ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 27.605— 2013**

## Надежность в технике

# РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

## Диагностическая проверка

**IEC 60706-5:2007-09**
**(NEQ)**

**Издание официальное**

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 119 «Надежность в технике»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 сентября 2013 г. № 1076-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта МЭК 60706-5:2007-09 «Ремонтопригодность изделий. Часть 5. Контролируемость и диагностика» (IEC 60706-5:2007-09 «Maintainability of equipment — Part 5: Testability and diagnostic testing», NEQ)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)*

© Стандартинформ, 2014

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1 Область применения . . . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . . . 1
3 Термины, определения и сокращения . . . . . 2
4 Описание понятий контролируемости и технического диагностирования . . . . . 4
5 Технические требования по контролируемости . . . . . 8
6 Обеспечение контролируемости в процессе разработки изделий . . . . . 14
7 Оценка контролируемости . . . . . 18
8 Документация, относящаяся к контролируемости . . . . . 18
Приложение А (справочное) Расчет характеристик процессов поиска и локализации отказов . . . . 19
Библиография . . . . . 22

## Введение

Контролируемость представляет собой важное свойство систем и оборудования, сильно влияющее на их эксплуатацию, техническое обслуживание (ТО) и ремонт. Техническое диагностирование систем и оборудования может проводиться вручную или с использованием специального контрольно-проверочного оборудования с различными уровнями его автоматизации. Оптимальная с точки зрения контролируемости конструкция систем требует тесной кооперации в процессе их создания конструкторских, эксплуатирующих и обслуживающих организаций. Настоящий стандарт освещает различные аспекты контролируемости изделий и их технического диагностирования в целях надлежащей их увязки между собой.

В настоящем стандарте под объектами, изучаемыми с точки зрения обеспечения и контроля их контролируемости, подразумевают системы, их оборудование и функциональные составные части (далее — изделия), на которые распространяются контракты на их разработку, изготовление, поставку, ТО и ремонт. Любое изделие предназначено для выполнения некоторых назначенных функций, способность к исполнению которых обеспечивают и проверяют на этапах разработки и изготовления изделия и поддерживают на всех стадиях жизненного цикла. Для того чтобы изделие отвечало своему функциональному назначению, техническое состояние всех его составных частей должно быть известно в любой момент его работы в известных условиях эксплуатации. В случае возникновения отказа должны быть предприняты все необходимые действия для его выявления и локализации неисправной составной части. В связи с этим требования к изделиям по контролируемости могут показаться достаточно простыми и очевидными, но если эти требования не были учтены с самого начала разработки изделия, то это влечет за собой существенное повышение трудоемкости и стоимости последующих стадий жизненного цикла изделий. Если все требования установлены к началу разработки изделия, то конструктор имеет возможность без дополнительных усилий придать разрабатываемому изделию требуемые характеристики контролируемости и, тем самым, заметно сократить затраты на разработку, например за счет сокращения продолжительности испытаний для проверки результатов разработки. Опыт доказывает, что повышение затрат и усилий на этапе разработки могут быть с лихвой компенсированы в процессе изготовления, в ходе которого может быть использовано уже существующее испытательное и проверочное оборудование. Надежное выявление неисправностей и низкие затраты на ТО и ремонт в эксплуатации значительно повышают рыночную привлекательность изделий, обладающих высокой контролируемостью.

Поскольку технологии, связанные с разработкой, изготовлением, эксплуатацией, обслуживанием и ремонтом изделий, на которые распространяется настоящий стандарт, могут варьироваться в самых широких пределах, его изложение построено в виде, нейтральном по отношению к применяемым технологиям и видам техники. Стандарт устанавливает только общие принципы расчетной оценки и общий подход к обеспечению требуемой контролируемости изделий. Техническую реализацию задач обнаружения и локализации отказов изделия обеспечивает конструктор, обязанный руководствоваться при этом самыми последними достижениями науки и техники, доступными во время создания изделия. При этом не имеет особого значения, каким именно способом (технические или программные средства) реализуют требуемые диагностические задачи, но важно, чтобы выбранные диагностические процедуры обеспечивали проверку функционирования всех составных частей и чтобы достигнутые значения показателей контролируемости изделия соответствовали установленным требованиям. Если при этом выявляются отклонения этих показателей от заданных значений, то должны быть предприняты все необходимые меры для устранения выявленных несоответствий на ранних стадиях разработки изделия до того, как его конструкция будет окончательно отработана.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Надежность в технике**

# РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

**Диагностическая проверка**

Reliability in technique. Maintainability of equipment. Diagnostic testing

**Дата введения — 2014—06—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает:

- указания по учету требований контролируемости, начиная с самых ранних стадий разработки изделий;

- рекомендации по разработке эффективных диагностических процедур, представляющих неотъемлемую составляющую эксплуатации, технического обслуживания (ТО) и ремонта изделий.

Настоящий стандарт распространяется на изделия всех типов, включая имеющиеся в широкой продаже изделия общего назначения. При этом не имеет значения, являются ли эти изделия механическими, электрическими, гидравлическими или иного типа. Кроме того, настоящий стандарт применим к любым изделиям, при разработке которых должна быть обеспечена возможность проверки их характеристик.

Цель настоящего стандарта состоит в том, чтобы все требования заказчика, относящиеся к контролируемости изделий, были реализованы, проверены и отражены в документации в процессе их разработки. Настоящий стандарт также устанавливает методы обеспечения и оценки контролируемости в процессе разработки изделий. Рекомендуется, чтобы документация, касающаяся контролируемости, постоянно обновлялась на протяжении жизненного цикла изделий.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 27.002—2009 Надежность в технике. Термины и определения.

ГОСТ 16504—81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

ГОСТ 18322—78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.

ГОСТ 20417—75 Техническая диагностика. Основные понятия термины и определения.

ГОСТ 20911—89 Техническая диагностика. Термины и определения.

ГОСТ 21623—76 Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтопригодности. Термины и определения.

ГОСТ 22952—78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Методы расчета показателей ремонтопригодности по статистическим данным.

ГОСТ 23146—78 Выбор и задание показателей ремонтопригодности. Общие требования.

ГОСТ 23563—79 Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования.

ГОСТ 27518—87 Диагностирование изделий. Общие требования

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агент-

**Издание официальное**

ства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины, определения и сокращения

### 3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины и их определения:

3.1.1 **встроенный контроль:** Приданная изделию способность автоматически выявлять и локализовывать неисправности.

3.1.2 **средства встроенного контроля:** Аппаратные и/или программные средства, обеспечивающие встроенный контроль.

3.1.3 **свободно продаваемые изделия:** Комплектующие изделия, доступные для приобретения в открытой продаже.

3.1.4 **критичность:** Значение, придаваемое неисправности.

Примечание — Критичность выражается в уровнях. Чем выше уровень критичности, тем серьезнее последствия, которых можно ожидать от данной неисправности.

3.1.5 **глубина проверки:** Установленный уровень, на котором должны выявляться неисправные составные части.

3.1.6 **конструктивный уровень:** Уровень структуры декомпозиции изделия, на котором находится тот или иной его элемент (составная часть).

3.1.7 **точность диагностирования:** Доля возможных неисправностей, которые могут быть точно выявлены в данных условиях.

3.1.8 **техническое диагностирование:** Процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью.

3.1.9 **ложная тревога**: Появление сигнала о наличии неисправности, которая, как выяснилось после проведения соответствующих операций по поиску отказов, на самом деле отсутствует.

3.1.10 **интенсивность ложных тревог:** Процентная доля ложных тревог в общем числе сообщений об отказах.

3.1.11 **время выявления отказа:** Период времени между проявлением отказа и его обнаружением.

3.1.12 **имитация неисправности:** Введение неисправности посредством неразрушающего вмешательства в изделие и/или, при необходимости, имитация неисправности с помощью программных средств для проверки диагностических возможностей имеющихся методов и средств контроля технического состояния.

3.1.13 **функция:** Требуемое от изделия эксплуатационное качество.

Примечание — Функция всегда сопряжена с определенным элементом структуры декомпозиции изделия.

3.1.14 **функциональная модель:** Концептуальное представление изделия, описывающее взаимосвязи и зависимости между воздействиями на него (входными сигналами) и сигналами, измеряемыми на выходе (терминале).

Примечание — Функциональная модель, возникающая в процессе разработки изделия, в принципе представляет собой блок-схему, описывающую функции изделия и дополненную цепями проверок, предусмотренными разработчиками.

3.1.15 **функциональная проверка (испытание):** Проверка всех назначенных функций изделия в целях определения его функциональных возможностей.

3.1.16 **аппаратный элемент:** Конструктивный элемент изделия, предназначенный для выполнения некоторой функции или подфункции, который может включать в себя встроенное программное обеспечение.

3.1.17 **элемент, заменяемый на месте:** Элемент аппаратных или программных средств, заменяемый непосредственно на месте эксплуатации изделия пользователем или специализированной организацией, осуществляющей поддержку эксплуатации.

3.1.18 **концепция технического обслуживания и ремонта (концепция ТО и ремонта):** Описание взаимосвязей между конструктивными уровнями и уровнями обслуживания, принятыми для данного изделия.

3.1.19 **политика технического обслуживания и ремонта (политика ТО и ремонта):** Общий подход к проведению и поддержке ТО и ремонта изделия, основанный на целях и политике его владельцев, пользователей и заказчиков.

3.1.20 **мониторинг:** Автоматизированное наблюдение за функционированием изделия в определенном режиме эксплуатации, не влияющее его работу.

3.1.21 **условия и режимы эксплуатации:** Ожидаемые условия работы изделия.

3.1.22 **параметр:** Физическая величина, характеризующая некоторую функцию изделия.

3.1.23 **продукт (изделие):** Определенные поставляемые товар или услуга.

Примечания

1 Применительно к надежности изделия могут быть простыми (например, отдельное устройство или алгоритм) или сложными (например, система или сеть, включающие в себя аппаратные и программные средства, эксплуатационный и обслуживающий персонал, средства поддержки и поддерживающие действия).

2 Каждый продукт имеет собственные этапы и стадии жизненного цикла.

3 Продукт имеет то же определение, что и изделие.

3.1.24 **структура декомпозиции изделия:** Иерархическая структура в виде дерева, иллюстрирующая физическое содержание изделия как совокупности взаимосвязанных составных частей и элементов.

3.1.25 **элемент, заменяемый в заводских условиях:** Заменяемый элемент аппаратных или программных средств, замена которого возможна только в ремонтной мастерской, имеющейся у пользователя, или в специализированной обслуживающей организации того же уровня, или непосредственно на предприятии-изготовителе.

3.1.26 **сигнал:** Изменение некоторой физической величины, несущее информацию о состоянии изделия.

Примечание — Сигнал может включать в себя изменения значений одного или нескольких параметров.

3.1.27 **технические условия:** Детальное описание функций элемента, находящегося на определенном уровне структуры декомпозиции изделия.

Примечание — Технические условия на элементы вытекают из общих технических условий на систему и должны быть проверяемыми.

3.1.28 **декларация о работах**: Документ, устанавливающий перечень поставляемых товаров и услуг.

Примечание — Декларацию о работах составляет или утверждает заказчик, устанавливая в ней перечень работ, предусмотренных контрактом и подлежащих выполнению подрядчиком. Таким образом, декларация о работах представляет собой основной технический документ, согласно которому соискатели контракта представляют свои предложения, подрядчики выполняют контрактные работы, а заказчик принимает заказанные товары и услуги.

3.1.29 **управляющее воздействие:** Входной сигнал, запускающий срабатывание исполнительных устройств.

3.1.30 **подфункция:** Элемент подразделения сложной функции на отдельные составляющие.

3.1.31 **вывод (терминал):** Обобщенный термин для обозначения физических точек выхода сигналов контролируемого изделия. Примерами выводов могут быть:

- контакт;
- коннектор;
- разъем;
- контрольная точка;
- интерфейс;
- порт.

Примечание — Терминал обычно имеет уникальное обозначение.

3.1.32 **диагностическая концепция:** Описание результатов анализа требований по контролируемости изделия и согласование способов их реализации.

3.1.33 **полнота диагностирования:** Отношение числа реально проверяемых функций в соответствии с техническими условиями к общему числу функций диагностируемого изделия.

3.1.34 **диагностическое оборудование:** Аппаратные и программные средства, необходимые для диагностирования изделия.

Примечание — В зависимости от принятой технологии диагностирования различают встроенное и внешнее диагностическое оборудование.

3.1.35 **инструкция по диагностированию:** Документ, устанавливающий способы проведения проверок, установленных в технических условиях.

3.1.36 **цепь проверок:** Описание привязки аппаратных элементов к их терминалам, учитывающее требуемую последовательность проверок.

Примечание — Кроме того, цепь проверок должна устанавливать функциональные связи между входными и выходными сигналами.

3.1.37 **последовательность проверок:** Последовательность шагов при диагностировании.

3.1.38 **технические условия на диагностирование:** Документ, устанавливающий последовательность проверок и проверяемые на каждом шаге параметры и функции.

3.1.39 **шаг проверки:** Самая малая по объему проверка технического состояния элемента аппаратуры.

3.1.40 **задача диагностирования:** Реализация совокупности проверок, необходимых для выполнения требований технических условий по поиску и локализации определенной неисправности.

3.1.41 **контролируемость:** Свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами.

### 3.2 Сокращения

FL — локализация отказа;
FR — обнаружение отказа;
LRU — элемент, заменяемый на месте эксплуатации;
SRU — элемент, заменяемый в заводских условиях;
SF — подфункция;
TS — технические условия (требования).

## 4 Описание понятий контролируемости и технического диагностирования

### 4.1 Общие положения

Повышению эффективности и экономичности эксплуатации, ТО и ремонта изделий способствует учет требований по их контролируемости в процессе разработки и на остальных этапах их жизненного цикла. В результате в общую концепцию ТО и ремонта изделий может быть включено как составная часть методы технического диагностирования. Внедрение контролируемости и технического диагностирования должно осуществляться на всех стадиях жизненного цикла изделий.

Стоимость жизненного цикла становится постоянно растущим по своей значимости аспектом оценки качества любых разрабатываемых изделий. Помимо непосредственной стоимости приобретения изделий многие потребители требуют от поставщиков контроля будущих затрат на повседневную эксплуатацию, ТО и ремонт и логистическую поддержку приобретаемых изделий. Указанные затраты преимущественно зависят от характеристик безотказности, ремонтопригодности и системы ТО и ремонт изделий. В связи с этим внедрение методов технического диагностирования вносит заметный вклад в сокращение определенных составляющих стоимости жизненного цикла изделий. Соответственно при установлении требований в отношении технического диагностирования следует принимать в расчет результаты анализа и оптимизации стоимости жизненного цикла.

Настоящий стандарт распространяется на все этапы и стадии жизненного цикла изделий, начиная с определения технических требований и включая стадии разработки, изготовления, монтажа, эксплуатации, ТО и ремонта и реализуется следующим образом (рисунок 1):

а) стадия разработки. Начиная с выработки общей концепции изделия и заканчивая его реализацией, требования к нему должны быть адаптированы к потребностям, вытекающим из области его назначения. Этот процесс должен проходить в несколько последовательных этапов;

б) стадия изготовления и ввода в эксплуатацию. На этой стадии может потребоваться проверка разработанных методов диагностирования на реальных образцах изделий и оценка их эффективности. На этой же стадии могут быть разработана соответствующая документация и проведено обучение операторов и обслуживающего персонала;

в) стадия эксплуатации, ТО и ремонта. На этой стадии могут проводиться доработки диагностического оборудования в связи с его устареванием. Продолжаются проверки функционирования изделия, а доработки и замены оборудования должны проводиться с учетом непрекращающейся потребности в его диагностировании. В последнем случае доработки конструкции могут выполняться в рамках новой стадии разработки.

Применение настоящего стандарта предполагает, что выполнено предварительное условие, касающееся выработки необходимой информации об изделии, которая проверяется и обновляется на протяжении всего его жизненного цикла.

Техническое диагностирование может включать в себя:

- проверки функционирования в целях проверки сохранения изделием способности исполнять назначенные функции;

- мониторинг технического состояния изделия в целях отслеживания процесса деградации технического состояния его составляющих со временем.

Мониторинг технического состояния тесно связан с концепцией технического диагностирования и не должен от нее отделяться. Вместе с тем настоящий стандарт не претендует на полный учет всех аспектов указанного мониторинга.

На рисунке 1 показаны контролируемость и техническое диагностирование на протяжении жизненного цикла изделия.

<table>
<tr><td>Потребность в изделиях</td><td>Ремонтопригодность</td><td></td><td>Поддержка ТО и ремонта</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>Концепция ТО и ремонта.<br>Условия окружающей среды.<br>Условия применения.<br>Конфигурация.<br>Менеджмент.<br>Диагностическое оборудование</td><td></td><td>Управление материально-техническим обеспечением.<br>Транспортирование и хранение.<br>Инфраструктура.<br>Квалификация персонала.<br>Обучение персонала.<br>Документация</td><td>Предварительные:<br>- анализ вариантов;<br>- исследования;<br>- анализ технологий</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Влияние окружающей среда на эксплуатацию изделий</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>Разработка технических требований по контролируемости</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Стадия разработки</td><td colspan="2">Стадия изготовления и ввода в эксплуатацию</td><td>Стадия эксплуатации, ТО и ремонта</td></tr>
<tr><td colspan="2">Оценка контролируемости — FR, FL.<br>Процесс разработки:<br>TS — ТУ на диагностирование;<br>CE — конкурентная разработка;<br>M1 — проверка выполнения требований;<br>M2— аналитическая проверка;<br>M3 — экспериментальная проверка</td><td colspan="2">Подтверждение.<br>Документация.<br>Стадия ввода в эксплуатацию</td><td>Система.<br>Составные части, заменяемые на месте (LRU).<br>Стандартные заменяемые части(SRU).<br>Документация для поддержки ТО и ремонта.<br>Стадия ТО и ремонта</td></tr>
</table>

Рисунок 1 — Контролируемость и техническое диагностирование на протяжении жизненного цикла

### 4.2 Задачи обеспечения контролируемости

Обеспечение контролируемости в процессе разработки изделий проводят в тесной увязке с обеспечением их ремонтопригодности, готовности и безопасности. Главная цель обеспечения контролируемости состоит в получении ответов на следующие вопросы в отношении отдельных функций изделия:

а) могут ли все функциональные отказы быть обнаружены средствами технического диагностирования? Проблема состоит в том, что некоторые важные функции не могут быть проверены полностью в связи с ограничениями, связанными с безопасностью, или из-за того, что соответствующие испытания являются разрушающими (как, например, натурная проверка ограничителя скорости вращения ротора турбины);

б) насколько целесообразна та или иная проверка? Целесообразность определяется уровнем критичности отдельных функциональных отказов, стоимостью соответствующих испытаний, включающей в себя стоимость испытательного оборудования и его обслуживания, затраты на проведение испытаний. Эти соображения, наряду с наличием альтернативных и более дешевых методов проверок, могут привести к признанию соответствующих испытаний экономически неоправданными.

Примечание — В случаях а) и б) могут быть применены альтернативные способы проверки сохранения изделием способности выполнять назначенные функции на протяжении жизненного цикла. В совокупности ответы на первые два вопроса определяют полноту диагностирования. Низкий уровень полноты диагностирования может указывать на то, что система не может быть проверена полностью, чтобы подтвердить ее эксплуатационные характеристики, но также и на то, что достигнутые уровни ее ремонтопригодности и качества обслуживания делают подобные испытания излишними;

в) на какой стадии жизненного цикла должно быть испытано изделие? Возможность проведения испытаний должна быть рассмотрена применительно ко всем стадиям жизненного цикла. При этом может оказаться, что возможна проверка функционирования отдельных составных частей, но нецелесообразна на уровне системы в целом. Высказанное положение проще всего пояснить на конкретном примере. Возьмем, к примеру, стиральную машину и рассмотрим такую ее функцию, как слив воды после стирки. С точки зрения пользователя было бы полезно провести предпродажные испытания машины в целях подтверждения ее способности выполнять данную функцию (подобные испытания после начала эксплуатации машины с его точки зрения принесут мало пользы). Конструктивная реализация этой функции может не потребовать создания специального испытательного оборудования для ее проверки по следующим соображениям:

1) срок службы насоса и прочего оборудования для слива воды намного превышает срок службы самой машины, определяемый отказами и стоимостью замен других ее составных частей;

2) в состав ТО несложно включить задачу устранения засоров, препятствующих сливу воды;

3) составные части, выполняющие данную функцию, могут быть полностью испытаны в процессе их изготовления, а также в составе машины в целом во время ее приемочных испытаний перед отгрузкой покупателям;

4) неверный выбор стадии жизненного цикла для проведения соответствующих испытаний может отрицательно повлиять на его стоимость;

г) какова должна быть глубина проверки при диагностировании? Глубина проверок является важным критерием и, как в предыдущем примере, тесным образом связана с общей концепцией ТО и ремонта. Глубина проверок определяет уровень, на котором выявляют неисправные составные части изделия. Например, диагностирование системы в целом может выявить блок, требующий замены, но также может обеспечить выявление составной части внутри этого блока, которую следует заменить, причем такая замена незначительна или вообще не повлияет на стоимость ремонта. При этом могут снизиться затраты на проверочное оборудование, требующееся для проверок на уровне блоков в целях выявления и замены их неисправных элементов.

Основной принцип обеспечения контролируемости изделия состоит в том, что все назначенные его функции должны быть проверяемыми. Вместе с тем необходимо отметить, что полный охват контролем всех функций не обязателен, поскольку сами по себе проверки способны быть причинами отказов, проявляющихся затем в процессе эксплуатации, причем эти отказы могут быть более опасными в связи с внесением ими неисправностей или возникновением ложных тревог. Также нельзя рекомендовать стопроцентный охват проверками параметров, влияющих на безопасность, поскольку эти проверки сами могут отрицательно сказываться на безопасности системы. В любом случае отказ от полного охвата проверками всех, без исключения, функций системы должен быть тщательно обоснован. Задачи обеспечения контролируемости не должны вступать в противоречие с необходимостью достижения требуемого уровня характеристик более высокого уровня, например, готовности изделий;

д) как поступать с ложными тревогами или с неисправностями, не обнаруженными путем диагностирования? Проверка системы может выявить в ней реально отсутствующие неисправности. В результате это может стать причиной проведения ненужных расследований и составления сообщений о ложных тревогах, а также проведения ненужных операций ТО или ремонта, так как выясняется, что отказ отсутствует. Интенсивность ложных сообщений об отказах (ложных тревог), требующих проведения соответствующих мероприятий по их обнаружению и устранению, не должна превышать некоторого, заранее установленного уровня, а по возможности, должна сводиться к нулю. Методы минимизации подобных ложных тревог могут различаться и включать в себя, в частности, применение в диагностических системах обратных связей, обеспечивающих непрерывную оценку условий эксплуатации контролируемого изделия и собственную перенастройку, с учетом разрешенной деградации его элементов в установленных пределах. Проведение повторных проверок в целях сокращения числа ложных тревог (сценарий таких проверок может существенно отличаться от первоначального во избежание повторных ложных тревог) только увеличивает продолжительность диагностирования, и их следует избегать.

Диагностирование может сигнализировать о неисправности изделия даже в случаях отсутствия выявленных отказов. Это может быть обусловлено рядом причин:

1) случаи, когда диагностирование системы выявляет отказ системы и указывает неисправный ее элемент, но после независимой проверки такого элемента отдельно от всей системы он оказывается исправным. В таком случае необходимо проверить технические условия на диагностирование системы в части, касающейся проверки состояния этого элемента;

2) некачественное диагностирование, которое не позволяет правильно идентифицировать отказавшие составные части системы;

3) проблемы соединений. Например, отказ соединительного элемента может привести к неоправданному демонтажу исправного блока, после установки которого на место неисправность исчезает из-за восстановления соединения;

4) несовершенство проверочной аппаратуры, включая аппаратуру встроенного контроля, которая, например, выявляет несуществующие отказы контролируемой системы;

5) наличие перемежающихся отказов, когда некоторый элемент системы может иметь неисправность, которая проявляется только в определенных обстоятельствах, но остается незаметной в других;

6) проблемы увязки допусков. Например, проверки системы могут не фиксировать отказы, выявляемые только при проверках отдельных блоков. Параметры таких блоков могут находиться на границе поля допуска, что ведет к их постоянному забраковыванию;

7) дефекты программного обеспечения, приводящие к появлению в эксплуатации отказов, своевременно не обнаруженных при диагностировании;

8) проблемы, связанные с недостаточной подготовленностью эксплуатирующего и обслуживающего персонала, его недостаточной квалификацией, отсутствием запасных частей. Все это ведет к забраковыванию годных изделий.

Все перечисленные выше обстоятельства способны отрицательно повлиять на эксплуатацию изделий и ее поддержку и должны быть по возможности исключены или сведены к минимуму;

е) может ли быть усовершенствовано диагностирование системы? Диагностирование системы нацелено на обеспечение уверенности в том, что система будет функционировать надлежащим образом в заданных условиях окружающей среды и при заданных значениях входных сигналов. Требования по контролируемости и способности систем диагностирования локализовывать отказы необязательно диктуют выбор процедур проверок. Общая проверка функционирования системы с последующим ее углубленным диагностированием, проводимым по мере необходимости, способна значительно сократить временные затраты и улучшить расположение пользователей к ней. Применение таких методов, как анализ видов, последствий и критичности отказов или метод анализа дерева отказов для выявления наиболее вероятных отказов способствует установлению более подходящей последовательности проверок составных частей нижних уровней разукрупнения системы.

### 4.3 Цели и задачи технического диагностирования

Главная цель технического диагностирования состоит в предоставлении пользователям наиболее экономичного, быстрого и объективного способа выявления отказов контролируемых изделий на тех уровнях их разукрупнения, которые предусмотрены избранной концепцией их ТО и ремонта. Правильно налаженное техническое диагностирование:

- повышает готовность изделий;
- снижает затраты на их ТО и ремонт;
- снижает риски последующих повреждений;

- повышает безопасность системы;
- позволяет оптимизировать процесс ее эксплуатации.

Для достижения указанной цели система диагностирования должна:

- обеспечивать достоверность проверок контролируемого изделия, достаточную для достижения его пригодности к исполнению назначенных функций;
- выявлять катастрофические и деградационные отказы изделия;
- локализовывать отказы на уровне функциональных элементов или на заданном уровне замен;
- предупреждать о приближении отказов вследствие износа (старения) изделий на основе оценок изменений его технического состояния под влиянием этих процессов;
- снабжать пользователей необходимой информацией для эксплуатации, ТО и ремонта изделий.

Основное назначение средств технического диагностирования:

- проверки безопасности и исправного функционирования систем до начала их применения по назначению;
- мониторинг технических характеристик системы в процессе ее эксплуатации;
- выявление отказов системы в процессе ее эксплуатации с точностью до отказавших сборочных единиц или на заданном уровне замен;
- углубленная локализация отказов в условиях специализированных ремонтных или обслуживающих предприятий.

## 5 Технические требования по контролируемости

### 5.1 Общие положения

Ключевым предварительным условием эффективного преобразования требований к приспособленности изделий к техническому диагностированию в измеримые практические решения является надлежащее установление соответствующих положений в контрактах на их разработку и поставку. Для оптимизации конструкции изделия и разработки соответствующих методов его технического диагностирования заказчик обязан установить подробные технические требования и ограничения, касающиеся контролируемости изделия. С этой целью заказчик должен представить поставщику следующие документы:

- декларацию о работах. Этот документ должен устанавливать все функциональные требования, относящиеся к диагностированию. В рамках этого документа заказчик приводит полный перечень всех конструктивных свойств и характеристик изделия, включая его контролируемость;
- технические требования по контролируемости. В этом документе подрядчик (разработчик) устанавливает аппаратные и программные средства реализации характеристик изделия и разрабатываемого вместе с ним диагностического оборудования, заданных в декларации о работах.

### 5.2 Декларация о работах

Декларация о работах содержит развернутое описание потребностей заказчика и предназначена служить основой для составления программы разработки изделия. Декларация может дополняться и обновляться по мере появления дополнительной информации в ходе разработки. Вместе с тем любые исправления декларации о работах подлежат согласованию сторонами, поскольку их реализация зачастую связана с увеличением продолжительности и стоимости разработки. Декларация о работах должна содержать:

- цели и задачи технического диагностирования (4.3);
- условия и режимы эксплуатации изделий (5.3 и таблица 1);
- концепцию ТО и ремонта (5.3 и таблица 2);
- количественное описание экономических условий (4.1).

### 5.3 Технические требования

Технические требования к контролируемости, подлежащие реализации на стадии разработки изделия, должны устанавливать перечень всех функциональных элементов и стадий их диагностирования, на которые эти требования распространяются. Технические требования должны содержать:

а) перечень задач диагностирования, содержащий:

1) перечень возможных отказов, влияющих на безопасность изделий, для которых должна быть обеспечена близкая к 100 % вероятность их выявления средствами диагностирования;

2) перечень возможных критичных отказов, охват которых средствами диагностирования должен приближаться к 100 %, или подробные обоснования исключения из этого перечня тех или иных отказов;

3) предельно допустимый охват диагностированием всех прочих функциональных элементов или функций системы в целом (должен быть установлен перечень элементов и функций, для которого установлены требования в отношении полноты охвата диагностированием);

4) максимально допустимое время обнаружения отказа;

5) заданное (максимально допустимое) время локализации отказа;

6) заданная и минимально допустимая точность диагностирования;

7) максимально допустимое значение интенсивности ложных тревог;

б) конструктивные требования к контролируемости, включая:

1) общие требования;

2) детальные требования в виде контрольных листов;

3) значения показателей контролируемости;

в) сроки и методы:

1) подтверждения выполнения требований по контролируемости;

2) подтверждения выполнения требований по безопасности.

Должны быть также своевременно установлены последствия невыполнения всех перечисленных выше требований в отношении контролируемости.

Задачи диагностирования, подлежащие включению в состав технических требований к контролируемости, более подробно описаны в 5.4.3. На этом этапе должна быть также оценена потребность в альтернативных методах обеспечения контролируемости, указанных в 5.6.

Задачи технического диагностирования тесно взаимосвязаны с процессами эксплуатации, ТО и ремонта изделий. В этой связи концепции эксплуатации, ТО и ремонта являются важными факторами, подлежащими учету при установлении требований в отношении технического диагностирования и контролируемости изделий. Эти концепции должны быть определены на возможно более ранних стадиях жизненного цикла изделий, предпочтительно на концептуальной стадии их разработки. Концепция эксплуатации должна служить основой для разработки системы, способной надлежащим образом исполнять требуемые функции. Концепция ТО и ремонта должна быть разработана таким образом, чтобы оперативные требования к системе выполнялись при наиболее эффективном использовании всех ресурсов с минимальными затратами. Безусловно, требуется оптимизация этих концепций в целях достижения оптимальной сбалансированности всех, порой противоречащих друг другу требований к системе.

Перечень элементов, подлежащих учету при составлении общей концепции эксплуатации изделий, приведен в таблице 1. Каждый из этих элементов должен быть детально прописан, с тем чтобы можно было соответствующим образом учесть условия ТО и ремонта и эксплуатационные ограничения.

Концепция ТО и ремонта устанавливает уровни разукрупнения изделия, на котором должны выполняться определенные задачи диагностирования, требования к исполнителям и применяемому диагностическому оборудованию. Все эти требования следует учитывать в процессе разработки, изготовления, эксплуатации и ремонта изделий. Перечень составляющих концепции ТО и ремонта приведен в таблице 2.

Таблица 1 — Составляющие концепции эксплуатации изделий

| Составляющие концепции | Возможные варианты | | |
|---|---|---|---|
| Размещение изделия | Мобильное | | |
| | Стационарное | Транспортируемое | Переменное местоположение |
| | | | Постоянное местоположение |
| | | Нетранспортируемое | |
| Режим эксплуатации | Непрерывный | С непрерывным мониторингом технического состояния | |
| | | Периодический мониторинг в установленные моменты времени | |
| | | Допускаются перерывы в работе | |
| | Прерывистый, с указанием условий перерыва в работе | | |

*Окончание таблицы 1*

| Составляющие концепции | Возможные варианты | |
|---|---|---|
| Эксплуатационные нагрузки | Эксплуатация с частичной нагрузкой | |
| | Эксплуатация при номинальных нагрузках | |
| | Эксплуатация при повышенных нагрузках | |
| Последствия | Безопасность | |
| | Затраты в связи с: | неполным использованием |
| | | последующими повреждениями |
| | | ТО и ремонтом |
| | Срочное коррективное обслуживание | |
| Условия окружающей среды | Механические нагрузки | |
| | Электрические нагрузки | |
| | Тепловые нагрузки | |
| | Химические воздействия | |
| | Прочие внешние воздействия | |
| Персонал | Необученный | |
| | Прошедший обучение в других областях | |
| | Обученный | Высококвалифицированный |
| | | Имеющий средний уровень квалификации |
| | | Имеющий низкий уровень квалификации |
| Оснащенность | Работы выполняются вручную | |
| | Частичная автоматизация | |
| | Полная автоматизация | |

Т а б л и ц а 2 — Составляющие концепции ТО и ремонта

| Составляющие концепции | Подробности | | |
|---|---|---|---|
| Задачи ТО и ремонта | Предупредительные | Обслуживание (ремонт) | |
| | | Техническое диагностирование | |
| | | Плановые замены | |
| | Коррективные | На уровне системы | Обнаружение отказов |
| | | | Локализация отказов |
| | | | Замена (ремонт) |
| | | | Настройка |
| | | | Проверка функционирования |
| | | На уровне элементов | Локализация отказов |
| | | | Ремонт |
| | | | Настройка |
| | | | Проверка функционирования |
| Временные характеристики ТО и ремонта | Непрерывный мониторинг технического состояния | | |
| | Предупредительные ТО и ремонт | Периодичность | Интервалы времени |
| | | | Действия |
| | | Тип | Уровень |
| | | | Принудительное ТО |
| | | | ТО по фактическому состоянию |
| | Коррективные ТО и ремонт | | |

*Окончание таблицы 2*

| Составляющие концепции | Подробности | | |
|---|---|---|---|
| Место проведения ТО и ремонта | На стационарных предприятиях | Число предприятий | |
| | | Размещение предприятий | |
| | | Технические возможности предприятий | |
| | Подвижными мастерскими | Оборудование подвижных мастерских | |
| | | Технические возможности | |
| Методы ТО и ремонта | Процедуры | | |
| | Средства | Аппаратные | |
| | | Программные | |
| | Документация (описания, иллюстрации) | | На аппаратные средства |
| | | | На программные средства |
| Обеспечение ТО и ремонта | Запасы | Число складов | |
| | | Размещение складов | |
| | | Размеры запасов | |
| | | Условия хранения | |
| | Управление запасами | Закупки | |
| | | Поставки | |
| | | Транспортирование | |
| Условия окружающей среды при проведении ТО и ремонта | Температура | | |
| | Прочие условия | | |
| Обслуживающий и ремонтный персонал | Базовая подготовка | Специализация | |
| | | Уровень квалификации | |
| | Специальная подготовка | В части обслуживания системы в целом | |
| | | В части обслуживания отдельных элементов | |
| | Переподготовка и повышение квалификации | Периодичность | |
| | | Программы | |

### 5.4 Характеристики контролируемости

#### 5.4.1 Составляющие контролируемости

Контролируемость изделий характеризуется следующими параметрами, математические выражения для которых приведены в приложении А:

- время выявления отказа в соответствии с его определением, приведенным в пункте 3.1.11 (термин «выявление отказа» определен в [2];
- время локализации отказа в соответствии с его определением и определением понятия «локализация отказа», приведенными в [2];
- точность диагностирования (3.1.7);
- полнота диагностирования (3.1.33);
- интенсивность ложных тревог (3.1.10).

#### 5.4.2 Условия и режимы эксплуатации

Изделия могут применяться в различных условиях и режимах в зависимости от предъявленных требований, содержащихся в декларации о работах. Применительно к контролируемости изделий следует различать условия их эксплуатации в составе системы на определенном уровне ее разукрупнения и условия проверок в заданных условиях ТО и ремонта (рисунок 2). В последнем случае изделие проверяют в условиях, имитирующих условия их применения в составе системы. При этом все параметры проверки изделия вне системы должны совпадать с параметрами его использования в составе системы. Взаимосвязи между этими параметрами иллюстрирует рисунок 2.

| | |
|---|---|
| Проверка изделия в составе работающей системы<br>Система $K(x)$ $K(y)$ $K(z)$. Изделие $F$<br>Цепь проверок в процессе работы<br>Ручная подача сигнала $S$.<br>Визуальное снятие показаний | Автономная проверка изделия<br>Диагностическое оборудование<br>Цепь проверок<br>Параметры те же, что и в составе системы |

$S$ — входные сигналы (воздействия), $M$ — измерения, $F$ — функции; $K(x)$; $K(y)$; $K(z)$ — элементы структуры декомпозиции (системы, изделия, составные части и т. д.)

Рисунок 2 — Условия и режимы диагностирования

### 5.4.3 Диагностические задачи

5.4.3.1 Цепи проверок

Мельчайшими элементами диагностических задач являются цепи проверок. Каждая такая цепь включает, как минимум, подачу на проверяемое изделие хотя бы одного входного сигнала и наблюдение за его реакциями с измерением, по крайней мере, одного параметра, характеризующего функционирование данного изделия с последующим сравнением результатов измерений с заданным значением этого параметра.

Цепь проверки, необходимая для обнаружения отказа, должна охватывать всю последовательность заменяемых элементов, выполняющих некоторую функцию. Цепь проверки, требующаяся для локализации отказа, должна охватывать физические интерфейсы заменяемых элементов.

Диагностические задачи, направленные на выявление и локализацию отказов, включают в себя проверки, примерное распределение которых по способам выполнения приведено в таблице 3.

Таблица 3 — Пример распределения проверок в составе диагностических задач по способам выполнения

| Обозначение | Виды проверок в диагностических задачах | Примерная доля при выявлении отказов | Примерная доля при локализации отказов |
|---|---|---|---|
| A | Проверки изделия в процессе работы (встроенный контроль) | 50 % | 0 % |
| B | Проверки средствами встроенного контроля изделия, выведенного из эксплуатации для диагностирования | 50 % | 95 % |
| C | Проверки изделия, выведенного из эксплуатации для диагностирования, с использованием внешних средств | 0 % | 5 % |
| D | Неконтролируемые изделия | 0 % | 0 % |

Для локализации отказов пригодны все способы проверок, перечисленные в таблице 3. Неисправные заменяемые элементы выявляют по результатам серии проверок, цепи которых проходят через подозреваемые элементы.

Конструкция изделия должна обеспечивать возможность проведения всех проверок в соответствии с требованиями, установленными в декларации о работах. Конструктивные свойства изделия, определяющие его контролируемость, подразделяют на две группы, характеризующие его приспособленность к проверкам средствами встроенного контроля и с использованием внешнего диагностического оборудования. В последнем случае изделие должно быть оснащено соответствующими терминалами для присоединения этого оборудования.

5.4.3.2 Контролируемость средствами встроенного контроля

Данное свойство изделия характеризует его приспособленность к проведению проверок средствами встроенного контроля. Каждая функция встроенного контроля включает в себя подачу на проверяемое изделие, по крайней мере, одного входного сигнала и цепь проверки хотя бы одного функционального элемента со сравнением его измеряемых параметров с заданными. Требуемое число функций встроенного контроля определяют, исходя из требований, установленных в декларации о работах, в зависимости от числа параметров, измерение которых необходимо для выявления неисправностей. Средства встроенного контроля включают в себя аппаратные и программные составляющие.

Примечание — Выявление неисправностей электронной аппаратуры зачастую может сводиться к простому мониторингу определенных ее параметров, таких, например, как питающее напряжение, мощность или частота определенных сигналов, идентичность дискретных сигналов или контрольные суммы определенных данных. Все

это — примеры встроенного контроля без подачи контрольных входных сигналов. Контроль с использованием специальных встроенных средств, напротив, требует подачи на проверяемые изделия входных сигналов, генерируемых этими средствами, и проверок соответствия выходных параметров установленным требованиям.

Проверки средствами встроенного контроля представляют собой одну из составляющих проверок функционирования изделий и подразделяются на проверки в процессе работы (т. е. онлайновые) и проверки с выведением изделий из эксплуатации (т. е. офлайновые).

Онлайновые проверки проводят непрерывно в процессе применения изделий по назначению. Перед проведением офлайновых проверок применение изделия по назначению должно быть приостановлено. Обычно такие проверки применяют для локализации обнаруженной неисправности.

5.4.3.3 Проверки с использованием внешнего диагностического оборудования

Если для проверки изделия требуется применение внешнего диагностического оборудования, разрешенного декларацией о работах, то его присоединяют к этому оборудованию через специальные контрольные терминалы (например, разъемы). Сами проверки с использованием внешнего оборудования принципиально не отличаются от проверок средствами встроенного контроля. Проверка каждой функции включает в себя подачу на проверяемое изделие, по крайней мере, одного входного сигнала и цепь проверки хотя бы одного функционального элемента со сравнением его измеряемых параметров с заданными.

### 5.5 Показатели для оценки контролируемости

Для обеспечения однородности оценок контролируемости изделий всеми пользователями настоящего стандарта необходимо ввести единый набор показателей, характеризующих отдельные элементы контролируемости — приспособленность изделий к выявлению и локализации отказов, полноту охвата изделия контролем. Эти показатели не зависят от вида изделий, характеризуют уровень контролируемости и пригодны для оценки всеми пользователями стандарта.

Показатели контролируемости должны быть установлены в декларации о работах. Они служат исходными данными для оценки контролируемости. При установлении показателей контролируемости должны также учитываться концепция ТО и ремонта, трудоемкость и стоимость их проведения. Когда требуемые показатели контролируемости доведены до разработчика, он имеет возможность на их основе оценить достигнутые уровни контролируемости и безопасности проверок разрабатываемого изделия.

Последствия несоответствия достигнутого уровня контролируемости установленным требованиям должны быть своевременно определены.

### 5.6 Критерии сравнительной оценки вариантов конструктивного исполнения изделий по контролируемости

Для выбора оптимального конструктивного решения необходимо провести сравнительную оценку по контролируемости различных вариантов конструктивного исполнения разрабатываемого изделия. При этом применяют следующие экономические критерии:

а) капитальные затраты, определяемые:

1) требуемым числом закупаемых систем, исходя из их готовности и коэффициентов технического использования;

2) стоимостью разработки;

3) затратами на приобретение программных продуктов;

4) стоимостью создания системы, ТО и ремонт;

б) стоимость приобретения одного изделия, зависящая от:

1) его сложности;

2) числа произведенных изделий;

3) кратности и способов резервирования;

4) уровня контролируемости средствами встроенного контроля;

5) требований к качеству изделий;

в) затраты, связанные с ТО и ремонтом изделий, зависящие:

1) от стоимости предупредительных и корректирующих ТО и ремонта;

2) экономии от предупреждения средствами диагностирования последствий возможных повреждений;

3) экономии, достигаемой в результате снижения требований к уровню квалификации персонала за счет автоматизации операций ТО и ремонта;

4) планируемых сроков службы изделий;

г) средства повышения доходов от эксплуатации изделий, такие как:

1) улучшение характеристик управляемости изделий;

2) повышение готовности изделий за счет ускорения их диагностирования и устранения отказов или применения резервирования;

3) повышение коэффициента технического использования;

д) другие факторы, включая;

1) возможность модернизации изделий;

2) технические и экономические последствия применения дополнительных аппаратных и программных средств с точки зрения безопасности и безотказности изделий;

3) возможность выявления причин сбоев и перемежающихся отказов;

4) преемственность диагностического оборудования;

5) экономическая эффективность встроенного контроля по сравнению с использованием внешнего диагностического оборудования;

6) применение свободно продаваемых элементов.

## 6 Обеспечение контролируемости в процессе разработки изделий

### 6.1 Общие положения

Разработка изделия может быть начата сразу после выработки эксплуатационных требований к нему.

Успешность разработки изделий определяется прежде всего унификацией инструкций, регламентирующих этот процесс и обеспечивающих однородное понимание предъявленных требований по разработке, обновлению и модернизации изделий всеми заинтересованными сторонами. Тем самым достигается единство подходов к решению таких задач, как обеспечение качества, управление конфигурацией изделий и управление техническими проектами.

Рисунок 3 иллюстрирует положение указанных контрольных точек в V-образной модели процесса разработки.

| Контракт. Декларация о работах | M1 | M2 Аналитическая проверка соответствия | M3 Экспериментальная проверка соответствия |
|---|---|---|---|
| | | | Отчет об испытаниях. Перечень составных частей. Принципиальные схемы. Конструктивные решения. |
| | - Техническая документация, обновляемая на протяжении жизненного цикла.<br>- Системные требования.<br>- ТУ на диагностирование.<br>- Проверка функций во время работы и в выключенном состоянии.<br>- Отчеты о проверках и испытаниях | | |

Рисунок 3 — V-образная модель процесса разработки

При обеспечении контролируемости изделий в процессе их разработки должны быть предусмотрены три контрольные точки (вехи) соответствующего проекта:

M1 — начало разработки с проверкой подрядчиком предъявленных требований;

M2 — теоретическое подтверждение достигнутого уровня контролируемости аналитическими методами;

M3 — демонстрация достигнутого уровня контролируемости посредством практического проведения диагностирования.

Для достижения заданной контролируемости изделий в процессе его разработки должны быть сделаны следующие шаги:

- проверка конкурентоспособности предъявленных требований и, при необходимости, уведомление заказчика о пропущенных им или устаревших требованиях;

- анализ требований заказчика и перевод их на язык технических требований к разрабатываемому изделию;

- разработка схемы разукрупнения изделия по уровням, установленным заказчиком;
- разработка функциональной схемы изделия, включающей в себя его функциональные составные части и элементы и связи между ними;
- проработка конструкции изделия и разработка необходимого программного обеспечения;
- разработка и, при необходимости, оптимизация процедур выявления отказов;
- разработка и, при необходимости, оптимизация процедур локализации отказов;
- подготовка к подтверждению достигнутого уровня контролируемости;
- подтверждение достигнутого уровня контролируемости;
- проверка технической документации.

После того как будут определены функциональные составные части изделия, начинают процесс их углубленной проработки на более низких уровнях разукрупнения в соответствии с определенным их функциональным назначением. Если при этом выявляется, что некоторые функции не могут быть реализованы разработанными составными частями, запускают итеративный процесс, в ходе которого модифицируют технические требования и определяют составные части и элементы, с помощью которых они могут быть реализованы. После разбиения составных частей и элементов изделия на компоненты начинают процесс их интегрирования в соответствии с назначенными функциями этих составных частей и элементов.

Применение стандартных методов и компьютерных средств проектирования значительно облегчает процесс разработки изделий.

### 6.2 Распределение проверяемых функций

Процесс конструктивного обеспечения контролируемости исходит из условия, что все функции и подфункции изделия должны быть проверяемыми. Это достигается соответствующей привязкой проверочных операций к определенным составным частям и элементами и исполняемым ими подфункциям.

### 6.3 Конструктивное обеспечение контролируемости

#### 6.3.1 Критерии конструктивного обеспечения контролируемости

Обеспечение контролируемости представляет собой часть программы разработки изделия, нацеленную на реализацию всех установленных требований в отношении его технического диагностирования. Обеспечение контролируемости является одной из составляющих процесса обеспечения ремонтопригодности, осуществляемого в соответствии с требованиями стандартов [3] и [4]. В контексте обеспечения контролируемости применяют следующие приемы и методы:

- изделие должно быть разбито на функциональные группы и элементы с ясно организованными и четко определенными интерфейсами. Всюду, где это возможно, электрические и механические схемы изделия должны соответствовать его функциональной структуре;
- должно отдаваться предпочтение применению таких составных частей, компонентов и конструктивных элементов, текущее состояние которых и его изменения могут быть легко проверены и оценены простыми и доступными диагностическими средствами и методами;
- в процессе ТО и ремонта применяют методы измерений, совместимые с существующей или планируемой внешней диагностической аппаратурой. Должна также учитываться физическая и электрическая доступность измерительной аппаратуры;
- глубина автопроверок должна соответствовать выбранным уровням замен, анализ которых описан в стандарте [3];
- должны быть предусмотрены и соответствующим образом промаркированы контрольные точки, особенно те, которые требуются для подключения внешнего диагностического оборудования;
- критерии отказов и их оценки должны быть четко определены до окончательной отработки конструкции изделия в части его контролируемости;
- системы или изделия должны быть спроектированы так, чтобы их начальное состояние перед запуском процесса локализации отказов было четко определено. В случае отказа изделие должно неизменно и автоматически переходить в это состояние;
- применение методов диагностирования и используемых при этом внешних воздействий не должно оказывать вредного влияния ни на сам проверяемый элемент, ни на взаимосвязанные с ним элементы, так же как на систему в целом;
- все системы с шинной организацией должны быть доступны для измерений;
- функциональное и диагностическое (при его наличии) программное обеспечение должно быть составлено таким образом, чтобы оно могло быть легко проверено обслуживающим персоналом.

### 6.3.2 Учет требований контролируемости при разработке

После принятия решений относительно реализации определенных функций определенными составными частями изделий, эти составные части должны быть привязаны к определенным уровням разукрупнения конструкции изделия. Разукрупнение производят иерархическим образом, двигаясь сверху вниз. Число уровней разукрупнения зависит от сложности и конструктивного исполнения изделия. В целях упрощения и стандартизации каждому уровню разукрупнения от элементов до системы присваивают определенное кодовое обозначение (например, $K_1$, $K_2$,…,$K_n$). Могут быть введены дополнительные высшие уровни разукрупнения, которым присваивают собственные порядковые номера, например, система 1, система 2 и т. д.

В процессе проработки конструкции функции и подфункции системы закрепляют за определенными ее составными частями. При этом особое внимание должно быть обращено на:

а) минимизацию числа интерфейсов при разделении подфункций;

б) группирование функций посредством объединения в одном месте подфункций, связанных с некоторой функцией более высокого уровня;

в) применение только стандартных интерфейсов (например, шин). При необходимости следует предусматривать отдельную диагностическую шину.

Конструктивное обеспечение контролируемости должно учитывать необходимость проверок и диагностирования изделий на различных стадиях жизненного цикла, включая:

- изготовление;
- хранение;
- подготовку к применению;
- применение по назначению;
- подготовку к последующему применению;
- различные виды ТО и ремонта;
- утилизация.

Каждая стадия должна при этом рассматриваться как отдельно, так и в комплексе с остальными, с тем чтобы обеспечить принятие экономически наиболее эффективных решений в части обеспечения контролируемости. Необходимо также учитывать, что некоторые системы имеют многоцелевое назначение и могут применяться в разных условиях и режимах, в которых могут быть задействованы различные их функциональные составные части и элементы, контролируемость которых должна быть обеспечена и при этих условиях.

### 6.3.3 Применение изделий, имеющихся в свободной продаже

Обязательным предварительным условием применения свободно продаваемых изделий является их соответствие всем эксплуатационным требованиям, предъявляемым к составным частям и элементам разрабатываемого изделия, включая их контролируемость, ремонтопригодность и доступность документации, необходимой на стадиях эксплуатации и ТО. Если покупные изделия не отвечают некоторым требованиям к их контролируемости, установленным в декларации о работах, то конструктор обязан предусмотреть в системе меры, компенсирующие недостающие конструктивные свойства этих изделий.

Поскольку генеральный подрядчик не всегда является одновременно покупателем, то обе эти стороны обязаны проводить совместную оценку приобретаемых изделий. Объем проверок и испытаний, необходимых для проверки соответствия приобретаемых готовых покупных изделий установленным эксплуатационным требованиям и требованиям к стойкости к воздействиям окружающей среды, определяет генеральный подрядчик. От поставщика этих изделий может потребоваться представление их эксплуатационных характеристик и данных о стойкости к внешним воздействиям, а также результатов испытаний, подтверждающих объявленные уровни безотказности и ремонтопригодности покупных изделий. Также от поставщика могут потребовать представить данные, подтверждающие, что используемые им производственные процессы не ухудшают объявленных показателей безотказности и ремонтопригодности изделий. Такие данные могут содержать результаты выборочных испытаний изделий или контрольные карты, доказывающие, что критически важные производственные процессы находятся под контролем при сохранении их высокой производительности.

## 6.4 Процесс конструктивного обеспечения контролируемости

### 6.4.1 Логистическая поддержка

Заказчик обязан установить в декларации о работах планируемую систему поддержки ТО и ремонта заказанного изделия таким образом, чтобы разработчик имел возможность определить последствия принимаемых им решений, например в части приоритетности введения встроенного контроля тех или иных функций. Если в разрабатываемом изделии содержатся стандартные сменные

составные части, такие как, например, лампы, предохранители, фильтры и т. п., то заказчик должен также установить в декларации о работах систему снабжения соответствующими запасными частями (рисунок 4 и таблица 4)

| Пример 1 | Уровни разукрупнения и задачи логистики | | | | Пример 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| Самолет | К5 Система — реактивный двигатель | | | | Самолет |
| Кокпит | К4<br>Система — кабина | К4<br>Система... | К4<br>Система управления полетом | | Система управления полетом<br>Рычаг управления — автопилот-исполнительный механизм — руль направления |
| Панель | К3<br>Система — панель | | К3<br>Система | К3<br>Система-автопилот | Датчик рычага управления и преобразователь (SSICA) |
| Тахометр | | | К2 — заменяемый на месте элемент (LRU) | К2<br>LRU = SSICA | SRU 1.7 |
| Стандартный заменяемый элемент (SRU) 1.5 | | | К1<br>SRU | К1<br>SRU 1.7 | |
| Структура системы | | | | | |

Рисунок 4 — Уровни разукрупнения и снабжение запасными частями (на примере самолета)

Таблица 4 — Пример определения потребностей в снабжении запасными частями

| Уровни разукрупнения конструкции | Поставляемые запасные части | Примеры запасных частей |
|---|---|---|
| К5 | | Самолет |
| К4 | | Кабина, система управления полетом |
| К3 | | Панель 1, система контроля курса |
| К2 | Заменяемые на месте составные части | Тахометр, датчик рычага управления с преобразователем |
| К1 | Стандартные сменные элементы | Съемные платы, сменные печатные платы |

### 6.4.2 Техническое диагностирование и готовность

На стадии разработки изделия показатели и характеристики его контролируемости должны быть обеспечены с учетом результатов предварительной оптимизации всех остальных его свойств и характеристик. Особое внимание должно быть уделено применению методов диагностирования, способных повысить ремонтопригодность изделия и минимизировать его простои в неработоспособном состоянии, повысив тем самым уровень его готовности, увеличив доходы от его использования по назначению и сократив общие затраты на его эксплуатацию.

В случае изделий, подверженных износу и старению, совершенствование методов диагностирования особенно сильно влияет на предупредительное обслуживание, позволяя оптимизировать его периодичность, объемы выполняемых работ и потребности в ресурсах для их проведения. Если изделия не подвержены износу, как, например, электронные системы на твердотельных полупроводниковых приборах, то затраты на их предупредительное обслуживание пренебрежимо малы, и наибольшее влияние на стоимость их эксплуатации оказывают капитальные затраты, которые, в свою очередь, преимущественно зависят от достигнутого уровня их готовности. Поскольку бóльшая часть времени простоя таких систем приходится на поиск и локализацию отказов, то основное внимание при обеспечении контролируемости следует обращать на приспособленность изделий к этим работам.

# 7 Оценка контролируемости

## 7.1 Общие положения

Цель программы оценки контролируемости состоит в подтверждении вначале теоретическими, а позднее и экспериментальными методами выполнения требований по приспособленности изделий к диагностированию. Эта задача может решаться методами и способами, аналогичными тем, что применяют при проверках параметров ремонтопригодности. Проверку достигнутого уровня контролируемости проводят аналитическими методами и методами испытаний.

## 7.2 Аналитические методы

Основными составляющими аналитических методов проверки контролируемости являются:

- анализ документации. Документация, представляемая в соответствии с разделом 5, должна быть оценена с точки зрения полноты, точности и простоты использования;
- анализ и оценка конструктивных свойств изделия, определяющих его контролируемость.

## 7.3 Экспериментальные методы

Экспериментальное подтверждение контролируемости изделий проводят в ходе испытаний его образцов. Если такая проверка предусмотрена декларацией о работах, то ее проводят в ходе приемочных испытаний опытных образцов изделий. Эффективным способом проверки контролируемости является имитация отказов его составных частей без их разрушения или имитация с использованием программных средств, но такая проверка должна быть подкреплена реальными данными (по проведению диагностирования, поиску и устранению отказов испытываемых образцов изделий). Для недиагностируемых функций изделия должны быть представлены подтверждения того, что его конструкция выполнена надлежащим образом с точки зрения ее контролируемости.

# 8 Документация, относящаяся к контролируемости

Важно обеспечить, чтобы вся документация, имеющая отношение к техническому диагностированию, была представлена в стандартной форме и содержала в доступном виде всю необходимую информацию для операторов и обслуживающего персонала. Разработчики документации должны учитывать предполагаемые условия и режимы применения изделий по назначению, их ТО и ремонта, общую концепцию ТО и ремонта, уровень квалификации и подготовки персонала.

**Приложение А**
**(справочное)**

## Расчет характеристик процессов поиска и локализации отказов

### А.1 Условные обозначения

$m$ — число составных частей (элементов);

$n$ — число терминалов;

$h$ — обнаружение отказа во время работы;

$k$ — обнаружение отказа во время проверки;

$l$ — локализация отказа с помощью терминала;

$v_1$ — локализация отказа с точностью до одного элемента;

$v_2$ — локализация отказа с точностью до двух элементов;

$v_3$ — локализация отказа с точностью до трех элементов;

$A$ — доля проверок изделий в процессе работы;

$B$ — доля проверок неработающего изделия без использования внешнего диагностического оборудования;

$C$ — доля проверок неработающего оборудования с привлечением внешнего диагностического оборудования;

$D$ — доля предупредительного обслуживания без диагностирования.

### А.2 Доля отказов, выявляемых в процессе работы

Символ $h_i$ означает, может ли отказ быть выявлен по данным терминала $i$ во время работы. При этом, если $h_i = 1$, отказ выявляется на этом терминале, а если $h_i = 0$, то отказ не может быть выявлен по данным $i$-го терминала во время работы изделия.

$\sum_{i=1}^{n} h_i$ — число терминалов, через которые может быть выявлен данный отказ.

Таким образом, доля отказов, выявляемых средствами встроенного контроля во время работы изделия, равна

$$FR_{(A)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_i}{n} \cdot 100\ \%.$$

### А.3 Доля отказов, выявляемых в ходе проверок неработающего изделия

Символ $k_i$ означает, может ли отказ во время проверки неработающего изделия быть выявлен через $i$-й терминал. При этом $k_i = 1$ означает, что отказ выявляется, а $k_i = 0$ означает, что отказ не может быть выявлен через этот терминал.

Общее число терминалов, через которые отказ может быть выявлен, равно

$$\sum_{i=1}^{n} k_i.$$

Таким образом, доля отказов, выявляемых при проверках неработающего изделия, составляет:

$$FR_{(A+B+C+D)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i}{n} \cdot 100\ \%.$$

Примечание — Относительно оптимизации цепей проверок изделия во время работы с помощью средств встроенного контроля.

По экономическим соображениям может оказаться полезным оптимизировать число необходимых цепей проверок для выявления отказов средствами встроенного контроля с учетом интенсивностей отказов отдельных подфункций $\lambda$.

*Обозначения:*

$FR$ — доля выявляемых отказов средствами встроенного контроля, зависящая от интенсивностей отказов подфункции $SF$;

$PSF_i$ — число проверяемых портов для $i$-й подфункции;

$\Sigma PSF_i$ — общее число портов для $i$-й подфункции;

$\lambda SF_i$ — интенсивность отказов $i$- й подфункции

$\Sigma\lambda SF_i$ — суммарная интенсивность отказов всех подфункций;

Формула для вычисления $FR$ имеет вид:

Функция (изделие)

Часть диагностирования $A$

$PSF_1 = 3\lambda SF_1 = 0{,}0001$

$\Sigma PSF_1 = 3\lambda SF_2 = 0{,}000001$

$PSF_2 = 2\Sigma\lambda SF = 0{,}000101$

$\Sigma PSF_2 = 2$

$FR = (3/3) \cdot (0{,}0001/0{,}000101) + (2/2) \cdot (0{,}000001/0{,}00000101) \le 1.$

Результат: вероятность отказа подфункции $SF_2$ составляет около 1 %. Поэтому проверка этой подфункции может быть включена в части диагностирования $B$ или $C$, что позволит таким образом минимизировать часть диагностирования $A$.

*Локализация отказов*

Символ $l_i$ обозначает возможность локализации отказа через $i$-й терминал.

При этом:

$l_i = 1$, если отказ может быть локализован через этот терминал;

$l_i = 0$, если отказ локализовать нельзя.

$\sum_{i=1}^{n} l_i$ — число терминалов, с помощью которых отказ может быть локализован.

Таким образом, доля отказов, локализуемых с помощью $i$-го терминала, равна

$$FL = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_i}{n} \cdot 100\ \%.$$

Символ $v1_j$ обозначает, что отказ может быть однозначно локализован на уровне $j$-й составной части изделия. При этом $v1_j = 1$ при однозначной локализации на уровне этой составной части; $v1_j = 0$, если однозначной локализации отказа не происходит.

$\sum_{j=1}^{m} v1_j$ — число составных частей, на уровне которых отказ может быть однозначно локализован.

Таким образом, доля отказов, однозначно локализуемых на уровне $j$-й составной части, равна

$$FL_{v1} = \frac{\sum_{j=1}^{m} v1_j}{m} \cdot 100\ \%.$$

Символ $v2_j$ означает, что отказ может быть локализован на уровне двух составных частей, одна из которых $j$-я. При этом $v2_j = 1$ при локализации отказа на уровне одной из этих двух составных частей; $v2_j = 0$, когда отказ не удается таким образом локализовать.

$\sum_{j=1}^{m} v2_j$ — число случаев локализации отказа на уровне одной из двух составных частей.

Таким образом, доля отказов, локализуемых на уровне одной из двух составных частей, равна

$$FL_{v2} = \frac{\sum_{j=1}^{m} v2_j}{m} \cdot 100\ \%.$$

### А.4 Правильность и полнота диагностирования

#### А.4.1 Обозначения

$A$ — проверки во время работы (онлайновые проверки);

$A'$ — онлайновые проверки, приведшие к правильному диагностированию, ($\lim A' = A$);

$A''$ — реально предусмотренное число онлайновых проверок, ($\lim A'' = A$);

$B$ — проверки выключенного изделия средствами встроенного контроля (офлайновые проверки);

$B'$ — офлайновые проверки, приведшие к правильному диагностированию, ($\lim B' = B$);

$B''$ — реально предусмотренное число офлайновых проверок ($\lim B'' = B$);

$C$ — проверки выключенного изделия с использованием внешнего диагностического оборудования;

$C'$ — проверки выключенного изделия с использованием внешнего диагностического оборудования, приведшие к правильному диагностированию, ($\lim C' = C$);

$C''$ — реально предусмотренные проверки выключенного изделия с использованием внешнего диагностического оборудования ($\lim C'' = C$);

$D$ — проверки в ходе предупредительного обслуживания;

$D'$ — проверки в ходе предупредительного обслуживания, приведшие к правильному диагностированию, ($\lim D' = D$);

$D''$ — реально предусмотренное число проверок в ходе предупредительного обслуживания, ($\lim D'' = D$).

**А.4.2 Правильность диагностирования**

В соответствии с общими принципами обеспечения контролируемости должно быть выполнено условие:

$A + B + C + D = 100$ %,

т. е. любой отказ должен выявляться предусмотренными для изделия средствами и способами диагностирования. Реальная диагностируемость отказов характеризуется величиной:

$$A' + B' + C' + D' \le 100\ \%.$$

Таким образом, точность диагностирования может быть оценена величиной отношения:

$$Dc = \frac{A' + B' + C' + D'}{A + B + C + D}.$$

**А.4.3 Полнота диагностирования**

Реально диагностируемое число отказов всеми предусмотренными для изделия проверками составляет

$$A'' + B'' + C'' + D'' \le 100\ \%.$$

Соответственно, полнота диагностирования может быть оценена как:

$$Tc = \frac{A'' + B'' + C'' + D''}{A + B + C + D}.$$

## Библиография


[1] РД 50-497—84 Методические указания. Техническая диагностика. Правила сбора и обработки исходных данных для расчета показателей диагностирования

[2] МЭК 60050-191 Международный электротехнический словарь. Глава 191: Надежность и качество услуг

[3] МЭК 60300-3-10 Управление общей надежностью. Часть 3-10. Руководство по применению. Ремонтопригодность

[4] МЭК 60706-2 Ремонтопригодность оборудования. Часть 2: Требования к ремонтопригодности и исследования на этапе проектирования и конструирования

УДК 62-192:658.562:006.354 ОКС 21.020 Т59

Ключевые слова: надежность, безотказность, ремонтопригодность оборудования, диагностическая проверка

Редактор *П.М. Смирнов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.Е. Нестерова*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 07.04.2014. Подписано в печать 21.04.2014. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,75. Тираж 81 экз. Зак. 1527.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru