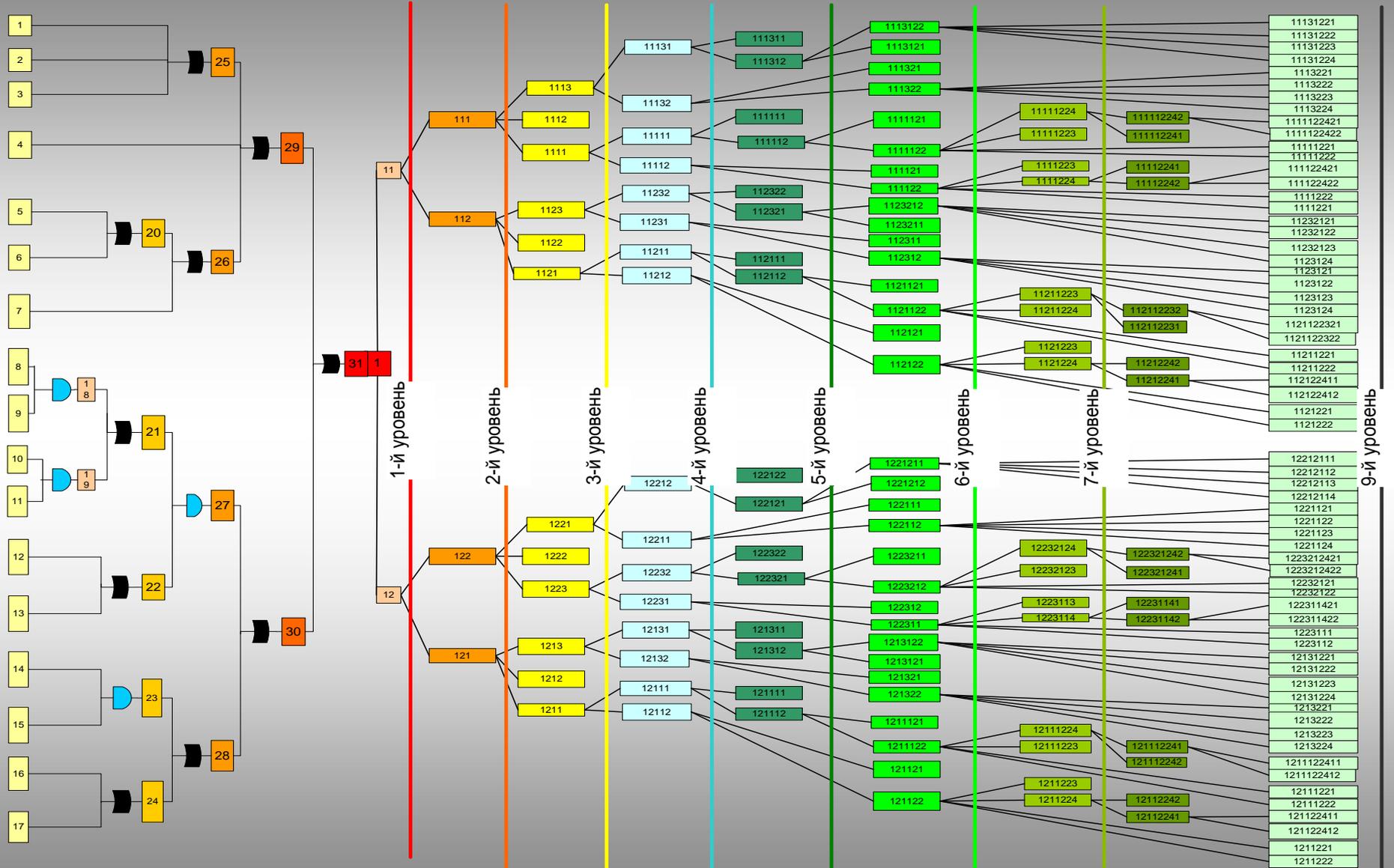
Моделирование последствий аварии с выбросом природного газа



Первый уровень деревьев событий первой и второй группы емкостей



Дерево происшествий и дерево его последствий для случая разгерметизации емкости с газом под давлением



Оценка параметров процесса развития каскадной аварии:

- базовых событий развития аварии
- осколочного воздействия
- воздушной волны сжатия
- полей тепловых потоков



Прогнозирование параметров базовых событий развития аварии

1) Определение концентрации C природного газа в облаке

$$C = \frac{m}{V_2}$$

2) Определение вероятности срабатывания системы газового контроля концентрации $P_{СГК} = 0.8$

$$P_{СГК} = 0.8$$

3) Определение вероятности рассеяния облака системой аварийной вентиляции

$$P_{АВ} = 0.8$$

4) Оценка вероятности $P_{вс}$ воспламенения и $P_{вв}$ взрыва под воздействием внешнего источника

$$P_{вс} (P_{вв}) = P'_{вс} (P'_{вв}) \times P_{ист}$$

$P_{ист}$ – вероятность появления такого источника, которую можно оценить исходя из размеров облака и технологической линии – как их отношение:

$$P_{ист} = R_{п.с}/r$$

$P'_{вс}$ ($P'_{вв}$) вероятности воспламенения (детонации) определяются с использованием модели Кокса

5) Определение вероятности срабатывания аварийной системы пожаротушения

$$P_{АСПТ} = 0,8$$

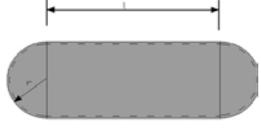
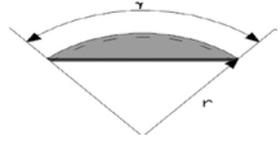
6) Определение вероятности срабатывания системы снижения интенсивности теплового потока (орошением)

$$P_{СИТП} = 0.5$$

О. Сахалин

Формирование осколков

Пример реально возможных осколков и их расчетных фигур

Реальный осколок	Расчетная фигура
	
	

1) определение формы и числа осколков, с учетом концентраторов напряжения

2) определение физических и геометрических характеристик осколка

3) определение скорости полета осколка:

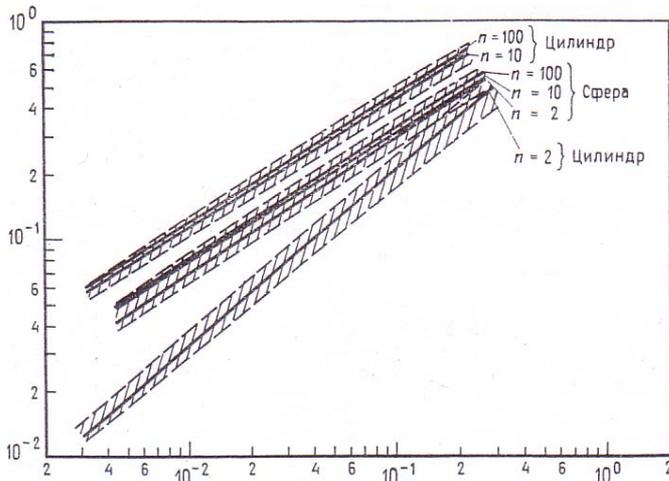
$$P = \frac{(P - P_0) \times V_0}{(m_0 \times \gamma \times R_u \times T_1)}$$

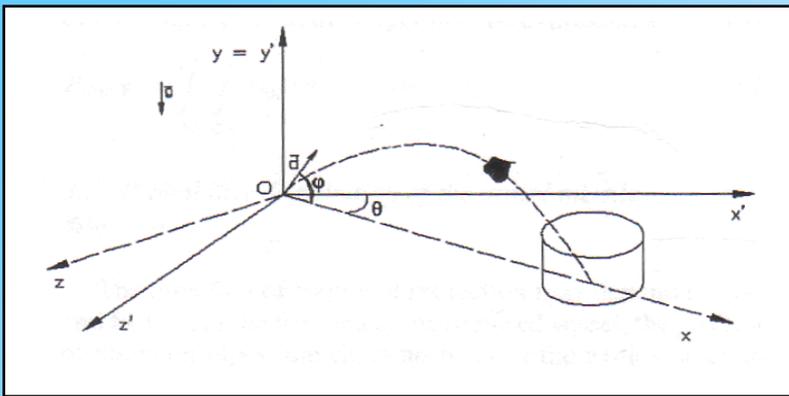
3.1 расчет приведенного давления (p) в сосуде по соотношению

3.2 графоаналитическое определение величины соответствующей приведенной скорости осколка U

3.3 скорость полета рассматриваемого осколка определяется из соотношения

$$u = U \times K \times \sqrt{\gamma \times R_{и} \times T_1}$$





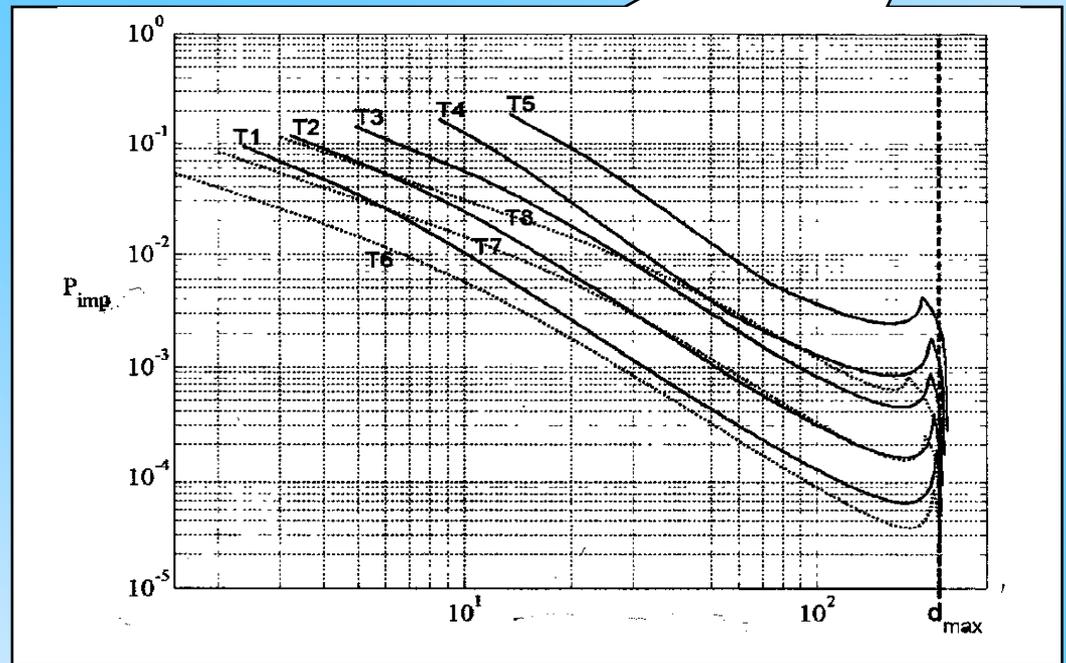
4) определение траектории полета осколка и, параметров так называемой, «мишени», в качестве которой было выбрано ближайшее с аварийным оборудование

5) Определение вероятности разрушения (P_{imp}) выбранной «мишени» заданным осколком графоаналитическим методом

$$P_{imp,F} = \int_{\Delta\theta} \int_{\Delta\varphi} \rho(\theta, \varphi) \times d\theta \times d\varphi$$

Значения вероятностей попадания полусферического осколка $F1$ по выбранным мишеням $T6, T7, T8$, на заданных расстояниях

Номер мишени	P_{imp} На расстоянии 50 м	P_{imp} На расстоянии 100м
$T6$	2×10^{-4}	9×10^{-5}
$T7$	7×10^{-4}	3×10^{-4}
$T8$	3×10^{-2}	$1,5 \times 10^{-3}$



Действие воздушной волны сжатия

1) Определение эффективного энергозапаса горючей смеси

$$E = m \cdot q_r \cdot \frac{C_{cm}}{C}$$

2) Оценка безразмерного расстояния R_x (м) по формуле М. Садовского

$$R_x = \frac{r}{\left(\frac{E}{P_0}\right)^{1/3}}$$

3) Расчет безразмерного давления P_x

$$\ln(P_x) = -1.124 - 1.66 \ln(R_x) + 0.26 (\ln(R_x))^2 \pm 10\%$$

4) Расчет безразмерного импульса фазы сжатия I_x

$$\ln(I_x) = -3.4217 - 0.8981 \ln(R_x) - 0.0096 (\ln(R_x))^2 \pm 15\%$$

5) Определение избыточного давления ΔP (Па)

$$\Delta P = P_x \cdot P_0$$

6) Оценка импульса фазы сжатия I (Па·с)

$$I = 10 I_x (P_0)^{2/3} \cdot E^{1/3} / c$$

Действие воздушной волны сжатия

7) Определение вероятности повреждения оборудования действием воздушной волны сжатия методом пробит-функций для четырех типов оборудования:

7.1 оборудование работающее при атмосферном давлении

$$Pr1 = -9.36 + 1.43 \cdot \ln(\Delta P)$$

$$P_{BVC\text{Спор}1} = 0,80$$

7.2 оборудование под давлением

$$Pr2 = -14.44 + 1.82 \cdot \ln(\Delta P)$$

$$P_{BVC\text{Спор}2} = 0,47$$

7.3 оборудование колонного типа

$$Pr3 = -12.22 + 1.65 \cdot \ln(\Delta P)$$

$$P_{BVC\text{Спор}3} = 0,63$$

7.4 малогабаритное оборудование

$$Pr4 = -12.42 + 1.64 \cdot \ln(\Delta P)$$

$$P_{BVC\text{Спор}4} = 0,52$$

Значения P_{BVC} по соседнего оборудования действием ВВС на расстоянии 50м, при разгерметизации емкости орошения скрубберной колонны

Формирование полей тепловых потоков:

1) Определение массовой скорости истечения (G_1 – для газовой фазы, G_2 – для жидкой фазы)

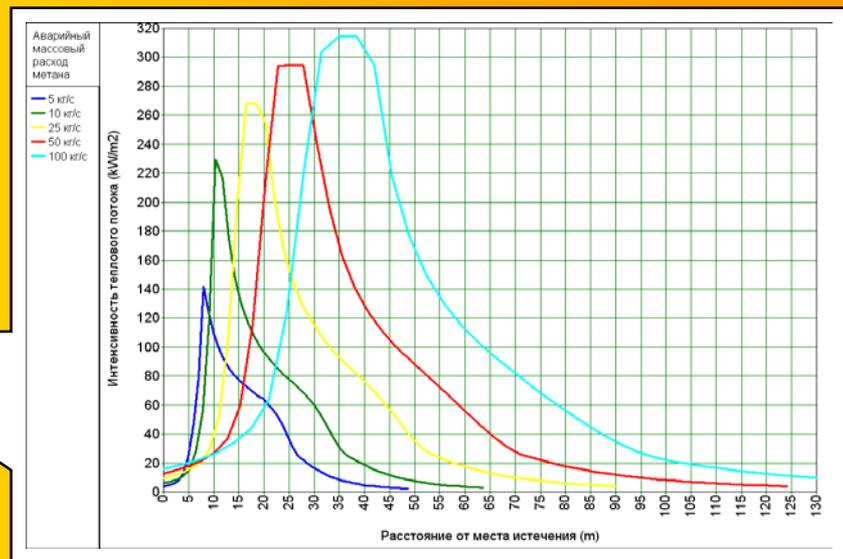
$$G_1 = \frac{C_d \times \left(\pi \times \frac{d^2}{4} \right) \times P_1 \times \sqrt{\gamma \times \left(\frac{2}{(\gamma+1)} \right)^{\frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}}}}{\sqrt{8314 \times \frac{(T_1 + 273,15)}{\mu}}}$$

$$G_2 = C_d \times \rho \times \left(\pi \times \frac{d^2}{4} \right) \times \sqrt{2 \times \frac{(P_1 - P_0)}{\rho g h}}$$

Графоаналитическая оценка интенсивности теплового потока

Определение вероятности повреждения оборудования полями тепловых потоков ($РТПлор$) используя «пробит-функции»

$$Pr = 12.54 - 1.847(-1.128 \ln(W) - 2.667 \times 10^{-5} V + 9.877)$$



Значения вероятностей повреждения выбранных мишеней полями тепловых потоков на расстоянии 50 м ($РТПлор$) при разгерметизации емкости орошения скрубберной колонны: $РТПлор(T6) = 0,015$; $РТПлор(T7) = 0,015$; $РТПлор(T8) = 0,02$

Прогноз и мероприятия по снижению риска каскадной аварии



Прогнозирование и снижение риска

Определение безусловных вероятностей:

Безусловные вероятности попадания полусферического осколка по выбранным мишеням

$$Q_{\text{imp}} = P_{\text{ГС}} \times P_{\text{imp}}$$

$$Q_{\text{imp}} = 0,113 \times 10^{-4}$$

Безусловные вероятности поражения соседнего оборудования действием ВВС

$$Q_{\text{ВВСпор}} = P_{\text{ГС}} \times P_{\text{ТВС}} \times P(o)_{\text{СГК}} \times P_{\text{ВВ}} \times P_{\text{ВВСпор}}$$

$$Q_{\text{ВВСпор2}} = 645$$

Безусловные вероятности поражения соседнего оборудования действием ТП

$$Q_{\text{ТПпор}} = P_{\text{ТПпор}} \times P_{\text{ВВ}} \times P(o)_{\text{СГК}} \times P_{\text{ТВС}} \times P_{\text{ГС}}$$

$$Q_{\text{ТПпор(ТТ)}} = 0,4$$

Определение ожидаемого ущерба

$$R(\tau) = \sum_{k=3} Q_k \times Y_k$$

$$R(\tau) = 262680 \$$$

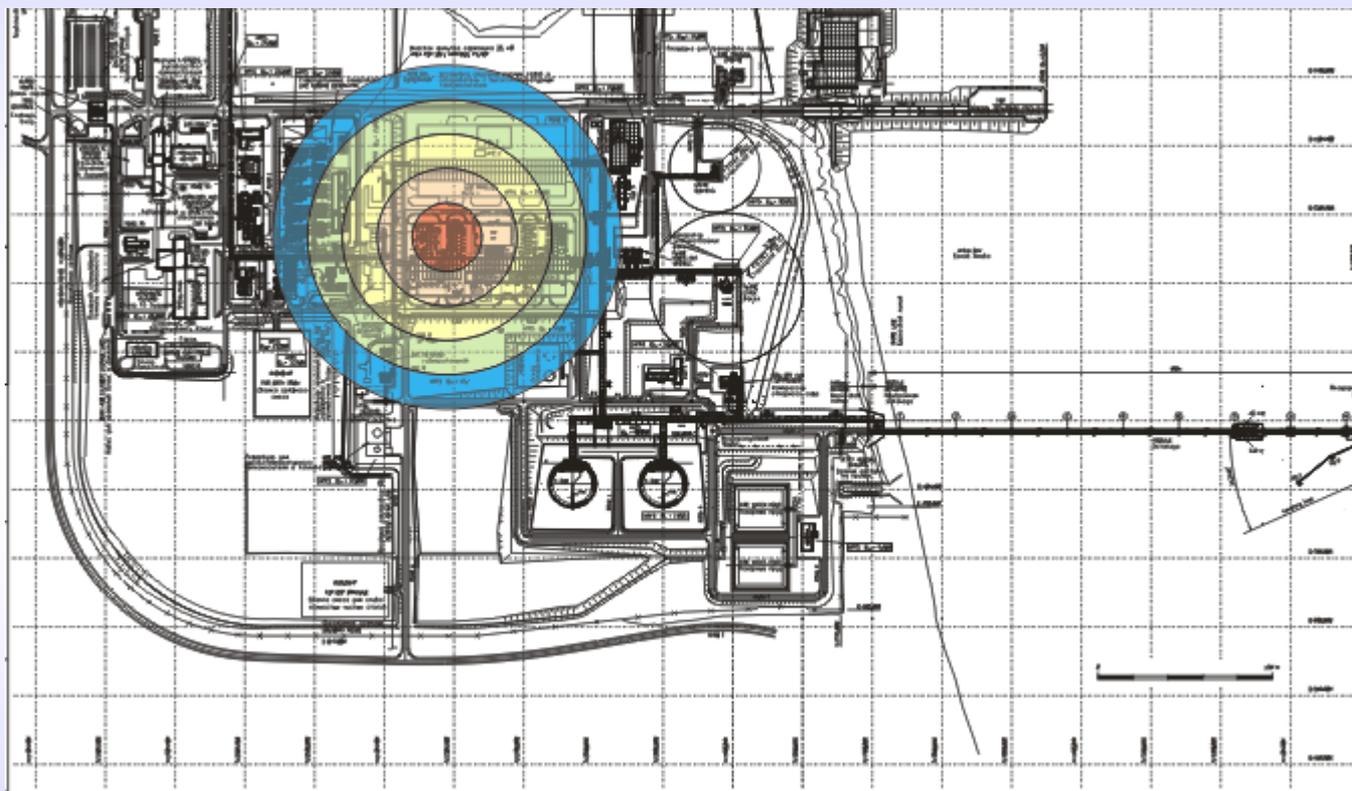
Определение эффективности мероприятий оценивалась по снижению вероятности и ущерба

$$\Delta Q = Q_{\text{ВВСпор}} - Q_{\text{ВВС'пор}}$$
$$\Delta Y = (Q_{\text{ВВСпор}} - Q_{\text{ВВС'пор}}) \times Y$$

Оценка экономической эффективности организационно-технических мероприятий

№	Наименование организационно-технического мероприятия	Затраты на внедрение С, \$	Эффект от внедрений		
			ΔQ	$\Delta Y, \$$	$\Delta Y/C$
1	дополнительный контроль за выполнением персоналом особо – ответственных операций	12167	205×10^{-6}	82000	6,74
2	установка временных ограждений со средствами предупредительной сигнализации при проведении ремонтных работ)	50000	33×10^{-6}	13200	0,26
1,2	Одновременное введение мероприятий первой группы	62167	245×10^{-6}	98000	1,58
3	резервирование СГК	5×10^6	632×10^{-6}	252800	0,05
4	резервирование системы отсечки потока	4×10^6	452×10^{-6}	180800	0,04
3,4	Одновременное внедрение мероприятий второй группы	9×10^6	641×10^{-6}	256400	0,03
1,2,3,4	Одновременное внедрение всех четырех мероприятий	9062167	643×10^{-6}	257200	0,03

Зонирование технологической линии по вероятности развития каскадного эффекта при воздействии ВВС, для случая аварийной разгерметизации емкости орошения скрубберной колонны



- $P_{50} = 0.47$
 - $P_{100} = 0.01$
 - $P_{150} = 0.$
 - $P_{200} = 0.0$
 - $P_{250} = 0.0$
- Изолинии вероятностей поражения сосудов, работающих под давлением при воздействии ВВС от аварийной разгерметизации емкости орошения скрубберной колонны
Представлены для расстояний 50, 100, 150, 200 и 250 м.

СПАСИБО

ЗА

ВНИМАНИЕ!

Благодарность
за предоставленные материалы
и помощь в подготовке работы:
Д.т.н. проф. МАТИ – РГТУ
им. К.Э. Циолковского
Белову П.Г.,
а также сотрудникам ВНИИГАЗа.