

# СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ КРИТИЧНОСТИ ОТКАЗОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЯЖЕЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

## STRUCTURAL-PARAMETRIC DECOMPOSITION OF FAILURE CRITICALITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS OF HEAVY ENGINEERING

A. Amosov

*Summary.* In this paper, the author attempts to solve a problem that is relevant in the 21st century, analyzing and decomposing the probability of failure of complex technical systems that entail material damage of varying severity, as well as human victims.

*Keywords:* engineering, quality, analysis, criticality, failure, decomposition, hierarchy, complex technical systems, components, probability.

**Амосов Алексей Германович**

Ассистент, Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет),  
г. Москва  
lamosov@yandex.ru

*Аннотация.* В представленной работе, автором предпринята попытка решения актуальной в 21 веке задачи, анализа и декомпозиции вероятностей отказов сложных технических систем, влекущих за собой материальный ущерб разной степени тяжести, а также человеческие жертвы.

*Ключевые слова:* машиностроение, качество, анализ, критичность, отказ, декомпозиция, иерархия, сложные технические системы, составные части, вероятность.

### Введение

**Н**астоящая работа проведена с целью анализа, проверки достаточности, оценки эффективности и контроля за реализацией управляющих решений, направленных на совершенствование конструкции, технологии изготовления и других возможных факторов вызывающих ослабление тяжести вероятных последствий и отказов, а так же на достижение требуемых характеристик безопасности.

Объект назначения может быть самым различным, декомпозиция может быть применена к любым сложным техническим системам и узлам [5].

### Общие положения

В данной работе принято что:

- ◆ Под отказом составной части понимается любое несоответствие, приводящее к нарушению условий работы всей системы или полное прекращение (остановка, задержка) процесса выполнения прямой задачи [6,7];
- ◆ Критический отказ — отказ любой из составных частей, тяжесть последствий которого может быть признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению вероятности

данного отказа и возможного ущерба, связанного с его возникновением;

- ◆ Критичный элемент — элементы, отказ которых может быть критическим;
- ◆ Критичный технологический процесс — технологический процесс, применяемый при изготовлении, нарушение параметров которого или вносимые в ходе которого, дефекты могут быть причиной критического отказа;
- ◆ Показатель критичности отказа — количественная характеристика критичности отказа, учитывающая его вероятность за время эксплуатации и тяжесть возможных последствий;

Оценка критичности вновь создаваемых систем должна проводиться с учётом следующих факторов:

- ◆ коэффициенты запаса прочности составных частей должны быть подтверждены расчетами на прочность и превышать минимально допустимые [2];
- ◆ показатели надёжности составных частей должны быть подтверждены расчетом надёжности [3].

Вероятность безотказной работы каждой из составных частей за один цикл функционирования должна быть не менее установленного в техническом задании на изделие.

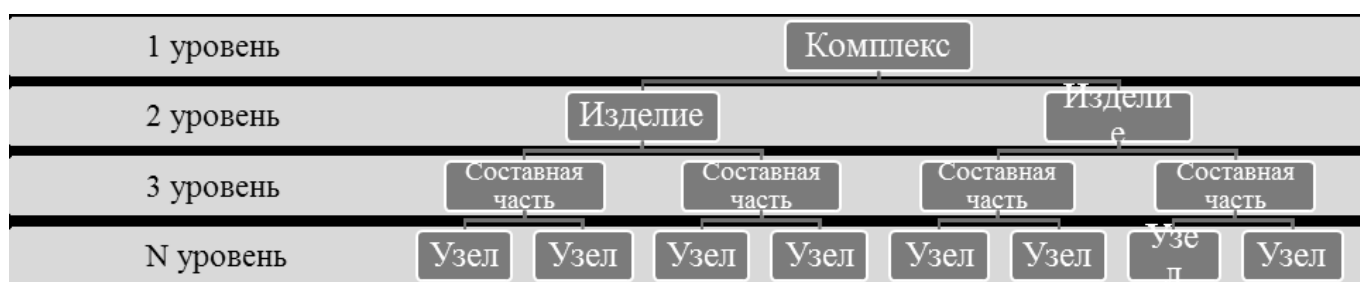


Рис. 1. Уровни иерархии при структурном методе

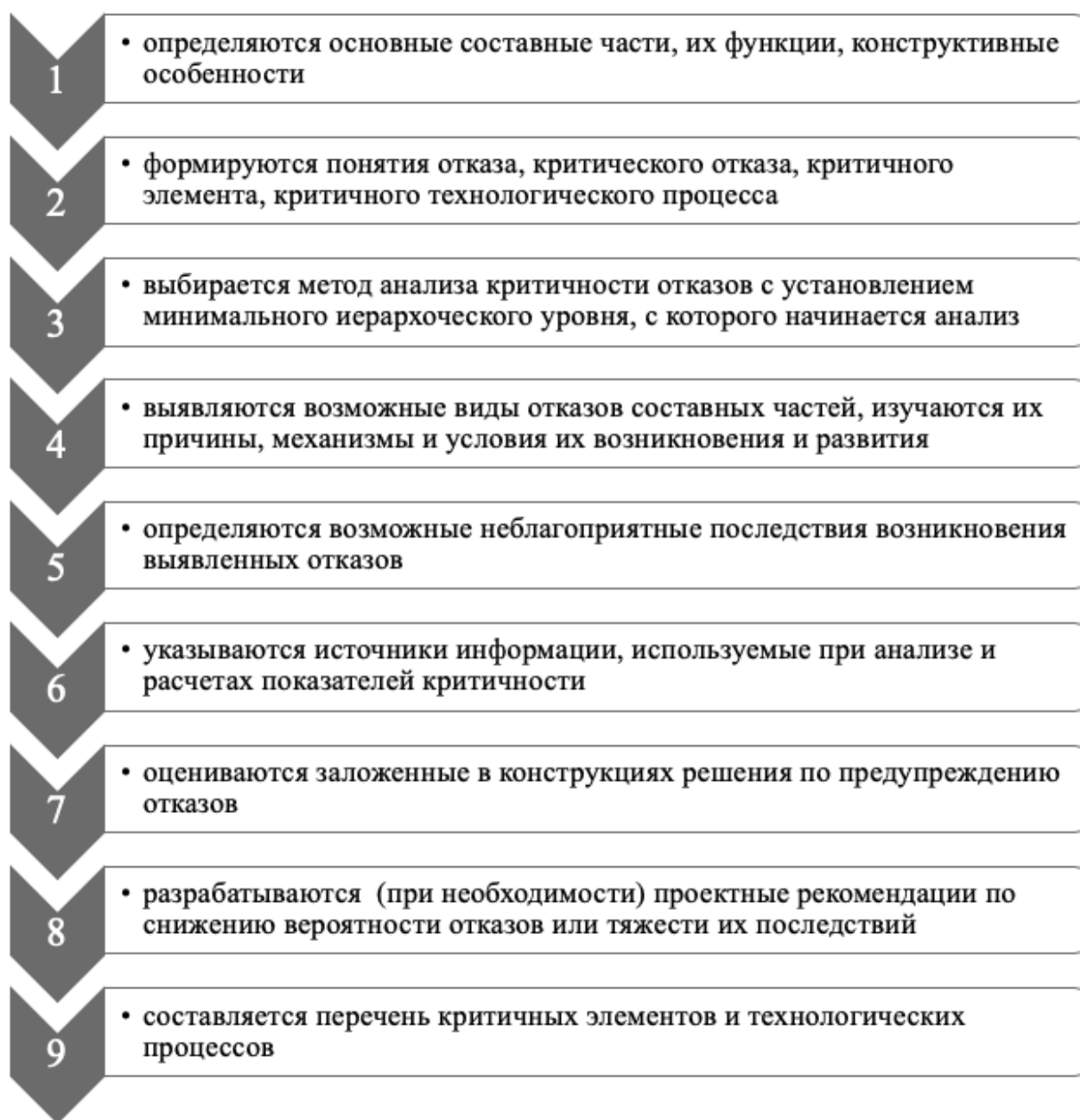


Рис. 2. Порядок проведения анализа критичности отказов

Таблица 1. Категории тяжести последствий отказов

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
IV	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для изделия, приводит к повреждению изделия, приводит к гибели или тяжелой травме обслуживающего персонала.
III	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для изделия, приводит к повреждению изделия, но создает пренебрежимо малую угрозу жизни и здоровью обслуживающего персонала.
II	Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижение готовности, но не приводит к повреждению изделия и не представляет опасности для здоровья обслуживающего персонала и окружающей среды.
I	Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования, но не приводит к повреждению изделия, не представляет опасности для здоровья обслуживающего персонала и окружающей среды.

Таблица 2. Матрица «вероятность отказа — тяжесть последствий»

Ожидаемая частота возникновения	Тяжесть последствий			
	Катастро-фический отказ (категория IV)	Критический отказ (категория III)	Некритический отказ (категория II)	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями (категория I)
Частный отказ	A	A	A	C
Вероятный отказ	A	A	B	C
Возможный отказ	A	B	B	D
Редкий отказ	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	B	C	C	D

### Структурная декомпозиция

Для анализа критичности выбираем структурный метод, относящийся к классу индуктивных [4].

Уровень иерархии при структурном методе анализа принимаем от всего комплекса изделий до отдельных узлов (рис. 1) и оценкой тяжести отказов каждой составной части с установлением их критичности. Контроль реализации осуществляется для проверки своевременности и результативности всех мероприятий.

### Основные допущения и ограничения

При проведении анализа приняты следующие допущения и ограничения:

- ◆ изделие находится в работоспособном состоянии;
- ◆ все составные части находятся в исходном положении для обеспечения конкретного вида работ;
- ◆ одновременно может произойти отказ только одной составной части;
- ◆ отказ любой составной части не приводит к отказу другой;

- ◆ анализу подвергаются только основные составные части;

Анализ критичности отказов изделий и их составных частей проводится в следующем порядке (рис. 2)

Основным принципом анализа согласно [1] принято сочетание качественного анализа видов и последствий отказов с количественными оценками критичности выявленных возможных или наблюдаемых при испытаниях и в эксплуатации отказов.

### Классификация отказов по тяжести последствий

Классификацию отказов по тяжести их последствий проводим исходя из событий, которые могут произойти вследствие возникновения отказа.

Категории тяжести последствий отказов устанавливаем с учётом рекомендаций [1], которые приведены в таблице 1.

Качественную оценку ожидаемой (наблюдаемой) частоты наступления отказов разной категории тяжести при эксплуатации проводим с применением матрицы «вероятность отказа — тяжесть последствий», приведенной в таблице 2.

Ранги отказов:

- A — обязателен углубленный количественный анализ критичности;
- B — желателен количественный анализ критичности;
- C — можно ограничиться качественным анализом;
- D — анализ не требуется.

## Вывод

Критических отказов можно избежать, при соблюдении требований:

- ◆ системы менеджмента качества предприятия-изготовителя на разных этапах создания;
- ◆ выполнения расчётов на прочность и надёжность с обязательным подтверждением результатами силовых испытаний при изготовлении;

Применение материалов, соответствующих условиям эксплуатации и государственным стандартам, так же поможет избежать отказа узлов, расположенных на нижних уровнях.

Качество применяемых материалов необходимо подтверждать входным контролем, в том числе контролем химического состава материала, его ударной вязкости, наличия дефектов механического характера (расслоение материала и других дефектов) и проверкой наличия сертификата предприятия-изготовителя.

В технических требованиях чертежей необходимо предусмотреть:

- ◆ контроль качества сварных соединений при изготовлении внешним осмотром и методами неразрушающего контроля (магнитной дефектоскопией, ультразвуковым контролем);
- ◆ статические и динамические силовые испытания несущих систем и отдельных ответственных узлов и агрегатов

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.310–95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения
2. ГОСТ Р ИСО 9000–2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь
3. ГОСТ Р ЕН 9100–2011 Системы менеджмента качества организации авиационной, космической и оборонных отраслей промышленности.
4. ОСТ 134–1028–2012 Требования к системам менеджмента качества предприятий, участвующих в создании, производстве и эксплуатации изделий.
5. Амосов, А. Г. Проблематика маневренности автопоездов при проектировании / А. Г. Амосов, М. Ю. Куприков, В. А. Голиков // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2018. — № 9. — С. 342–349.
6. Жизненный цикл и реализация летательного аппарата Б. В. Бойцов, В. Д. Борисов, Н. М. Киселев, В. Г. Подколзин. -М.: Изд-во МАИ, 2005. 520с.
7. Cheng S. and Cebon D. Improving roll stability of articulated heavy vehicle using active semi-trailer steering. — Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, Vol 46, Supplement: 373–388, 2008.

© Амосов Алексей Германович (amosov@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»