

*CALS –  
компьютерная  
поддержка процесса  
поставок и*

*ERP – планирование  
ресурсов корпорации*

*SCM - поддержка и  
реализация  
процессов  
управления цепью  
поставок*

*CRM- управление  
взаимоотношениям  
и с заказчиками*

**Цифровая экономика**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО/МЭК  
31010 —  
2011

Менеджмент риска

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКА

ISO/IEC 31010:2009  
Risk management — Risk assessment techniques  
(IDT)

Издание официальное

Assessment – оценка, суждение,

## **Менеджмент риска включает применение логических и системных методов для:**

- обмена информацией и консультации
- установления области применения при анализе риска, соответствующего любой деятельности, процессу, функции или продукции
- мониторинга и анализа риска
- регистрации полученных результатов и составление отчетности

**Оценка риска – часть менеджмента риска.**

**Это структурированный процесс в рамках которого:**

- **идентифицируются способы достижения поставленных целей;**
- **оценивается вероятность возникновения опасных событий;**
- **осуществляется анализ последствий;**

**Риск - сочетание вероятности и последствий опасных событий!**

**Опасность – (Hazard)** - Потенциальный источник возникновения ущерба.

Опасность является источником риска применительно к аспектам безопасности.

**Опасный отказ – (dangerous failure)** – отказ объекта, возможными последствиями которого являются причинение вреда жизни или здоровью, имуществу или окружающей среде.

(СТО РЖД 02.044-2011. УРРАН)

**Опасность аварии** – возможность причинения ущерба человеку, имуществу и (или) окружающей среде вследствие разрушения сооружений и (или) технических устройств, взрыва и (или) выброса опасных веществ на ОПО.

Опасность аварии на ОПО обусловлена наличием на них опасных веществ, энергомассообменными свойствами технологических процессов, ошибками проектирования, строительства и эксплуатации,

**отказами технических устройств и систем**, а также

нерасчетными (запроектными) внешними природными техногенными и



Оценка риска позволяет ответить на вопросы.

1. Какие события могут произойти и их причина (идентификация опасных событий)?

2. Какова вероятность возникновения опасных событий?

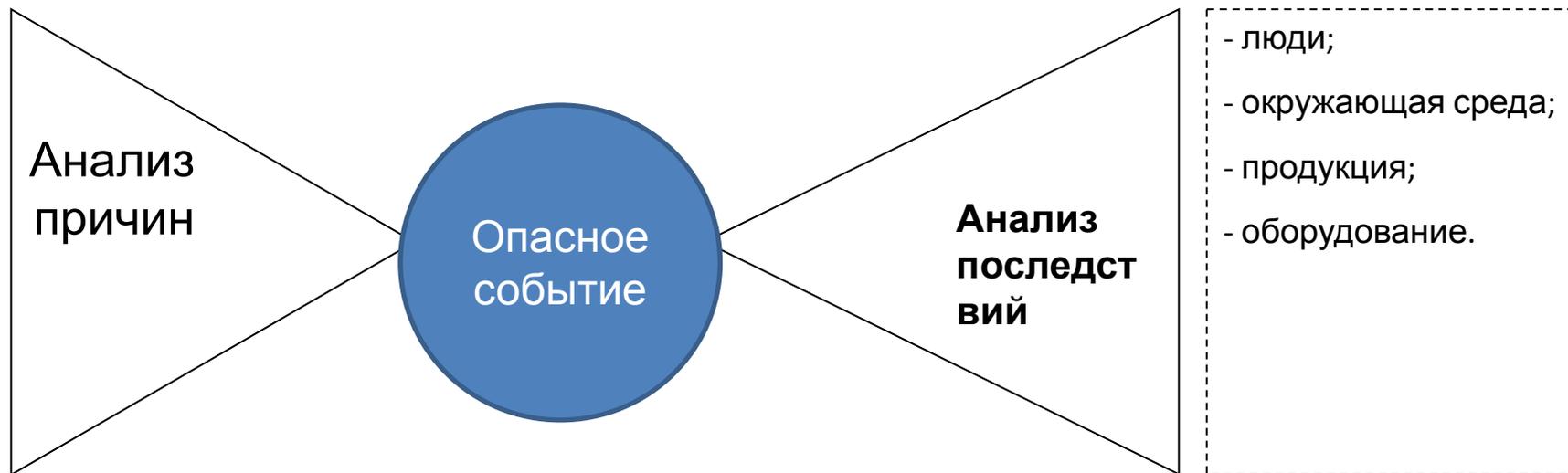
3. Каковы последствия опасных событий?

**4. Какие факторы могут уменьшить вероятность возникновения опасных событий и сократить неблагоприятные последствия?**

|   |  |   |
|---|--|---|
| Наименование метода   | Анализ воздействия на бизнес (BIA)                               | Анализ скрытых дефектов (SA)              |
| Мозговой штурм  | Анализ первопричины (RCA)  | Марковский анализ                         |
| Структурированные или частично структурированные интервью       | Анализ видов и последствий отказов (FMEA)                        | Моделирование методом Монте-Карло         |
| Метод Дельфи  | Анализ дерева неисправностей (FTA)                               | Байесовский анализ и сети Байеса          |
| Контрольные листы   | Анализ дерева событий (ETA)                                      | Кривые FN                                 |
| Предварительный анализ опасностей (PHA)                         | Анализ причин и последствий                                      | Индексы риска                             |
| Исследование опасности и работоспособности (HAZOP)              | Причинно-следственный анализ                                     | Матрица последствий и вероятностей        |
| Анализ опасности и критических контрольных точек (HACCP)        | Анализ уровней защиты (LOPA)                                     | Анализ эффективности затрат (CBA)         |
| Оценка токсикологического риска                                 | Анализ дерева решений  | Мультикритериальный анализ решений (MCDA) |
| Структурированный анализ сценариев методом «что, если?» (SWIFT) | Анализ влияния человеческого фактора (HRA)                       |   |
| Анализ сценариев  | Анализ «галстук-бабочка»   |   |
|   | Техническое обслуживание, направленное на обеспечение надежности |   |

31 метод!!!

# Метод «галстук-бабочка» {Bow-tie}



- АДН;
- ССН (СФЦ);
- Диаграммы влияний;
- АВПКО;
- Статистический анализ данных эксплуатации.

- контрольный опрос (...что если...)
- HAZOP (HAZID);
- АВПКО;
- Статистический анализ данных эксплуатации.

- АДС;
- СФЦ;
- Модели последствий (ПО «Токси» – Ростехнадзор);
- АВПКО;
- Имитационное моделирование

## Методы анализа риска аварий

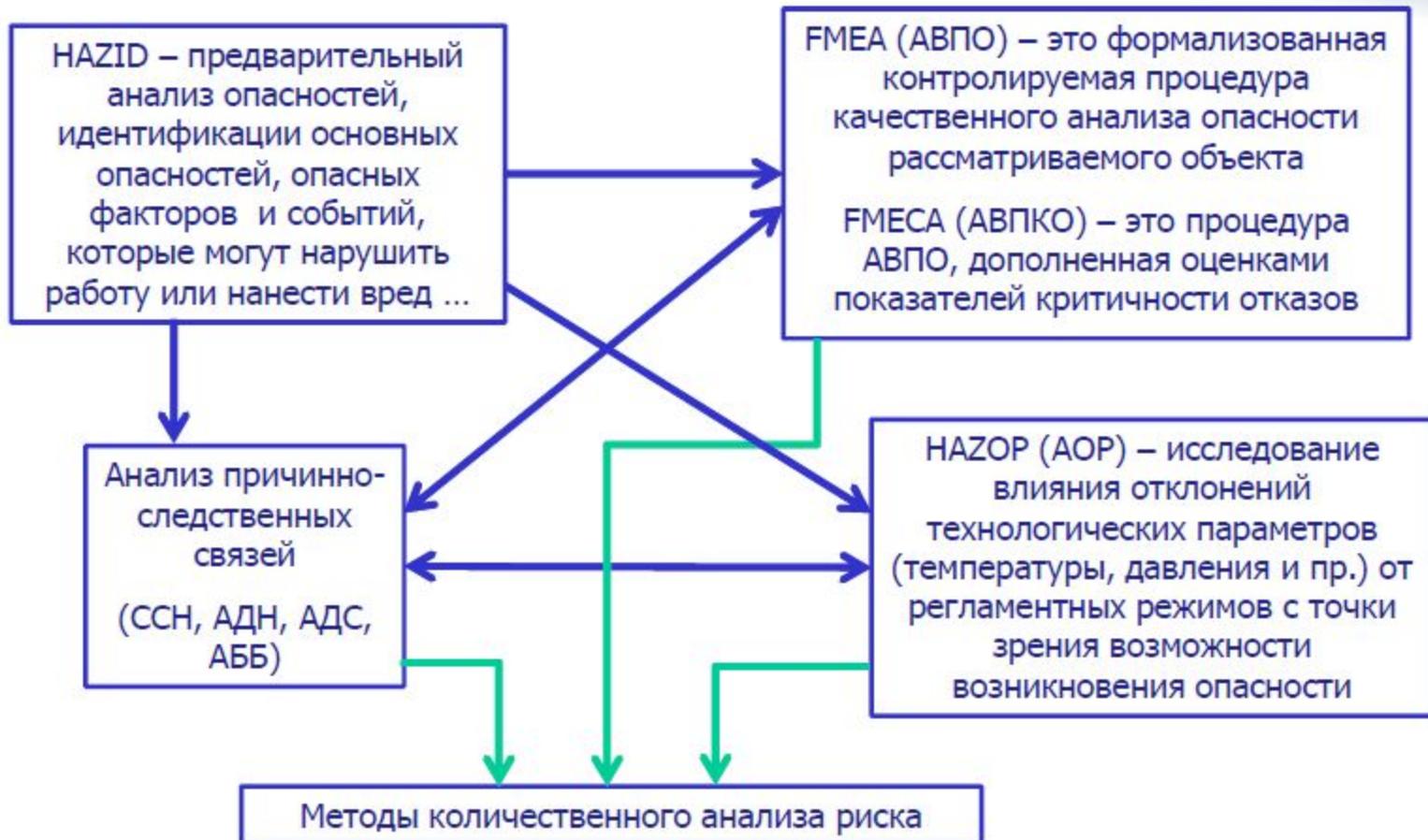
| Метод   | Вид деятельности                            |                     |  |                   |                         |
|---|---|---------------------|--|-------------------|-------------------------|
|   | Размещение ОПО<br>(предпроектные<br>работы) | Проектиро-<br>вание | Ввод/<br>вывод из<br>эксплуа-<br>тации | Эксплуа-<br>тация | Рекон-<br>струк-<br>ция |
| Проверочный лист  | +   | +                   | +                                      | +                 | +                       |
| Анализ "Что будет, если...?"  | 0   | +                   | ++                                     | ++                | +                       |
| Предварительный анализ опасностей<br>(идентификации опасностей) (HAZID) | ++  | +                   | 0                                      | 0                 | +                       |
| Анализ опасности и<br>работоспособности (HAZOP)                         | +   | ++                  | +                                      | +                 | ++                      |
| Анализ видов и последствий отказов<br>(АВПО/АВПКО или FMEA/FMECA)       | +   | ++                  | +                                      | +                 | ++                      |
| Анализ деревьев отказов и событий                                       | 0   | ++                  | +                                      | +                 | ++                      |
| Анализ барьеров безопасности  | +   | ++                  | +                                      | +                 | +                       |
| Количественный анализ риска   | ++  | ++                  | +                                      | +                 | +                       |

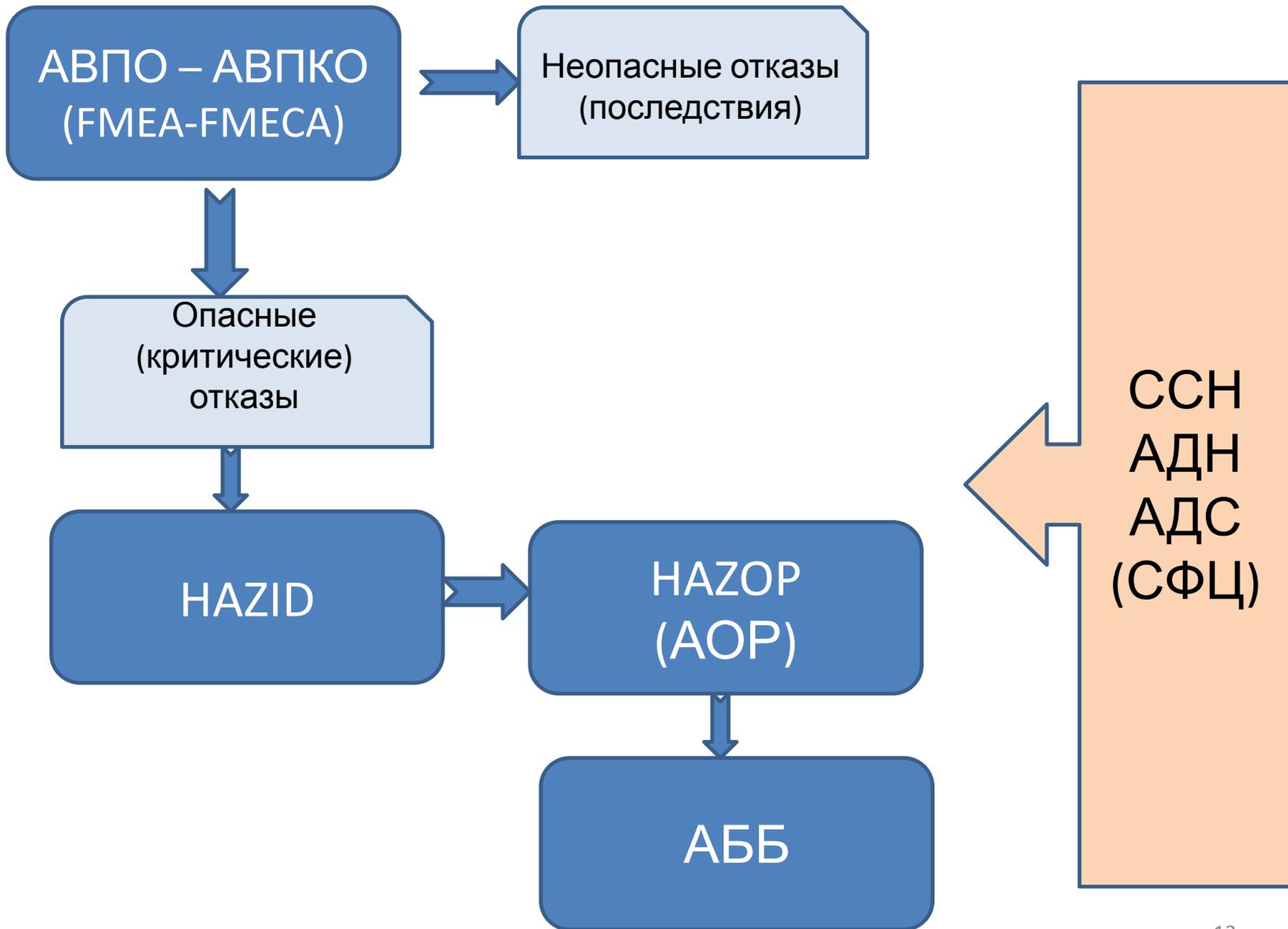
## Характеристика применимости методов оценки риска из ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 (фрагмент таблицы)

| Наименование метода                                | Процесс оценки риска |              |                              |               |                            |
|--|----------------------|--------------|------------------------------|---------------|----------------------------|
|  | Идентификация риска  | Анализ риска |                              |               | Сравнительная оценка риска |
|  |                      | Последствие  | Вероятностные характеристики | Уровень риска |                            |
| Предварительный анализ опасностей (HAZID)          | SA                   | NA           | NA                           | NA            | NA                         |
| Исследование опасности и работоспособности (HAZOP) | SA                   | SA           | A                            | A             | A                          |
| Анализ видов и последствий отказов (FMEA)          | SA                   | SA           | SA                           | SA            | SA                         |
| Анализ дерева неисправностей (FTA)                 | A                    | NA           | SA                           | A             | A                          |
| Анализ дерева событий (ETA)                        | A                    | SA           | A                            | A             | NA                         |
| ...  |                      |              |                              |               |                            |

обозначения: SA – строго применим  
A – применим  
NA – не применим

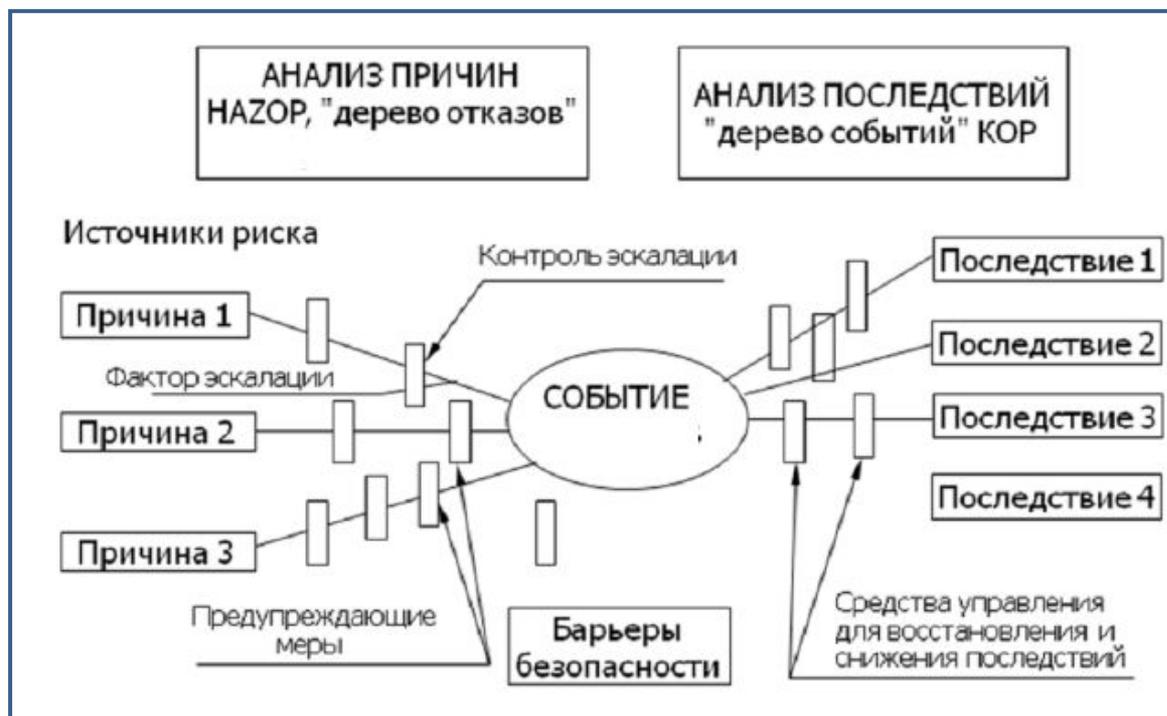
## Взаимосвязь методов анализа риска



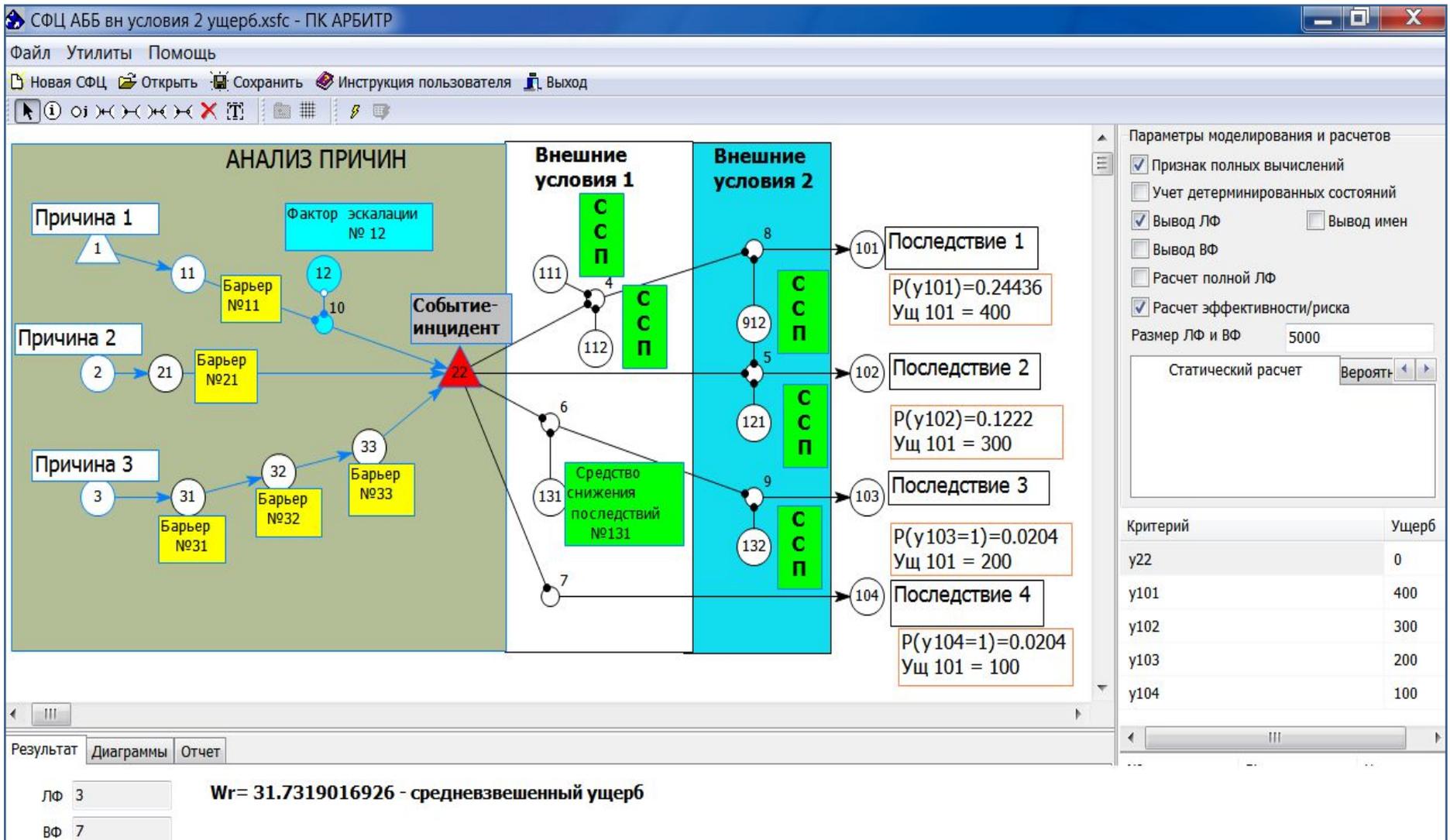


Руководство по безопасности. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах.

Приказ №144 от 11.04.2016. Ростехнадзор РФ.



# СФЦ для иллюстрации метода анализа барьеров безопасности



Открытое акционерное общество  
«Российские железные дороги»



Стандарт  
ОАО «РЖД»

СТО РЖД  
1.05.509.12-2008

---

**Система управления эффективностью поставок  
РУКОВОДСТВО ПО АНАЛИЗУ ВИДОВ И  
ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТКАЗОВ  
ПРОДУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ**

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| 1 Область применения .....   | 1  |
| 2 Нормативные ссылки .....   | 1  |
| 3 Термины и определения.....   | 2  |
| 4 Общие положения .....  | 2  |
| 5 Анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкции.....                                    | 4  |
| 6 Анализ видов и последствий потенциальных отказов процесса .....                                      | 12 |
| Приложение А (обязательное) Стандартная форма отчета FMEA.....   | 23 |
| Приложение Б Стандартная форма для матрицы характеристик .....   | 24 |
| Приложение В Стандартная форма для матрицы связей.....   | 25 |
| Приложение Г Стандартная форма для матрицы влияния .....   | 26 |
| Приложение Д Примеры проведения анализа видов и последствий<br>потенциальных отказов конструкции ..... | 27 |
| Приложение Е Примеры проведения анализа видов и последствий<br>потенциальных отказов процесса.....     | 28 |

4.3 Метод FMEA позволяет оценить результативность процессов проектирования посредством экспертной оценки рисков возникновения отказов продукции при ее производстве и эксплуатации.

Метод FMEA использует комплексную модель риска потенциальных отказов, включающую три составляющих:

S – значимость последствий потенциального отказа.

O – вероятность или частота возникновения причины потенциального отказа.

D – возможность обнаружения причины потенциального отказа или отказа по данной причине.

## 5.8 Экспертная оценка составляющей риска S – значимости отказа

Значимость – это оценка наиболее серьезного последствия потенциального отказа для потребителя.

Для каждого последствия определяют ранг значимости по таблице 1.

Таблица 1 – Критерии значимости

| Критерий значимости последствия   | Ранг |
|---|------|
| Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального отказа ухудшает безопасность работы или приводит к несоответствию государственным нормам без предупреждения   | 10   |
| Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального отказа ухудшает безопасность работы или приводит к несоответствию правительственным нормам с предупреждением | 9    |
| Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Ремонту и восстановлению не подлежит   | 8    |
| Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются большие затраты или время на ремонт  | 7    |
| Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются средние затраты или время на ремонт  | 6    |
| Изделие работоспособно, но снижена долговечность  | 5    |
| Изделие работоспособно, но снижен уровень эффективности.  | 4    |
| Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются небольшие затраты или время на ремонт  | 3    |
| Неудобство при эксплуатации   | 2    |
| Нет последствия   | 1    |

### 5.12 Экспертная оценка составляющей риска $O$ – вероятности или частоты возникновения причины отказа

Составляющую риска  $O$  вероятность возникновения причины определяют по таблице 3.

Таблица 3 – Критерии вероятности или частоты возникновения конструктивной причины

| Применяемые меры по предупреждению устранимой причины | Частота возникновения неустраняемой причины<br>Не чаще чем | Ранг |
|---|--|------|
| Мер по предупреждению нет                             | 1 раз в час  | 10   |
| Подбор  | 1 раз в 4 часа   | 9    |
| На основе опыта                                       | 1 раз в 8 часов  | 8    |
| Применение аналогов                                   | 1 раз в 16 часов   | 7    |
| В соответствии с ГОСТ                                 | 1 раз в сутки  | 6    |
| Справочники   | 1 раз в неделю   | 5    |
| Методики расчета                                      | 1 раз в месяц  | 4    |
| Моделирование   | 1 раз в квартал  | 3    |
| Математическое моделирование                          | 1 раз в год  | 2    |
| Безотказная конструкция                               | За гарантийный период причина себя не проявит              | 1    |

**5.13 Экспертная оценка составляющей риска D – возможности обнаружения причины или отказа по данной причине**

Таблица 4 – Критерии возможности обнаружения конструктивной причины

| Запланированные меры по обнаружению   |   | Ранг |
|---|---|------|
| Устранимая конструктивная причина   | Неустранимая конструктивная причина   |      |
| Мер по обнаружению нет  |   | 10   |
| Обнаружение косвенными или случайными проверками  |   | 9    |
| Причину отказа обнаружить невозможно. Отказ можно обнаружить только во время эксплуатации изделия   | Обнаружение причины только после отказа более сложной системы, включающей изделие   | 8    |
| Причина отказа обнаруживается только во время эксплуатации изделия  | Обнаружение причины только после отказа изделия   | 7    |
| Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при испытаниях изделия в составе более сложной системы   | Периодический визуальный контроль состояния более сложной системы, включающей изделие   | 6    |
| Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при испытаниях опытных образцов изделия  | Периодический визуальный контроль состояния изделия   | 5    |
| Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при испытаниях опытных образцов изделия. Для обработки результатов испытаний применяются статистические методы | Периодическое измерение и проверка функциональных характеристик более сложной системы, включающей изделие. Установлены допустимые значения измеряемых характеристик | 4    |
| Запланированы меры по обнаружению причины отказа при испытаниях опытных образцов изделия  | Периодическое измерение и проверка функциональных характеристик изделия. Установлены допустимые значения измеряемых характеристик                                   | 3    |
| Запланированы меры по обнаружению причины отказа при испытаниях опытных образцов изделия. Для обработки результатов испытаний применяются статистические методы                               | Периодическое измерение и проверка причины отказа изделия. Установлены допустимые значения причины  | 2    |
| Причина отказа будет обнаружена и устранена на этапе проектирования продукции   | Автоматическое управление причиной отказа, предусмотренное конструкцией изделия   | 1    |

**Приложение А  
(обязательное)  
Стандартная форма отчета FMEA**

| Процесс<br>/ функция | Вид потенциального отказа | Последствие потенциального отказа | S | К<br>л<br>а<br>с<br>с | Потенциальная причина отказа | O | Действующие меры по предотвращению | Действующие меры по обнаружению | D | П<br>Ч<br>Р | Рекомендуемые действия | Ответственный<br>Дата | Результаты действий   |   |   |   |             |  |  |
|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|---|-----------------------|------------------------------|---|------------------------------------|---------------------------------|---|-------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---|---|---|-------------|--|--|
|                      |                           |                                   |   |                       |                              |   |                                    |                                 |   |             |                        |                       | Предпринятые действия | S | O | D | П<br>Ч<br>Р |  |  |
|                      |                           |                                   |   |                       |                              |   |                                    |                                 |   |             |                        |                       |                       |   |   |   |             |  |  |
|                      |                           |                                   |   |                       |                              |   |                                    |                                 |   |             |                        |                       |                       |   |   |   |             |  |  |
|                      |                           |                                   |   |                       |                              |   |                                    |                                 |   |             |                        |                       |                       |   |   |   |             |  |  |
|                      |                           |                                   |   |                       |                              |   |                                    |                                 |   |             |                        |                       |                       |   |   |   |             |  |  |
|                      |                           |                                   |   |                       |                              |   |                                    |                                 |   |             |                        |                       |                       |   |   |   |             |  |  |

# Приложение Д

## Примеры проведения анализа видов и последствий потенциальных отказов конструкции

### Изделие «Рельс»

| Процесс<br>Функция  | Вид потенциального отказа                                   | Последствие потенциального отказа                  | S  | Класс | Потенциальная причина отказа                   | O | Действующие меры по предотвращению                               | Действующие меры по обнаружению | D  | ПЧР | Рекомендуемые действия  | Ответственный<br>Дата | Результаты действий  |    |   |   |     |
|---------------------|---|--|----|-------|--|---|--|---------------------------------|----|-----|---|-----------------------|--|----|---|---|-----|
|                     |   |  |    |       |  |   |  |                                 |    |     |   |                       | Предпринятые действия  | S  | O | D | ПЧР |
| Прочность на разрыв | Нет прочности при максимально допустимой нагрузке на разрыв | Нарушение безопасности движения подвижного состава | 10 | К     | Неправильно заданы требования к толщине        | 4 | Расчет допуска на толщину по методике «Сопротивление материалов» | Нет                             | 10 | 400 | Включить испытания на разрыв в план управления для опытного образца | ОГК<br>До 20.05.04    | Испытания на разрыв 10 опытных образцов дали положительный результат | 10 | 4 | 1 | 40  |
|                     |   |  |    |       | Неправильно заданы требования к микроструктуре | 2 | Выбор по справочнику   | Нет                             | 10 | 200 |   |                       |  | 10 | 2 | 1 | 20  |
|                     |   |  |    |       |  |   |  |                                 |    |     |   |                       |  |    |   |   |     |
|                     |   |  |    |       |  |   |  |                                 |    |     |   |                       |  |    |   |   |     |

**Анализ видов и последствий отказов** – АВПО (FMEA) – это формализованная контролируемая процедура качественного анализа технических систем.

**Анализ видов, последствий и критичности отказов** – АВПКО (FMECA) – это процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности анализируемых отказов.

*(ГОСТ 27.310-95)*

Простым методом определения критичности является умножение вероятности отказа компонента  $p_i$  на величину ущерба  $w_i$ .

*(МЭК 61508-7)*

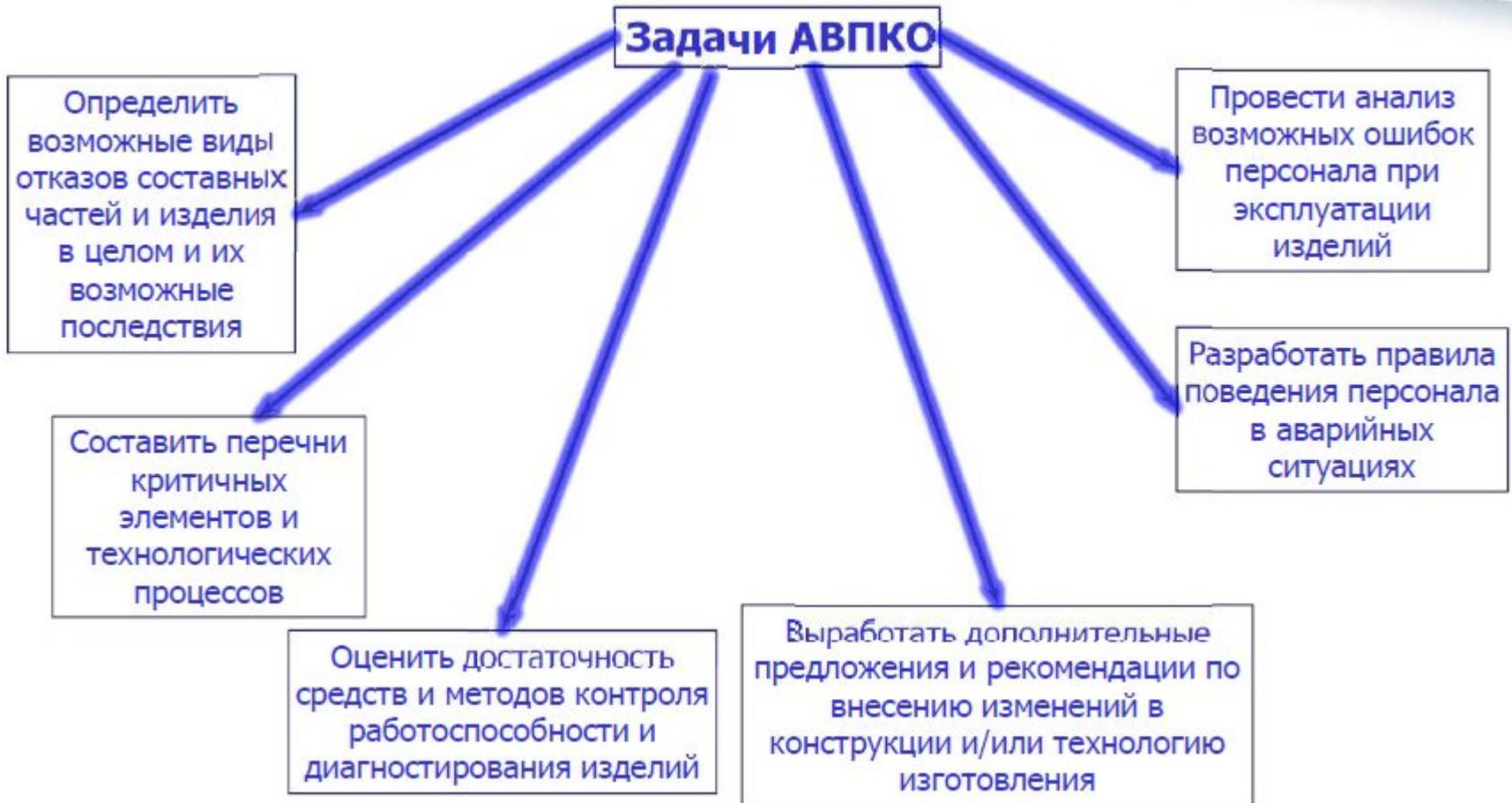
Например, при анализе  $N$  сценариев аварии в ПК АРБИТР средневзвешенный ущерб  $W$  рассчитывается по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^N p_i w_i$$

## Классификация видов АВШКО

| <b>АВШКО объекта</b>  | <b>АВШКО процесса</b>                           |   |
|---|---|---|
| Анализ воздействия отказа элемента объекта  | Анализ воздействия операции на конечный продукт | Анализ воздействия операции на технологический процесс  |
| Отказ критический: вызывает отказ объекта и может привести к аварийному состоянию | Вызывает критический дефект продукта            | Вызывает остановку технологического процесса, влияет на безопасность персонала и окружающей среды |

## Задачи, решаемые при проведении АВПКО



## Необходимость проведения АВПО/АВПКО

Необходимость проведения АВПО/АВПКО конкретного объекта определяют по согласованию заинтересованных сторон.

Рекомендуется предусматривать проведение АВПО/АВПКО для объектов:

- у которых возможны отказы, **представляющие угрозу безопасности людей, опасного загрязнения окружающей среды, значительного экономического или иного ущерба;**
- для которых прямое экспериментальное подтверждение соответствия установленным требованиям безопасности и надежности технически невозможно или экономически нецелесообразно;
- которые являются объектами обязательной или добровольной сертификации.

## Содержание методики АВПО/АВПКО

Общая схема (алгоритм) анализа

Формы и правила заполнения рабочих листов

Система классификации отказов объекта по тяжести последствий

Система кодирования элементов, функций и видов отказов

Показатели критичности отказов, методы оценки их величин

Программные средства, применяемые при анализе

Источники информации (или исходные данные)

Требования к содержанию и оформлению отчетов

## Методы АВПО/АВПКО

### структурный

Относится к классу индуктивных методов (анализ «снизу вверх»), применяемых для относительно простых объектов, отказы которых могут быть четко локализованы, а последствия каждого отказа элементов выбранного начального уровня разукрупнения могут быть прослежены на всех вышестоящих уровнях

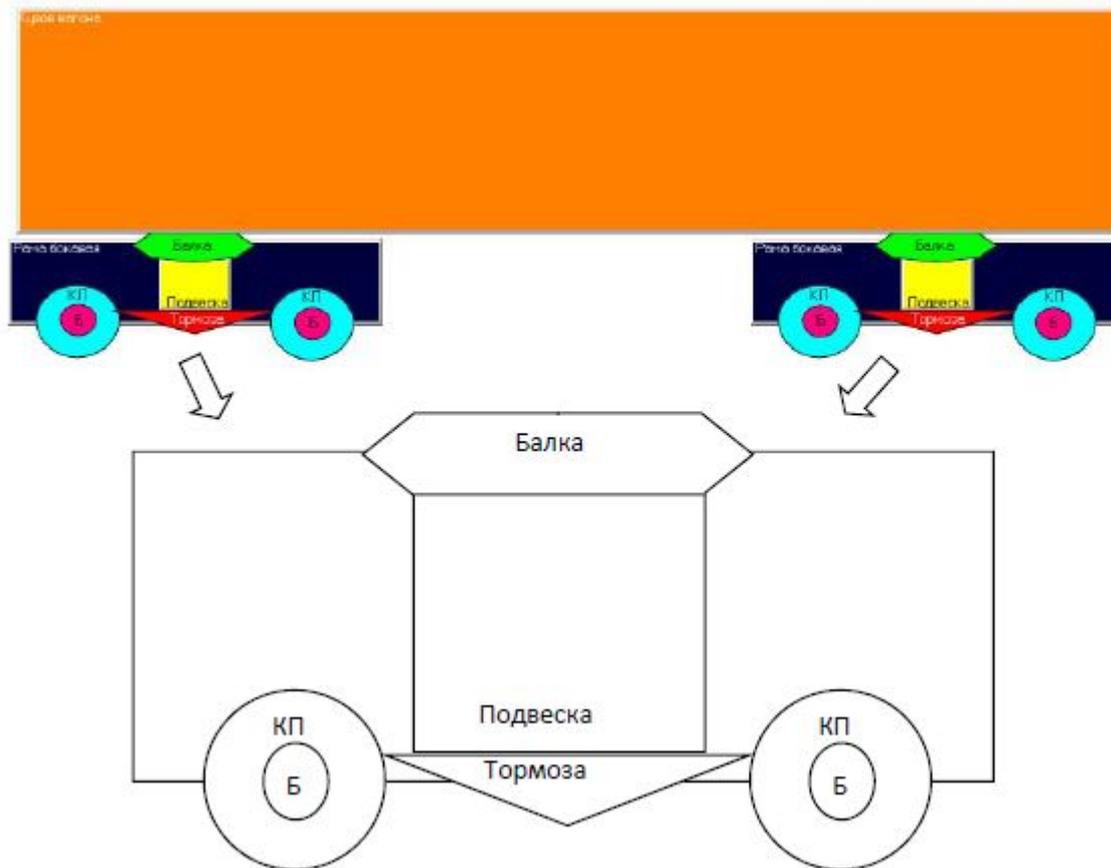
### функциональный

Относится к классу дедуктивных методов (анализ «сверху вниз»), применяемых для сложных многофункциональных объектов, отказы которых трудно априорно локализовать и для которых характерны сложные зависимые отказы

### комбинированный

Сочетает элементы структурных и функциональных методов, применяется для сложных объектов

# Пример проведения АВПО/АВПКО конструкции вагонной тележки



## Фрагмент таблицы анализа отказов и последствий отказов конструкции тележки

| # | Элемент             | # | Отказ                               | Последствие                               | SEV | # | Причина                          | ОС<br>С | Сис. контроля              | DET | RPN | Рекомендации   | SEV | ОС<br>С | DET | RPN |
|---|---------------------|---|-------------------------------------|---|-----|---|----------------------------------|---------|----------------------------|-----|-----|--|-----|---------|-----|-----|
| 2 | КП                  | 1 | Неровность поверхности и катания    | Сход КП с колес                           | 9   | 1 | Износ                            | 4       | Визуальный контроль        | 4   | 144 | >Легирование   | 9   | 2       | 4   | 72  |
|   |                     |   |                                     |   |     | 2 | Усталостные трещины              | 3       | УЗК при ТОиР               | 3   | 81  |  | 9   |         |     | 81  |
|   |                     | 2 | Излом оси                           | Сход КП с колес                           | 10  | 1 | Усталостные трещины              | 3       | УЗК при ТОиР               | 3   | 90  |  | 10  |         |     | 90  |
| 3 | Букса               | 1 | Заклинивание подшипника             | Юз КП                                     | 9   | 1 | Износ подшипника                 | 6       | Контроль температуры       | 3   | 162 | >Изменение конструкции и материалов                          | 8   | 3       | 4   | 96  |
|   |                     |   |                                     |   |     | 2 | Вода в смазке                    | 2       | Визуальный контроль        | 6   | 108 |  | 8   |         |     | 108 |
|   |                     | 2 | Ослабление торцевого крепления      | Сдвиг буксы                               | 8   | 1 | Осевые нагрузки выше нормы       | 5       | Контроль температуры       | 3   | 120 | >Кассетные подшипники лучше справляются с осевыми нагрузками | 8   | 2       | 3   | 48  |
| 4 | Подвеска            | 1 | Излом пружины                       | Неравномерность хода                      | 2   | 1 | Производственный брак            | 4       | УЗК при ТОиР               | 3   | 24  |  | 2   |         |     | 24  |
|   |                     | 2 | Прогиб пружины                      | Неравномерность хода                      | 3   | 1 | Усталостное изнашивание          | 5       | Контроль размеров при ТОиР | 5   | 75  | >Контроль силы сжатия при ТОиР                               | 3   | 5       | 1   | 15  |
|   |                     | 3 | Самозаклинивание фрикционного клина | Выключение работы рессорного подвешивания | 6   | 1 | Установка разноразмерных клиньев | 4       | Выходной контроль при ТОиР | 4   | 96  | >Провести переобучение персонала ремонтных депо              | 6   | 3       | 3   | 54  |
| 2 | Износ вставки клина |   |                                     |   |     | 5 | Контроль степени износа при ТОиР | 3       | 90                         |     | 6   |  |     | 90      |     |     |