



**Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-технический центр «Технологии и безопасности»
ООО «НТЦ «ТБ»**

197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Зверинская, д.22 лит. А, пом. 12Н,13Н, 14Н,
Тел.: (812) 237-19-39, (812) 405-88-18; Факс: (812) 237-19-09, www.ntc-tb.ru; ntc-tb@mail.ru



**Технология определения
показателей надежности,
безопасности, стойкости,
устойчивости, живучести
и уязвимости сложных
организационно-
технических систем**

**Ибадулаев Владислав Асанович, технический директор ООО «НТЦ «ТБ»,
доктор технических наук, профессор**

Космачев Василий Павлович, начальник отдела, кандидат технических наук

Категории и показатели

Надежность - свойство объекта **сохранять** во времени в установленных пределах **значения всех параметров**, характеризующих **способность выполнять требуемые функции** в заданных режимах и условиях применения.



Не восстанавливаемая система: $P_c, P(t), Q(t), T_0$.

Восстанавливаемая система: $KГ_F, T_{HO}, T_B, P_{BF}(t)$.

Стойкость - свойство объекта **противостоять** определенным **воздействиям** вследствие **достоверно** возникающих **поражающих факторов**, как **внутренних** так и **внешних** (критических параметров, ударов, взрывов, пожаров и т.п.).



Доза негативного воздействия на оборудование, степень разрушения и вероятность избежать разрушения, разгерметизации при $P_{пф}=1,0$:

$D_{тепл.изл}; \Delta P_{изб}; C_{т.изл}; C_{из.д.}$

Категории и показатели

Живучесть - свойство объекта противостоять определенным воздействиям вследствие **случайного (не достоверного) возникновения внешних поражающих факторов** (ударов, взрывов, пожаров, токсическое воздействие и т.п.).



Доза негативного воздействия на оборудование, степень разрушения и вероятность избежать разгерметизации, разрушения при
 $R_{пф} = 0 \div 1,0: R_{пор} = f [Pr(D)]; (R_{п.т.изл}; R_{п.изб.д})$

Безопасность - свойство объекта противостоять действию **случайных (недостоверных) внутренних поражающих факторов** и предотвращает разгерметизацию оборудования и **выход опасных факторов в окружающую среду.**



Вероятность предотвращения (возникновения) аварии, коэффициенты совершенствования безопасности и снижения вероятности аварии –
 $R_{ФБ}, R_{А}, K_{ФБ}$ и $K_{А}$

Категории и показатели

Устойчивость - комплексное свойство объекта **сохранять безопасное состояние для персонала и другого оборудования**, определяемое различными **совместными комбинациями** свойств ее **надежности, стойкости, живучести и безопасности**.



Вероятность предотвращения (возникновения) поражающих факторов аварии, коэффициенты снижения вероятности их проявления -

$R_{п.п.п.}$, $R_{п.ф.г.}$, $R_{п.п.в.}$, $R_{сi}$, $K_{сi}$

Уязвимость - **внутренние свойства объекта, характеризующее слабые его места**, и **влияние** на **системные показатели надежности, безопасности и риска**.



Значимость элемента, положительный и отрицательный вклад (для системных показателей, надежности, безопасности и риска)

ξ_i , $+\beta_i$, $-\beta_i$

Категории и показатели

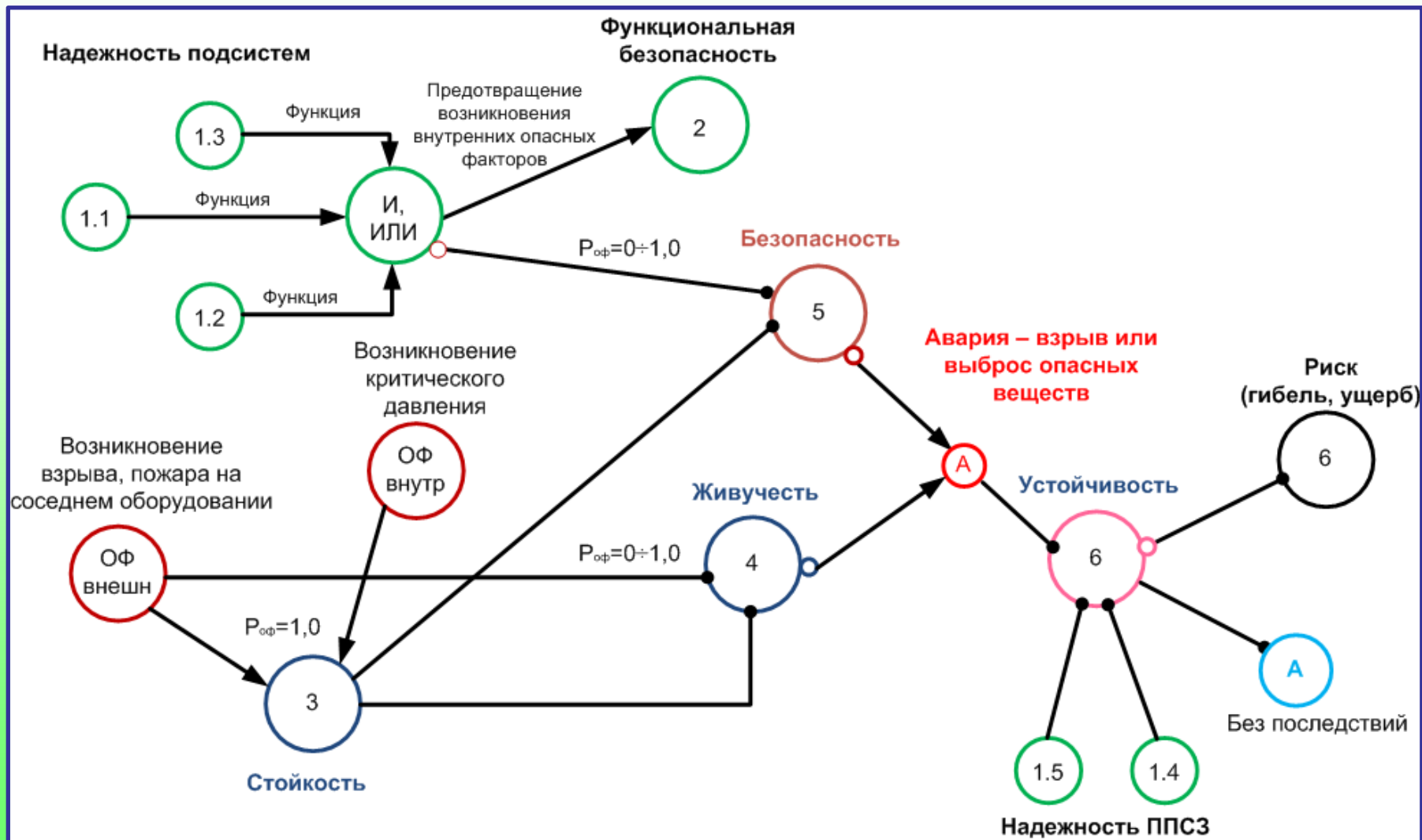
Риск – сочетание ожидаемой частоты или вероятности возникновения поражающих факторов определённого класса, и размера возможного ущерба (потерь, вреда) от поражающих факторов, или же некоторая комбинация этих величин.



Риск гибели, риск возникновения санитарных потерь, материальный ущерб, математическое ожидание материального ущерба, коэффициент предотвращаемого ущерба и предотвращаемого риска гибели персонала:

R_g , $R_{c.p.}$, P_u , $R_{пу}$, ΔY , ΔR_g

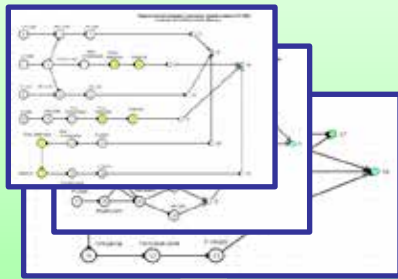
Взаимосвязь категорий надежность, безопасность, стойкость, живучесть и устойчивость



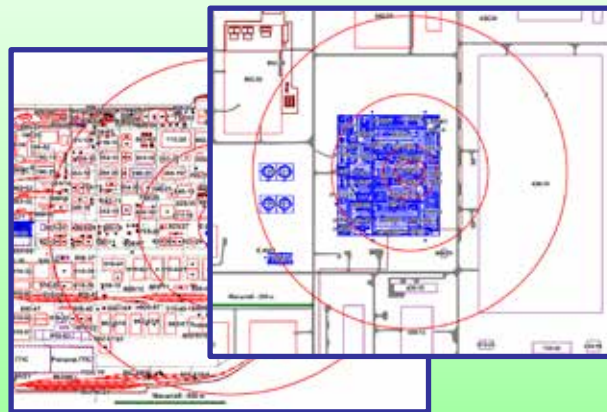
Комплексная модели обеспечения безопасности ОПО -

представляет собой совокупность структурно-логических, логико-вероятностных, вероятностных и математических моделей адекватно отражающих возможные состояния безопасности объекта и процессы, протекающие в нем, соответствующая определенному этапу жизненного цикла ОПО.

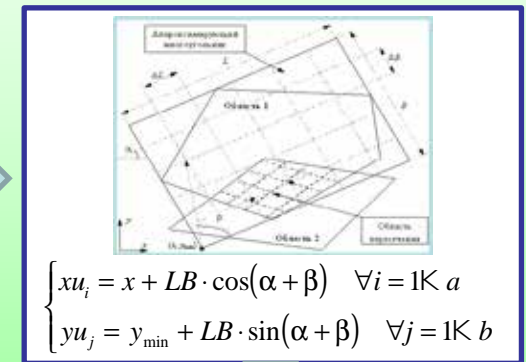
Модели безотказного функционирования подсистем обеспечения безопасности



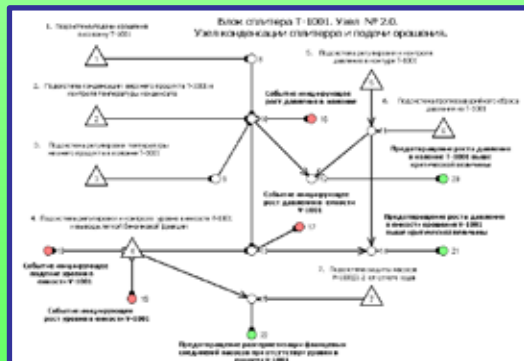
Модели формирования поражающих факторов аварии



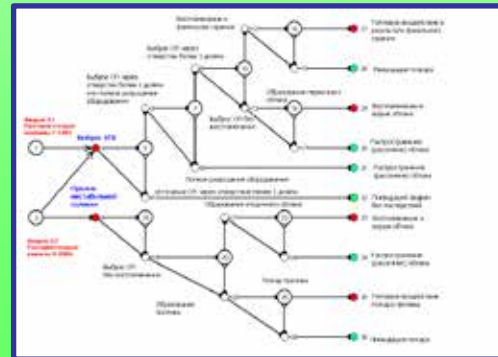
Модель оценки последствий аварии



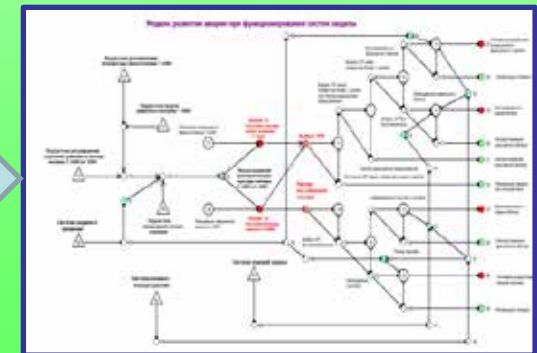
Модель обеспечения функциональной безопасности



Модель сценариев развития аварии



Модель оценки риска аварии

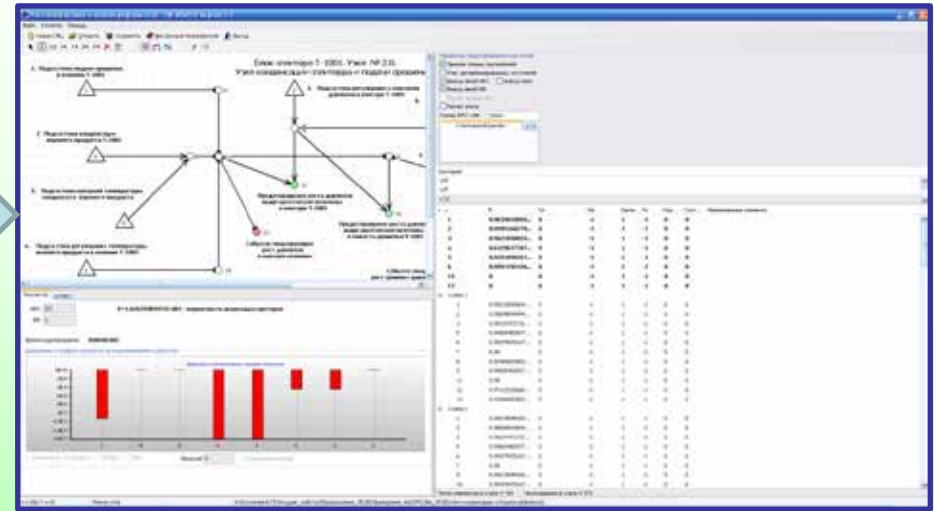


Методы, методики и автоматизированные средства, используемые при разработке комплексной модели обеспечения безопасности

1. Общий логико-вероятностный метод и технология АСЛМ.
2. Метод «дерево событий».
3. HAZOP – «Анализ опасности и работоспособности».
4. ЕТА- «Анализ причин и последствий»,
5. FMECA - «Анализ видов и последствий отказов» и др.

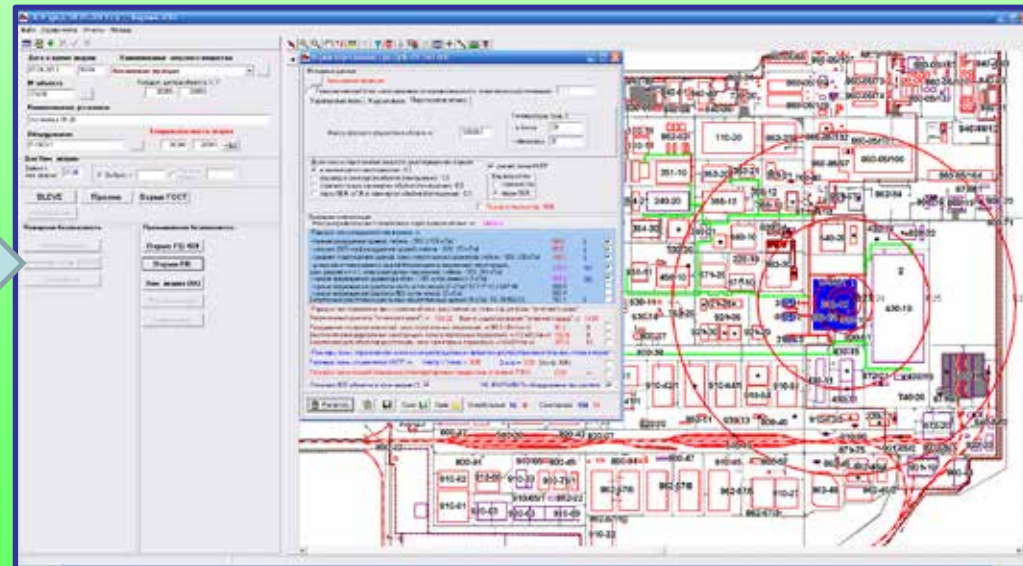


ПК АСМ «АРБИТР»

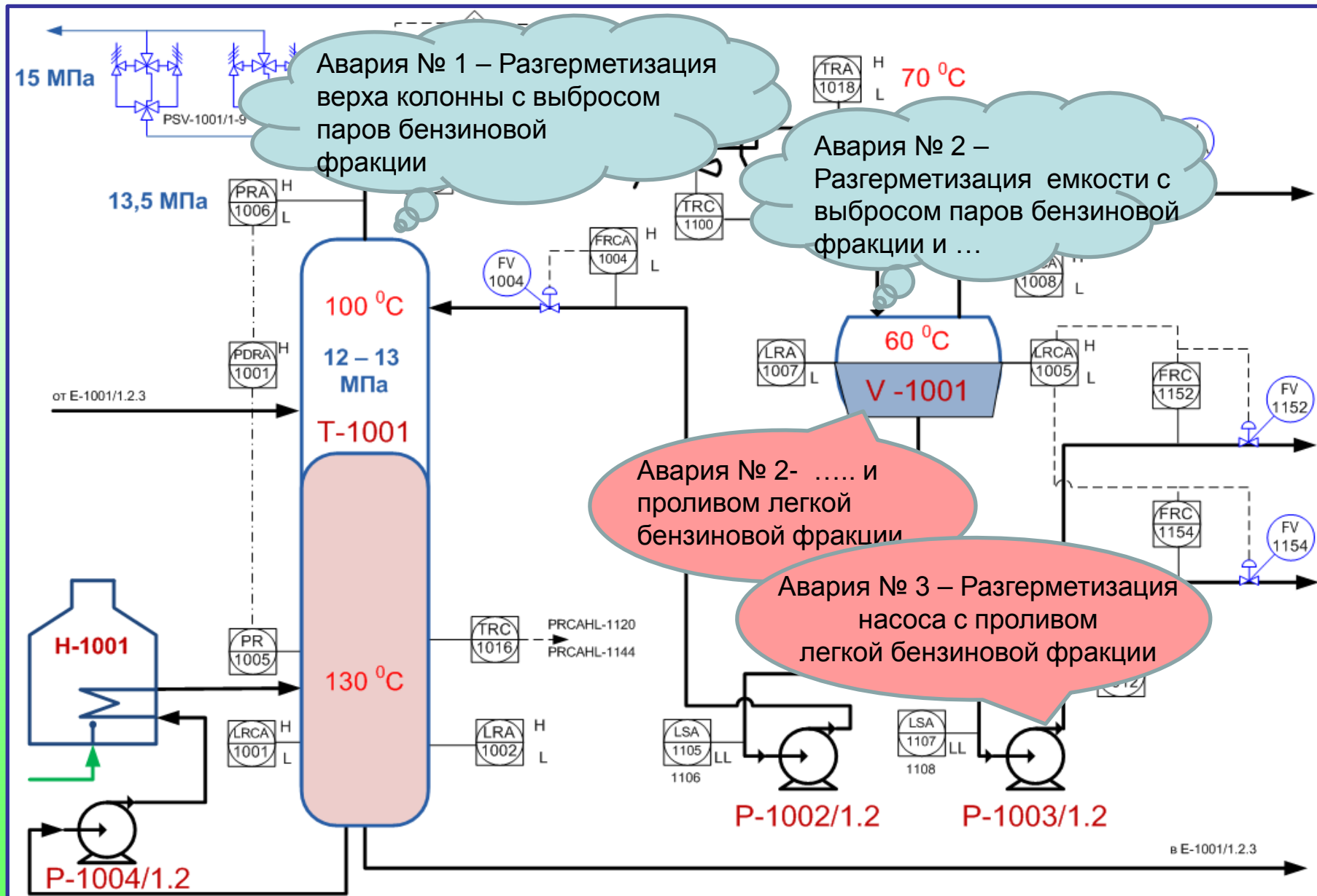


ПК «ТБ-Оценка»

1. Методика оценки пожарного риска (Пр. МЧС № 404-2009).
2. ФНП «Общие правила ...» - (Пр. ФСЭТАН № 96-2013г).
3. Руководство по безопасности. – (Пр. ФСЭТАН № 646 - 2014г).
5. Руководство по безопасности – (Пр. ФСЭТАН № 188 - 2015г)
6. Руководство по безопасности – «Методики оценки последствий..» (Пр. ФСЭТАН №160 – 2015г) и т.п.

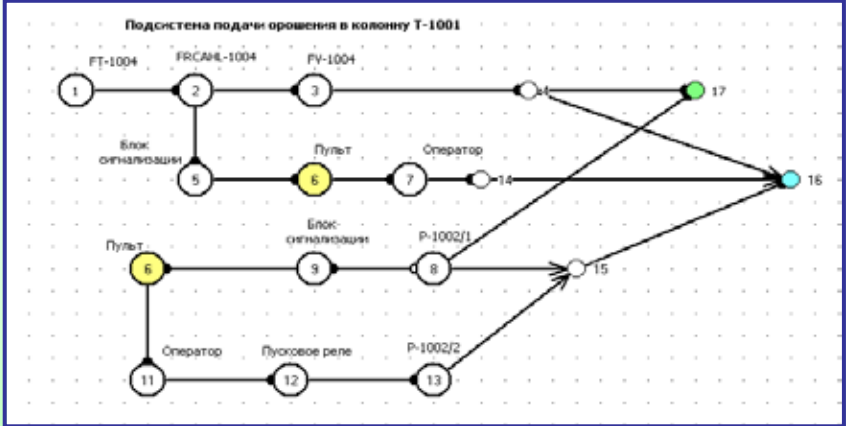


Технологическая схема контура колонны T-1001 комбинированной установки ЛК-2Б

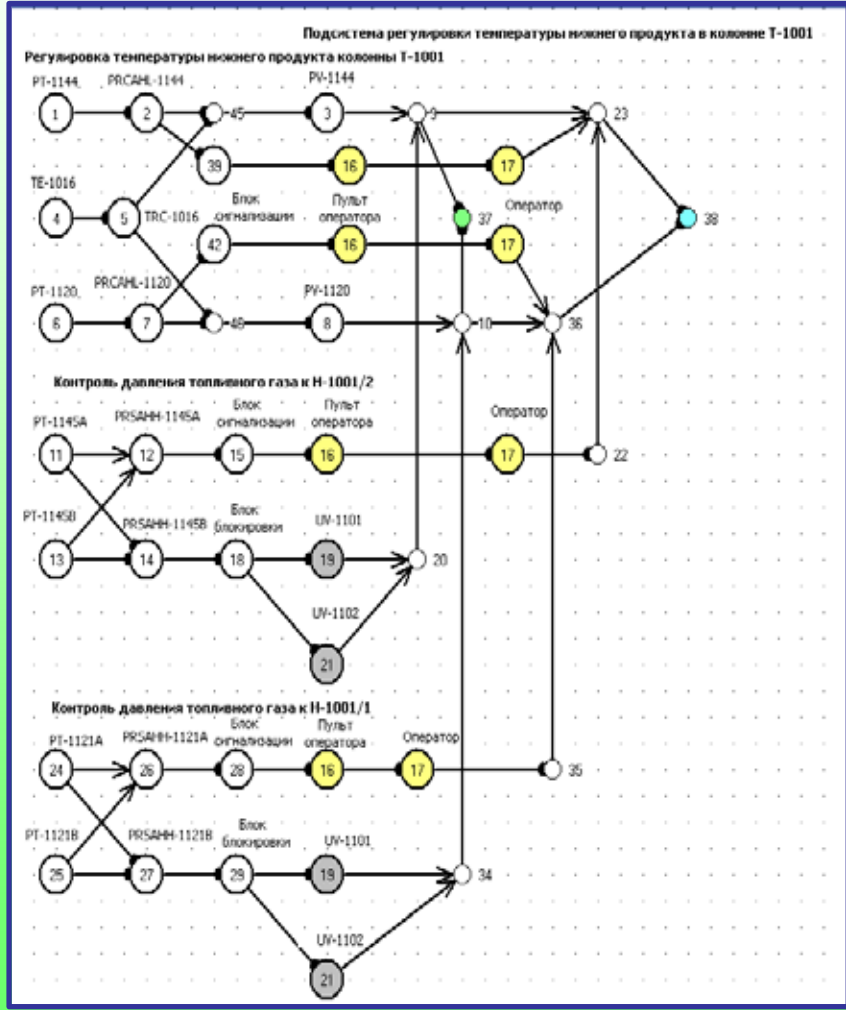


Модели безотказного функционирования подсистем регулирования и контроля за технологическим процессом

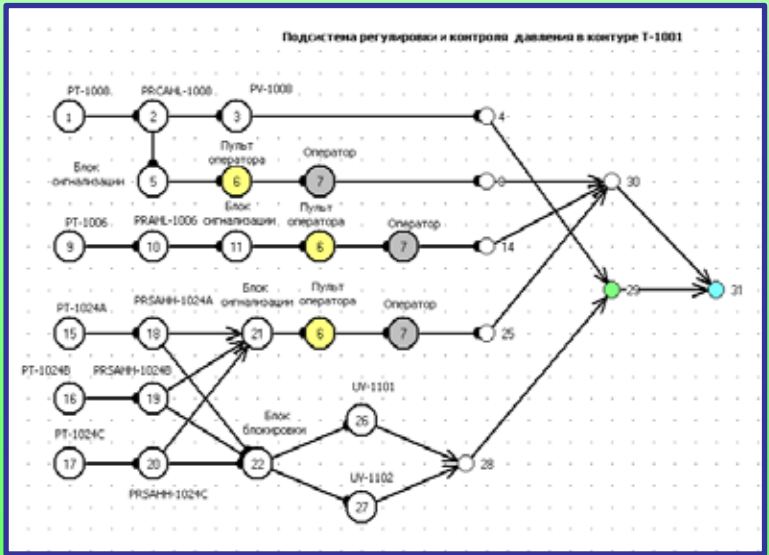
Подсистема регулирования подачи орошения в колонну



Подсистема регулирования и контроля температуры в колонне

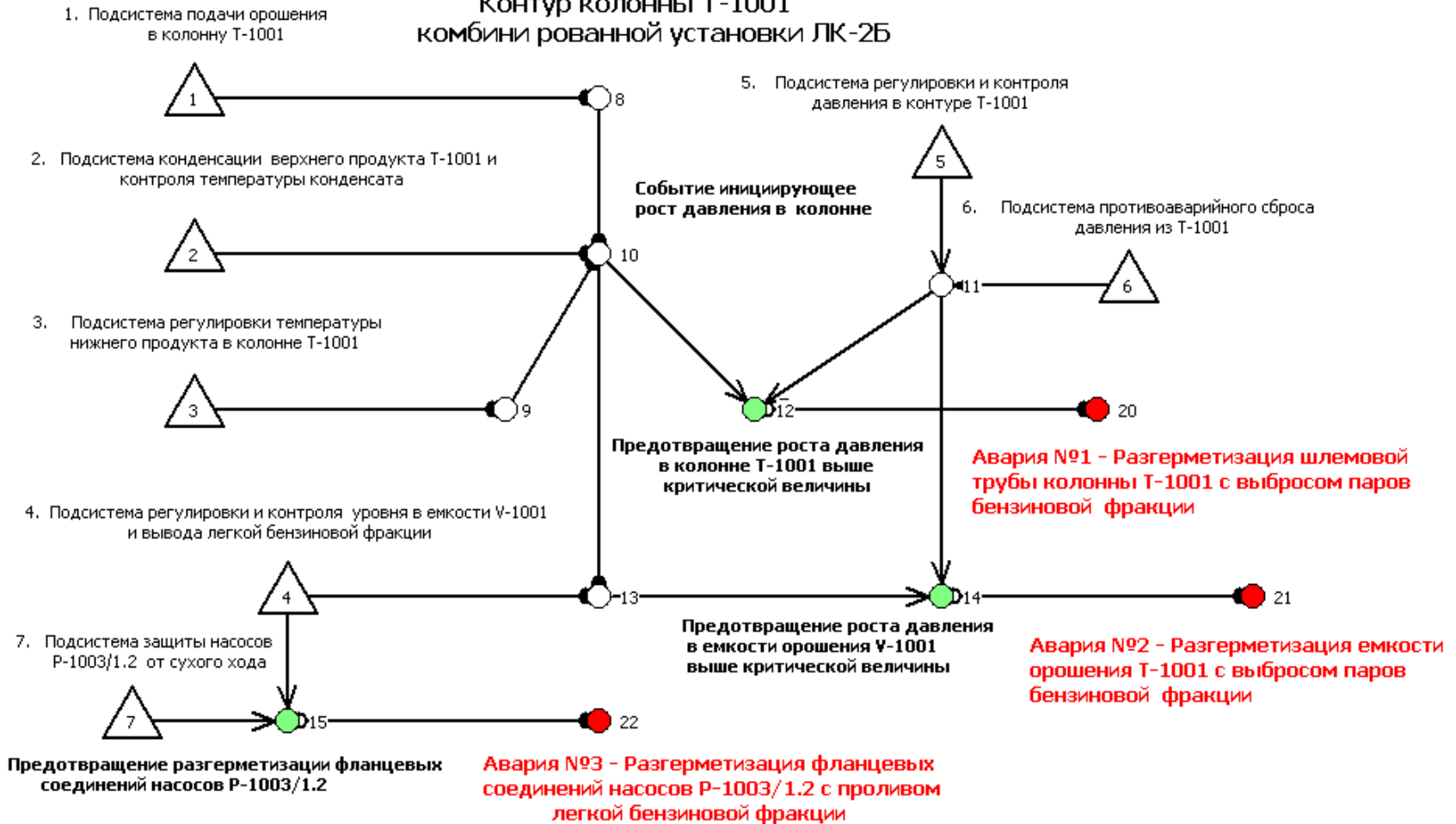


Подсистема регулирования и контроля давления в контуре



Модель безопасного функционирования контура колонны T-1001 комбинированной установки ЛК-2Б

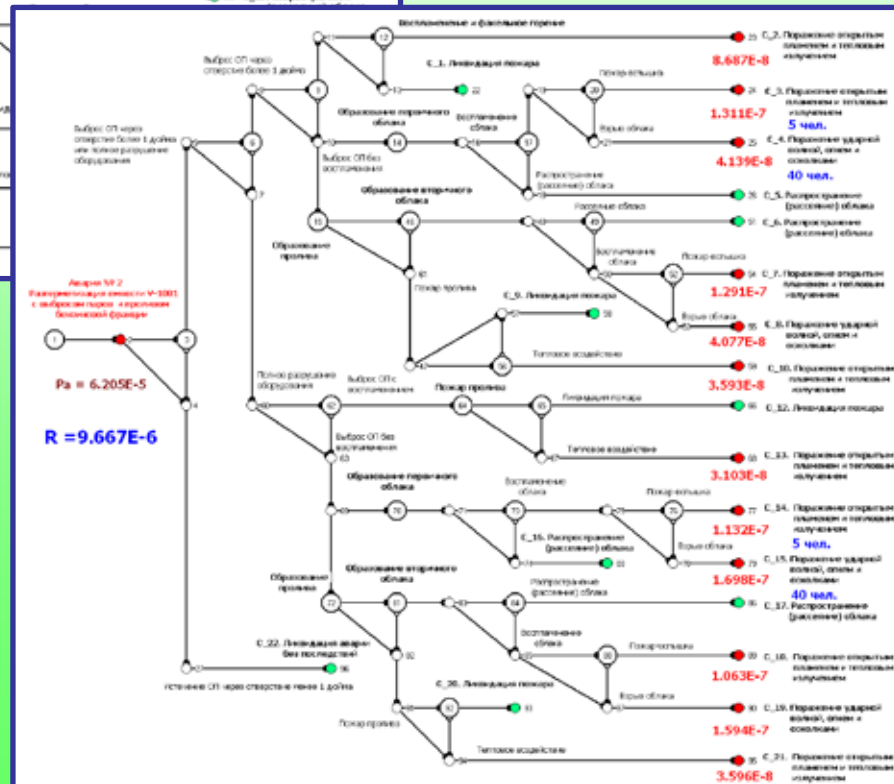
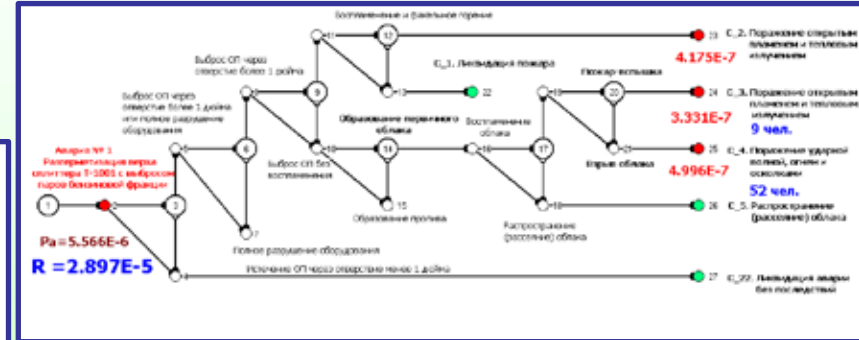
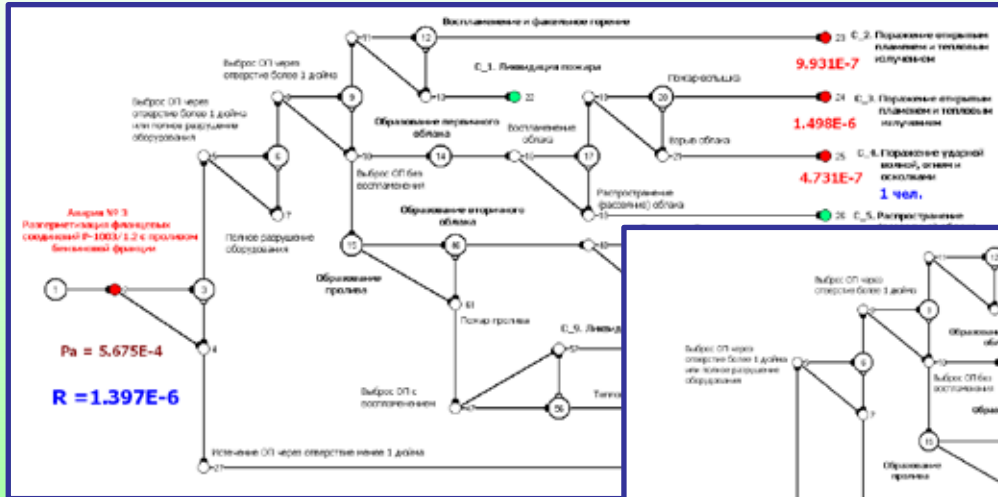
Контур колонны T-1001
комбини рованной установки ЛК-2Б



Модели сценариев развития аварий в контуре колонны Т-1001

Авария № 1 – Разгерметизация верха колонны с выбросом паров бензиновой фракции

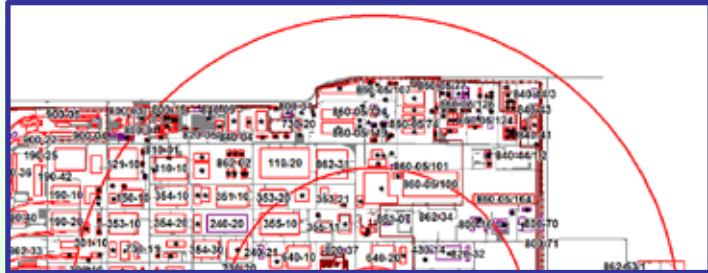
Авария № 3 – Разгерметизация фланцевых соединений насосов Р-1003/1.2



Авария № 2 – Разгерметизация емкости V-1001 с выбросом паров и проливом бензиновой фракции

Моделирование зон поражающих факторов и оценка последствий аварий в контуре колонны Т-1001

Авария № 1



Вероятность аварии – $5,5661 \times 10^{-5}$ в год.
Количество вещества участвующего в аварии – 60,0 т.
Количество вещества участвующего в создании поражающих факторов – 6,0 т.
Вероятность реализации сценария ($C_{4,1}$), взрыв первичного облака – $4,996 \times 10^{-7}$ в год.
Уровень аварии при данном сценарии – Б.
Поражающие факторы аварии – комбинированное воздействие.
R1 - зона полного разрушения зданий (зона смертельного поражения), м – 110,7.
R2 - зона сильных повреждений зданий (зона смертельного поражения), м – 163,2.
R3 - зона средних повреждений зданий (зона санитарных поражений), м – 279,7.
R4 - зона умеренных повреждений зданий (зона санитарных поражений), м – 815,8 определяет уровень аварии.
R5 - зона малых повреждений зданий (зона косвенных поражений), м – 1631,6.
Величина ожидаемого социального риска – $9,821 \times 10^{-8}$ чел/год.
Ожидаемое число смертельно пораженных – 52 чел.

Авария № 1

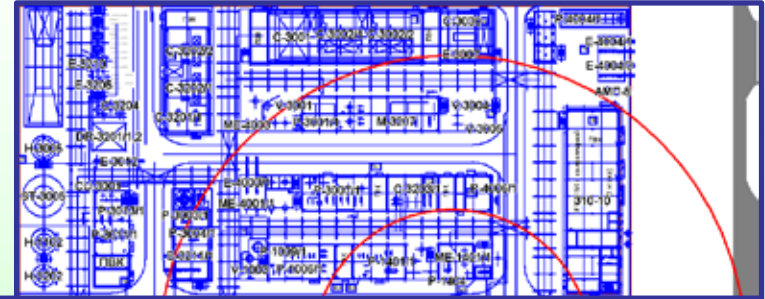
Гибель (санит.потери):

C2 – 0 (2) чел.
C3 – 9 (23) чел.
C4 – 52 (67) чел.

Материальный ущерб:

C2 – 1896 тыс.руб
C3 – 1896 тыс.руб.
C4 – 8028 тыс.руб.

Авария № 2



Вероятность аварии – $6,2 \times 10^{-5}$ в год.
Количество вещества участвующего в аварии – 135,0 т.
Количество вещества участвующего в создании поражающих факторов – 4,2 т.
Вероятность реализации сценария ($C_{4,2}$, $C_{15,2}$), взрыв первичного облака – $2,11 \times 10^{-7}$ в год.
Уровень аварии при данном сценарии – Б.
Поражающие факторы аварии – комбинированное воздействие.
R1 - зона полного разрушения зданий (зона смертельного поражения), м – 98,3.
R2 - зона сильных повреждений зданий (зона смертельного поражения), м – 144,3.
R3 - зона средних повреждений зданий (зона санитарных поражений), м – 248,4.
R4 - зона умеренных повреждений зданий (зона санитарных поражений), м – 724,4 определяет уровень аварии.
R5 - зона малых повреждений зданий (зона косвенных поражений), м – 1448,7.
Ожидаемое число смертельно пораженных – 40 чел.

Авария № 3



Вероятность аварии – $5,675 \times 10^{-4}$ в год.
Количество вещества участвующего в аварии – 8,22 т.
Количество вещества участвующего в создании поражающих факторов – 0,1918 т.
Вероятность реализации сценария ($C_{8,3}$), взрыв вторичного облака – $4,66 \times 10^{-7}$ в год.
Уровень аварии при данном сценарии – Б.
Поражающие факторы аварии – комбинированное воздействие.
R1 - зона полного разрушения зданий (зона смертельного поражения), м – 22,3.
R2 - зона сильных повреждений зданий (зона смертельного поражения), м – 32,9.
R3 - зона средних повреждений зданий (зона санитарных поражений), м – 56,4.
R4 - зона умеренных повреждений зданий (зона санитарных поражений), м – 164,4 определяет уровень аварии.
R5 - зона малых повреждений зданий (зона косвенных поражений), м – 328,7.
Ожидаемое число смертельно пораженных – 2 чел.

Авария № 3

Гибель (санит.потери):

C3 – 0 (1) чел.
C4 – 1 (7) чел.
C7 – 0 (1) чел.
C8 – 2 (13) чел.

Материальный ущерб:

C2 – 36 тыс.руб
C3 – 36 тыс.руб.
C4 – 535 тыс.руб.
C7 – 36 тыс.руб.
C8 – 1035 тыс.руб.

Авария № 2

Гибель (санит.потери):

C3 – 5 (9) чел.
C4 – 40 (72) чел.
C7 – 0 (4) чел.
C8 – 0 (6) чел.

Материальный ущерб:

C2 – 630 тыс.руб
C3 – 4054 тыс.руб.
C4 – 21554 тыс.руб.
C7 – 530 тыс.руб.
C8 – 820 тыс.руб.

Модели надежного функционирования систем противопожарной защиты

Система водяного орошения



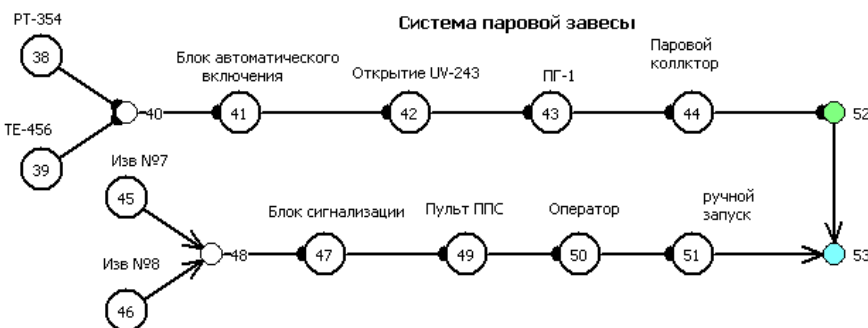
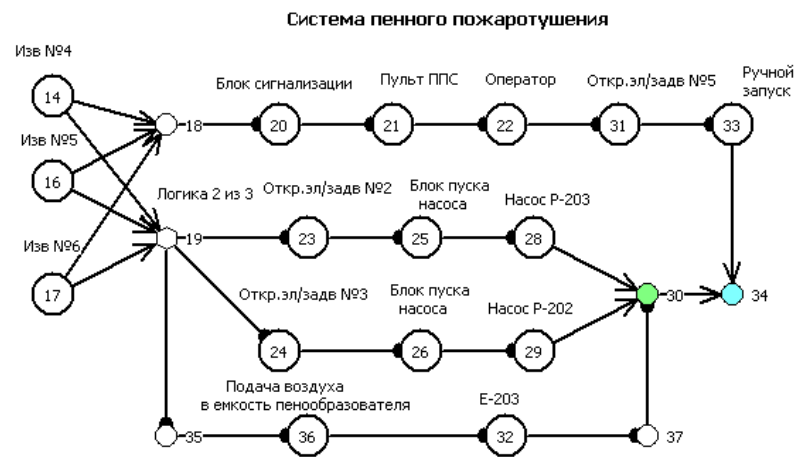
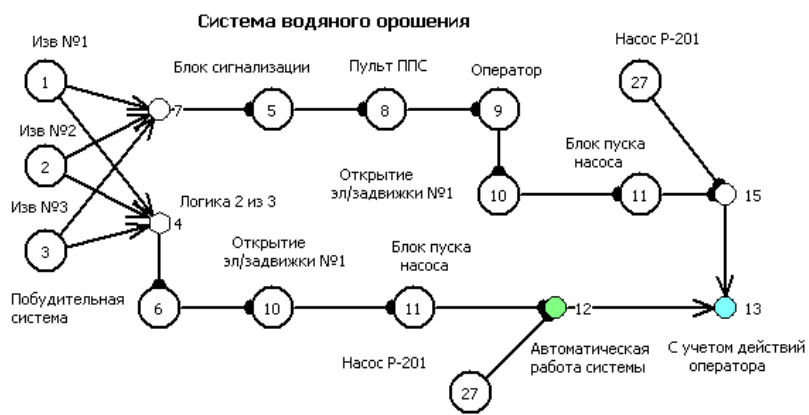
Система паровой завесы



Система пенного пожаротушения



Модели безотказного функционирования систем противопожарной защиты



Результаты оценки надежности функциональных подсистем

№ вер.	Функциональная подсистема	ВБР, Pс (год)	ВБР (О) (с оператором) Pс (год)
1	Подачи орошения в колонну Т-1001	0,862587091088	0,963501889375
2	Конденсации верхнего продукта колонны Т-1001	0,832963778775	0,984448580262
3	Регулирования температуры нижнего продукта в кубе колонны	0,995429826162	0,999729245682
4	Регулирования и контроля уровня в емкости V-1001	0,90356829726	0,97613261097
5	Регулирования и контроля давления в контуре Т-1001	0,996782477322	0,999916027935
6	Противоаварийного сброса давления	0,962105083379	-
7	Защиты насосов Р-1003/1.2 от «сухого хода»	0,978200949712	0,999208137955

Результаты оценки безопасности функционирования контура колонны Т-1001

№ аварии	Наименование аварии	Наименование показателя	Значение показателя, Р(год)
1	Разгерметизация шлемовой трубы колонны Т-1001 с выбросом паров легкой бензиновой фракции	Р _А - возникновения аварии при отказе систем ФБ.	5,5661·10⁻⁵
		Р _{АО} - возникновения аварии при учете действий оператора.	1,194·10⁻⁶
2	Разгерметизация емкости V-1001 с выбросом паров легкой бензиновой фракции	Р _А - возникновения аварии при отказе систем ФБ.	6,205·10⁻⁵
		Р _{АО} - возникновения аварии при учете действий оператора.	2,1262·10⁻⁶
3	Разгерметизация фланцевых соединений насоса Р-1003/1.2 с проливом легкой бензиновой фракции	Р _А - возникновения аварии при отказе систем ФБ.	5,6748·10⁻⁴
		Р _{АО} - возникновения аварии при учете действий оператора.	7,7273·10⁻⁵

Результаты оценки показателей устойчивости контура колонны Т-1001

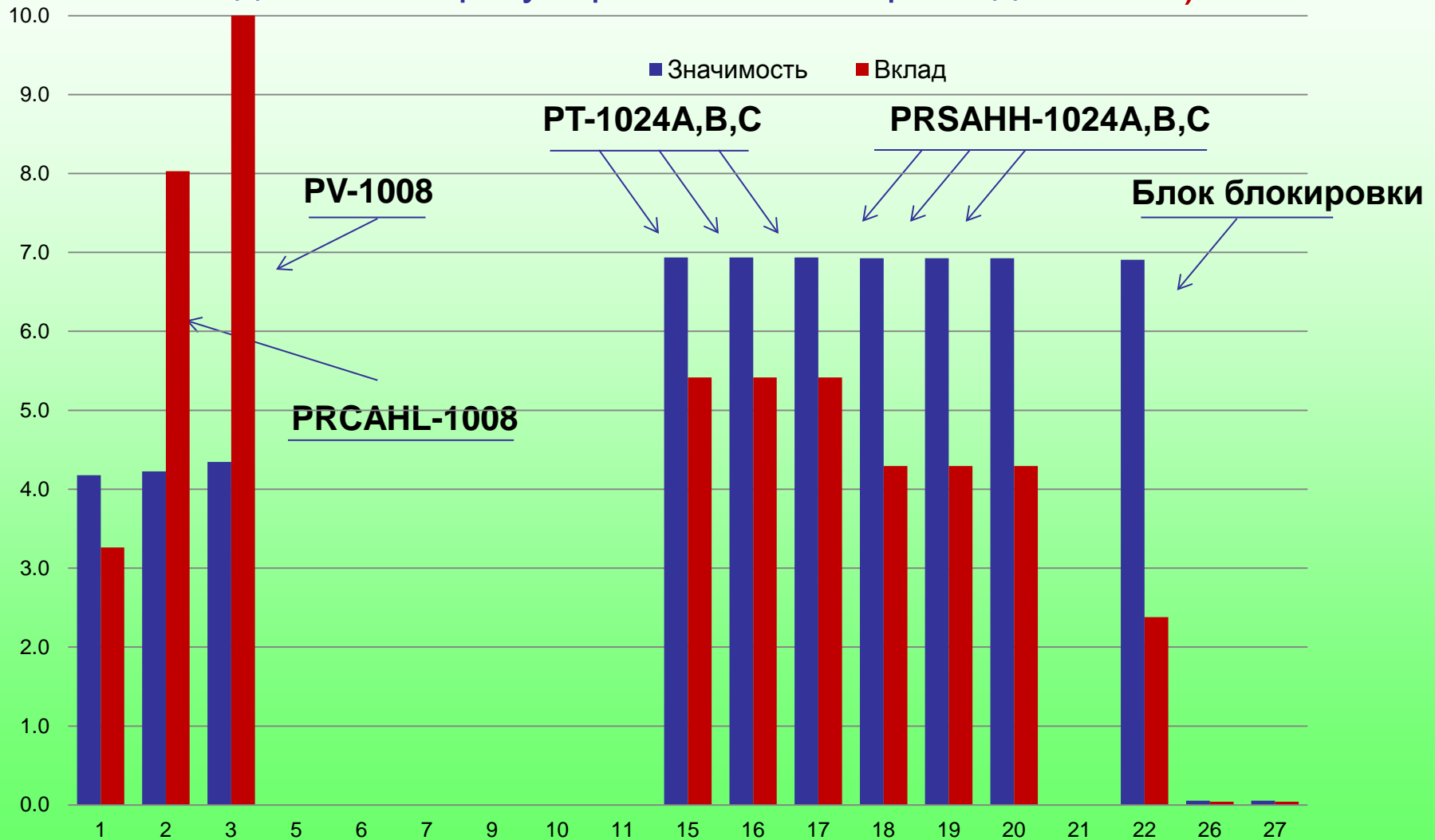
№ ав	Наименование аварии	№ сценария	Вероятность ПФ, Р _{пф}	Вероятность ПФ с ППЗ, Р _{пфс}
1	Разгерметизация шлемовой трубы колонны Т-1001 с выбросом паров легкой бензиновой фракции	C-2	$4,157 \cdot 10^{-7}$	$9,237 \cdot 10^{-8}$
		C-3	$3,331 \cdot 10^{-7}$	$3,331 \cdot 10^{-7}$
		C-4	$4,996 \cdot 10^{-7}$	$1,979 \cdot 10^{-7}$
2	Разгерметизация емкости V-1001 с выбросом паров легкой бензиновой фракции	C-3	$1,311 \cdot 10^{-7}$	$2,622 \cdot 10^{-8}$
		C-4	$4,139 \cdot 10^{-8}$	$4,139 \cdot 10^{-8}$
		C-7	$1,291 \cdot 10^{-7}$	$2,582 \cdot 10^{-8}$
		C-8	$4,007 \cdot 10^{-8}$	$4,007 \cdot 10^{-8}$
		C-10	$3,593 \cdot 10^{-8}$	$2,395 \cdot 10^{-8}$
3	Разгерметизация фланцевых соединений Р-1003/1.2 с проливом легкой бензиновой фракции	C-2	$9,931 \cdot 10^{-7}$	$2,207 \cdot 10^{-7}$
		C-7	$1,496 \cdot 10^{-6}$	$3,324 \cdot 10^{-7}$
		C-8	$4,731 \cdot 10^{-7}$	$4,731 \cdot 10^{-7}$
		C-10	$4,107 \cdot 10^{-7}$	$7,467 \cdot 10^{-8}$

Результаты оценки риска гибели персонала ($R_{Г}$) и математического ожидания ущерба ($МО$) при возникновении аварий в контуре колонны Т-1001

№ Аварии	Наименование аварии	Показатели		
		$R_{Г}$, (чел/год)	$R_{сп}$, (чел/год)	$МО$, (тыс.руб/год)
1	Разгерметизация верха колонны Т-1001 с выбросом паров легкой бензиновой фракции	$2,897 \cdot 10^{-5}$	$2,809 \cdot 10^{-4}$	$4,41 \cdot 10^{-1}$
2	Разгерметизация емкости V-1001 с выбросом паров и проливом легкой бензиновой фракции	$9,667 \cdot 10^{-6}$	$4,921 \cdot 10^{-6}$	$7,078 \cdot 10^{-1}$
3	Разгерметизация фланцевых соединений Р-1003/1.2 с проливом легкой бензиновой фракции	$1,397 \cdot 10^{-6}$	$1,234 \cdot 10^{-5}$	$2,195 \cdot 10^{-3}$

Результаты расчета показателей уязвимости функционирования подсистем

(Значимость и вклад элемента в выполнение основных функций подсистемой регулирования и контроля давления)



Рекомендации по совершенствованию безопасного функционирования контура колонны Т-1001

- **Рекомендация № 1** – Ввести блок автоматического ввода в действие резервного насоса орошения Р-1002/1,2.
- **Рекомендация №2** – Установить блокировку на остановку насосов Р-1003/1,2 по минимальному уровню в емкости V-1001.
- **Рекомендация № 3** - Ввести блок автоматического ввода в действие резервного насоса Р-1003/1,2.
- **Рекомендация № 4** – Добавить водяной холодильник для доохлаждения и конденсации верхнего продукта колонны.
- **Рекомендация № 6** – Установить датчик температуры верха колонны с сигнализацией верхнего значения температуры.
- **Рекомендация № 7** – Установить блок сигнализации минимального давления на нагнетании насоса Р-1003/1.2.
- **Рекомендация № 8** – Изменить логику срабатывания блокировки по верхнему давлению на 2 из 3.

Предлагаемая технология на основе комплексной модели обеспечения безопасности позволит:

1. Оценить показатели надежности, безопасности, стойкости, устойчивости и риска для отдельного узла, блока, установки и объекта в целом.
2. Оценить ролевые функции и вклад каждого элемента системы в общесистемные показатели безопасности.
3. Выработать рекомендации по внесению изменений в проектные решения, в мероприятия по реконструкции объекта с целью повышения безопасности эксплуатации объекта.
4. Провести исследования влияния возможных проектных решений, рекомендаций по совершенствованию безопасности на изменение показателей безопасности и риска эксплуатации объекта.
5. Определить стратегию обеспечения заданного уровня безопасности и риска эксплуатации системы за счет выбора наиболее эффективных технических мероприятий.
6. Создаст основу для процесса принятия обоснованного решения по обеспечению безопасности на всех этапах жизненного цикла объекта.



Общество с ограниченной ответственностью
«Научно-технический центр «Технологии и безопасности»
ООО «НТЦ «ТБ»

Спасибо за внимание!



197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Зверинская, д.22 лит. А, пом. 12Н,13Н, 14Н,
Тел.: (812) 237-19-39, (812) 405-88-18; Факс: (812) 237-19-09, www.ntc-tb.ru; ntc-tb@mail.ru

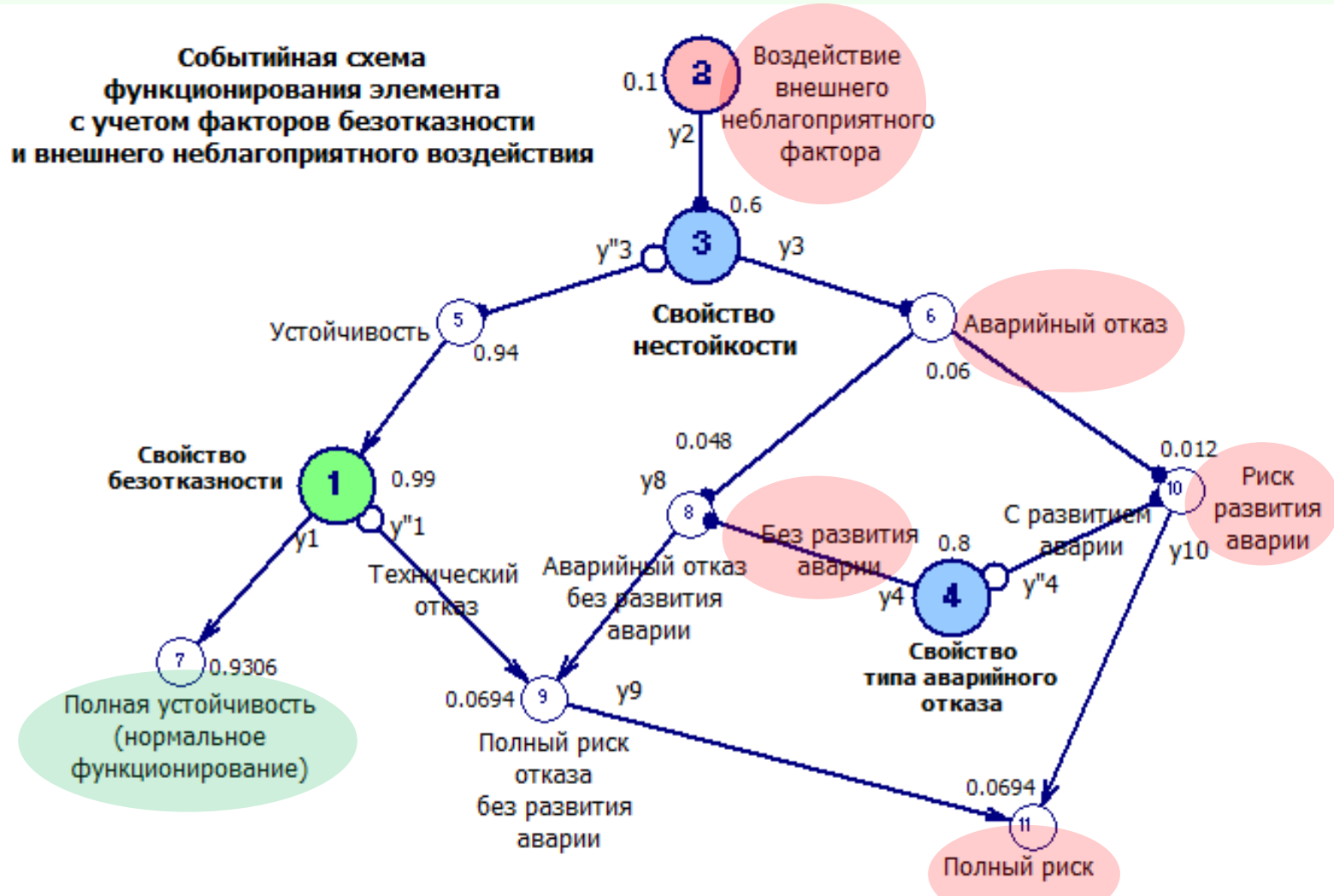
**Военный учебно-научный центр
«Военно-морская академия»**

**ОЦЕНКА РИСКА И УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ
УНИФИЦИРОВАННЫХ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ**

**Профессор ВУНЦ ВМФ «ВМА»,
д.в.н., проф. В.И. Поленин**

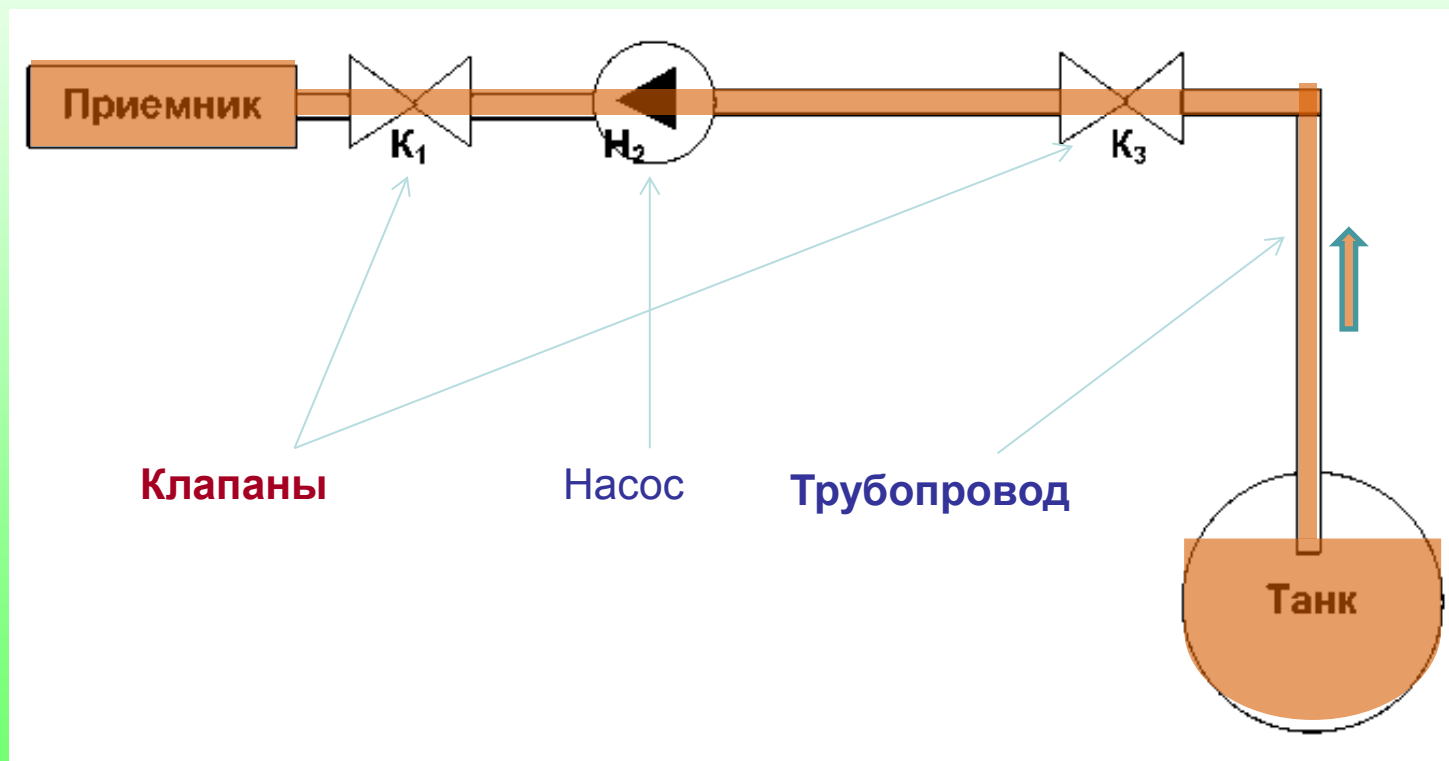
**В.И. Поленин сегодня выступает с докладом
на конференции «Роботизация Вооруженных сил
России» в Конгрессно-выставочном центре «Патриот»
(г. Кубинка, Московская область)**

Решается актуальная задача создания модульных структурных схем функционирования элементов, с использованием которых облегчается сборка структурных схем функционирования структурно-сложных объектов и систем в целом.



Приводится пример решения задачи оценки, с помощью такой модульной схемы, риска и устойчивости функционирования структурно-сложного объекта

Схема системы выгрузки ГСМ из танков



СФЦ системы выгрузки ГСМ из танков

