

# Анализ видов, последствий и критичности отказов





# Анализ видов, последствий и критичности отказов

## Методические материалы

---

**Прикладная логистика**  
АНО НИЦ CALS-технологий  
Москва, ГСП-1, 5-й Донской проезд, дом 15  
Адрес в интернет: <http://www.cals.ru>  
Телефон/факс: +7 (495) 955 5137

<b>1. ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ АНАЛИЗИРУЕМОГО ИЗДЕЛИЯ.....</b>	<b>6</b>
<b>3. КОДИРОВАНИЕ ВИДОВ ОТКАЗОВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЯЖЕСТИ ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗА .....</b>	<b>7</b>
<b>4. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ ВЫПОЛНЕНИЯ АВПКО.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1. Анализ видов и последствий отказов .....</b>	<b>9</b>
<b>4.2. Качественный и количественный анализ критичности.....</b>	<b>11</b>
4.2.1. Качественный анализ критичности.....	11
4.2.2. Количественный анализ критичности.....	13
<b>5. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕРМИНОВ .....</b>	<b>17</b>

## Используемые сокращения

Сокращение	Значение
АВПКО	Анализ видов, последствий и критичности отказов.
АВПО	Анализ видов и последствий отказов.
АК	Анализ критичности.
АЛП	Анализ логистической поддержки.
БД	База данных.
БД АЛП	База данных анализа логистической поддержки.
КТПО	Категория тяжести последствий отказа.
ЛСИ	Логистическая структура изделия.
ЛСФ	Логистическая структура функций.
ПКИ	Покупное комплектующее изделие.
ТЗ	Техническое задание.
ФИ	Финальное изделие.
ЭК	Элемент-кандидат.
LRU	Line Replaceable Unit (элемент, заменяемый на линии).
SRU	Shop Replaceable Unit (элемент, заменяемый в мастерской).

# 1. Введение

---

Анализ видов и последствий отказов (АВПО) – формализованная, контролируемая процедура качественного анализа проекта, заключающаяся в выделении на некотором уровне разукрупнения его структуры возможных (наблюдаемых) отказов разного вида, в прослеживании причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение, и возможных (наблюдаемых) последствий этих отказов на данном и вышестоящих уровнях, а также – в качественной оценке и ранжировании отказов по тяжести их последствий. Процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности анализируемых отказов, получила название АВПКО – анализ видов, последствий и критичности отказов. АВПКО является неотъемлемой частью АЛП изделия и служит основным источником исходных данных для большинства задач АЛП.

В рамках подготовки к проведению АВПКО выполняют следующие действия:

- создание рабочей группы;
- подготовка необходимых исходных данных (в том числе использование ЛСФ и ЛСИ);
- разработка правил кодирования видов отказов и классификации тяжести последствий отказа.

Как правило, АВПКО проводят силами специальной рабочей группы (численностью не более 5 человек), в состав которой должны входить:

- конструктор изделия (системы);
- инженер по надежности;
- инженер-испытатель;
- специалист по охране окружающей среды;
- инженер-материаловед (привлекается при необходимости);
- технолог (привлекается при необходимости);
- представитель службы снабжения (привлекается при необходимости);
- техники по обслуживанию и ремонту (привлекаются при необходимости).

Источником исходных данных для проведения АВПКО служит имеющаяся документация на изделие, в состав которой входят:

- техническое задание (ТЗ) на разработку изделия;
- техническое описание изделия;
- функциональные, принципиальные и монтажные схемы;

- конструкторские документы (чертежи, спецификации, технические требования и др.);
- ЛСФ и ЛСИ;
- данные о надежности комплектующих изделий;
- отчеты о надежности, полученные при испытаниях опытных образцов или эксплуатации аналогов;
- требования нормативно-технических документов;
- отчеты о надежности из текущего производства;
- данные о влиянии отказов изделия (системы) на окружающую среду;
- другие документы, необходимые для правильного и полного понимания особенностей функционирования изделия в ожидаемых (заданных) условиях эксплуатации.

Для соблюдения единого стиля описания отказов и их последствий необходимо выбрать или разработать справочники-классификаторы, содержащие стандартные формулировки для описания:

- наименований видов отказов (функциональных и конструктивных);
- проявлений отказов;
- первичных причин отказов;
- методов обнаружения отказов;
- компенсирующих конструктивных мер;
- корректирующих действий экипажа и т.д.

Справочники целесообразно формировать на основе классификаторов, существующих для данного вида объектов, дополняя их в процессе анализа значениями (словами, фразами), специфичными для рассматриваемого объекта. Порядок использования справочников при выполнении анализа, а также процедуры их изменения и дополнения следует регламентировать в нормативных документах предприятия.

## 2. Описание структуры анализируемого изделия

---

АВПКО проводится итеративно на всех стадиях АЛП. Для выполнения анализа необходимо предварительно выполнить структурный и функциональный анализ изделия, т.е. разработать ЛСИ, ЛСФ и установить связи между ними. На стадии функционального анализа предметом АВПКО является ЛСФ и функциональные отказы. На второй стадии АЛП предметом анализа является ЛСИ и отказы её элементов, а также смешанная структура, полученная после установления связей между элементами ЛСФ и ЛСИ. Для простых изделий целесообразно анализировать только ЛСИ, тогда как для сложных технических изделий анализу должна подвергаться смешанная структура.

Важный методический вопрос – выбор глубины декомпозиции. Нижний анализируемый уровень декомпозиции – это уровень, до которого изделие/система будет подвергаться АВПКО. Например, при укрупненном анализе нижним может быть выбран уровень агрегатов/основных узлов изделия (LRU). Однако, как будет ясно из дальнейшего изложения, в этом случае нельзя описать и проанализировать причины отказов агрегатов, составляющих данный (нижний) уровень декомпозиции. Такой подход целесообразен для покупных комплектующих изделий (ПКИ), заменяемых целиком (LRU) и подлежащих списанию или восстановлению силами изготовителя. Для агрегатов/узлов, которые предполагается восстанавливать силами эксплуатанта, должен проводиться более глубокий анализ, позволяющий выявить и описать причины отказов агрегатов (LRU), вплоть до заменяемых комплектующих (SRU), не подлежащих дальнейшему разукрупнению/восстановлению. Нижний уровень разукрупнения ЛСИ, рассматриваемый в АВПКО, как правило, выбирается исходя из того, что необходимо проанализировать все элементы, которые подлежат обслуживанию, для чего потребуются запасные части и другие ресурсы на рассматриваемых уровнях обслуживания.

Таким образом, для проведения АВПКО разных элементов ЛСИ может быть выбран разный уровень декомпозиции в зависимости от типа элемента (ПКИ, собственная разработка) и особенностей обслуживания данного элемента у эксплуатанта.

Различные вспомогательные элементы, такие как крепеж (если он был включен в ЛСИ), в процессе АВПКО, как правило, не рассматриваются, так как процедура анализа является достаточно длительной и трудоемкой, что не позволяет охватить все элементы конструкции. Все внимание в процессе АВПКО должно быть сосредоточено на элементах, потенциально наиболее критичных для надежности и безопасности самолета.



### 3. Кодирование видов отказов и классификация тяжести последствий отказа

---

Правила кодирования видов отказов элементов должны быть разработаны до начала проведения анализа. Стандарт DEF STAN 00-60 предлагает использовать следующее правило:

**Обозначение (код) вида отказа** состоит из 4-х латинских букв, первая из которых должна иметь значение 'F' для вида отказа и 'D' для вида повреждения (если в рамках АВПКО проводится анализ возможных повреждений). Значения остальных позиций обозначения должны принимать последовательно значения 'AAA', 'AAB', 'AAC' и так вплоть до 'ZZZ' для каждого следующего вида отказа. Обозначение вида отказа должно быть уникально только в пределах одного элемента ЛСИ/ЛСФ.

Классификация тяжести последствий отказа предназначена для качественной оценки потенциальных последствий вида отказа элемента. Процесс разработки классификации включает в себя выбор количества категорий тяжести последствий отказа (КТПО), которые будут использоваться в процессе анализа, и определение критериев отнесения отказов к указанным категориям.

Классификация может разрабатываться для изделия индивидуально, в соответствии с требованиями контракта, или может существовать единая классификация для целого класса изделий. При классификации видов отказов по тяжести последствий учитывают следующие факторы:

- опасность отказа для жизни и здоровья людей (в том числе, не связанных непосредственно с эксплуатацией объекта), для окружающей среды, для целостности и сохранности самого объекта, другого имущества и материальных объектов;
- влияние отказа на качество функционирования объекта и полноту выполнения им назначенных функций, возможный ущерб любого вида (материальный, моральный, политический и др.), обусловленный снижением качества функционирования объекта или невыполнением объектом миссии;
- скорость развития неблагоприятных последствий отказа, определяющая возможность принятия соответствующих мер защиты от них.

В DEF STAN 00-60 описана следующая классификация отказов по тяжести их последствий:

---

**Категория 1** – Катастрофический отказ (Catastrophic) – вид отказа, который может вызвать гибель людей или повлечь за собой разрушение (потерю) ФИ.

**Категория 2** – Критический отказ (Critical) – вид отказа, который может вызвать серьезное ранение, значительный материальный ущерб или серьёзное повреждение ФИ, которое приведет к срыву выполнения поставленной задачи.

**Категория 3** - Граничный отказ (Marginal) – вид отказа, который может вызвать легкое ранение, незначительный материальный ущерб или незначительное повреждение ФИ, которое приведет к задержке или к снижению эффективности выполнения миссии.

**Категория 4** - Незначительный отказ (Minor) – вид отказа, не вызывающий ранения, не причиняющий материального ущерба или повреждения ФИ, но приводящий к необходимости внепланового обслуживания или мелкого ремонта.

## 4. Методика и алгоритм выполнения АВПКО

---

АВПКО должен проводиться, начиная с самых ранних стадий разработки, и систематически повторяться на последующих стадиях с целью оценки проекта, для выявления наиболее критичных элементов конструкции и определения приоритетности корректирующих и компенсирующих действий.

АВПКО можно разбить на два этапа, выполняемых последовательно на каждой стадии разработки:

1. Анализ видов и последствий отказов (АВПО).
2. Качественный и количественный анализ критичности (АК).

### 4.1. Анализ видов и последствий отказов

АВПО – это процедура, в рамках которой описываются возможные виды функциональных и конструктивных отказов элементов структуры изделия, описываются причины и последствия каждого выявленного вида отказа, а также определяется тяжесть последствий отказов.

На ранних стадиях разработки изделия, когда конструкция полностью еще не определена, предметом АВПКО является ЛСФ и функциональные отказы. На более поздних стадиях предметом анализа является ЛСИ и отказы ее элементов, а также связи между элементами ЛСФ и ЛСИ.

При проведении **первой части АВПО** на ранних стадиях разработки (анализ ЛСФ) выполняют следующую последовательность действий:

1. Для каждой системы описывают возможные виды ее функциональных отказов. Для этого последовательно, сверху вниз по дереву ЛСФ, анализируют функции системы и определяют возможные нарушения этих функций, то есть выход одного или нескольких параметров, характеризующих нормальное выполнение функции, за пределы допустимых значений. Каждое возможное нарушение функции описывается как вид функционального отказа, который связывается с элементом ЛСФ, соответствующим этой функции. Анализируются функции всех функциональных блоков, выделенных в системе.
2. Для каждого функционального отказа описывают возможное последствие на уровне системы (для каждой функции желательно описывать только одно, наиболее тяжелое последствие). Должны описываться только возможные независимые и несовместные последствия, т.е. наступление одного из последствий полностью исключает

наступление другого возможного последствия. Если два последствия могут наступить вместе, то они должны описываться как одно последствие<sup>1</sup>.

3. Для каждого последствия на уровне системы (это виды функциональных отказов, связанные с системой) указывается КТПО и последствие данного отказа системы для всего самолета (последствие на уровне ФИ).

Ко **второй части АВПО** (анализ ЛСИ и связей ЛСФ – ЛСИ) переходят после того, как будут полностью определены и установлены связи между элементами ЛСФ (функциями) и ЛСИ (ЭК, выполняющими эти функции), т.е. на более поздних стадиях разработки изделия. На этом этапе выполняют следующие действия:

1. По связям между элементами ЛСФ и ЛСИ для каждой функции определяют перечень компонентов (LRU), отвечающих за ее выполнение, и для каждого компонента из перечня описывают возможные виды отказов (это конструктивные отказы компонентов, например, поломка, износ, разрыв (электрической цепи, трубопровода) и т.д.). На этом этапе желательно описывать не только виды отказов, приводящие к нарушению рассматриваемой функции, а вообще все возможные виды отказов компонента.
2. Для каждого конструктивного отказа компонента описывают возможные последствия, т.е. каждый вид отказа компонента связывают с определенным видом отказа функции, которую он выполняет. Если для конструктивного отказа возможно несколько последствий, то для каждого последствия необходимо указать вероятность его возникновения при наступлении данного конструктивного отказа<sup>2</sup>.
3. Для каждого конструктивного отказа вводят в БД АЛП такие данные, как «Доля вида отказа», «Уровень вероятности отказа», «Метод обнаружения отказа», «Компенсирующие конструктивные меры», «Компенсирующие действия персонала».
4. Проверяют, что последствия описаны для всех конструктивных отказов элементов ЛСИ. Если это не так, то определяют причину отсутствия последствия и, при необходимости, в анализ вносят корректировки, например, добавляют пропущенные функциональные отказы или исправляют связи между элементами ЛСФ и ЛСИ.

После установления причинно-следственных связей всем видам конструктивных отказов в зависимости от описанных последствий назначается КТПО, после чего можно переходить к оценке критичности видов отказов и компонентов.

На рис. 4-1 схематично проиллюстрированы взаимосвязи между видами отказов разных уровней разукрупнения и механизм распределения КТПО функционального отказа системы по всем видам отказов нижестоящих элементов. Если, например, последствием

---

<sup>1</sup> Каждое описанное последствие на уровне системы может быть представлено в БД АЛП как вид функционального отказа, связанный с данной системой. Тогда данное требование можно представить так: «Все функциональные отказы системы должны быть независимы и несовместимы, т.е. наступление одного функционального отказа полностью исключает наступление другого функционального отказа. Если два функциональных отказа могут наступить вместе, то они должны быть описаны как один функциональный отказ».

<sup>2</sup> Вероятность наступления последствия, как правило, равна вероятности возникновения события, при котором данное последствие наступит с вероятностью 100%.

нижестоящего функционального отказа является граничный отказ системы (КТПО = 3), то этому функциональному отказу также присваивается КТПО = 3. Если функциональный отказ может привести к нескольким последствиям разной тяжести, то ему назначается КТПО наиболее тяжелого последствия.

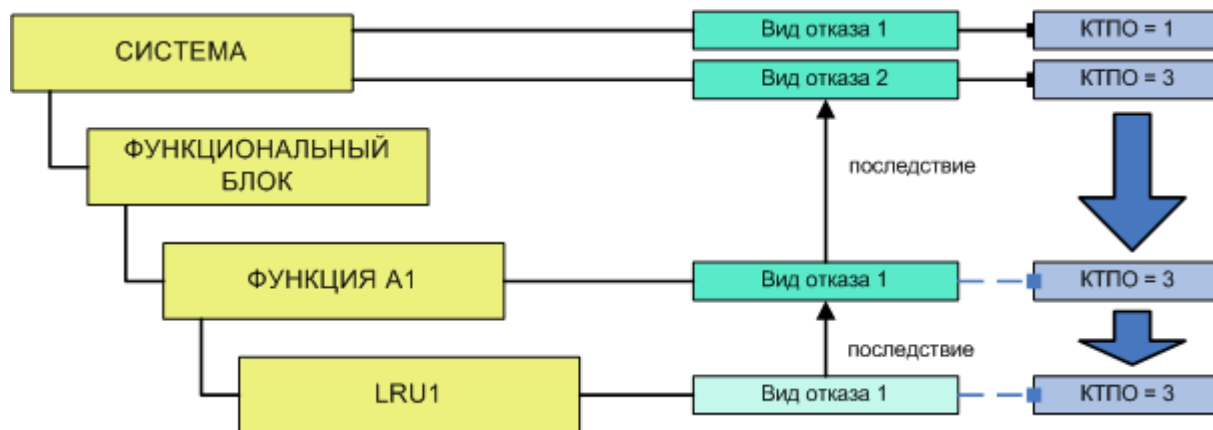


Рис. 4-1. Взаимосвязи между видами отказов разных уровней разукрупнения и механизм распределения КТПО

**Третьей частью АВПО** является определение причин отказов конструктивных элементов (LRU). При определении причин отказа элемента ЛСИ следует учитывать выбранный нижний уровень декомпозиции для данного типа элементов (раздел 2). Если рассматриваемый элемент ЛСИ является неразукрупняемым изделием (деталь или агрегат нижнего уровня декомпозиции, не подлежащий более глубокому анализу), то для его видов отказов причины могут быть описаны простым текстом или выбраны из соответствующего справочника-классификатора.

Если рассматриваемый элемент подлежит более глубокому анализу, то далее АВПО подвергается структура данного элемента, которая должна быть предварительно описана в рамках структурного и функционального анализа. Причина отказа такого элемента описывается в терминах отказов (комбинаций отказов) компонентов структуры. При этом алгоритм действий аналогичен **второй части АВПО**: описываются виды отказов элементов нижнего уровня разукрупнения и для них указываются последствия на вышестоящем уровне. Определение причин отказов элементов нижнего уровня разукрупнения осуществляется аналогичным способом до тех пор, пока не будут выявлены первичные причины всех видов отказов элементов ЛСИ.

## 4.2. Качественный и количественный анализ критичности

### 4.2.1. Качественный анализ критичности

Качественный анализ критичности (АК) выполняется, как правило, на ранних стадиях разработки, когда конструкция изделий еще не полностью определена и нет количественных данных о надежности всех комплектующих изделий.

Для выполнения этого вида анализа каждому виду отказа необходимо назначить качественный параметр, характеризующий вероятность его возникновения – уровень вероятности возникновения. Возможные значения этого параметра регламентированы в DEF STAN 00-60 (таблица 1).

Таблица 1. Уровни вероятности возникновения вида отказа

Уровень вероятности возникновения отказа	Описание
<b>A</b>	<b>Частый отказ.</b> Вероятность возникновения отказа за заданное время работы превышает 0.2.
<b>B</b>	<b>Вероятный отказ.</b> Вероятность возникновения отказа за заданное время составляет от 0.1 до 0.2.
<b>C</b>	<b>Возможный отказ.</b> Вероятность возникновения отказа за заданное время составляет от 0.01 до 0.1.
<b>D</b>	<b>Редкий отказ.</b> Вероятность возникновения отказа за заданное время составляет от 0.001 до 0.01.
<b>E</b>	<b>Маловероятный отказ.</b> Вероятность возникновения отказа за заданное время ниже 0.001.

Процедура качественного анализа критичности заключается в назначении приоритетов корректирующих и компенсирующих действий видам отказов в зависимости от КТПО и заданного уровня вероятности возникновения отказа.

Для этого виды отказов распределяются по матрице критичности, на горизонтальной оси которой отложены значения КТПО, а на вертикальной – уровни вероятности возникновения отказа (рис. 4-2).

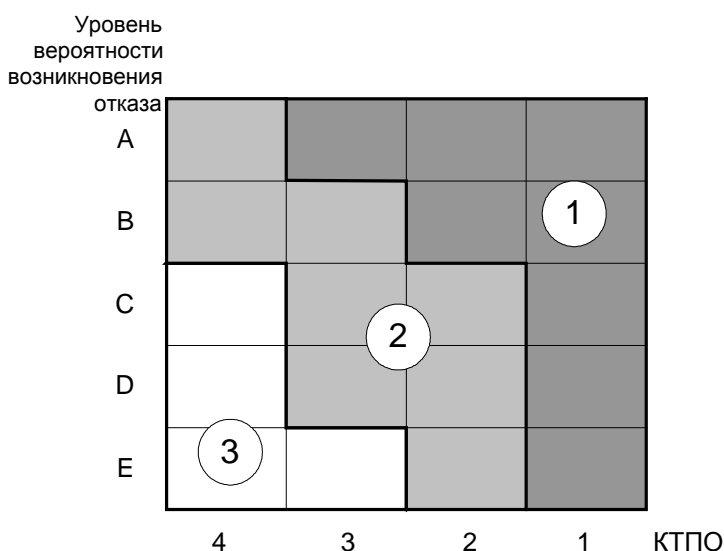


Рис. 4-2. Матрица критичности для качественного анализа

На матрице специалистами-аналитиками для каждого проекта индивидуально выделяются области равных приоритетов (в рассматриваемом примере это три области: 1 – высокого, 2 – среднего и 3 – низкого приоритета).

В зависимости от того, в какую область матрицы критичности попадает вид отказа, ему назначается соответствующий приоритет корректирующих и компенсирующих действий. Рекомендуются следующая классификация элементов по приоритетам корректирующих и компенсирующих действий (таблица 2).

Таблица 2. Классификации элементов по приоритетам

Приоритет	Рекомендации
1	Функция/элемент, хотя бы один отказ которого требует особого внимания при разработке конструкции. Для таких функций/элементов необходимо предусмотреть системы контроля, сигнализации и компенсации отказа. Эти элементы должны рассматриваться как первоочередные кандидаты на изменение конструкции (замену) с целью повышения надежности всего изделия. Функция/элемент нуждается в полномасштабном АВПКО.
2	Функция/элемент, отказы которого требуют внимания при разработке. Требуется оценка необходимости разработки систем контроля, сигнализации и компенсации отказа. Может потребоваться изменение конструкции (замена) с целью повышения надежности всего изделия. Для функции/элемента рекомендуется провести полномасштабный АВПКО.
3	Функция/элемент, которая требует минимального АВПКО для подтверждения значения приоритета. Не рассматривается как кандидат на доработку/замену. Не требует ввода систем контроля, сигнализации и компенсации отказа.

#### 4.2.2. Количественный анализ критичности

На поздних стадиях разработки изделия, когда, как правило, известны интенсивности отказов всех компонентов, проводится количественный анализ критичности. Процедура количественного анализа заключается в назначении видам отказов элементов ЛСИ приоритетов корректирующих и компенсирующих действий в зависимости от КТПО и рассчитанного числа критичности, а также в упорядочении элементов ЛСИ по значениям этих чисел.

Для выполнения количественного анализа критичности необходимо задать следующие параметры:

1. Для каждого анализируемого элемента (ЛСИ или ЛСФ):

$\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го элемента, 1/ е.и.<sup>3</sup> наработки.

2. Для каждого вида отказа анализируемого элемента:

$\alpha_{ij}$  – доля  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента. Если для элемента описан только один вид отказа, то  $\alpha_{ij} = 0$ . Если для элемента описано несколько видов отказов, то должно выполняться условие  $\sum_{j=1}^J \alpha_{ij} = 1$ , где  $J$  – количество видов отказов элемента. Если  $\sum_{j=1}^J \alpha_{ij} < 1$ , то описаны не все возможные виды отказа элемента.

$\beta_{ij}^K$  – вероятность возникновения последствия  $K$ -й категории тяжести для  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента ( $K = 1, 2, 3, 4$  – КТПО, назначенное  $j$ -му виду отказа). Если для вида отказа описано несколько возможных последствий с разными КТПО, то необходимо определить вероятность возникновения последствия с наилучшим значением КТПО.

Число критичности  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента ЛСИ рассчитывается по формуле, приведённой в DEF STAN 00-60:

$$Cm_{ij}^K = \beta_{ij}^K \cdot \alpha_{ij} \cdot \lambda_i \cdot (T_{работы})_i, \quad (1)$$

где:

$Cm_{ij}^K$  – число критичности  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента ЛСИ  $K$ -й (наихудшей) категории тяжести последствий;

$(T_{работы})_i$  – наработка  $i$ -го элемента ЛСИ за время миссии.

Наработка  $i$ -го элемента ЛСИ за время миссии определяется по формуле:

$$(T_{работы})_i = \frac{k_i}{100} \cdot T_{миссии} \quad (2)$$

где

$T_{миссии}$  – наработка ФИ за время миссии, е.и. наработки,

$k_i$  – доля времени работы  $i$ -го элемента ЛСИ за время миссии, %.

Как следует из (1), число  $Cm_{ij}^K$  равно количеству отказов  $j$ -го вида  $i$ -го элемента ЛСИ, приводящих к  $K$ -й (наихудшей) категории тяжести последствий, которое может возникнуть за наработку  $(T_{работы})_i$ .

Для назначения приоритетов видам отказов, они распределяются по матрице критичности, на горизонтальной оси которой отложены значения КТПО, а на вертикальной – числа критичности видов отказов. Так как использование абсолютных значений чисел критичности неудобно<sup>4</sup>, рекомендуется использовать относительную величину – относительное число критичности вида отказа  $P_{ij}$ , которое рассчитывается по формуле:

<sup>3</sup> е.и. – единица измерения.

<sup>4</sup> Для высоконадежных элементов числа критичности весьма малы.



$$P_{ij} = \frac{Cm_{ij}^K}{\lambda_{\text{ФИ}} \cdot T_{\text{миссии}}}, \quad (3)$$

где:

$Cm_{ij}^K$  – число критичности  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента ЛСИ, определенное по формуле (1);

$\lambda_{\text{ФИ}}$  – интенсивность отказов ФИ, 1/е.и. наработки;

$T_{\text{миссии}}$  – наработка ФИ за время миссии, е.и. наработки.

На рис. 4-3 изображена матрица критичности, используемая для количественного анализа критичности видов отказов. На матрице выделены области равных приоритетов, назначаемые, как и в случае качественного анализа критичности, аналитиком, проводящим АВПКО, для каждого изделия индивидуально. Особенностью этой матрицы является то, что на вертикальной оси размещается непрерывная шкала относительных чисел критичности, в отличие от дискретной шкалы на рис. 4-2.

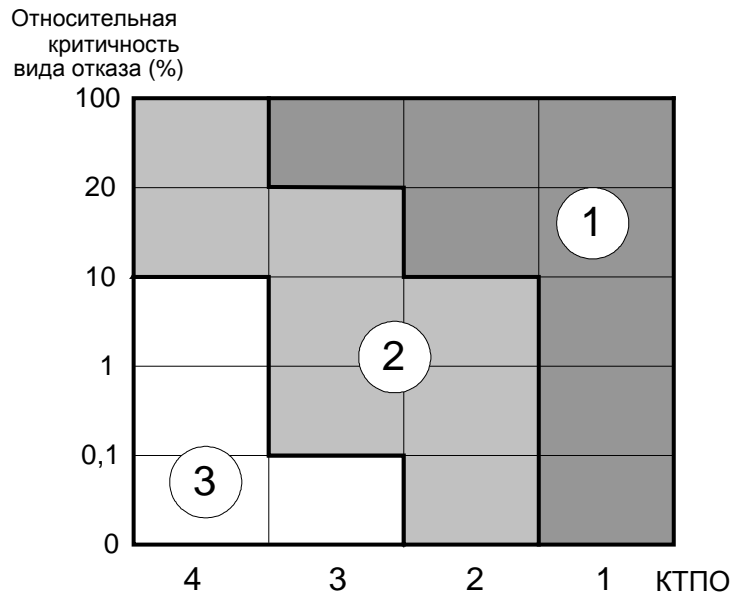


Рис. 4-3. Матрица критичности для количественного анализа

В зависимости от того, в какую область матрицы критичности попадает вид отказа, ему назначается соответствующий приоритет корректирующих и компенсирующих действий: 1 – высокий, 2 – средний, 3 – низкий. Элементы ЛСИ, имеющие хотя бы один вид отказа 1-го приоритета, как правило, нуждаются в обязательном изменении конструкции с целью устранения критичного вида отказа или снижения тяжести его последствий (понижения приоритета). Элементы, чьи виды отказов получили 2-й приоритет, могут также потребовать доработки с целью повышения надежности или нуждаются в разработке программы планово-профилактического обслуживания на этапе эксплуатации. Некоторые элементы 3-го приоритета также могут потребовать профилактического обслуживания на этапе эксплуатации.

Для упорядочения элементов ЛСИ по критичности, необходимо рассчитать числа критичности элементов отдельно для каждой КТПО, т.е. для  $i$ -го элемента определяются

четыре числа критичности:  $(Cr1)_i$ ;  $(Cr2)_i$ ;  $(Cr3)_i$ ;  $(Cr4)_i$ . Каждое число представляет собой сумму чисел критичности видов отказов этого элемента, относящихся к определенной КТПО:

$$\begin{aligned}(Cr1)_i &= \sum_{j=1}^{N_1} Cm_{ij}^1; & (Cr2)_i &= \sum_{j=1}^{N_2} Cm_{ij}^2; \\ (Cr3)_i &= \sum_{j=1}^{N_3} Cm_{ij}^3; & (Cr4)_i &= \sum_{j=1}^{N_4} Cm_{ij}^4;\end{aligned}\tag{4}$$

где:

$Cm_{ij}^1$ ,  $Cm_{ij}^2$ ,  $Cm_{ij}^3$ ,  $Cm_{ij}^4$  – числа критичности  $j$ -го вида отказа  $i$ -го элемента ЛСИ, относящегося к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий (рассчитываются по формуле (1));  
 $j$  – порядковый номер вида отказа элемента ЛСИ, относящегося к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий;  
 $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ,  $N_4$  – количество видов отказов  $i$ -го элемента, относящихся к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий.

Если с элементом не связаны виды отказов с КТПО =  $K$ , то  $(CrK)_i = 0$  при  $K = 1$  или 2, или 3, или 4.

В расчетах вместо величин  $Cm_{ij}^K$  могут использоваться относительные значения, определяемые по формуле (2).

Упорядочение элементов ЛСИ по критичности осуществляется по трем параметрам: приоритету корректирующих и компенсирующих действий, КТПО и числу критичности элемента. Сначала из ЛСИ выбирают все элементы, чьи виды отказа отнесены к 1-му приоритету и имеют КТПО = 1, и упорядочивают по убыванию числа критичности элемента. Затем выбирают элементы, чьи виды отказа имеют 1-й приоритет, но КТПО = 2, и также упорядочивают по убыванию числа критичности, и так далее – по убыванию приоритета и КТПО. Упорядоченный по критичности перечень элементов ЛСИ может использоваться при разработке конструкции изделия для определения очередности внесения изменений в конструкцию с целью повышения надежности, а также при разработке планов обслуживания изделия для определения элементов, которым при эксплуатации необходимо профилактическое обслуживание.

## 5. Перечень терминов

Изделие	Любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии <sup>5</sup> .
Изделие конечное (финальное), КИ (ФИ)	Заключительная комбинация материалов, предметов, программных и иных компонентов, способная к самостоятельному функционированию и выполнению своего назначения; является конечным продуктом, поставляемым потребителю.
Покупное комплектующее изделие, ПКИ	Изделие, не изготовляемое на данном предприятии, а получаемое (приобретаемое) им и использующееся в производимом изделии как его составная часть.
Жизненный цикл [изделия], ЖЦ	Совокупность этапов, через которые проходит изделие за время своего существования. Этапы ЖЦ, как правило, устанавливаются в нормативной документации.
Техническая эксплуатация	Часть эксплуатации, включающая транспортирование, хранение, техническое обслуживание и ремонт изделия.
Условия эксплуатации	Совокупность факторов, действующих на изделие при его эксплуатации.
Миссия	Событие, состоящее в выполнении задачи (задания), т.е. использования изделия по назначению.
Анализ логистической поддержки, АЛП	Формализованная технология всестороннего исследования как самого изделия, так и вариантов СТЭ, включающая согласованный разработчиком изделия и заказчиком набор задач, решаемых, как правило, с помощью компьютерных средств.
База данных анализа логистической поддержки, БД АЛП	База данных, содержащая информацию, получаемую и используемую в процессе АЛП изделия (исходные данные и результаты АЛП).
Структура изделия	Совокупность составных частей изделия и связей между ними, определяющих входимость составных частей.

<sup>5</sup> В контексте данного учебного курса изделие может представлять собой достаточно сложную совокупность взаимодействующих между собой предметов, материалов и программных средств, являющуюся результатом деятельности предприятия.

Функция [изделия, составной части изделия]	Описание служебного назначения изделия.
Конструкторская структура изделия	Комбинированная структура, содержащая как функциональные, так и конструктивные элементы (сборочные единицы, детали) и связи, отображающие отношения входимости («состоит из...», «входит в...»).
Конструктивный элемент	Составная часть изделия, выполняющая в нем одну или несколько функций (или участвующая в выполнении одной или нескольких функций). Конструктивный элемент может существовать как самостоятельное изделие (изделие собственного изготовления или покупное изделие) или входить в состав конструктивного элемента более высокого уровня иерархии.
Логистическая структура	Разновидность электронной структуры изделия, создаваемая в процессе АПП в двух формах: - логистическая структура функций (ЛСФ), создаваемая в ходе и по результатам функционального анализа изделия на основе функциональной структуры; в состав ЛСФ включаются те функции (функциональные элементы), невыполнение которых может привести к невыполнению функции конечного изделия; - логистическая структура изделия (ЛСИ), создаваемая на основе конструкторской документации и с учетом анализа видов, последствий и критичности отказов; в состав ЛСИ включаются те конструктивные элементы, которые требуют технического обслуживания, ремонта или замены в процессе эксплуатации, а также те элементы, отказ которых может привести к отказу конечного изделия.
Логистический контрольный номер, ЛКН	Буквенно-цифровой код, однозначно идентифицирующий элемент логистической структуры функций или изделия в процессе АПП. ЛКН используют также для идентификации компонентов вспомогательного оборудования, оборудования для обучения и средств монтажа. ЛКН формируют в соответствии с заданной для конкретного проекта структурой этого кода.
Альтернативный логистический контрольный номер, АЛКН	Код, идентифицирующий вариант исполнения или модификацию элемента структуры с конкретным ЛКН. АЛКН присваивается вариантам элемента структуры последовательно.
Элемент логистической структуры	Функциональный или конструктивный элемент изделия, выделенный для решения задач АПП, снабженный ЛКН, а

(логистический элемент)	при необходимости – АЛКН.
Критический элемент	Составная часть изделия, отказ или неисправность которой влияет на безопасность изделия, приводит к неготовности изделия или невозможности выполнения им своих задач, или вызывает необходимость дорогостоящего технического обслуживания или ремонта.
Функциональный анализ	Последовательное, симптоматическое описание функций конечного изделия и его функциональных элементов, предназначенное для выявления полноты и непротиворечивости функций и оценки влияния невыполнения отдельных функций на выполнение функции конечного изделия; результатом функционального анализа являются функциональная структура и логистическая структура функций.
Отказ	Событие, заключающееся в определенном нарушении работоспособности элемента. Это нарушение характеризуется полной или частичной потерей способности выполнять одну или несколько заданных функций.
Вид отказа	Совокупность возможных или наблюдаемых отказов элемента и/или системы, объединенных в некоторую квалификационную группу по общности одного или нескольких признаков (причины, механизм возникновения, внешние проявления и другие признаки, кроме последствий отказа).
Функциональный отказ	Отказ системы, подсистемы, крупного агрегата и/или других элементов ЛСФ.
Конструктивный отказ	Отказ конструктивного элемента (сборочной единицы (узла), детали, ПКИ), являющегося элементом ЛСИ.
Критический отказ	Отказ системы или ее элемента, тяжесть последствий которого в пределах данного анализа признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению вероятности данного отказа и/или возможного ущерба, связанного с его возникновением.
Тяжесть последствий отказа	Качественная или количественная оценка вероятного (наблюдаемого) ущерба от отказа элемента и/или системы.
Категория тяжести последствий отказов,	Классификационная группа, к которой относятся отказы в зависимости от тяжести их последствий.

КТПО

Анализ видов и последствий отказов, АВПО

Формализованная, контролируемая процедура качественного анализа проекта, технологии изготовления, правил эксплуатации и хранения, системы технического обслуживания и ремонта изделия, заключающаяся в выделении на некотором уровне разукрупнения его структуры возможных (наблюдаемых) отказов разного вида, в прослеживании причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение, и возможных (наблюдаемых) последствий этих отказов на данном и вышестоящих уровнях, а также – в качественной оценке и ранжировании отказов по тяжести их последствий<sup>6</sup>.

Критичность вида отказа

Относительное свойство вида отказа, характеризующее категорией тяжести последствий и частотой их возникновения.

Показатель критичности отказа

Количественная характеристика критичности отказа, учитывающая его вероятность за время эксплуатации и тяжесть возможных последствий<sup>7</sup>.

Анализ видов, последствий и критичности отказа, АВПКО

Процедура АВПО, дополненная оценками показателей критичности анализируемых отказов.

Корректирующее действие

Действие, предпринимаемое разработчиком для устранения причины отказа, снижения вероятности его возникновения или смягчения последствий посредством доработки конструкции. К числу таких действий относятся: применение материалов с повышенными характеристиками прочности и износостойкости, резервирование, включение в конструкцию предохранительных элементов и т.д.

Компенсирующее действие

Действие, предпринимаемое эксплуатантом и направленное на снижение вероятности возникновения отказа.

Компенсирующие действия экипажа

Действия экипажа по парированию (предотвращению последствий или устранению) отказа после его возникновения/обнаружения.

---

<sup>6</sup> На практике (в особенности на ранних стадиях ЖЦ изделия) процедуру АВПО, как правило, ограничивают анализом проекта изделия.

<sup>7</sup> В зарубежных нормативных документах и технической литературе принят термин «число критичности» («criticality number»).

Конструктивно-сменный узел (Line Replaceable Unit, LRU)

Конструктивный элемент (как правило, ПКИ), который может быть заменен непосредственно на изделии.

Узел цеховой замены (Shop Replaceable Unit, SRU)

Конструктивный элемент, который невозможно заменить непосредственно на изделии.