

# **НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

# Методика исследования надежности технических систем

## Системный подход к анализу возможных отказов: понятие, назначение, цели и этапы, порядок, границы исследования

Системный анализ — методология исследования любых объектов посредством представления их в качестве отдельных элементов и анализа этих элементов; применяется для:

- выявления и четкого формулирования проблемы в условиях неопределенности;
- выбора стратегии исследования и разработок;
- точного определения систем (границ, входов, выходов, связей), выявления целей развития и функционирования системы;
- выявление функций и состава вновь создаваемой системы.

***Анализ возможных отказов предусматривает следующие этапы:***

- анализ процесса эксплуатации системы и составление перечня периодов эксплуатации;
- задание границ рассмотрения системы;
- рассмотрение взаимодействия и взаимовлияния составных частей (элементов) системы;
- назначение контролируемых параметров и систем контроля;
- определение характерных признаков отказов и их симптомов;
- составление перечня возможных отказов для каждого периода эксплуатации;
- оценку вероятностных и временных характеристик каждого вида отказов из перечня возможных отказов;
- анализ критичности отказов и ранжирование отказов по важности;
- определение возможных последствий отказов, возможности их обнаружения и устранения (или уменьшения степени опасности).

**Анализ должен удовлетворять** следующим требованиям, выполнение которых в значительной мере повышает качество проводимых исследований:

- проводиться с достаточной степенью полноты и детализации;
- учитывать физическую природу процессов, протекающих в системе;
- учитывать влияние взаимных отказов, различные режимы работы элементов системы, возможные отказы между элементами (отказы межсистемных связей и соединений);
- обеспечивать согласованность параметров элементов системы.

**Анализ процесса эксплуатации** системы позволяет получить необходимые сведения для выявления возможных отказов. Его проводят в следующем порядке:

- определяют назначение системы, особенности условий и режимов эксплуатации и перечень выполняемых задач;
- выделяют основные, обеспечивающие и вспомогательные функции;
- для каждой выявленной функции определяют взаимно однозначные группы статистически независимых выходных параметров, номинальные и предельно допустимые значения каждого параметра;
- определяют виды элементов системы, их функциональные особенности и характер взаимодействия при эксплуатации, наличие резервных элементов, выявляют элементы, не имеющие аналогов;
- определяют условия эксплуатации (основные и резервные режимы работы, возможности работы с измененными выходными параметрами и др.);
- определяют продолжительность каждого периода эксплуатации.

*Взаимосвязь элементов и топография системы.*



## *Работа в подготовительный период.*

- получение данных;
- обработка данных;
- планирование последовательности проведения исследований;
- организация обсуждений.

## **Выявление основных опасностей на ранних стадиях проектирования**

Главным требованием является выявление основных опасностей, которое может быть осуществлено после установления определенных общих параметров:

1. Материалы — сырье, исходные материалы, промежуточные материалы, продукция (продукты реакции), исходящие потоки газа или жидкости.
2. Производственные операции (технологический процесс).
3. Местоположение проектируемой системы — размещение между производственными операциями, пространственные соотношения с другими системами.

# Исследования в предпусковой период

Проведение такого исследования целесообразно при следующих условиях, когда:

- 1) на очень поздней стадии проектирования произошло существенное изменение в назначении устройства;
- 2) инструкции по эксплуатации очень рискованные;
- 3) новая установка является копией существующей системы, в которую внесены изменения, касающиеся в основном технологического процесса, а не самой конструкции.

# Исследования действующих систем

Поскольку возможности и методы ограничены, поэтому при отборе установок к исследованию рекомендуется учитывать следующие факторы:

1. Проверка технической безопасности показала, что желательно провести более детальное исследование.
2. При обслуживании этих систем имели место опасные происшествия или несчастные случаи.
3. Эксплуатация показала, что данная система обладает высоким потенциалом опасности.
4. Система будет находиться в эксплуатации в течение долгого времени.
5. Система подвергалась значительным изменениям.
6. Удобно проводить обследование данной системы последовательно, совместно с другими взаимодействующими установками.



## Регистрация результатов исследования

- документов (карту технологического процесса, инструкции по эксплуатации, гистограммы, модели и т. д.), используемые при проведении совещаний экспертов с визой руководителя группы исследования о проведенной проверке;
- всех рабочих докладов, вопросов, рекомендаций, повторных проектов и перепланировок и т. д., явившихся результатом работы группы.

В файлы по безопасности могут вноситься изменения в случае:

- серьезных изменений в производственных технических системах или производственном процессе;
- появления новой информации об опасных веществах;
- значительных достижений в области техники безопасности.

# Содержание информационного отчета по безопасности процесса

## Описание промышленной системы

- а) местность: планы местности, здания и предприятия, расположенные по соседству (фабрики, автомагистрали, здания, больницы, школы и т. п.);
- б) конструктивные особенности и используемые материалы;
- в) проектные параметры: давление, температура, объем, скорости потоков и др.;
- г) фундамент (его устойчивость);
- д) зоны безопасности (защита от взрыва, разделяющие расстояния);
- е) возможность доступа в производственные помещения предприятия: маршруты аварийной эвакуации персонала из производственных помещений, маршруты следования аварийно-спасательных команд;
- ж) схемы размещения контрольно-измерительных приборов и средств автоматической защиты.

## Описание производственных процессов

а) техническое назначение промышленной системы, схема или упрощенный чертеж потоков процесса;

б) основные принципы технологических процессов: основные операции; физические и химические реакции; полезный объем хранилищ; выгрузка продукции; сбор, хранение, утилизация, обработка и полное уничтожение (захоронение) промышленных отходов; выпуск или очистка отработанных газов, технологической воды;

в) условия производственного процесса: описание процесса и данные по безопасности (давление, температура) для отдельных стадий процесса; допустимые пределы температуры, давления, расхода веществ;

г) описание технологических характеристик процесса: эти данные лучше всего представлять на соответствующих графиках схемы потока, они должны содержать информацию о: компонентах процесса; различных видах энергопитания; характеристиках рабочих режимов; размере (объеме) сосудов и трубопроводов, содержащих опасные вещества; системах контроля давления;

д) энергопитание: здесь следует описать все виды энергопитания, применяемые для обеспечения безопасности (электрический ток, охладители, сжатый воздух, инертный газ), а в случае необходимости — и аварийные коммуникации;

е) проект систем вентиляции и пожаротушения;

ж) стандарты и правила, которыми руководствовались при проектировании.

## Описание опасных веществ

а) вещества: стадия процесса, на которой находятся или могут находиться вещества; количество вещества; данные о веществах (физические и химические свойства); данные, имеющие отношение к безопасности (взрывоопасный предел, точка воспламенения, термоустойчивость, коррозионные свойства, тепловая и химическая стабильность, опасные эффекты возможного непреднамеренного смешивания различных веществ); токсикологические данные (токсичность, различные воздействия на организм человека, уровень запаха); пороговые значения (величины пороговых пределов, смертельные концентрации);

б) форма состояния веществ: состояние, в котором находится вещество или в которое оно может перейти в случае нарушения нормального режима работы установки.

# Предварительный анализ опасностей

## Описание элементов системы безопасности

Выявленные в процессе предварительного анализа опасностей элементы, обеспечивающие безопасность, необходимо описать более подробно с тем, чтобы провести оценку возможности возникновения опасностей и развития крупных производственных аварий. Требуются следующие данные:

- а) функция по назначению;
- б) тип нагрузки и ее величина;
- в) важность в обеспечении безопасности;
- г) специальные конструктивные критерии;
- д) органы управления системой и средства аварийной сигнализации;
- е) системы сброса давления;
- ж) коллекторные сборники;
- з) системы противопожарной защиты.

# Оценка возможности развития опасностей

## Организация

- а) графики технического обслуживания и инспекций;
- б) руководства по обучению персонала;
- в) распределение ответственности за безопасность технических систем и предприятия;
- г) реализация процедур, обеспечивающих безопасность.

## Оценка последствий крупных производственных аварий

- а) описание аварии (например, разрушение стенок или трубопровода, выход из строя предохранительного клапана, пожар и т. д.);
- б) оценка возможных утечек (выбросов) опасных веществ или энергии (в результате взрыва);
- в) сведения о количестве выброшенного вещества (токсичного, воспламеняющегося, взрывоопасного);
- г) расчет дисперсии вещества выброса (газа или испаряющейся жидкости);
- д) оценка эффекта (токсичное воздействие, тепловыделения, взрывная волна);
- ж) оценка эффектов выбросов или взрывов (размеры пораженных площадей, воздействия на здоровье людей, размер материального ущерба).

## Планирование мер смягчения последствий аварий

- а) подобрать и обучить пожарную и аварийно-спасательную команду;
- б) установить систему аварийной сигнализации с прямой связью с вышеупомянутой командой или другими аварийными службами;
- в) составить план действий в чрезвычайных (аварийных) обстоятельствах, который должен содержать:
  - организационную систему действий в случае аварии;
  - каналы связи и аварийной сигнализации;
  - руководящие указания по борьбе с аварией;
  - информацию об опасных веществах;
  - примеры возможной последовательности обстоятельств аварии;
- г) достигнуть соглашения с комитетом по чрезвычайным ситуациям для координации своих мер с их планом действий в чрезвычайных обстоятельствах;
- д) уведомить власти о характере и степени опасности в случае аварии;
- е) обеспечить противоядие в случае выброса токсичных веществ (несмотря на то, что это требование будет выполняться, скорее всего, местными медицинскими службами).



## Отчеты перед местными органами власти

- информацию о промышленных установках, на которых могут произойти крупные аварии;
- описание технических мероприятий по безопасности;
- описание организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасной работы предприятия;
- описание серьезных отклонений от нормальных режимов работы и действенности аварийно-спасательных мер;
- немедленное уведомление властей о произошедшем несчастном случае (аварии).

Описание действующих технических систем дает соответствующим органам возможность:

- проверять соответствие установки требованиям стандартов по безопасности при выдаче разрешений на работу конкретных предприятий;
- проводить специальные инспекции с целью выявления опасностей, присущих этим промышленным установкам;
- определить характер и масштаб использования веществ на данном предприятии;
- принимать верные решения в отношении размещения новых предприятий, транспортных коммуникаций и жилых районов;
- разрабатывать планы мероприятий в чрезвычайных обстоятельствах;
- определить тип, относительную вероятность и последствия крупных аварий, которые могут иметь место;
- показать, что администрация установила потенциал опасности крупной аварии и приняла необходимые меры предосторожности.

# Инженерные методы исследования безопасности технических систем

## Понятие и методология качественного и количественного анализов опасностей и выявления отказов систем

Чтобы способы обеспечения безопасности стали реальностью, необходимо использовать определенные процедуры или отдельные действия:

- идентификация опасностей, их анализ и оценка;
- логические процедуры формулирования предупредительных мероприятий (контрмер);
- выбор лучшей контрмеры для внедрения (принятие решения).

Методы анализа основаны на качественном и количественном подходах к оценке опасностей.

Количественные методы эффективны по следующим причинам:

- оценки будущих характеристик системы могут выполняться по характеристикам компонентов системы. Оценки на этом уровне более точны, а их погрешности меньше влияют на результат;
- оценки могут выполняться различными лицами, так что для каждого вида оценок может быть привлечен наиболее квалифицированный специалист;
- оценки могут осуществляться методом последовательного приближения, причем при каждом пересчете можно изучать влияние изменения исходных данных.

Критерий должен отвечать следующим основным требованиям:

- иметь ясный физический смысл;
- быть определяющим и соответствовать основной цели функционирования системы, подсистемы или элемента;
- учитывать основные детерминированные и стохастические факторы, определяющие уровень безопасности системы;
- быть критичным к анализируемым параметрам и достаточно чувствительным к ним.

Классификация критериев включает:

А. *Общие (интегральные)* критерии, дающие наиболее полную оценку совершенствования системы (общее число возможных аварий и случаев травматизма, сумма затрат на создание системы безопасности).

Б. *Условные (косвенные)* критерии, отражающие одно из свойств системы путем отнесения его к некоторому показателю (стоимость получения единицы конечной продукции, вероятность безотказной работы определенного комплекса защитных мер, вероятность возникновения аварийной ситуации в определенном промежутке времени).

В. *Относительные (нормированные)* критерии, характеризующие безопасность системы в отношении оснащенности и эффективности средств защиты (отношение времени воздействия опасного фактора к общему времени работы, сопоставление экономической эффективности внедрения различных средств защиты, изменение уровня безопасности по сравнению с внедрением).

При проведении количественного анализа необходимо оценивать полноту и достоверность исходных данных, адекватность и точность используемых схем, обоснованность принимаемых допущений и зависимость от них получаемых рекомендаций и выводов.

# Порядок определения причин отказов и нахождения аварийного события при анализе состояния системы

Причины каждого из возможных отказов определяют дополняющими друг друга методами анализа. Имеется два подхода при анализе причинных связей: *прямой анализ* и *анализ с обратным порядком*.

Анализ с прямым порядком начинается с определения перечня отказов и развивается в прямом направлении с определением последствий этих событий («*снизу вверх*»).

Анализ с обратным порядком начинается с определения опасного состояния системы, от которого в обратном направлении прослеживаются возможные причины возникновения этого состояния (развивается «*сверху вниз*»).

При построении дерева событий (*ДС*), проведении анализа вида и последствий отказа (*АВПО*), анализа критичности (*АК*) используется прямой порядок. Обратный — для анализа с помощью деревьев отказов (*ДО*). Для предварительного анализа опасностей (*ПАО*) используется как прямой подход, так и обратный. Такое комбинированное использование обоих подходов необходимо, чтобы полностью решить задачу анализа риска и надежности систем.

Прямая логика часто называется *индуктивной*; логика, используемая при обратном порядке анализа систем, называется *дедуктивной*.

# Предварительный анализ опасностей

Шаг 1. Определение потенциальных источников опасностей — системы, части системы или элементы, которые могут вызвать опасности (энергетические установки, трубопроводы, химические реакторы, емкости, сосуды под давлением, новые технологии и др.).

Шаг 2. Выявление опасностей — возможные пожары, взрывы, утечки токсичных веществ и т. д., которые маловероятны и еще не приводили

Шаг 3. Введение ограничения на анализ — исключение из списка опасностей, проявление которых неосуществимо, или части системы, в которых осуществление опасностей практически невозможно.

**Структура качественного исследования** при **ПАО** выглядит следующим образом.

1. Система, подсистема или элемент — аппаратура, механизм или функциональный элемент, технологические операции, подвергаемые анализу.

2. Ситуация — соответствующая фаза работы аппаратуры, механизма, элемента или вид технологической операции.

3. Опасный элемент — анализируемый элемент аппаратуры, механизма или технологическая операция, являющиеся по своей природе опасными.



4. Причина, вызывающая опасное состояние, — нежелаемое событие или ошибка, которые могут быть причиной того, что опасный элемент вызовет определенное опасное состояние.

5. Опасные условия — результат взаимодействия элементов в системе и система в целом, при котором может быть создано опасное состояние.

6. Событие, вызывающее опасные условия, — нежелательные события или дефекты, которые могут вызвать опасное состояние, ведущее к определенному типу возможной аварии.

7. Потенциальная авария. Рассматривается любая возможная авария, которая возникает в результате определенного опасного состояния.

8. Последствия. Рассматриваются возможные последствия потенциальной аварии в случае ее возникновения.

9. Класс опасности. Выполняется качественная оценка потенциальных последствий для каждого опасного состояния в соответствии со следующими критериями:

Класс I — безопасный. Состояние, связанное с ошибками персонала, недостатками конструкции или ее несоответствием проекту, а также неправильной работой, которое не приводит к существенным нарушениям и не вызывает повреждения оборудования и несчастных случаев с людьми.

Класс II — граничный (предельно допустимый): состояние, связанное с ошибками персонала, недостатками конструкции, ее неправильным функционированием или несоответствием проекту, которое приводит к нарушениям в работе, но может быть компенсировано или взято под контроль без повреждений оборудования или несчастных случаев с персоналом.

Класс III — критический: состояние, связанное с ошибками персонала, недостатками конструкции или несоответствием проекту, а также неправильным ее функционированием, приводящее к существенным нарушениям в работе, повреждению оборудования и создающее опасную ситуацию, требующую немедленных мер по спасению персонала и оборудования.

Класс IV — катастрофический: состояние, связанное с ошибками персонала, недостаткам конструкции или ее несоответствием проекту, а также неправильным ее функционированием, полностью нарушающее работу и приводящее к последующему разрушению системы и (или) гибели или массовому травмированию персонала.

10. Мероприятия для предотвращения аварии. Рекомендуемые защитные меры для исключения или ограничения выявленных опасных состояний и (или) потенциальных аварий — требования к элементам конструкций, введение защитных приспособлений, изменение конструкций, введение инструкций для персонала и др. меры.

# Метод анализа опасности и работоспособности— АОР (Hazard and Operability Study — HAZOP)

Примером может служить следующий набор: *Не, Нет, Больше, Меньше, Помимо, Скорее чем, Позже чем, Наоборот, Также как, Чем другие, Часть из, Ни один из, Больше чем, Меньше чем, Часть чего-либо* и др. Они направляют и стимулируют процесс творческого мышления на выявление отклонений и позволяют проследить порядок развития (динамику) опасности.

**ПРИМЕР.** Продемонстрируем принципы проведения **ПАО** с использованием ключевых слов на примере установки, в которой происходит реакция между химическими веществами **A** и **B** с получением продукта **C**.

Процесс может осуществляться различными способами, и его ход обычно представляется в описательной или графической формах. Чаще всего он изображается в виде схемы (рис. 6.1) или карты технологического процесса. В рассматриваемом примере предусмотренные проектом характеристики производственного процесса частично описаны в технологической карте и частично отражены в требовании управления технологическим процессом, определяющим подачу вещества **A** при какой-то заданной скорости.

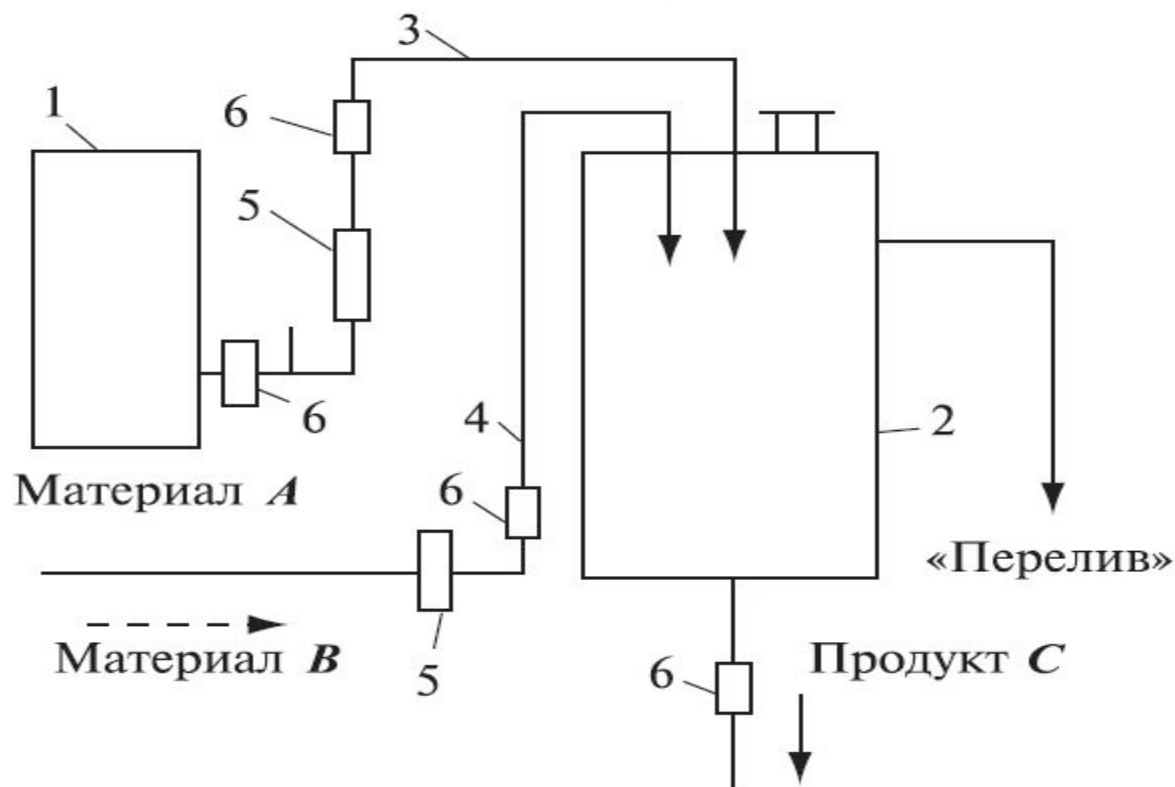


Рис. 6.1. Схема технологической установки:

1 — расходная емкость; 2 — реактор; 3, 4 — трубопроводы продуктов **A** и **B**;  
5 — насосы; 6 — запорный клапан

## *Пример простой технологической карты*

1. Вещество *A*.
2. Вещество *B*.
3. Получаемый продукт *C*.
4. Реакция  $A + B = C$ .

Предположим, что химия технологического процесса такова, что концентрация исходного материала *A* никогда не должна быть ниже концентрации материала *B* во избежание взрыва.

Проектом определено, как должен работать участок трубопровода, по которому осуществляется перемещение материала *A*.

Первое из появляющихся отклонений возникает при использовании ключевых слов «*НЕ*» или «*НЕТ*» применительно к проектному требованию. В данном случае получится: «*НЕ ПЕРЕМЕЩАЕТСЯ A*».

Затем рассматривается схема технологического процесса для установления причин, которые могли бы полностью прекратить подачу *A*.

Причинами прекращения подачи  $A$  могут быть следующие условия:

1. Расходный резервуар пуст.
2. Не действует насос из-за механической поломки, повреждения электросети или отключения насоса и т.д.
3. Разрыв трубопровода.
4. Закрыт запорный клапан.

Очевидно, что, по крайней мере, некоторые из этих причин являются возможными и поэтому можно заключить, что они вызывают существенное отклонение  $A + B = C$ .

Затем анализируются последствия. Полное прекращение доступа потока материала  $A$  скоро приведет к тому, что количество материала  $B$  в реакторе будет превышать количество материала  $A$ , что может привести к опасности взрыва. Таким образом, выявлены опасности в конструкции, и они отмечены для дальнейшего рассмотрения.

Следующее ключевое слово: «**БОЛЬШЕ**». Отклонения выражаются следующими словами:

**«В РЕАКТИВНЫЙ СОСУД ПОСТУПИЛО БОЛЬШЕ ВЕЩЕСТВА А».**

Причиной этому могут быть технические характеристики насоса, которые при определенных обстоятельствах приведут к увеличению скорости потока одного из веществ. Если это вполне объяснимая причина, то рассматривают следующие последствия:

1. В результате реакции в реактивном сосуде образуется вещество **С**, загрязненное избытком вещества **А**, переходящее в таком виде в следующую стадию процесса.

2. Избыточный поток в реактивный сосуд предполагает, что часть вещества будет удалена через сливное устройство.

Для решения вопроса о степени опасности таких обстоятельств нужна дополнительная информация.



Следующее ключевое слово «**МЕНЬШЕ**». Отклонение сформулировано как: «**В РЕАКТИВНЫЙ СОСУД ПОСТУПИЛО МЕНЬШЕ ВЕЩЕСТВА А**».

Причины этого события несколько отличаются от причин, вызвавших отклонение от режима в результате прекращения подачи *A*:

1. Запорный клапан открыт неполностью.
2. Частичная закупорка трубопровода.
3. Насос не справляется с подачей жидкости из-за снижения своих рабочих характеристик.

Следствие аналогично тому, которое явилось результатом полного прекращения потока, и поэтому потенциальная опасность — это возможность взрыва.

После проверки трубопровода, по которому в реактор поступает материал **A**, он отмечается на карте технологического процесса как прошедший проверку. Затем выбирается следующая часть конструкции для исследования, и это может быть трубопровод для подачи исходного материала **B** в реактор. Это повторяется (рис. 6.2) для каждой части конструкции, каждого трубопровода, вспомогательных устройств, например мешалок, любых средств обслуживания реактора (подача тепла и холода) и самого реактора. Вот почему этот метод иногда называют *методом последовательной экспертизы*.

## Изучение опасностей и функционирования системы

Ключевое слово	Нарушения	Причина	Опасность и последствия	Требуемые меры защиты
<i>Нет</i>	Нет подачи вещества <i>A</i>	Закрыт клапан	Больше <i>B</i> — взрыв из-за нарушения реакции	Предусмотреть электроблокировку включения насоса

## *Значения ключевых слов.*

Следующие два отклонения от проекта имеют качест-

венный характер. Ключевыми словами являются ***ТАК ЖЕ КАК***, а отклонение — ***ТАК ЖЕ КАК ПЕРЕМЕЩЕНИЕ А***. Это может означать:

1. Перемещение какого-либо компонента в дополнение к ***А***. Анализ технологического процесса (рис. 6.1) показывает наличие дополнительного трубопровода с запорным клапаном насоса. Если этот клапан не закрыт, вместе с ***А*** в реактор может поступать другой компонент. При этом появляется возможность того, что этот компонент либо будет оказывать характерное для него действие, либо будет играть роль инертного разбавителя ***А***.

2. Перемещение ***А*** куда-нибудь еще кроме реактора. При анализе карты технологического процесса мы видим, что это возможно. Он мог бы перемещаться вверх по трубопроводу до всасывающего отверстия насоса через ***Т***-образный участок.

3. Другие процессы, происходящие одновременно с перемещением ***А***. Например, может ли происходить кипение или разложение ***А*** в трубопроводе или насосе?

Другим отклонением может быть такое отклонение, которое явилось причиной неполной реализации проектного замысла. Ключевыми словами являются: **ЧАСТЬ ЧЕГО-ЛИБО** и **ОТКЛОНЕНИЕ ЧАСТИ ПЕРЕМЕЩАЕМОГО А**. Это могло бы означать:

1. Компонент *А* отсутствует. В данном случае необходимо иметь данные о составе *А* для правильной оценки эффекта отсутствующего компонента.

2. Пропуск одного или более реакторов в том случае, если насос подает *А* в несколько реакторов. Эти последние два отклонения снова имеют качественный характер, однако ни один из проектных замыслов не сохраняется. Первое из отклонений противоречит проекту. Ключевое слово **ОБРАТНЫЙ** и отклонение формулируется **КАК ОБРАТНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ А**. Это означает, что поток направляется из реактора через насос. С помощью технологической схемы (карты) рассматриваются вероятность и возможные последствия такой ситуации.

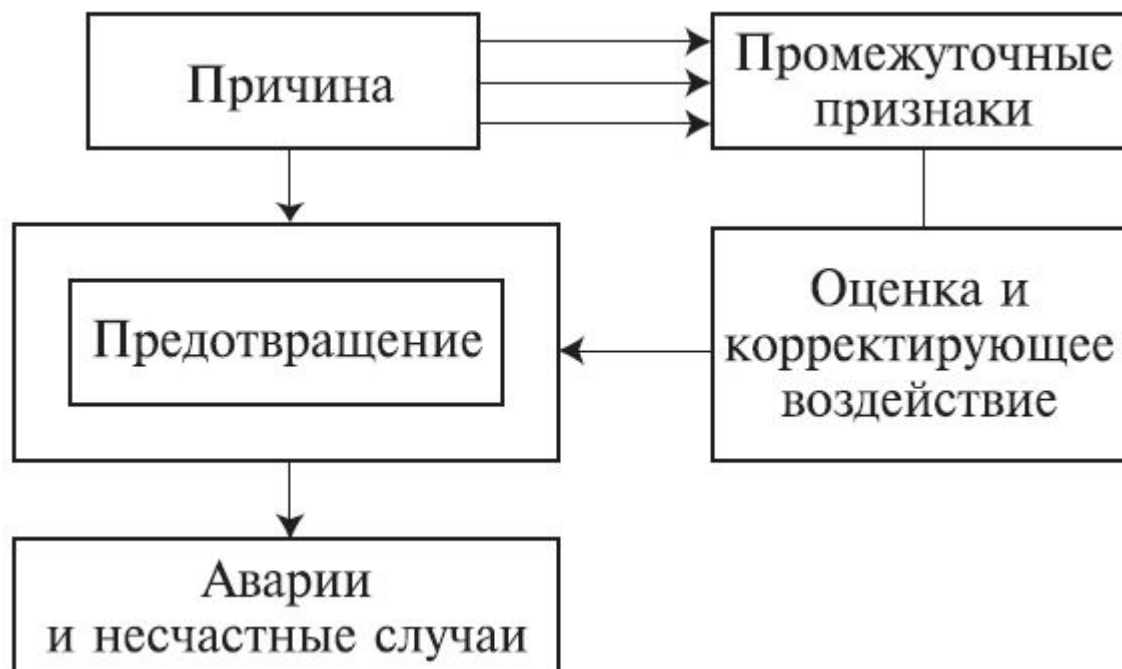
3. Изучается возможность полной замены проектного замысла чем-нибудь еще. Ключевые слова — **ДРУГОЕ** а **НЕ**, а отклонение — **ЧТО-ТО ДРУГОЕ**, а **НЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ А**. Это могло бы означать:

3.1. Перенос материала, отличающегося от  $A$ . На технологической карте изучается возможность этого. Такое замещение могло бы произойти, например, при ошибочной подаче другого материала через насос. Необходима дополнительная информация о возможных материалах и их действии.

3.2. Изменение запланированного назначения оборудования. Например, подача компонента  $A$  не в реактор, а в другую емкость. Изучение карты технологического процесса показывает, что это может произойти через  $T$ -образный отрезок трубопровода.

3.3. Изменение в характере действия вещества и его состоянии. Например, может ли  $A$  загустевать вместо того, чтобы перемещаться в трубопроводе?

# Методы проверочного листа



## Методика использования промежуточных признаков для предотвращения аварий

Эти методы состоят из двух этапов — *общего анализа опасностей* и *детального* в рамках *ПАО*. Цели *общего анализа опасностей* — выявить отклонения, разработать план действий последующего анализа и количественных оценок, определить корректирующие воздействия (контрмеры), которые следовало бы применить немедленно.

## Карта общего анализа опасностей

Подготовил \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

Описание опасности \_\_\_\_\_

Участок системы \_\_\_\_\_

Серьезность	Вероятность	Затраты	Действия
Вызывающая беспокойство	Небольшая	Допустимые	Несрочные
Предельно допустимая	Умеренная	Предельные	Анализ
Критическая	Значительная	Значительные	Немедленные
Катастрофическая			



## Бланк детального анализа

Общий анализ опасностей N \_\_\_\_\_  
Участок системы \_\_\_\_\_ Подготовил \_\_\_\_\_  
Задача или действие \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
Контрмера \_\_\_\_\_ Затраты \_\_\_\_\_

Элементы системы (их комбинация)	Элементы опасности					
	1	2	3	4	5	...
1						
2						
3						
4						
...						

### Символика анализа опасностей

СИМВОЛ	Значение
<i>X</i>	Опасность присутствует в элементе
<i>R</i>	Опасность снижается контрмерой
<i>R1, R2, R3...</i>	Опасность снижена до степени, соответствующей норме
«—» (пробел)	Опасность в элементе устранена
<i>E</i>	Опасности в элементе не было
<i>I</i>	Контрмера увеличивает опасность

На этом аналитическая часть процедуры оценки заканчивается. В итоге для проведения качественного анализа необходимо следующее:

- составить список опасностей по результатам общих исследований, оценкам характера технологии, по промежуточным признакам. Принять немедленные действия для очевидных контрмер;
- на основании беглого анализа заполнить карты общего анализа для каждой выявленной опасности;
- рассортировать карты опасностей, размещая первыми более критичные, для того чтобы сформировать приоритетный список для детального изучения;
- выполнить детальный анализ опасностей для всех опасностей, которые этого требуют. Отсюда исключаются опасности, для которых контрмеры очевидны и недороги, а также несущественные по мнению специалистов.

*Детальный анализ* в границах *ПАО* проводится после общего, когда устранены опасности, не требующие больших затрат. Остальные опасности ранжированы в соответствии с качественной оценкой их важности.

Анализ состоит в следующем:

1. Опасности классифицируются по месту и времени действия в операции, что позволяет лучше оценить серьезность и продолжительность опасности.
2. Выявляются изначальные причины аварий вместо использования промежуточных признаков и симптомов.
3. Подробно рассматриваются влияния контрмер, что трудно сделать при более общем анализе.
4. Прослеживается влияние каждой контрмеры на все элементы системы и проверяется, не увеличивается ли опасность в каких-либо взаимодействующих частях системы.

## Анализ вида и последствий отказа – АВПО

Дополнительно для каждой категории оборудования должен быть составлен перечень необходимых проверок. Например, для баков, других емкостей и секций трубопроводов такой перечень может включать:

- переменные параметры: расход, количество, температуру, давление, насыщение и т. д.;
- системы: нагрева, охлаждения, электропитания, подачи, управления и т. д.;
- особые состояния: обслуживание, включение в работу, выключение, смену катализатора и т. д.;
- изменения условий или состояния: слишком большое (давление), слишком малое, гидроудар, осадок, вибрация, пожар, падение, механическое повреждение, коррозия, разрыв, утечка, износ, взрыв и др.;
- прибор: чувствительность, настройка, запаздывание и т. д.

## Анализ вида, последствий и критичности отказа — АВПКО (Failure Mode, Effects and Critical Analysis — FMECA)

При анализе необходимо выделить четыре группы объектов, которым может быть нанесен ущерб от опасности (аварии): *персонал, население, окружающая природная среда, материальные объекты* (оборудование, сооружения промышленных предприятий и близлежащих населенных пунктов).

Анализ критичности (*АК*) используется после проведения *ПАО* или *АВПО* и классифицирует элементы по различным категориям критичности для различных видов отказов.

Категория 1. Отказ, потенциально приводящий к жертвам.

Категория 2. Отказ, потенциально приводящий к невыполнению основной задачи.

Категория 3. Отказ, приводящий к задержкам, сбоем или потере работоспособности.

Категория 4. Отказ, приводящий к дополнительному, незапланированному обслуживанию.

Введение категорий критичности является очевидным «следующим шагом» после проведения *АВПО*, формируя объединенный метод — *анализ видов, последствий и критичности отказов*.

Элементы можно классифицировать, вычислив коэффициенты критичности  $C_r$ :

$$C_r = \sum_{i=1}^N \beta \alpha K_E K_A t \lambda_G \cdot 10^6, \quad n = 1, 2, \dots, N,$$

- где:
- $C_r$  — коэффициент критичности для элементов системы;
  - $n$  — число критических видов отказов элемента системы, которые попадают под конкретное определение потерь;
  - $N$  — последний критический вид отказа элемента системы, соответствующий определенному виду потерь;
  - $\lambda_G$  — соответствующая частота отказов элементов системы, выраженная в отказах за час или цикл работы;
  - $t$  — время работы в часах или число циклов данного элемента при выполнении программы;
  - $K_A$  — коэффициент, учитывающий разницу между загрузкой элемента при определении параметра  $\lambda_G$  и ожидаемой загрузкой элемента в данной системе;
  - $K_E$  — коэффициент окружающих условий, учитывающий разницу между окружающими условиями при замере параметра  $\lambda_G$  и ожидаемыми условиями работы элемента.

**Примечание.** При упрощенном вычислении можно пренебрегать коэффициентами  $K_A$  и  $K_E$ , а значение  $\lambda_G$  использовать в качестве приближенного значения интенсивности отказов для данного вида отказа и условий работы.

$\alpha$  — коэффициент отношения данного вида отказа к критическому (доля от  $\lambda_G$ , вносимая этим отказом в критическое состояние системы);  $\beta$  — условная вероятность того, что последствия отказа для данного вида критического отказа имеют место при условии, что произошел критический отказ данного вида. Значение  $\beta$  следует выбирать из следующего набора величин

<b>Последствия отказа</b>	<b>Типичные значения <math>\beta</math>, %</b>
Фактические потери	100
Вероятные потери	10—100
Возможные потери	0—10
Отсутствие потерь	0

Множитель, переводящий коэффициент  $C_r$  потерь от реализации опасности к потерям на 1 млн возможных событий, равен  $10^6$ .



Данный метод не дает количественной оценки возможных последствий или ущерба. Основная его ценность заключается в улучшении качества системы путем определения:

- элемента, который должен быть подвергнут детальному анализу с целью исключения опасностей, приводящих к возникновению аварии, т. е. с целью создания надежной конструкции, снижающей интенсивности отказов или ограничения ущерба;
- элемента или узла, требующего особого внимания в процессе производства и более жесткого контроля качества и нуждающегося в особо осторожном обращении в течение всего времени использования;
- специальных требований для поставщиков, подлежащих включению в перечень характеристик, которые относятся к конструкции, функционированию, надежности, безопасности или гарантии качества;
- норм входного контроля, которые должны быть установлены для элементов, получаемых от смежников (субподрядчиков) и для параметров, подлежащих наиболее тщательной проверке;
- узлов систем (подсистем), где следует вводить специальные процедуры, правила безопасности, применять защитное оборудование, контрольные приборы или сигнальные системы;
- эффективного распределения средств на предотвращение аварий.

# Оценка надежности человека как звена сложной технической системы

## Причины совершения ошибок

- Ошибки по вине человека могут возникнуть в тех случаях, когда:
- оператор или какое-либо лицо стремится к достижению ошибочной цели;
  - поставленная цель не может быть достигнута из-за неправильных действий оператора;
  - оператор бездействует в тот момент, когда его участие необходимо.

Виды ошибок, допускаемых человеком на различных стадиях взаимодействия в системе «человек—машина», можно классифицировать следующим образом.

1. Ошибки проектирования: обусловлены неудовлетворительным качеством проектирования. Например, управляющие устройства и индикаторы могут быть расположены настолько далеко друг от друга, что оператор будет испытывать затруднения при одновременном пользовании ими.

2. Операторские ошибки: возникают при неправильном выполнении обслуживающим персоналом установленных процедур или в тех случаях, когда правильные процедуры вообще не предусмотрены.

3. Ошибки изготовления: имеют место на этапе производства вследствие (а) неудовлетворительного качества работы, например неправильной сварки, (б) неправильного выбора материала, (в) изготовления изделия с отклонениями от конструкторской документации.

4. Ошибки технического обслуживания: возникают в процессе эксплуатации и обычно вызваны некачественным ремонтом оборудования или неправильным монтажом вследствие недостаточной подготовленности обслуживающего персонала, неудовлетворительного оснащения необходимой аппаратурой и инструментами.

5. Внесенные ошибки: как правило, это ошибки, для которых трудно установить причину их возникновения, т. е. определить, возникли они по вине человека или же связаны с оборудованием.

6. Ошибки контроля: связаны с ошибочной приемкой как годного элемента или устройства, характеристики которого выходят за пределы допусков, либо с ошибочной отбраковкой годного устройства или элемента с характеристиками в пределах допусков.

7. Ошибки обращения: возникают вследствие неудовлетворительного хранения изделий или их транспортировки с отклонениями от рекомендаций изготовителя.

8. Ошибки организации рабочего места: теснота рабочего помещения, повышенная температура, шум, недостаточная освещенность и т. п.

9. Ошибки управления коллективом: недостаточное стимулирование специалистов, их психологическая несовместимость, не позволяющие достигнуть оптимального качества работы.



1. ЧАЭС — одна из лучших АЭС. Благоустроенный город Припять. Престижное место работы.

2. Квалификация оперативного персонала на ЧАЭС, и в пятой смене в частности (когда произошла авария), в общем, не дает основания для сомнений: образование и практический опыт работы имелись.

3. ЧАЭС — Припять: обособление должностных группировок, внутри которых поддерживались отношения «своих».

4. Подбор и расстановка кадров осуществлялась в соответствии с п. 3.

5. Снижение активности жизненной позиции: определяющий мотив поведения — избежать конфликта с руководством (следствие: «Мне приказано — я делаю», т. е. буквальное следование инструкциям; равнодушие к производству; уход в мир личных интересов; «позиция винтика»).

6. Традиция сохранения в тайне информации об аварийных случаях, что исключает возможность обучения персонала и воспитания чувства коллективной ответственности.

7. Внутренняя установка на выполнение задания (плана производства электроэнергии, программы испытаний и т.п., но не на безопасность).

***ВЫВОД:*** люди в условиях аварии проявляют лишь те качества, которые в них были заложены, развиты и укреплены и которые неоднократно можно было наблюдать до аварии. И ничего более! С этой точки зрения культура безопасности, гуманизация технического образования, воспитание и привитие общечеловеческой культуры специалисту должны стоять в одном ряду с развитием техники и занимать тем более ответственную позицию, чем более опасной является та или иная отрасль техники.

# Методология прогнозирования ошибок

Методы прогнозирования частоты ошибок человека основываются на классическом анализе и включают следующие этапы:

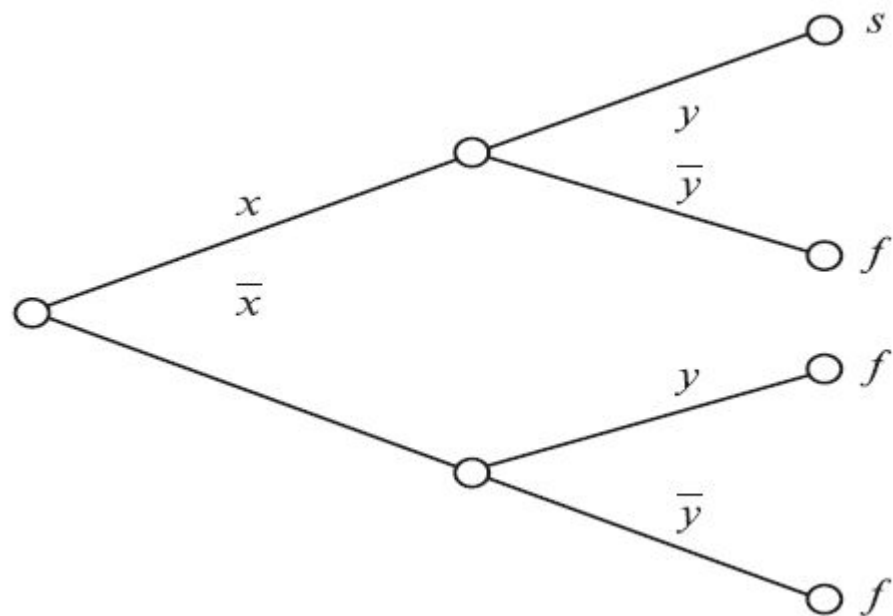
- составление перечня основных отказов системы;
- составление перечня и анализ действий человека;
- оценивание частоты ошибок человека;
- определение влияния частоты ошибок человека на интенсивность отказов рассматриваемой системы;
- выработка рекомендаций, внесение необходимых изменений в рассматриваемую систему и вычисление новых значений интенсивности отказов.



**ПРИМЕР.** Оператор выполняет два задания — сначала  $x$ , а затем  $y$ . При этом он может выполнять их как правильно, так и неправильно. Другими словами, неправильно выполняемые задания — единственные ошибки, которые могут появляться в данной ситуации. Требуется построить дерево возможных исходов и найти общую вероятность неправильного выполнения задания. Предполагается, что вероятности статистически независимы.

Для решения поставленной задачи воспользуемся деревом возможных исходов, изображенным на рис. 7.2 и введем следующие обозначения:

- $P_s$  — вероятность успешного выполнения задания;
- $P_f$  — вероятность невыполнения задания;
- $s$  — успешное выполнение задания;
- $f$  — невыполнение задания;
- $P_x$  — вероятность успешного выполнения задания  $x$ ;
- $P_y$  — вероятность успешного выполнения задания  $y$ ;
- $P_x^c$  — вероятность невыполнения задания  $x$ ;
- $P_y^c$  — вероятность невыполнения задания  $y$ .



Согласно рис. 7.2, вероятность успешного выполнения задания равна  $P_s = P_x \cdot P_y$ . Аналогично находится выражение для вероятности невыполнения задания:

$$P_f = P_x \cdot P_{\bar{y}} + P_{\bar{x}} \cdot P_y + P_{\bar{x}} \cdot P_{\bar{y}} = 1 - P_x \cdot P_y.$$

Из рис. 7.2 следует, что единственным способом успешного выполнения системного задания является успешное выполнение обоих заданий —  $x$  и  $y$ . Именно поэтому вероятность правильного выполнения системного задания определяется как  $P_x \cdot P_y$ .

Для оценки надежности работы операторов технических систем необходимо учитывать следующие факторы:

- качество обучения и практической подготовки;
- наличие письменных инструкций, их качество и возможность неправильного их толкования;
- эргономические показатели рабочих мест;
- степень независимости действий оператора;
- наличие операторов-дублеров;
- психологические нагрузки.

# Мероприятия, методы и средства обеспечения надежности и безопасности технических систем

## Стадия проектирования технических систем

Предупредительные: использование отработанных методов и средств обеспечения надежности; анализ альтернативных проектно-конструкторских решений и выбор наилучших; создание запасов работоспособности по нагрузкам и отказам различных видов; использование резервирования; выбор высоконадежных комплектующих элементов, материалов; создание контролепригодных и ремонтпригодных элементов; обучение проектантов, конструкторов, испытателей передовым методам и способам обеспечения надежности; установление проектных норм надежности и норм испытаний при экспериментальной отработке; разработка новых средств контроля и диагностики.

**Контрольные:** экспериментальная проверка технических решений, особенно новых; проверка всех режимов функционирования; автономные и комплексные испытания; контроль и корректировка конструкторской документации; экспериментальная проверка запасов работоспособности во всех режимах функционирования; контроль надежности; контроль качества труда исполнителей, самоконтроль.

**Защитные:** анализ видов и последствий отказов; введение специальных приборов в состав системы, обеспечивающих безопасность при возникновении отказов; отработка основных отказовых режимов функционирования; тренировка персонала; реализация технических решений по локализации отказов; применение оперативного контроля и управление функционированием; обеспечение сохранения работоспособности элемента при отказах в системах; разработка системы обслуживания и восстановления техники.

# Стадия изготовления технических систем

**Предупредительные:** выбор прогрессивных и стабильных технологических процессов; отработка новых технологических процессов и средств контроля до начала пуска производства; отработка и корректировка технологической документации; обучение и аттестация производственного персонала к работе на ответственных операциях; надзор за состоянием производственного оборудования и средств контроля.

**Контрольные:** проведение входного пооперационного и выходного контроля; проверка режимов запасов; контрольно-технологические испытания; контроль качества труда исполнителей, самоконтроль; авторский надзор; контроль качества и стабильности технологических процессов.

**Защитные:** использование избыточности (дублирование) в оборудовании и средствах контроля; введение блокировок в ответственные технологические процессы; разработка системы обслуживания и восстановления производственного оборудования и средств контроля.

# Стадия эксплуатации технических систем

**Предупредительные:** использование автоматизированных средств контроля и поиска неисправностей; отработка эксплуатационно-технической документации; проведение предварительных регламентных работ; оценка и прогнозирование технического состояния и надежности; аттестация и обучение персонала.

**Контрольные:** автоматизированная регистрация и обработка информации о командах, отказах и неисправностях; контроль качества; самоконтроль; гарантийный надзор.

**Защитные:** проведение оперативных доработок; использование автоматических средств защиты; использование запасных частей, обменного фонда; анализ последствий отказов и реализация защитных мероприятий; обучение и аттестация персонала для работы при возникновении отказов.

# Техническая поддержка и обеспечение

Уровень технического обеспечения зависит от следующих факторов:

- уровня качества и надежности материалов, полуфабрикатов, электро- и радиодеталей, комплектующих элементов, агрегатов и изделий общего назначения, выпускаемых промышленностью и используемых в составе технических систем;
- технического уровня, номенклатуры, количества, производительности, автоматизации технических средств для проектирования, конструирования, отработки, производства, контроля и эксплуатации сложных изделий;
- уровня автоматизации и оперативного сбора, обработки, обмена информацией для планирования, координации и контроля за ходом создания и применения изделий.



# Технические средства обеспечения надежности и безопасности технических систем

## Средства предупреждения отказов

К числу технических средств, используемых для предупреждения отказов и отклонений конструктивного характера, относят:

- автоматизированные цифровые и аналого-цифровые комплексы моделирования, имеющие необходимое математическое обеспечение и позволяющие проектантам разрабатывать большое число альтернативных вариантов элементов системы и выбирать наиболее надежные и эффективные;
- средства автоматизированной разработки конструкторской и технологической документации, позволяющие исключить ошибки в документации и значительно ускорить её разработку;
- современное экспериментальное оборудование, позволяющее своевременно отрабатывать новые технические решения, обеспечить высокую надежность элементов;
- технические средства обучения и повышения квалификации проектантов, конструкторов и других сотрудников предприятий-разработчиков;
- автоматизированную систему информации по вопросам качества и надежности элементов.

***К числу технических средств, предупреждающих отказы и отклонения производственного характера, относят:***

- прогрессивное автоматизированное производственно-технологическое оборудование, средства контроля и управления технологическими процессами;
- технические средства входного неразрушающего контроля и диагностики, исключающие попадание в производство недостаточно качественных материалов, полуфабрикатов и комплектующих элементов;
- автоматизированные средства обучения рабочих и инженерно-технических работников предприятий-изготовителей;
- автоматизированную систему информации по качеству и надежности систем в производстве.

***К числу технических средств предупреждения отказов в эксплуатации относят:***

- технические средства для отработки эксплуатационной документации (стенды, макеты, имитаторы) и обучения эксплуатирующего персонала;
- автоматизированные средства контроля, диагностики и поиска неисправностей;
- технические средства для проведения предупредительных и регламентных работ.

## Средства контроля

*К числу технических средств, обеспечивающих контроль и выявление отказов конструктивного характера, относят:*

- экспериментальную базу, достаточную для контроля правильности заложенных технических решений, проверки запасов работоспособности элементов во всех режимах функционирования, контроля надежности;
- технические средства контроля и корректировки конструкторской документации, качества труда исполнителей.

*Технические средства контроля надежности в производстве технических систем предназначены для осуществления следующих функций:*

- проведения эффективного входного, пооперационного и приёмочного контроля качества элементов;
- проверки режимов функционирования, запасов работоспособности, проведения контрольно-технологических испытаний;
- контроля качества сборки и совместного функционирования групп элементов;
- контроля качества технологической документации, стабильности технологических процессов, качества труда исполнителей.

***Технические средства контроля надежности в эксплуатации:***

- технические средства неразрушающего контроля и диагностики;
- автоматизированные средства регистрации и обработки информации о результатах функционирования элементов систем, об отказах и неисправностях;
- технические средства прогнозирования работоспособности элементов, контроля и поиска неисправностей;
- автоматизированные средства контроля качества работы операторов.

## Средства защиты

К числу технических средств защиты, используемых для недопущения отказов или устранения последствий отказов, относят:

- технические средства локализации отказов, вводимые в состав системы;
- технические средства оперативного контроля и управления функционированием при возникновении опасных ситуаций;
- блокировки в ответственных технологических процессах, исключающие возможность разрушения элементов системы при нарушении технологического процесса;

В процессе эксплуатации для уменьшения ущерба от возможных отказов предусматривают следующие технические средства:

- пожаро-, взрывобезопасности и пожаротушения;
- автоблокировки, исключающие прохождение и выполнение неправильных команд;
- предупреждения ошибочных действий операторов.

При разработке новых систем необходимо с опережением создавать и применять на каждой стадии технические средства:

- предупреждения отказов и отклонений от намеченного хода технологического процесса;
- средства оперативного контроля и выявления причин;
- средства защиты от вредных последствий отказов и отклонений.

Таким образом, средства защиты — это совокупность организационных и технических средств, используемых в системах для поддержания заданного режима технологических процессов, предотвращения аварийных ситуаций и (или) повреждения элементов систем. Такое множество взаимосвязанных и взаимодействующих средств именуется ***защитной автоматикой***.

По функциональному признаку в защитной автоматике выделяют автоматические контроль, измерение, сигнализацию, защиту и блокировку.

**Автоматический контроль и измерения** проводятся дискретно или непрерывно. На предприятиях в зависимости от способа передачи показаний различают контроль местный и централизованный (дистанционный). При местном контроле показывающие приборы устанавливаются на объекте контроля, при централизованном — диспетчерском пульте. При контроле предельных положений регистрируются только параметры, соответствующие этим положениям, при непрерывном контроле происходит непрерывное или повторяющееся через небольшие промежутки времени измерение параметров.

**Сигнализация** предназначена для передачи контрольных, управляющих (командных) и информационных сигналов по каналам и линиям связи, например оператору или диспетчеру.



**Сигнализация** предназначена для передачи контрольных, управляющих (командных) и информационных сигналов по каналам и линиям связи, например оператору или диспетчеру.

Различают сигнализацию **предупредительную** — для предупреждения обслуживающего персонала о пуске тех или иных механизмов, **распорядительную** — для пуска и отключения систем оператором, **исполнительную** — для контроля выполнения распоряжений, **аварийную** — для оповещения обслуживающего персонала о нарушении нормального хода процессов. Для сигнализации о состоянии распределенных объектов используют телекоммуникацию.

**Блокировка** — совокупность методов и средств, обеспечивающих фиксацию рабочих частей (элементов) системы или электрической цепи в определенном состоянии (положение), которое сохраняется независимо от того, устранено или нет блокирующее воздействие, чем достигается как безопасность оборудования, так и безопасность обслуживания.

# Организационно-управленческие мероприятия

## Техническое обслуживание, ремонтные работы и инспектирование

- а) проверка условий работы систем безопасности, как в испытательных помещениях, так и на рабочих местах;
- б) проверка исправности оборудования в системах безопасности на рабочих местах, например, путем визуального осмотра или дистанционного контроля;
- в) мониторинг питающих устройств в системах безопасности (при подаче электрического тока, пара, охладителя, сжатого воздуха и т. п.)
- г) разработка графика технического обслуживания и соответствующей документации с указанием различных интервалов техобслуживания и типов производящихся работ.

Инспекции и испытание следует выполнять применительно к следующему оборудованию процесса:

- сосудам высокого давления и резервуарам транспортировки (если это транспорт предприятия) и хранения;
- системам трубопроводов, включая компоненты трубопроводов, такие как запорная арматура, фланцы и пр.;
- системам и устройствам сброса давления и регулирования вентиляции;
- системам аварийного отключения;
- системам управления, включая устройства слежения, датчики, аварийную сигнализацию и устройства блокировки;
- насосам;
- компрессорам и воздухооборникам при них.

***Руководство*** предприятия ***должно документировать*** каждую инспекцию или испытание, которое было выполнено на оборудовании технологических процессов. Документация должна содержать дату инспекции или испытания, фамилию лица, которое провело инспекцию или испытание, серийный номер или другой идентификатор оборудования, на котором инструкция или испытание было проведено, описание выполненной инспекции или испытания, ее (его) результаты.

***Технический персонал*** предприятия ***должен устранить неисправности*** или перед дальнейшим использованием системы, или по плану-графику, если немедленно были предприняты необходимые меры для обеспечения безопасности эксплуатации.

# Управление изменениями в технологическом процессе

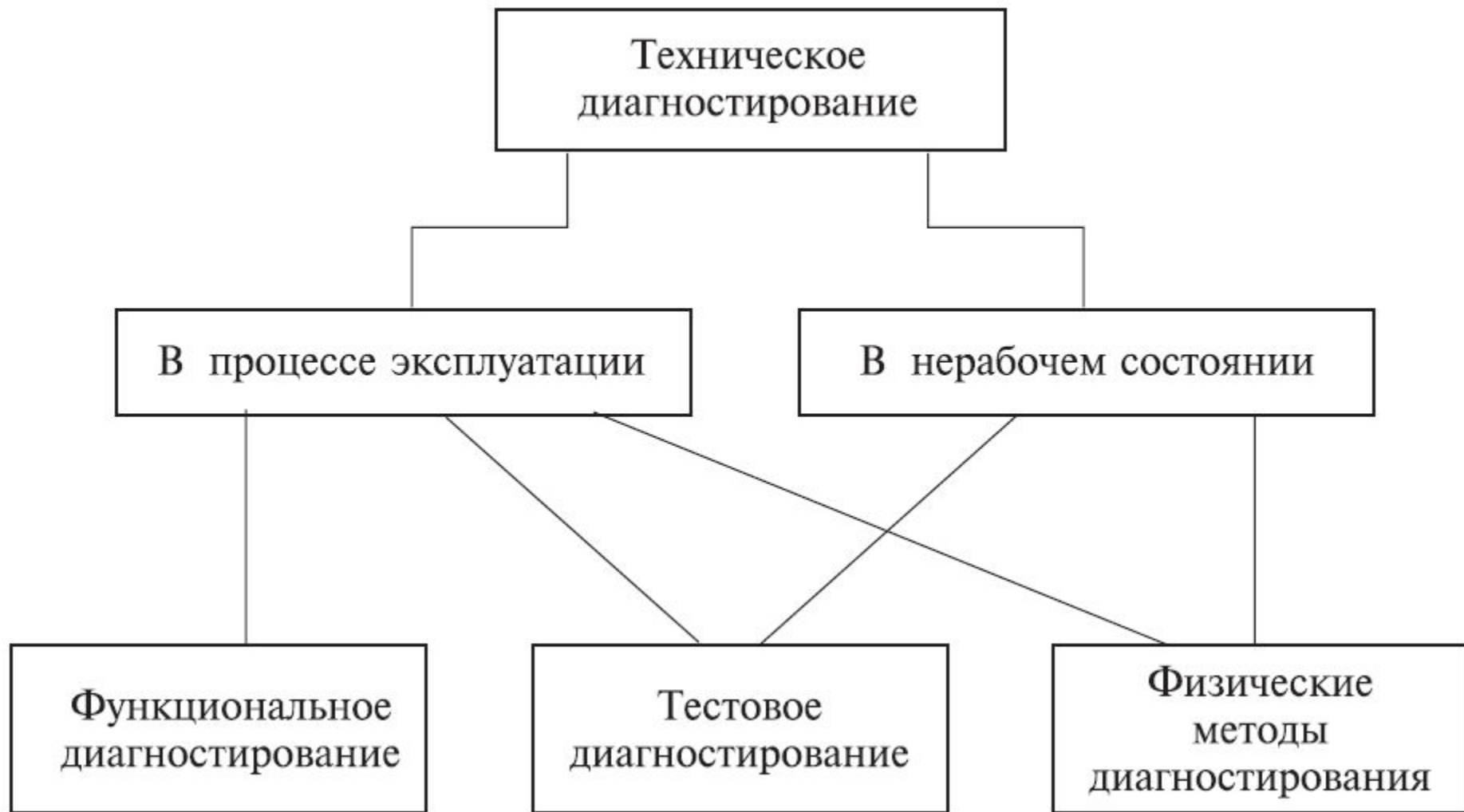
Перед тем как вносить какие-либо изменения в технологию процесса, в используемые системы, в другие объекты, которые влияют на технологический процесс, необходимо рассмотреть и оценить:

- техническую базу для предлагаемого изменения;
- влияние изменения на безопасность и здоровье работников предприятия, населения;
- экологическую безопасность;
- изменение эксплуатационных процедур;
- срок, необходимый для реализации изменений;
- требования, для предлагаемого изменения.

# Обучение

- об опасностях, связанных с производственными процессами и используемыми веществами, и уровнях риска;
- об инструкциях, необходимых при работе;
- о возможных условиях работы, включая процедуры включения и выключения промышленной установки;
- о рекомендуемом поведении людей при нарушении режимов работы системы, аварии или несчастных случаях;
- о несчастных случаях и ситуациях, близких к аварийным, на других аналогичных производствах.

# Диагностика нарушений и аварийных ситуаций в технических системах



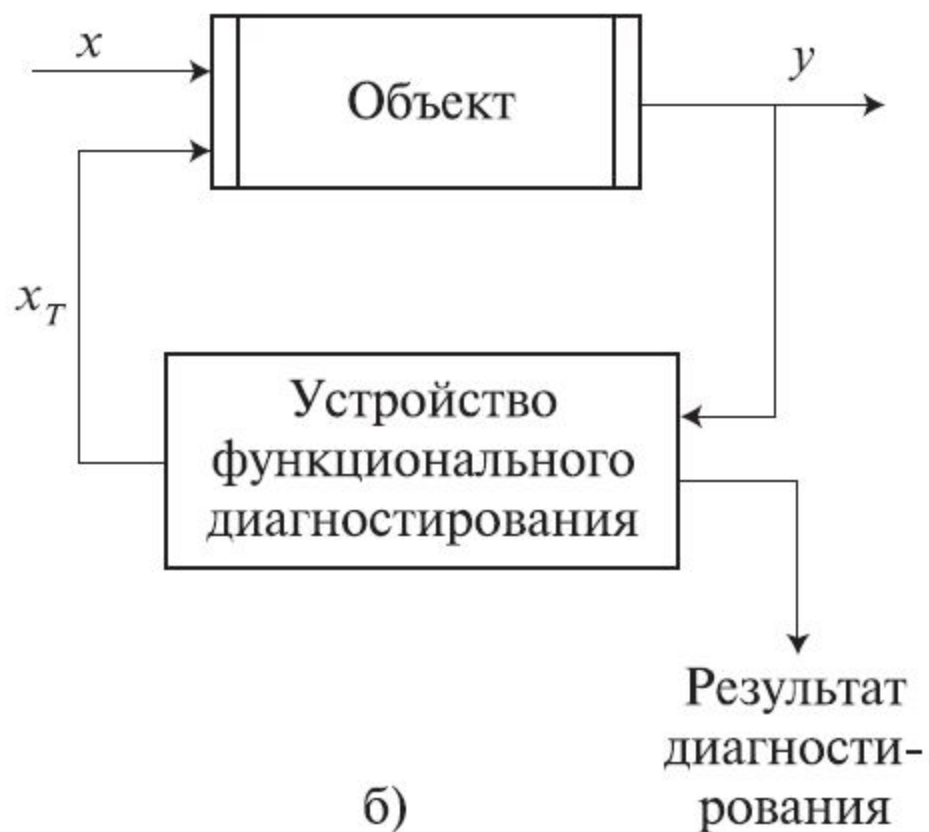
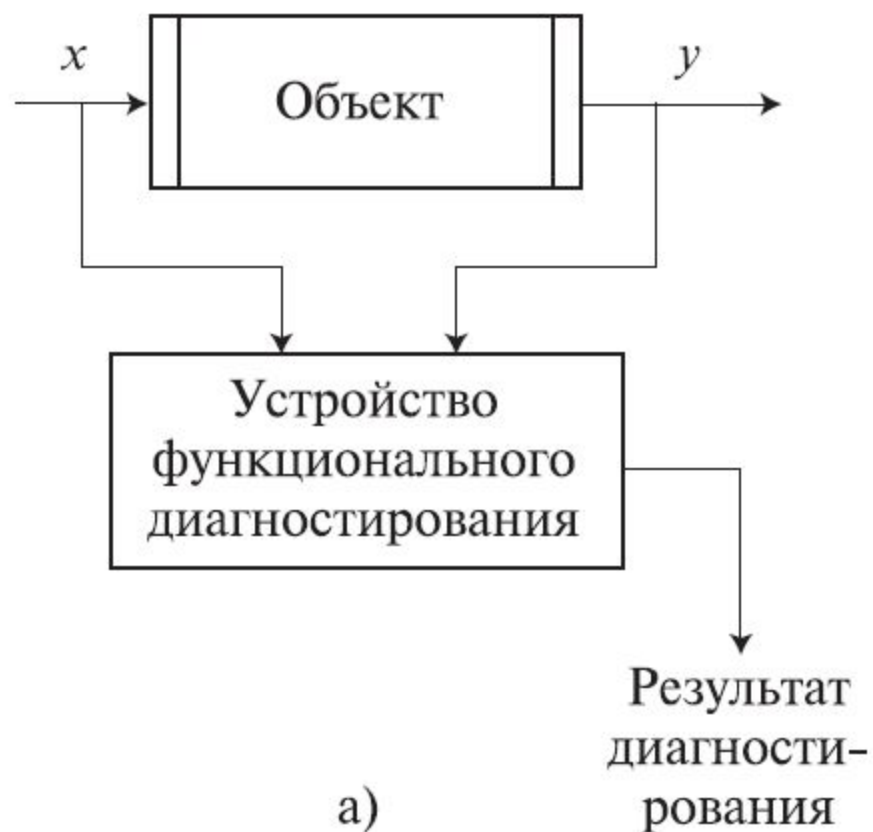


Рис. 9.2. Структурные схемы диагностирования:  
*а — функционального; б — тестового*



- определение текущего состояния работоспособности, обнаружение предаварийных и аварийных состояний;
- локализация неисправностей до уровня отдельных аппаратов, элементов систем контроля, управления и защиты;
- регистрация моментов обнаружения неисправностей и их устранения;
- прогнозирование значений переменных химико-технологических процессов в различных состояниях работоспособности;
- прогнозирование предельного значения времени восстановления работоспособности системы;
- регистрация фактического времени восстановления работоспособного состояния;
- отображение оперативной информации о неисправностях на экране дисплея оператора;
- запись, накопление и хранение на магнитных дисках информации о неисправностях;
- выдача накопленной информации о неисправностях системы.