

Методы полуколичественного анализа риска с использованием концепции барьеров безопасности

Научный сотрудник АНО АИПР
Илья Сергеевич Жуков
e-mail: ilzhukov@safety.ru

Москва, 19.11.2018 г.

Риск ориентированный подход — концепция контрольно-надзорной деятельности Ростехнадзора.

Основа - методология анализа риска.

Ожидаемый результат - оптимизация методов и частоты проверок (проведения контрольно-надзорных мероприятий) с учетом опасностей (степени риска) контролируемых опасных производственных объектов.

Методы анализа риска

- ❑ **количественные** - результаты получаются путем расчета показателей опасностей и риска;
- ❑ **качественные** - результаты представляются в виде текстового описания, таблиц, диаграмм, экспертных оценок (типа “удовлетворительно”, “неудовлетворительно”) для ранжирования выявленных опасностей (высокий-средний-низкий). Например: методы анализа - HAZID, HAZOP, методология барьеров безопасности

На практике: Методы могут применяться изолированно или в дополнение друг к другу, причем качественные методы могут включать количественные критерии риска (по величине вероятности и тяжести последствий возможных событий).

Методы анализа риска (РБ. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах)

Метод		Стадии жизненного цикла ОПО				
		Размещение ОПО (предпроектные работы)	Проектирование	Ввод /вывод из эксплуатации	Эксплуатация	Консервация
Проверочный лист (Check-List)		+	+	+	+	+
Что будет, если...? (What-If)		0	+	++	++	+
Анализ опасностей ТП	Идентификация опасностей (HAZID)	++	+	0	0	0
	Анализ опасностей и работоспособности (HAZOP)	+	++	+	+	0
Анализ видов и последствий отказов (FMEA) и критичности отказов (FMECA)		+	++	+	+	0
Анализ деревьев отказов (FTA)		0	++	+	+	0
Анализ деревьев событий (ETA)		0	++	+	+	0
Анализ барьеров безопасности (Safety barriers analysis)		+	++	+	+	+
Количественная оценка риска аварий (QRA)		++	++	+	+	+

ДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ АВАРИИ
Процедуры эвакуации персонала

СМЯГЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ

Механические системы смягчения последствий
Электронные системы снижения опасности
Автоматические системы защиты
Контроль со стороны оператора

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ

Механические системы защиты
Электрические и/или электронные системы
противоаварийной защиты

УПРАВЛЕНИЕ и КОНТРОЛЬ

Системы регулирования
Системы аварийной сигнализации
Контроль и дистанционное управление
со стороны оператора

**Технологический
объект**

Под си
ТОЛЬКО
средств
(запорн
клапан
пожаро
чрезвы
средств
охраня
неблаго

Г не
ы и
ства
ные
емы
о
м и
ала,
ных

Многослойная система защиты. Барьеры безопасности



Слой защиты: самостоятельный механизм, снижающий риск с помощью управления (контроля) риском, его предотвращения или ослабления - **МЕТОДИКА LOPA (Анализ слоев защиты)**

Барьеры безопасности - это физические и/или не физические средства, предназначенные для предотвращения (профилактики), контроля или смягчения нежелательных событий или несчастных случаев. - **МЕТОДИКА БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ**

ВЫВОД: LOPA – Частный случай методики барьеров безопасности

БАРЬЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ. ИСТОРИЯ МЕТОДА



1. 1979 г. Квинслендский университета, Австралия. *Первое появления диаграмм по типу «галстук-бабочка» в лекциях по HAZAN*
2. 06.07.1988 г. Авария на платформе Пайпер Альфа, Англия. Взрыв из-за утечки газа, пожар. Погибло 173 рабочих (*материалы расследования аварии*).
3. 1988 г. Появление термина «барьер безопасности» как концепции для анализа риска и оценки безопасности оружейных систем .
4. 90-е годы. Royal Dutch Shell Group *адаптировала методом «галстук-бабочка» как стандарт компании*
5. Svenson, O. (1991). The accident evolution and barrier function (AEB) model applied to incident analysis in the processing industries. Risk Analysis, 11(3), 499-507.

БАРЬЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ. КЛЮЧЕВЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

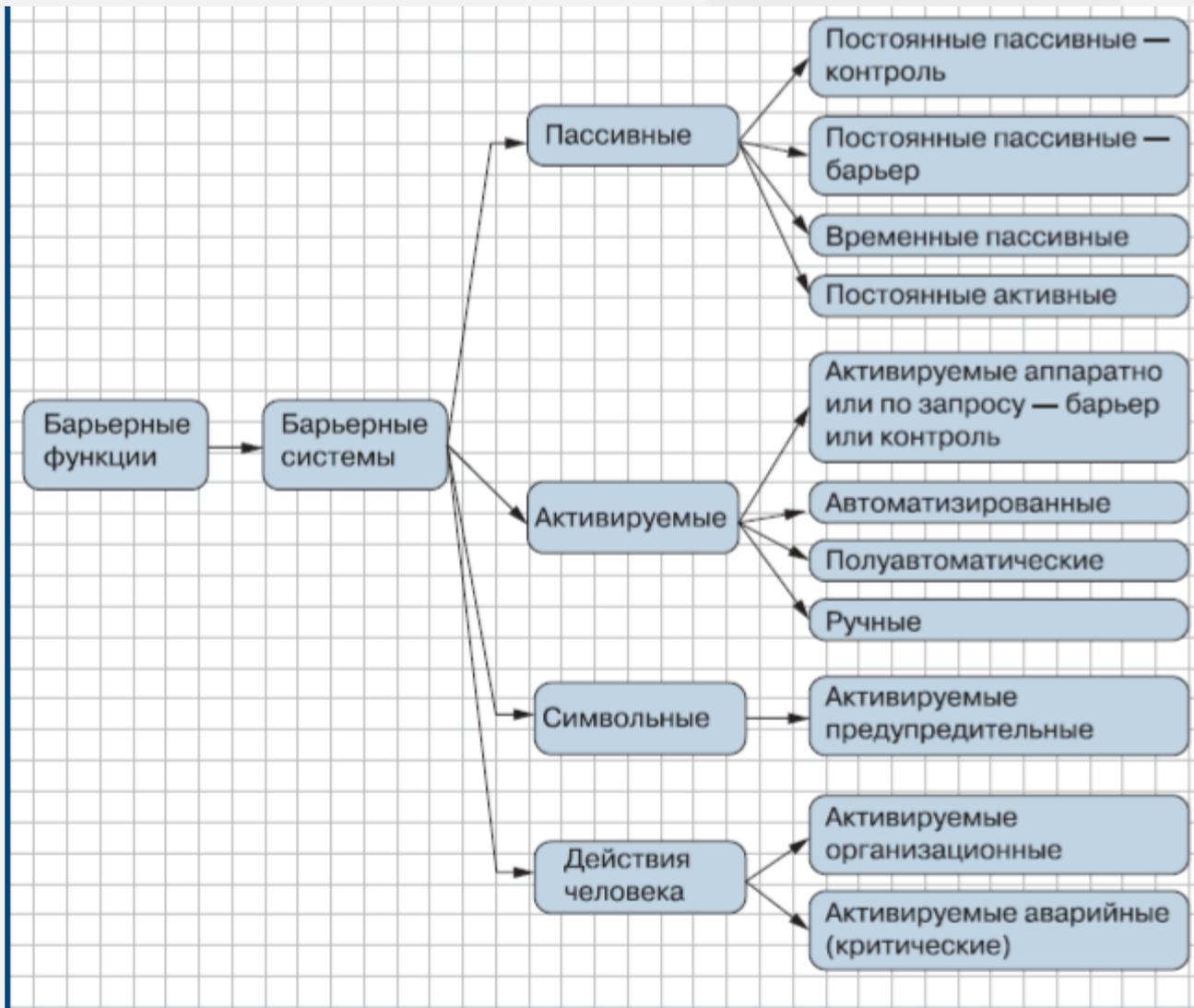


Барьеры безопасности - это физические и/или не физические средства, предназначенные для предотвращения (профилактики), контроля или смягчения нежелательных событий или несчастных случаев.

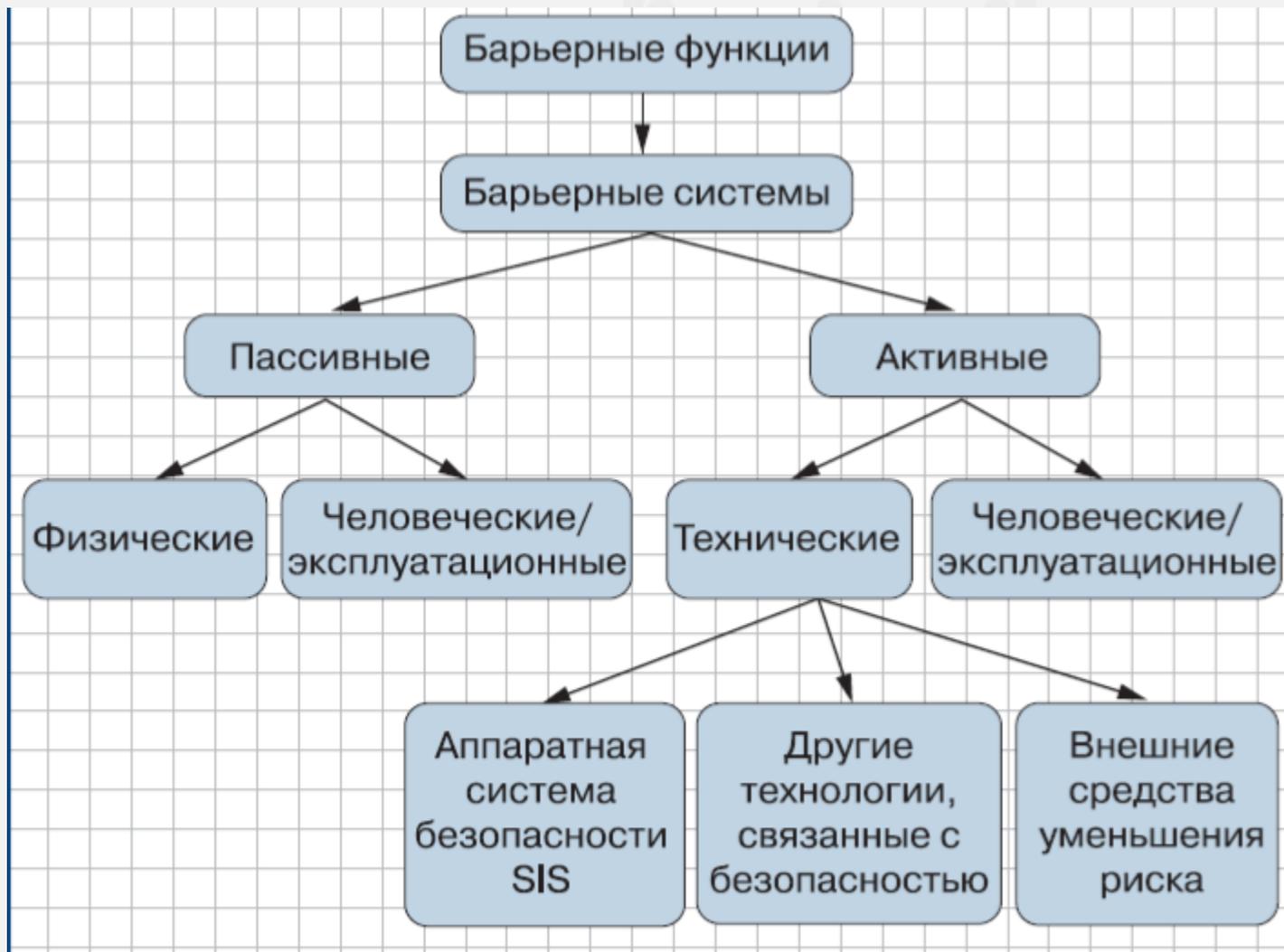
Барьерная функция – это функция, направленная на предотвращение, контроль или смягчение нежелательных событий или аварий.

Барьерная система – это такая система, которая была спроектирована и реализована для исполнения одной или нескольких барьерных функций.

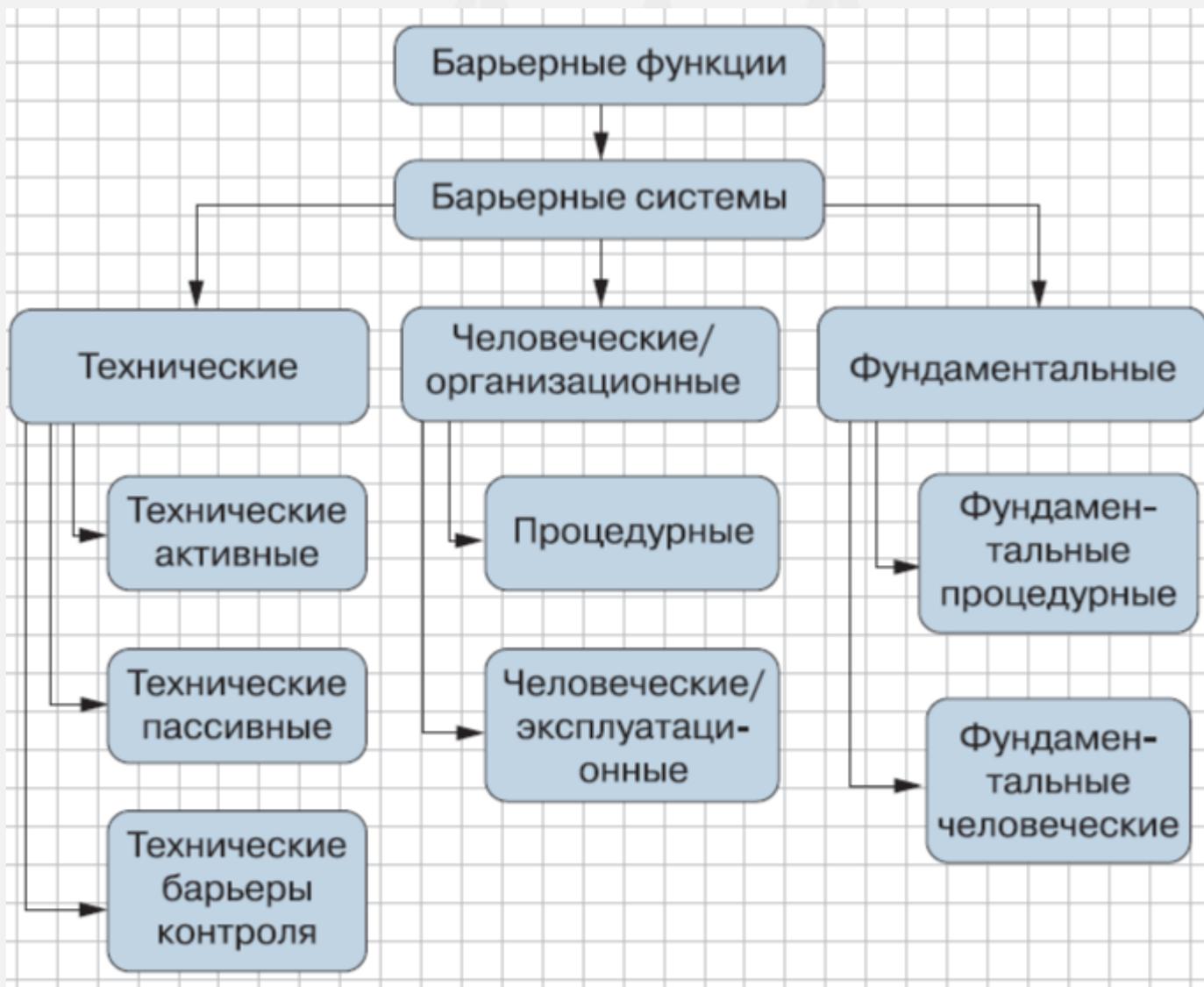
Классификация барьеров безопасности по методике ARAMIS



Классификация барьеров безопасности по проф. Склету



Классификация барьеров безопасности по по HSE (UK)



2 основных типа барьеров безопасности



Большинство активных барьеров безопасности включают в себя несколько компонентов или элементов для выполнения барьерной функции

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ



1) Функциональность \ эффективность

способность исполнять обозначенную функцию в заданных технических, природных и эксплуатационных условиях.

2) Пригодность \ надежность

способность выполнять функцию при имеющихся в наличии функциональных возможностях и скорости реагирования.

3) Скорость действия

временной промежуток от возникновения отклонения, которое должно активировать барьер, до выполнения барьером обозначенной функции.

4) Эксплуатационная надежность

способность противостоять имеющимся нагрузкам при аварии и функционировать как следует во время аварии.

5) Иницирующее событие или условие

событие или условие, которое активирует барьер.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДИКИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ БАРЬЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ – СЛЕДУЮЩАЯ СТАДИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ



- *Диаграммы барьеров безопасности (основаны на той же логике, что и «дерево отказов», «дерево событий») – рекомендуется использовать классификацию барьеров по ARAMIS;*
- *Барьерный и функциональный анализ рисков выброса углеводородов (БФАР-Выброс)[Barrier and operational risk analysis of hydrocarbon releases (BORA-Release)] – рекомендуется использовать классификацию барьеров по Склету;*
- *Методология «галстук-бабочка» - в одном из последних вариантов рекомендуется использовать классификацию барьеров по HSE;*
- *LAYER OF PROTECTION ANALYSIS (LOPA – анализ слоев защиты)*

БАРЬЕРНЫЕ БЛОК-ДИАГРАММЫ.

Основные сведения о методе



- *Применяются в рамках метода «анализ видов и последствий отказов» (FMEA)*
- *Цель: отразить функционирование барьеров безопасности (методов и средств защиты) при проведении качественного и количественного анализа риска*
- *При построении барьерных блок-диаграмм используется логика дерева отказов*
- *Каждый барьер безопасности представляет собой логический оператор «И»*

БАРЬЕРНЫЕ БЛОК-ДИАГРАММЫ.

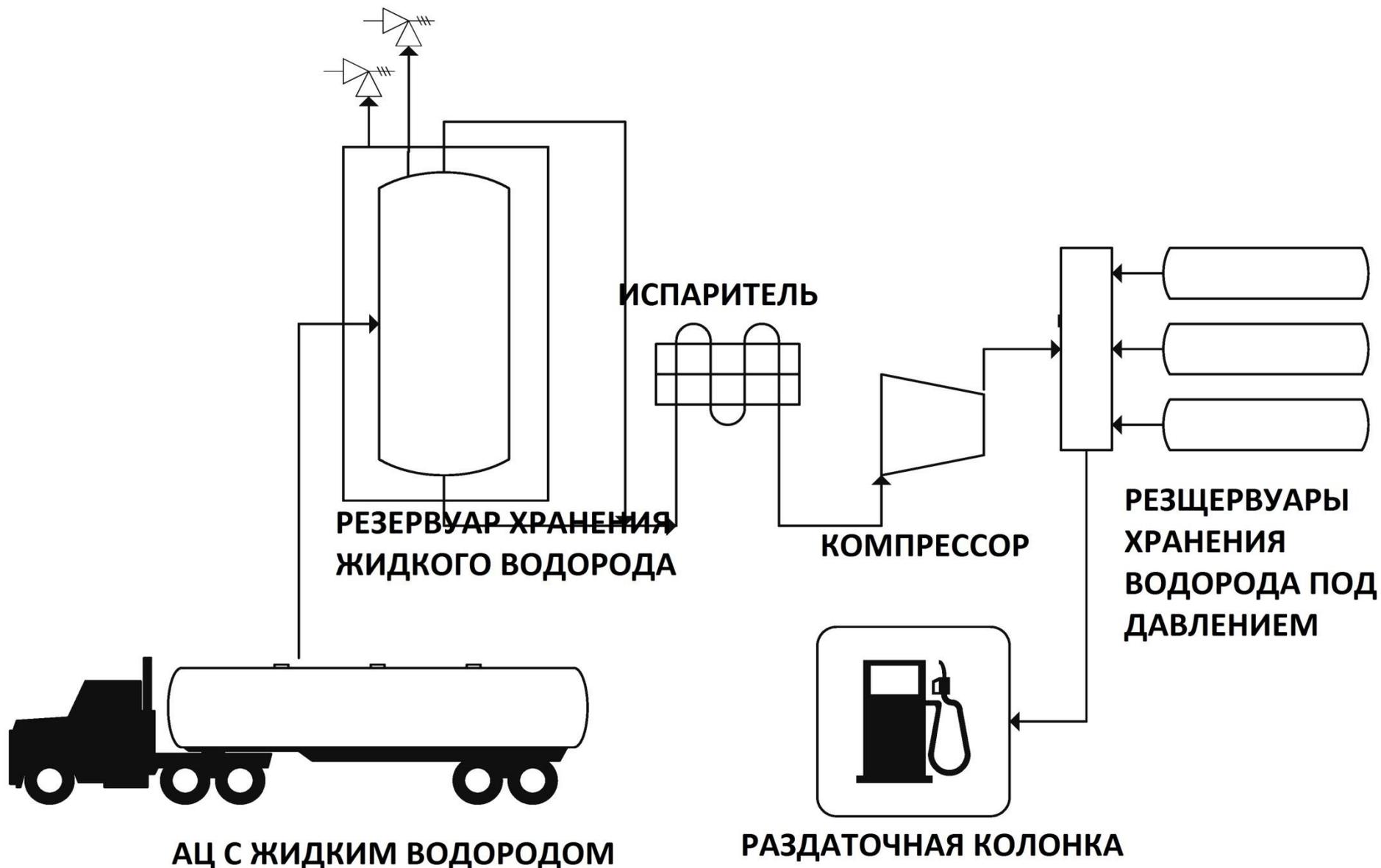
Пример



- *Применяются в рамках метода «анализ видов и последствий отказов» (FMEA)*
- *Цель: отразить функционирование барьеров безопасности (методов и средств защиты) при проведении качественного и количественного анализа риска*
- *При построении барьерных блок-диаграмм используется логика дерева отказов*
- *Каждый барьер безопасности представляет собой логический оператор «И»*
- *Исходные данные: частоты исходных событий и отказов барьеров безопасности (справочные).*

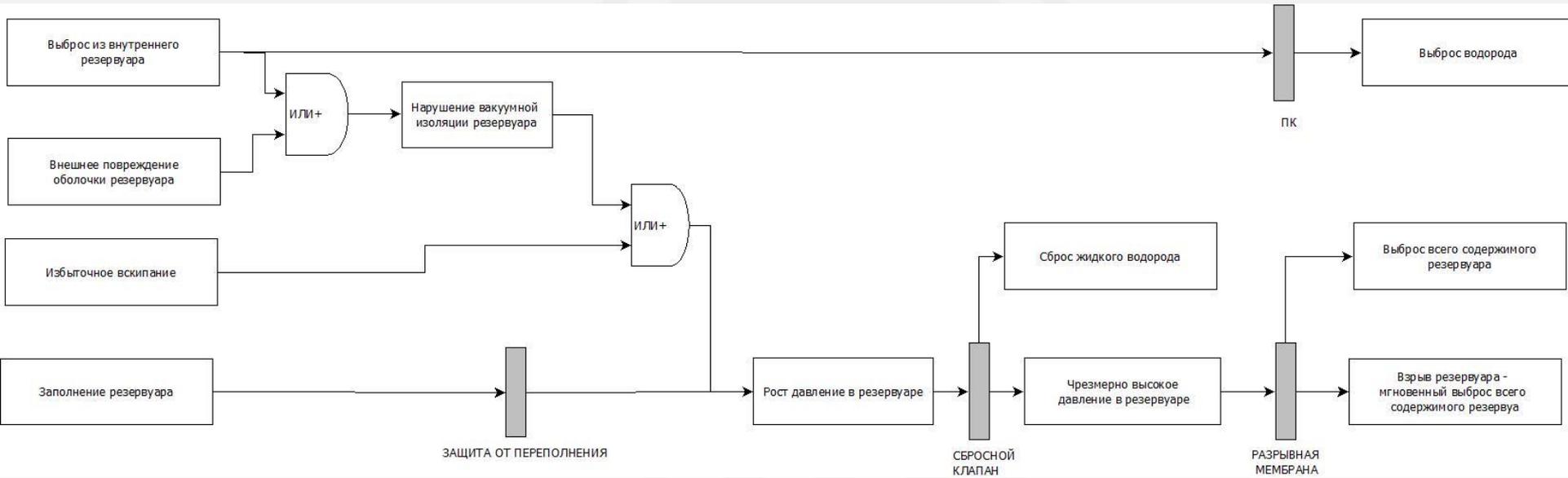
БАРЬЕРНЫЕ БЛОК-ДИАГРАММЫ.

Пример



БАРЬЕРНЫЕ БЛОК-ДИАГРАММЫ.

Пример



БАРЬЕРНЫЕ БЛОК-ДИАГРАММЫ.

Выводы



Достоинства метода:

- Барьерные блок-диаграммы более наглядны и информативны по сравнению с обычными деревьями отказов и событий.
- учет существующих мер и средств защиты (барьеров безопасности) при анализе риска
- отсутствие сложных вычислений
- возможность оценить изменение показателей риска до и после применения мер и средств защиты(барьеров безопасности)

Недостатки метода:

- Не полностью учитывается специфика объекта, результаты получают на основании справочных данных.
- Похожие же результаты можно получить с использованием классического дерева отказов.

Барьерный и функциональный анализ рисков выброса углеводородов (БФАР-Выброс). Основные сведения о методе

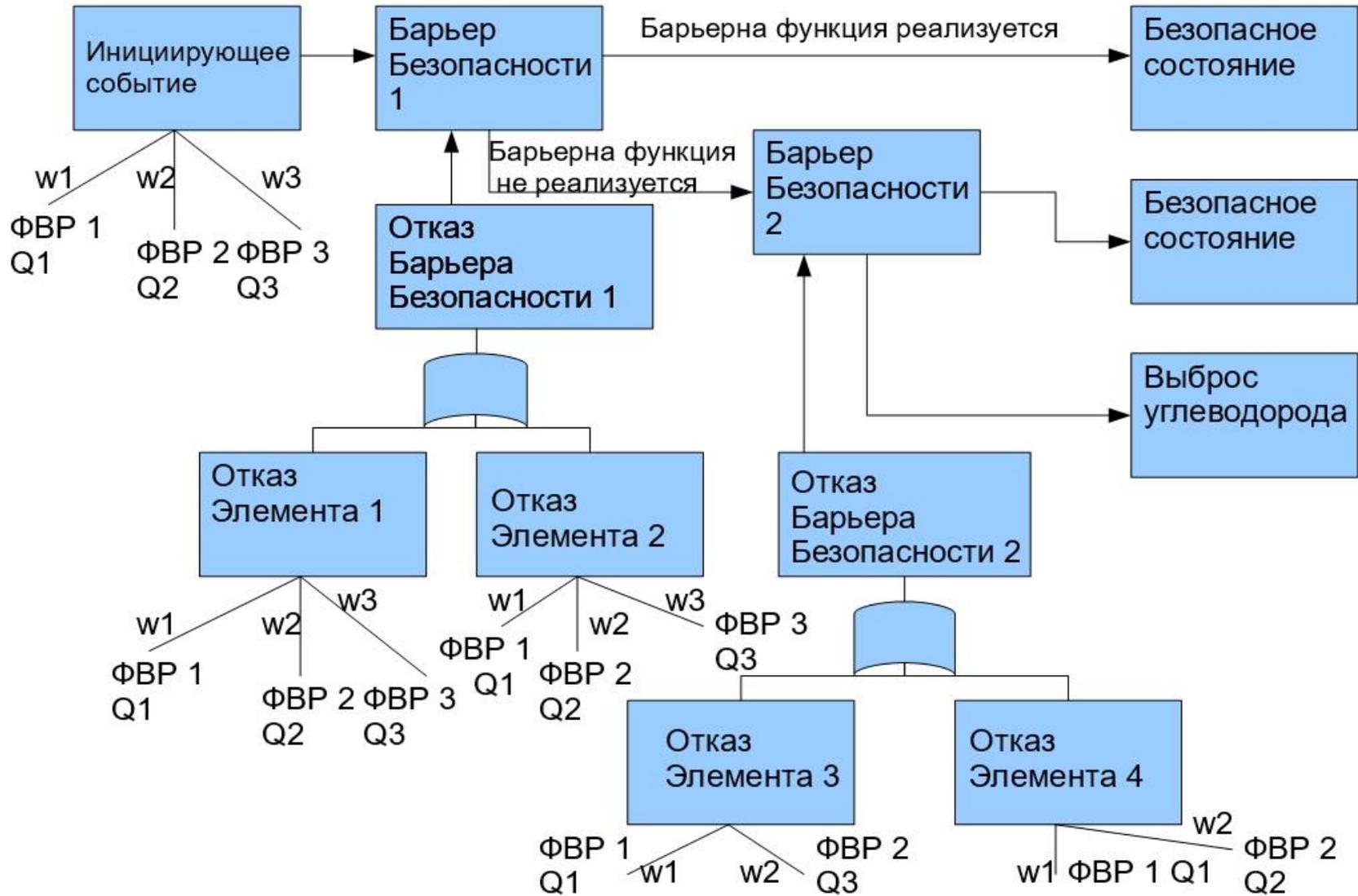
- *Дата разработки метода: 2005 г.*
- *Цель: учесть функционирование барьеров безопасности и реальное состояние объекта при проведении качественной и количественной оценки риска*
- *В рамках метода авторами выделено:*
 - *20 основных сценариев выброса (для платформ)*
 - *27 факторов влияния на риск*
- *Исходные данные: частоты исходных событий и отказов барьеров безопасности (справочные), результаты проверок, аудитов, инспекций, деятельности СУПБ, экспертиз, проведенных на предприятии*

Барьерный и функциональный анализ рисков выброса углеводородов (БФАР-Выброс). Основные этапы исследования



- 1) Разработка базовой модели риска, включающая в себя сценарии выброса углеводорода и барьеры безопасности*
- 2) Моделирование деятельности барьеров безопасности*
- 3) Первичный расчет частоты выброса с использованием справочных данных*
- 4) Разработка диаграмм влияния риска*
- 5) Балльная оценка факторов, влияющих на риск (ФВР)*
- 6) Взвешивание факторов, влияющих на риск (ФВР)*
- 7) Определение исходных данных, присущих конкретному объекту*
- 8) Перерасчет частоты выброса с использованием исходных данных, присущих конкретному объекту*

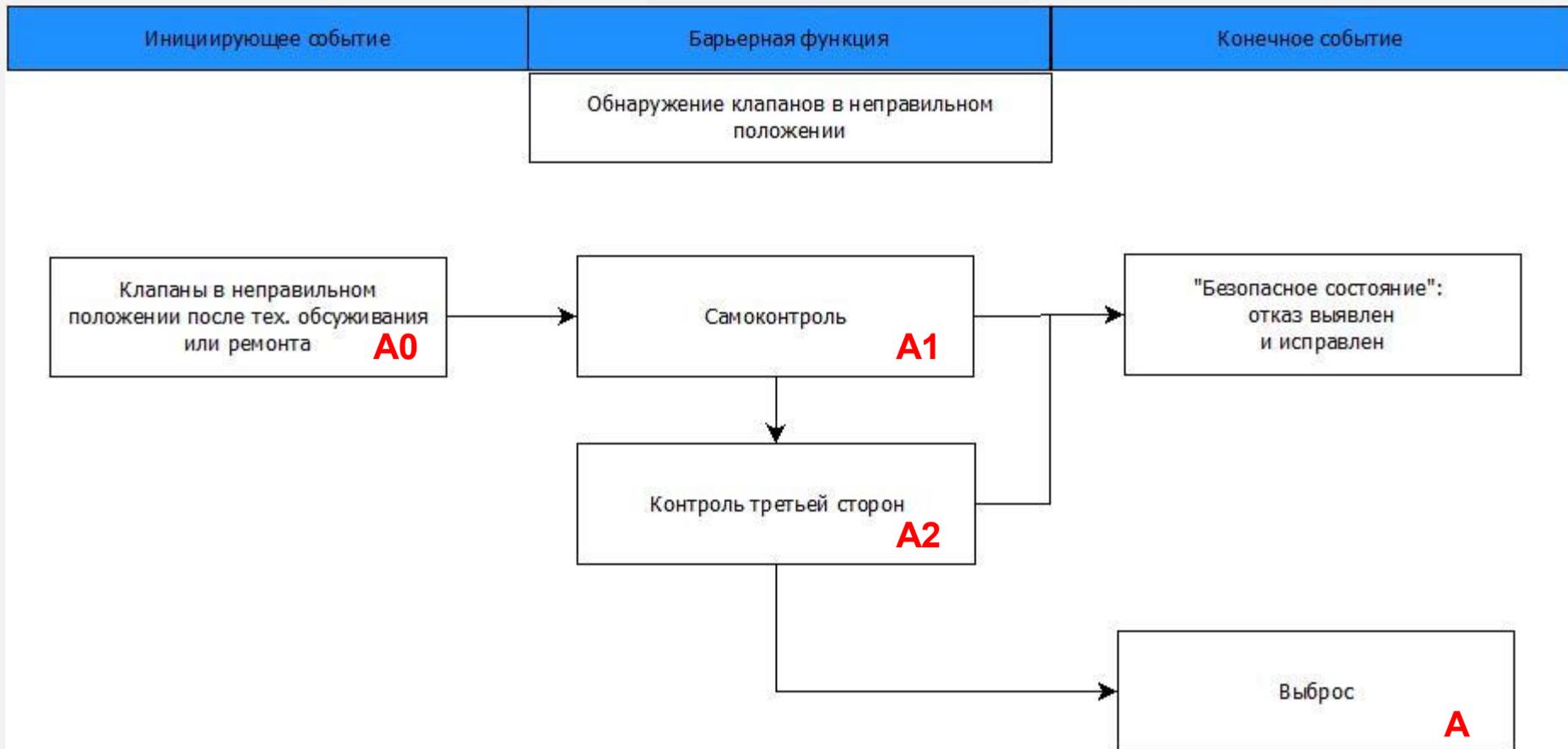
АЛГОРИТМ БФАР-ВЫБРОСА



БФАР-Выброс. Пример.

Барьерная блок-диаграмма

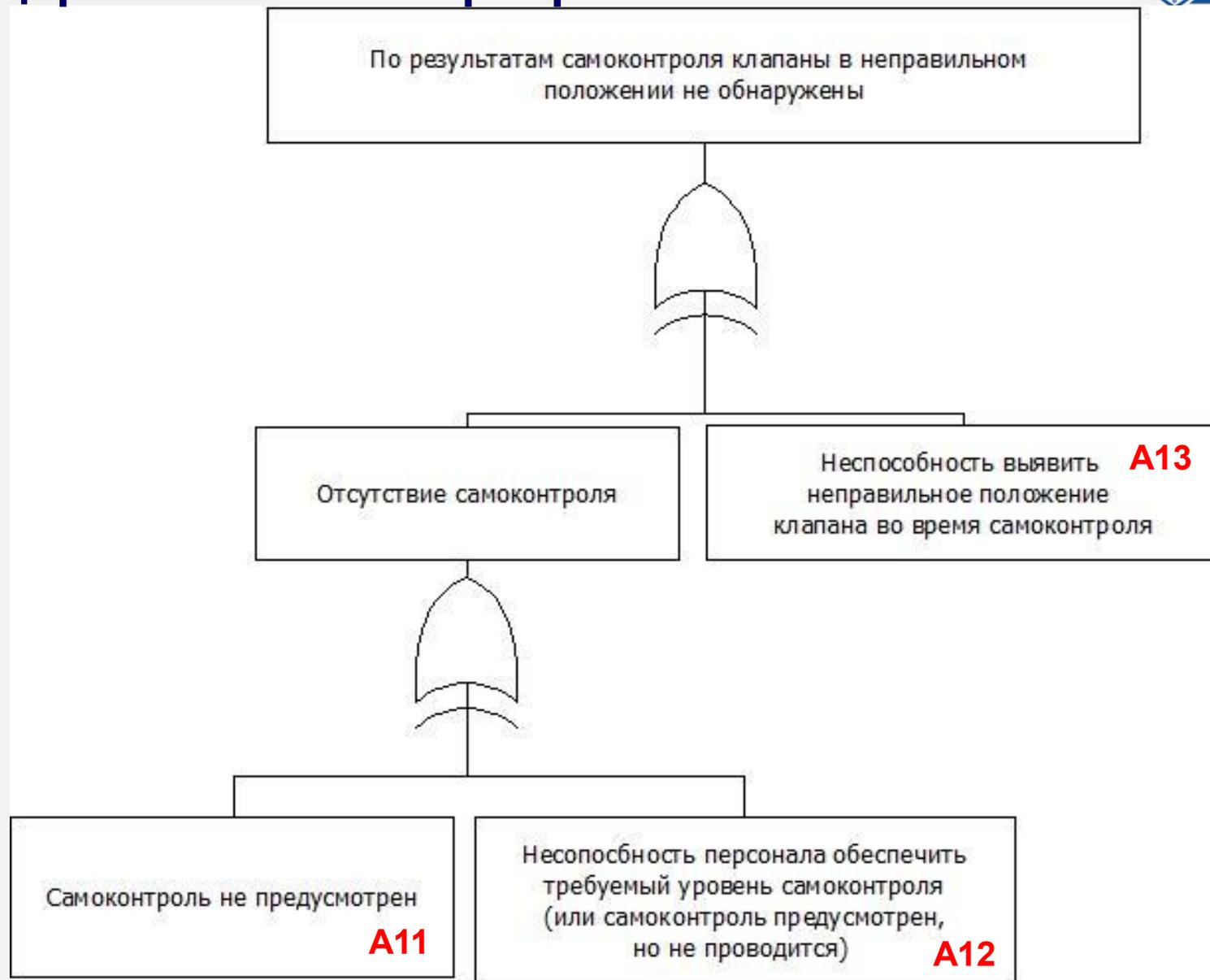
Сценарий: Выброс УВ из-за неправильного положения клапанов

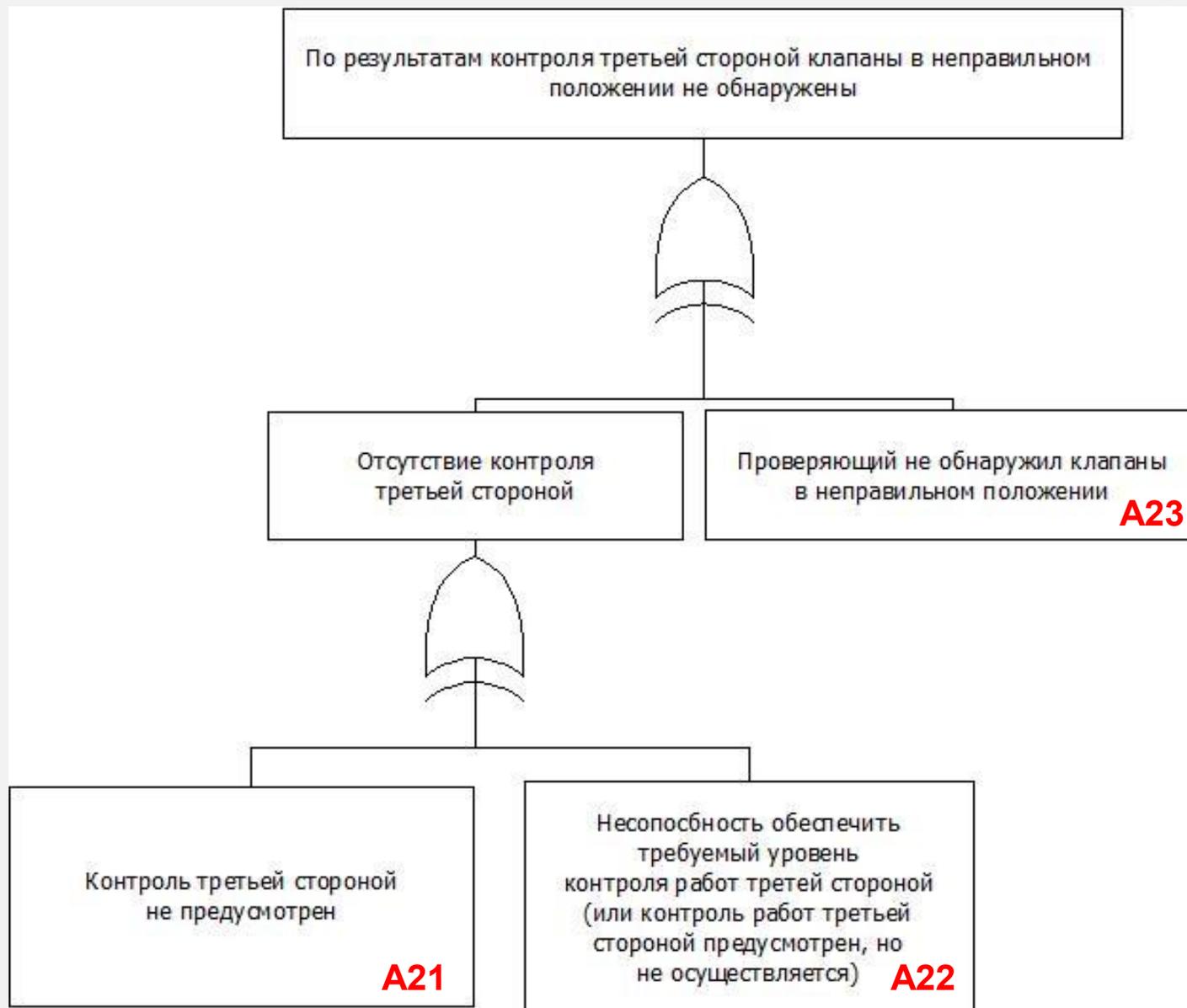


$$\lambda(A) = P(A0) \times P(A1) \times P(A2)$$

БФАР-Выброс. Пример.

Дерево отказов Барьера безопасности А1





БФАР-Выброс. Пример.

Диаграмма влияния на риск для базового события



БФАР-Выброс. Пример.

Диаграмма влияния на риск для барьера безопасности А1 – событие А11



БФАР-Выброс. Пример.

Диаграмма влияния на риск для барьера безопасности А1 – событие А12



БФАР-Выброс. Пример.

Диаграмма влияния на риск для барьера безопасности А1 – событие А13



БФАР-Выброс. Пример. Бальная оценка ФВР



Универсальная схема для бальной оценки ФВР

Балл	Объяснение
A	Статус соответствует лучшему стандарту отрасли
B	Статус соответствует уровню, лучше чем средний по отрасли
C	Статус соответствует среднеотраслевым показателям
D	Статус соответствует уровню, немного хуже чем средний по отрасли
E	Статус соответствует уровню, значительно хуже чем средний по отрасли
F	Статус соответствует худшим показателям в отрасли

БФАР-Выброс. Пример. «Взвешивание» ФВР



«Взвешивание» ФВР – оценка эффекта влияния ФВР на частоту возникновения события.

«Взвешивание» ФВР соответствует относительной разности в частоте события при изменении его статуса (бальной оценки) от А (лучший) до F (худший).

«Взвешивание» «ФВР» производится экспертной оценкой:

- 1. «Удельный вес» W_i остальным факторам присваивается по шкале 10-8-6-4-2*
- 2. Самому важному ФВР присваивается «удельный вес» - $W_i = 10$*
- 3. Наименее важному ФВР $W_i = 2$*
- 4. Упорядочить полученные оценки, чтобы их сумма была равна 1: $\sum (W_i) = 1$*

Определение исходных данных, присущих конкретному объекту

1. $\lambda(A) = P(A0) \times P(A1) \times P(A2)$

2. Расчет $P_{rev}(A0)$, $P_{rev}(A1)$ и $P_{rev}(A2)$

3. $\lambda_{rev}(A) = P_{rev}(A0) \times P_{rev}(A1) \times P_{rev}(A2)$

$$P_{rev}(A) = P_{ave}(A) \cdot \sum_{i=1}^n w_i \cdot Q_i$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

$P_{ave}(A)$ – среднеотраслевая, справочная частота события А

При помощи экспертной оценки обозначит верхнюю и нижнюю границы

$P_{rev}(A)$:

- $P_{low}(A)$ как нижний предел $P_{rev}(A)$ для по экспертной оценке.

- $P_{high}(A)$ как верхний предел для $P_{rev}(A)$

БФАР-Выброс. Пример. Пересчет исходных данных



$$Q_i(s) = \begin{cases} P_{low} / P_{ave} & \text{if } s = A \\ 1 & \text{if } s = C \\ P_{high} / P_{ave} & \text{if } s = F \end{cases}$$

$$Q_i(B) = \frac{P_{low}}{P_{ave}} + \frac{(s_B - s_A) \cdot (1 - \frac{P_{low}}{P_{ave}})}{s_C - s_A}$$

$$Q_i(D) = 1 + \frac{(s_D - s_C) \cdot (\frac{P_{high}}{P_{ave}} - 1)}{s_F - s_C}$$

Где:

sA = 1, sB = 2, sC = 3, sD = 4, sE = 5, sF = 6

1. $\lambda(A) = P(A0) \times P(A1) \times P(A2)$

2. Расчет $P_{rev}(A0)$, $P_{rev}(A1)$ и $P_{rev}(A2)$

3. $\lambda_{rev}(A) = P_{rev}(A0) \times P_{rev}(A1) \times P_{rev}(A2)$

БФАР-Выброс. Пример.

Сводная таблица промежуточных данных



ПРОМЫШЛЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ

Базовое событие	Pave	Plow	Phigh	Базовое событие\фактор, влияющий на риск	wi	Si	MF	Prev
A 01	nA = 28			Количество проверок трубопроводов за год				
A02	0.003	0.001	0.009	<i>P(клапанов в неправильном положении после тех. обслуживания)</i>			1.29	0.0039
				A021 Сложность процесса	2	C		
				A022 Ремонтопригодность\ доступность	2	C		
				A023 Человеко-машинный интерфейс(НМИ)	2	D		
				A023 Дефицит времени	10			
				A024 Компетентность персонала	10	C		
				A025 Допуск к работе	2	C		
A11	0			<i>P(самоконтроль не предусмотрен)</i>				
				A11 Программа для самоконтроля				
A12	0.010	0.003	0.030	<i>P(неспособность обеспечить требуемый уровень самоконтроля или самоконтроль предусмотрен, но не осуществляется)</i>			1.51	0.015
				A121Производственная практика	10	D		
				A122 Дефицит времени	10	D		
				A123 Допуск к работе	6	C		
A13	0.33	0.066	0.66	<i>P(неспособность выявить неверное положение клапана с помощью самоконтроля)</i>			1.13	0.37
				A131 Интерфейс "человек-машина" (НМИ)	2	D		
				A132 Ремонтопригодность\ доступность	2	C		
				A133 Дефицит времени	10	D		
				A134 Компетентность техника участка	10	C		
				A135 Методика самоконтроля	2	C		
				A136 Допуск к работе	4	C		

БФАР-Выброс. Пример.

Сводная таблица результатов



ПРОМЫШЛЕННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ

Событие	Исходные данные (справочные)	Пересчет по методике БФАР- выброс
P(A0)	0.084	0.11
P(A1)	0.34	0.38
P(A2)	1.0	1.0
$\lambda(A)$	<u>0.028</u>	<u>0.041</u>

БФАР-Выброс.

Выводы.



Достоинства метода:

- метод разработан для нефте- газодобывающих платформ, однако может быть применен для любых ОПО
- учет существующих мер и средств защиты (барьеров безопасности) при анализе риска
- возможность на основе справочных данных о частотах исходных событий и отказов различных элементов получить данные присущие конкретному объекту
- отсутствие сложных вычислений
- возможность оценить изменение показателей риска до и после применения мер и средств защиты(барьеров безопасности)

Недостатки метода:

- Трудоемкость возрастает с увеличением сложности объекта
- Большое количество экспертных оценок

Благодарю за внимание!



По всем вопросам вы можете обратиться:

www.safety.ru

+7 (495) 620-47-47

**Всегда актуальная информация в журнале
Ростехнадзора**



БЕЗОПАСНОСТЬ
труда в промышленности

www.btpnadzor.ru