ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 27.301— 2011

Надежность в технике

УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ. ТЕХНИКА АНАЛИЗА БЕЗОТКАЗНОСТИ

Основные положения

IEC 60300-3-1:2003 (NEQ)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2013

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным 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 14 декабря 2011 г. № 1492-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта МЭК 60300-3-1:2003 «Управление надежностью. Часть 3-1. Техника анализа надежности. Руководство по методологии» (IEC 60300-3-1 «Dependability management: Part 3-1 — Application guide — Analysis techniques for dependability — Guide on methodology», NEQ)

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «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

© Стандартинформ, 2013

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 и определения . . . 1
4 Основные положения . . . 2
5 Порядок и общие правила прогнозирования . . . 2
6 Методы прогнозирования . . . 3
7 Исходные данные . . . 5
8 Требования к методикам анализа . . . 5
9 Представление результатов прогнозирования . . . 6
10 Учет специфики отказов сложных восстанавливаемых изделий . . . 6
Приложение А (справочное) Методы прогнозирования безотказности . . . 7

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Надежность в технике

УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ. ТЕХНИКА АНАЛИЗА БЕЗОТКАЗНОСТИ

Основные положения

Dependability in technics. Dependability management.
Analysis techniques for reliability. General principles

Дата введения — 2012—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на изделия любых видов техники и устанавливает основные положения по анализу и прогнозированию безотказности изделий на стадии их разработки.

Отдельные методы настоящего стандарта могут применяться для анализа и прогнозирования долговечности изделий.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте применены нормативные ссылки на следующий стандарт:
ГОСТ Р 27.002—2009 Надежность в технике. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочного стандарта в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 27.002, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **анализ, прогнозирование безотказности:** Определение качественных и количественных характеристик и показателей безотказности еще не существующего изделия (на стадии разработки) или тенденций к изменению характеристик и показателей безотказности изделий в ходе их экспериментальной отработки.

Примечание — Определение показателей безотказности изделий на стадии производства по параметрам технологического процесса их изготовления или по результатам неразрушающих испытаний (разбраковки, отбраковки) также следует относить к прогнозированию безотказности.

3.2 **расчет безотказности:** Процедура определения количественных значений показателей безотказности изделия.

3.3 **элемент:** Составная часть изделия, рассматриваемая при прогнозировании как единое целое, не подлежащее дальнейшему разукрупнению.

Издание официальное

4 Основные положения

4.1 Прогнозирование безотказности изделия осуществляют на стадии разработки в соответствии с программой обеспечения надежности.

4.2 Целями прогнозирования безотказности изделия являются:

- проверка выполнимости задаваемых требований или оценка возможности достижения требуемого уровня безотказности при выделенных ресурсах, обоснование необходимых корректировок заданных требований;
- сравнительный анализ безотказности вариантов схемно-конструктивного построения изделия и обоснование выбора рационального варианта;
- обоснование и оценка эффективности мер по доработкам конструкции изделия и технологии изготовления.

4.3 Для достижения указанных целей решают следующие задачи:

- устанавливают порядок и правила прогнозирования безотказности;
- выбирают методы прогнозирования;
- определяют источники исходных данных для прогнозирования;
- устанавливают требования к методикам прогнозирования;
- оформляют (документируют) результаты прогнозирования.

5 Порядок и общие правила прогнозирования

5.1 Прогнозирование безотказности в общем случае представляет собой процедуру определения и последовательного уточнения характеристик и показателей безотказности на каждом этапе стадии разработки [техническое предложение (аванпроект), эскизный проект, технический проект и изготовление опытного образца].

По мере отработки конструкции и технологии изготовления изделия, алгоритмов его функционирования, правил эксплуатации, технического обслуживания, уточнения критериев отказов и предельных состояний, накопления информации о факторах, определяющих надежность, применяют постепенно усложняющиеся, более детальные методы прогнозирования.

5.2 Прогнозирование безотказности на каждом этапе стадии разработки включает в себя:

- идентификацию изделия;
- определение целей и задач на данном этапе, номенклатуры и требуемых значений прогнозируемых показателей и/или характеристик безотказности;
- выбор метода прогнозирования безотказности, адекватного особенностям изделия, этапу работ, наличию исходных данных;
- составление моделей прогнозирования (анализа, расчета) для каждого показателя безотказности;
- получение, анализ, оценку и предварительную обработку исходных данных для прогнозирования;
- разработку методики прогнозирования (при необходимости);
- выполнение процедуры прогнозирования;
- сопоставление результатов прогнозирования с требуемыми значениями показателей безотказности или требуемыми качественными характеристиками;
- оформление и представление результатов.

5.3 Идентификация изделия для прогнозирования безотказности включает в себя получение и анализ следующей информации:

- назначение, область применения и функции;
- критерии качества функционирования, критерии отказов и предельных состояний;
- возможность критических отказов (неисправностей) и оценка последствий их наступления;
- структура изделия, состав и схема взаимодействия его составных частей;
- наличие, виды и способы резервирования, используемые в изделии, наличие избыточности функций и характеристик, присущих изделию;
- объем и степень сложности программного обеспечения;
- типовая модель эксплуатации, устанавливающая перечень возможных режимов эксплуатации и выполняемых функций, порядок чередования режимов, продолжительность пребывания изделия в каждом режиме, номенклатура и параметры нагрузок и внешних воздействий на изделие в каждом режиме;

- планируемое техническое обслуживание и ремонт (виды, периодичность, способы выполнения, техническое оснащение, материально-техническое обеспечение работ);
- распределение функций между операторами, численность и квалификация обслуживающего персонала, виды и характеристики человеко-машинных интерфейсов, последствия непредумышленного неправильного применения.

5.4 Выбор методов прогнозирования на каждом этапе работ осуществляют в зависимости от полноты идентификации изделия по 5.3 на данном этапе (с учетом отсутствия или невозможности получения части информации, предусмотренной 4.3).

6 Методы прогнозированя

6.1 В настоящем стандарте приведены методы прогнозирования безотказности и готовности.

Примечание — При прогнозировании долговечности могут быть использованы методы прогнозирования безотказности, рассматриваемые применительно к событиям (отказам, повреждениям), характеризующим наступление предельного состояния изделий.

6.2 Методы прогнозирования подразделяют на:
- качественные, в результате применения которых получают оценки характеристик безотказности типа: больше, меньше; возможно, невозможно; недопустимо, допустимо, полностью соответствует; низкая, средняя, высокая (например, опасность события) и пр.;
- количественные, в результате применения которых получают числовые значения показателей безотказности.

6.3 Методы прогнозирования безотказности могут базироваться на следующих факторах:
- использование данных о безотказности изделий, близких к рассматриваемому изделию по назначению, принципам действия, схемно-конструктивному исполнению, технологии изготовления, элементной базе и применяемым материалам, условиям и режимам эксплуатации, с учетом выявленных тенденций к их изменению в процессе отработки, освоения производства и в ходе эксплуатации (изделий-аналогов), а также аналогов их составных частей или комплектующих изделий;
- представление изделия в виде логической схемы (структурно-функциональной, дерева неисправностей, дерева событий и т. п.), описывающей множество его состояний и событий, происходящих с ним, в зависимости от состояния составных частей, элементов и событий, происходящих с ними, подразделение множества состояний и событий на группы по различным признакам и вычисление количественных значений показателей безотказности и/или определение их качественных характеристик;
- применение математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам изделий (достижению ими предельного состояния) и вычисление показателей безотказности с учетом нагрузок и условий применения, особенностей конструкции и технологии изготовления.

6.4 При прогнозировании безотказности конкретных изделий и их составных частей рекомендуется сочетать различные методы, применимые на данном этапе работ, с учетом их преимуществ и ограничений.

6.5 Основными методами прогнозирования безотказности (готовности) являются:
- прогнозирование интенсивности отказов;
- анализ дерева неисправностей;
- анализ дерева событий;
- анализ блок-схемы безотказности;
- марковский анализ;
- сети Петри;
- анализ возможных причин и последствий отказов;
- исследование опасности и удобности эксплуатации;
- анализ влияния человеческого фактора на безотказность;
- анализ устойчивости к нагрузкам;
- таблица состояний;
- суммирование наработок.

6.6 Вспомогательными методами прогнозирования безотказности являются:
- анализ паразитных цепей (связей);
- анализ наихудшего случая;
- имитационное моделирование.

6.7 Рекомендации по применению указанных методов прогнозирования безотказности (готовности) для различных видов изделий и этапов разработки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование метода	Вид изделий	Этап разработки
Прогнозирование интенсивности отказов	Относительно простые изделия электротехники и электронной техники без резерва и избыточности	Концептуальные и ранние этапы разработки
Анализ дерева неисправностей	Изделия электротехники и электронной техники, механические изделия, аппаратные средства вычислительной техники, программное обеспечение	Ранние этапы разработки с последующим развитием на других этапах
Анализ дерева событий	То же	То же
Анализ блок-схемы безотказности	Изделия электротехники и электронной техники с резервом, избыточностью, неремонтируемые или с простыми видами ремонта и стратегиями технического обслуживания	»
Марковский анализ	Изделия с функционально сложной структурой, изменяющейся конфигурацией систем изделий, со сложными видами ремонта и стратегиями обслуживания	Поздние этапы разработки
Сети Петри	То же Сложно взаимодействующие аппаратные средства вычислительной техники и/или программное обеспечение	То же
Анализ возможных причин и последствий отказов	Изделия различных технологий (электрические, механические, гидравлические, программное обеспечение и т. д.) с простыми функциональными структурами, для которых риск или опасность ожидаются уже на ранних этапах разработки	Ранние этапы разработки с последующим развитием на других этапах
Исследование опасности и удобности эксплуатации	То же	Середина и поздние этапы разработки
Анализ влияния человеческого фактора на безотказность	Изделия (системы изделий) различных технологий, для которых ошибочные действия человека могут приводить к критическим последствиям	Поздние этапы разработки
Анализ устойчивости к нагрузкам	Комплектующие изделия, детали, механические компоненты	Ранние этапы разработки с последующим развитием на других этапах
Таблица состояний	Изделия электротехники и электронной техники	Середина и поздние этапы разработки
Суммирование наработок	Изделия электротехники и электронной техники с резервом, избыточностью, неремонтируемые или с различными видами ремонта и стратегиями технического обслуживания	Ранние этапы разработки с последующим развитием на других этапах
Анализ паразитных цепей (связей)	Сложные системы в незапланированных режимах (космические, атомной энергетики и др.)	Поздние этапы разработки
Анализ наихудшего случая	Изделия (системы), состоящие из нескольких компонентов	То же
Имитационное моделирование	Изделия любых видов и степени сложности	»

6.8 Характеристики указанных методов прогнозирования безотказности приведены в приложении А.

7 Исходные данные

7.1 Исходными данными для прогнозирования безотказности изделия могут быть:

- статистические данные о безотказности изделий-аналогов, составных частей и комплектующих изделий по опыту их применения в аналогичных или близких условиях и нагрузках;
- значения интенсивностей отказов комплектующих изделий (включая виды и параметры распределений) и модели пересчета их от номинальных нагрузок и условий применения к заданным нагрузкам и условиям;
- характеристики старения применяемых материалов;
- расчетные и/или экспериментальные оценки параметров нагруженности составных частей и элементов конструкции.

7.2 Источниками исходных данных могут быть:

- стандарты и технические условия на составные части изделия, комплектующие изделия межотраслевого применения, вещества и материалы;
- справочники по безотказности элементов, свойствам веществ и материалов;
- справочники по нормативам продолжительности (трудоемкости, стоимости) типовых операций технического обслуживания и ремонта;
- банки данных о безотказности изделий-аналогов, составных частей, комплектующих изделий, по веществам и материалам;
- результаты прочностных, электрических, тепловых и иных расчетов изделия и его составных частей.

7.3 При наличии нескольких источников данных необходимо установить приоритеты в их использовании на основании заключений экспертов.

8 Требования к методикам анализа

8.1 Для анализа и прогнозирования безотказности изделий применяют:

- типовые методики, разрабатываемые для группы (вида, типа) однородных по принципам обеспечения безотказности изделий, оформляемые в виде соответствующих национальных стандартов, стандартов организаций или иных нормативных документов;
- методики прогнозирования безотказности конкретных изделий, разрабатываемые на основе типовых методик и учитывающие специфические особенности, которые не могут быть учтены в типовых методиках, оформляемые в виде разделов отчетных документов по прогнозированию безотказности на стадии разработки.

8.2 Типовая методика должна содержать:

- перечень прогнозируемых показателей безотказности изделия и его составных частей;
- цели и задачи методики;
- методы, применяемые для прогнозирования каждого показателя или группы показателей;
- алгоритмы вычислений;
- программное обеспечение (при необходимости);
- требования к исходным данным (состав, достоверность и др.);
- правила сопоставления результатов прогнозирования с требованиями безотказности;
- оценку устойчивости результатов прогнозирования к отклонениям от принятых предположений и допущений;
- требования к форме представления результатов прогнозирования.

8.3 Методика прогнозирования безотказности конкретного изделия должна содержать:

- правила идентификации изделия для применения соответствующего метода и необходимые для этого исходные данные;
- номенклатуру прогнозируемых показателей безотказности и их требуемые значения;
- модели для прогнозирования каждого показателя, принятые в моделях предположения и допущения, алгоритмы вычислений и программное обеспечение;
- исходные данные для прогнозирования или указания на источники их получения, включая ссылки на результаты и методики прочностных, тепловых, электрических или иных расчетов изделия.

8.4 Основным требованием к методике прогнозирования безотказности конкретного изделия является требование адекватности выбранного метода соответствующему этапу вида работ, которая характеризуется:

- полнотой использования доступной на данном этапе информации об изделии, условиях и режимах его эксплуатации, системе технического обслуживания и ремонта, характеристиках безотказности составных частей, свойствах применяемых материалов и веществ и др.;
- обоснованностью принятых при построении моделей предположений и допущений.

8.5 Степень адекватности методов и моделей прогнозирования оценивают путем экспертного оценивания или сопоставления результатов прогнозирования с экспериментальной оценкой безотказности изделий-аналогов, для которых применялись аналогичные модели и методы.

9 Представление результатов прогнозирования

9.1 Результаты прогнозирования безотказности изделия оформляют в виде раздела пояснительной записки к соответствующему проекту (техническому предложению, эскизному, техническому) или самостоятельного документа — отчета, содержащего:

- цели, задачи и методику прогнозирования и ссылки на соответствующие типовые методики;
- исходные данные для прогнозирования и источники их получения;
- критерии отказов и предельных состояний;
- результаты прогнозирования (качественные оценки, расчетные значения) всех характеристик и показателей безотказности и заключения об их соответствии установленным требованиям;
- выявленные недостатки конструкции изделия и рекомендации по их устранению с оценками эффективности предлагаемых мер с точки зрения обеспечения безотказности изделия;
- перечень составных частей и элементов, лимитирующих надежность изделия или по которым отсутствуют необходимые для прогнозирования данные, предложения по дополнительным мероприятиям по повышению их безотказности или замене на более надежные;
- заключение о возможности перехода к следующему этапу вида работ изделия при достигнутом прогнозируемом уровне его безотказности.

9.2 Содержание отчетного документа по прогнозированию безотказности должно допускать возможность независимой экспертизы результатов прогнозирования.

10 Учет специфики отказов сложных восстанавливаемых изделий

10.1 При прогнозировании безотказности сложных многоэлементных восстанавливаемых изделий следует учитывать, что поток их отказов наряду с суперпозицией потоков отказов элементов содержит также дополнительные отказы, которые возникают в следующих случаях:

- повторные отказы элементов из-за невыявленной основной причины отказа;
- неумышленное создание неполадок обслуживающим персоналом, осуществляющим очередное корректирующее техническое обслуживание;
- установка на место отказавшего элемента нового элемента, имеющего скрытый дефект.

10.2 Дополнительные отказы существенно влияют на показатели безотказности изделий. Доля их в потоке отказов наиболее сложных видов изделий может достигать 10 % и более.

10.3 Дополнительные отказы не могут быть учтены указанными в 6.5—6.7 методами. Их учитывают путем умножения расчетных значений показателя безотказности «средняя наработка между отказами» («наработка на отказ») на поправочный коэффициент, значения которого устанавливают по результатам анализа статистических данных об отказах изделий-аналогов.

10.4 Дополнительные отказы уменьшают среднее значение наработок между отказами изделия и вместе с тем изменяют экспоненциальный вид распределения наработок между отказами.

Распределение наработок между отказами сложных многоэлементных изделий рекомендуется аппроксимировать распределением Вейбулла со значением параметра формы, меньшим единицы по типовым методикам.

Приложение А
(справочное)

Методы прогнозирования безотказности

А.1 Основные методы прогнозирования безотказности

А.1.1 Прогнозирование интенсивности отказов

А.1.1.1 Метод применяют главным образом на концептуальных и ранних этапах стадии разработки. Он может также использоваться на стадии производства при модернизации изделий.

Выделяют три разновидности метода:

- прогнозирование интенсивности отказов при типовых (базовых) условиях и режимах;
- прогнозирование интенсивности отказов в эксплуатационных условиях и режимах;
- прогнозирование интенсивности отказов методом подобия.

А.1.1.2 Если эксплуатационные и типовые режимы и условия совпадают, то совпадают и методы. Если эксплуатационные режимы отличаются от типовых режимов, то прогнозирование интенсивности отказов компонентов проводят с использованием разработанных для этих целей моделей пересчета.

Для применения метода необходима база данных по интенсивностям отказов компонентов и модели пересчета интенсивности отказов с типовых нагрузок и условий применения на эксплуатационные нагрузки и условия. Для этого используют справочники по интенсивностям отказов.

Вычисления могут быть трудоемкими и их целесообразно выполнять с помощью компьютерного программного обеспечения.

А.1.1.3 Прогнозирование интенсивности отказов методом подобия

Метод основан на анализе подобия данных испытаний и данных с мест эксплуатации о безотказности изделий-аналогов (прототипов) для оценки безотказности разрабатываемого изделия.

Прогнозирование этим методом можно осуществлять на уровнях изделия в целом, его составных частей или компонентов с использованием тех же самых данных с мест эксплуатации, но с различными поправками с учетом отличий в условиях применения и нагрузок, особенностей конструкции, производства, технического обслуживания и ремонта, материалов и др.

Поэлементный анализ подобия (по составным частям, компонентам) используют в тех случаях, когда анализ подобия изделия в целом невозможен из-за недостаточного подобия с аналогом или неполноты данных об аналоге.

А.1.1.4 Прогнозирование интенсивности отказов основано на следующих предположениях:

- компоненты соединены последовательно (т. е. каждый компонент необходим для системы, и его отказ приводит к отказу системы);
- интенсивности отказов компонентов являются постоянными через некоторое время после начала эксплуатации (после периода приработки);
- отказы компонентов независимы.

Эти предположения должны быть проверены, так как они могут вести к заниженным оценкам, например, когда в изделии имеется избыточность.

Предположение, что интенсивности отказов являются постоянными, очень упрощает вычисления. В этом случае интенсивность отказов изделия является суммой интенсивностей отказов компонентов.

А.1.1.5 Преимуществами метода являются:

- незначительная трудоемкость (время и стоимость) анализа, если имеются необходимые данные и модели;
- приспособленность к применению на ранних этапах разработки;
- приспособленность к ручным и компьютеризированным вычислениям;
- простота обучения.

А.1.1.6 Причинами ограничения применения метода являются:

- возможность анализа только относительно простых структур;
- точность прогнозирования может быть низкой, особенно для изделий с малым числом компонентов, изготовляемых малыми сериями.

А.1.2 Анализ дерева неисправностей

А.1.2.1 Метод основан на идентификации и анализе условий и факторов, которые являются причиной или вносят вклад в возникновение определенного нежелательного результата и влияют на работоспособность изделия, его безопасность, экономичность и другие интересующие характеристики.

Этот метод может также предназначаться для выбора (построения) модели прогнозирования безотказности и исследования компромиссных решений.

Учитывая известные неблагоприятные последствия и способность находить соответствующие виды отказа и их причины, метод позволяет своевременно уменьшать возможные виды отказов.

Используемый для представления аппаратных и программных средств, как и в случае прогнозирования функциональных возможностей, метод, ориентированный на перебор основных состояний, становится систематическим методом моделирования безотказности, который учитывает сложные взаимодействия составных частей изделия.

При оценке безотказности и готовности изделий этим методом используют и другие методы анализа, например булевы преобразования или метод сечений. Основные требуемые данные — значения интенсивности отказов компонентов, интенсивности восстановления, вероятности возникновения неисправностей различных видов и т. д.

А.1.2.2 Метод используют в процессе разработки для исследования потенциальных неисправностей, их видов и причин и для определения их количественного вклада в неготовность изделия. Дерево неисправностей можно строить для представления не только функций системы, но также и аппаратных средств ЭВМ, программного обеспечения и их взаимодействия. Если человек является частью системы, человеческие ошибки также могут быть включены в метод. Вероятность возникновения причин различных видов неисправностей определяют с помощью инженерного анализа, затем их сопоставляют для оценки их вклада в общую ненадежность изделия.

Ключевыми понятиями дерева неисправностей являются переходы, события и сечения.

А.1.2.3 Преимуществами метода являются:

- применимость на ранних этапах разработки с последующим развитием по мере развития проекта;
- идентификация и систематизация логических цепочек (путей) неисправностей от конкретного определенного последствия назад к его главным причинам;
- относительная простота преобразования логических моделей в соответствующие значения вероятностей.

А.1.2.4 Причиной ограничения применения метода является то, что он не способен правильно представлять зависимость событий от времени или их последовательности во времени.

А.1.3 Анализ дерева событий

А.1.3.1 Дерево событий рассматривает число возможных последствий первоначальных и последующих событий (отказов, повреждений и др.) системы.

А.1.3.2 Анализ дерева событий используют, когда важно исследовать все возможные пути последовательных событий, их очередность и наиболее вероятные последствия. Вероятность возникновения определенного пути (последовательности) событий представляет собой сумму условных вероятностей всех событий в таком пути.

А.1.3.3 Ключевыми понятиями метода являются первоначальные (инициирующие) события, последующие события и последствия.

Анализ дерева событий наиболее выгоден как дополнение к анализу дерева неисправностей. Дерево событий может быть эффективно объединено с деревом неисправностей. Это объединение называют причинно-следственным анализом.

А.1.3.4 Преимуществом метода является возможность оценить последствия события и обеспечивать уменьшение вероятного неблагоприятного последствия.

А.1.3.5 Причиной ограничения применения метода является необходимость проявлять осторожность при правильной обработке условных вероятностей и определения независимости событий.

А.1.4 Анализ блок-схемы безотказности

А.1.4.1 Блок-схема безотказности — это графическое представление логической структуры изделия в виде отдельных составных частей, подсистем и/или компонентов. Блок-схемы являются одними из первых задач, решаемых в процессе разработки. Их необходимо строить как часть анализа требований и непрерывно детализировать по мере конкретизации схемного построения изделия.

А.1.4.2 При построении блок-схем безотказности необходимо определить критерии отказов, разделить структуру изделия на функциональные блоки в соответствии с целями анализа безотказности. Блоки могут представлять подсистемы, которые, в свою очередь, могут быть разделены на более мелкие составные части и т. д.

А.1.4.3 Преимуществами метода являются:

- приспособленность к выявлению составных частей, оказывающих основное влияние на безотказность, анализу изменений конструкции и поиску компромиссов;
- учет большинства типов конфигураций системы, в том числе параллельных, избыточных, резервных и альтернативных функциональных схем;
- в случае двухуровневого подхода («работоспособен — неработоспособен») он обеспечивает довольно легкое прослеживание функциональных состояний и переходов;
- метод позволяет получать количественные оценки безотказности и готовности изделий;
- результаты представляют в компактном виде.

А.1.4.4 Причинами ограничения применения метода являются:

- необходимость построения вероятностной модели работоспособности для каждого элемента в схеме;
- невозможность учета сложных видов ремонта и стратегий обслуживания.

А.1.5 Марковский анализ

А.1.5.1 Данный метод учитывает зависимость отказов и восстановлений отдельных компонентов, характеризующих состояние изделия. Метод может охватывать последовательно-зависимые отказы компонентов и изменяющиеся интенсивности переходов из-за перегрузок или других факторов. Поэтому марковский анализ является

методом, ориентированным на оценку безотказности изделий с функционально сложной структурой, систем изделий, сложного ремонта и стратегий обслуживания.

Метод основан на теории цепей Маркова. Обычно в безотказности применяют однородную во времени модель Маркова и предполагают, что интенсивности переходов (отказов и восстановлений) являются постоянными. Однако в ряде случаев за счет увеличения пространства состояний неэкспоненциальные переходы могут быть приближены последовательностью экспоненциальных переходов.

Представление поведения системы посредством модели Маркова требует определения всех возможных состояний системы, предпочтительно изображаемых схематически в диаграмме состояний и переходов. Кроме того, должны быть определены интенсивности переходов от одного состояния к другому (интенсивности отказов и восстановлений компонентов, интенсивности событий и т. д.). Типичным результатом применения модели Маркова является вероятность нахождения изделия в данном наборе состояний. Обычно эта вероятность представляет собой значение готовности.

Область применения этого метода соответствует той ситуации, когда интенсивности переходов обусловлены состоянием системы или зависят от нагрузки, уровней воздействий, структуры системы (например, резерв), стратегий обслуживания или других факторов. В частности, структура системы (нагруженный или ненагруженный резерв, обеспечение ЗИП) и стратегия обслуживания порождают зависимости, которые не могут быть охвачены другими методами.

Типичное применение метода — прогнозирование готовности.

А.1.5.2 Ключевыми шагами метода являются следующие:

- определение пространства состояний системы;
- установление интенсивностей переходов из одного состояния в другое;
- определение групп состояний, которые оканчиваются отказом системы;
- разработка математической модели (графа и матрицы интенсивностей переходов);
- решение модели Маркова с помощью известных формул (для типовых, относительно простых случаев) или с помощью подходящего пакета компьютерных программ;
- анализ результатов.

А.1.5.3 Преимуществами метода являются:

- возможность получать гибкую вероятностную модель для анализа поведения системы;
- применимость к сложным избыточным конфигурациям, сложной стратегии обслуживания, сложным ошибочным неисправностям (неустойчивые неисправности, скрытые неисправности, переконфигурации), изменяющимся режимам работы;
- возможность получать вероятностные решения к составным частям, которые могут включаться в другие модели типов блок-схем и деревьев неисправностей;
- точный учет последовательностей событий в порядке их возникновения.

А.1.5.4 Причинами ограничения применения метода являются:

- быстрое нарастание числа состояний с увеличением числа компонентов системы, что приводит к громоздкости вычислений,
- применение модели требует специальной математической подготовки;
- модель нуждается в программном обеспечении;
- показатели безотказности типа «среднее значение» (средняя наработка до отказа или средняя наработка между отказами) не получаются непосредственно из типового решения модели Маркова и требуют дополнительного анализа.

А.1.6 Сети Петри

А.1.6.1 Сети Петри — графический метод представления и анализа сложных логических взаимодействий между компонентами или событиями в системе. Типовые сложные взаимодействия, которые включены в язык сетей Петри, — параллелизм, конфликт, синхронизация, взаимное исключение и ограничение ресурса.

А.1.6.2 Статическое состояние моделируемой системы представляют графом сети Петри, который состоит из трех первообразных элементов:

- мест (обычно овалы), представляющих состояния, в которых система может быть найдена;
- переходов (обычно прямоугольники), представляющих события, которые могут изменять состояния на единицу;
- дуг (изображаемых в виде стрелок), соединяющих места с переходами и переходы с местами и представляющих логически возможные связи между состояниями и событиями.

Состояние имеет значение в данной ситуации в случае, если соответствующее место отмечено, то есть содержит по крайней мере один символ, изображаемый в виде черной точки.

А.1.6.3 Динамическое состояние системы представляют посредством движения символов в графе.

Переход является допустимым, если его места входа содержат по крайней мере один символ. Допустимый переход может реализоваться, а его реализация удаляет один символ из каждого входа и добавляет один символ в каждое место выхода. Распределение символов по местам называется маркировкой. Уже с начальной маркировки применения допустимости и правил реализации переходов воспроизводят все допустимые маркировки, называе-

мые набором допустимости сетей Петри. Набор допустимости предусматривает все состояния, которых может достигать система из начального состояния.

Стандартные сети Петри не имеют понятия времени. Однако в ряде случаев временной фактор удается накладывать на сеть. При постоянных интенсивностях переходов динамика сетей Петри может быть проанализирована с помощью непрерывных временных цепей Маркова.

А.1.6.4 Применение сетей Петри рекомендуется в тех случаях, когда необходимо учитывать сложные логические взаимодействия в структуре изделия.

А.1.6.5 Ключевым элементом анализа сетей Петри является описание структуры системы и ее динамического поведения в терминах основополагающих элементов. Этот метод требует использования специального программного обеспечения, включающего:

- структурный качественный анализ;
- количественный анализ (при постоянстве интенсивностей переходов в сетях Петри количественный анализ может быть выполнен путем численного решения соответствующей модели Маркова, в противном случае моделирование является единственной возможной техникой).

А.1.6.6 Преимуществом метода является возможность представления сложных взаимодействий аппаратных средств вычислительной техники и/или модулей программного обеспечения, которые не могут быть описаны другими методами.

А.1.6.7 Причины ограничения применения метода аналогичны причинам ограничения применения марковского анализа.

А.1.7 Анализ видов и последствий отказов

А.1.7.1 Анализ видов и последствий отказов является качественным методом анализа безотказности, который особенно подходит для изучения отказов материалов, компонентов и составных частей и влияния последствий таких отказов на функционирование изделий.

Идентификация отдельных видов отказов и оценка влияния их последствий на самый высокий уровень системы заканчиваются возможной идентификацией всех отдельных видов отказов системы. Метод представляет собой анализ систем различных технологий (электрическая, механическая, гидравлическая, программного обеспечения и т. д.) с простыми функциональными структурами. Расширением метода является анализ видов отказов, их последствий и критичности, который определяет количество последствий отказов в терминах вероятностей возникновения и серьезности последствий, оцениваемых по специальной шкале.

А.1.7.2 Метод применяют обычно там, где уровень риска или опасности ожидается уже на ранних этапах разработки. Факторы, к которым применим данный анализ, — новая технология, новые процессы, новые проекты или изменения окружающей среды и др. Метод может использоваться применительно к компонентам или подсистемам, составляющим изделия, процессам или производственному оборудованию, а также к программному обеспечению.

А.1.7.3 Метод в общем случае состоит из следующих шагов:

- установление того, что и как должен исполнять каждый компонент системы;
- определение потенциальных видов отказов, их причин и последствий;
- идентификация риска, связанного с видами отказов и их последствиями;
- рекомендация действий, направленных на устранение или уменьшение риска.

А.1.7.4 Преимуществами метода являются:

- системная идентификация взаимосвязи последствий отказов и их причин;
- установление начальных признаков тех видов отказов, которые, возможно, будут критическими;
- определение мероприятий по смягчению риска.
- возможность применения при предварительном анализе новых или неапробированных систем или процессов.

А.1.7.5 Причинами ограничения применения метода являются:

- необходимость большого объема исходных данных даже для относительно простых систем;
- сложность и неуправляемость, если отсутствуют прямые отношения между причиной и следствием;
- сложность применения для временных последовательностей, процессов восстановления, условий окружающей среды, аспектов обслуживания и т. д.

А.1.8 Исследование опасности и удобности эксплуатации

А.1.8.1 Метод представляет собой детальный процесс, направленный на решение проблемы идентификации опасности и удобности эксплуатации, выполняемый специальной командой — персоналом. Метод включает в себя идентификацию возможных отклонений от целевого применения, экспертизу их возможных причин и их оценку.

Основой метода является детализированная экспертиза, представляющая собой целенаправленный поиск отклонений от целей проекта. Цели проекта — это желаемое или указанное разработчиком поведение изделия, его элементов и характеристик. Чтобы облегчить экспертизу, систему разделяют на части таким образом, чтобы можно было определить отдельно цель проекта для каждой части.

Идентификация отклонений от целей проекта достигается процессом опроса с использованием предопределенных «словесных индексов», которые разделяются на основные и вспомогательные, а их значения приводят в специальных таблицах.

А.1.8.2 Метод больше подходит для поздних этапов разработки, для экспертизы эксплуатационных средств обслуживания.

Экспертизу выполняют под руководством обученного и опытного руководителя, который должен гарантировать всесторонний логический и аналитический охват проблемы в процессе исследования.

Экспертизу возлагают на специалистов различных направлений, обладающих соответствующими навыками и опытом.

А.1.8.3 Преимуществом метода является использование различных навыков и знаний группы экспертов, каждый из которых должен быть знаком с различными аспектами исследования системы.

А.1.8.4 Причинами ограничения применения метода являются:

- изолированное рассмотрение частей системы и исследование последствия отклонений только каждой части. Иногда серьезная опасность возникает в результате взаимодействия между многими частями системы. В этих случаях опасность нужно исследовать более подробно, используя методы типа дерева событий и дерева неисправностей;
- отсутствие гарантий того, что все опасности или проблемы удобства использования будут идентифицированы. Многие системы обладают большим количеством внешних связей, и отклонение в одной из них может иметь причину в другом месте. Адекватное местное корректирующее действие может оказаться не адресованным к реальной причине, и эта ситуация в дальнейшем может иметь критические последствия,
- зависимость от способностей и опыта руководителя и знаний, опыта и взаимодействия членов команды.

А.1.9 Анализ влияния человеческого фактора на безотказность

А.1.9.1 Анализ влияния человеческого фактора на безотказность является составной частью (подзадачей) более общего анализа человеческого фактора, который представляет собой объединяющее название для оценки и распределения функций, задач и ресурсов между людьми и машинами. Анализ человеческого фактора не является научной дисциплиной как таковой, скорее это деятельность, которая включает применение различных дисциплин, касающихся данной проблемы, где люди и машины должны надежно взаимодействовать. К таким дисциплинам относятся психология, физиология, социология, медицина, инженерия и др.

Специфическая цель этого анализа состоит в том, чтобы оценить факторы, которые могут воздействовать на человека (персонал) при его участии в эксплуатации изделий и систем изделий.

Надежное выполнение работы человеком в рамках системы «человек — машина» зависит от многих факторов. Эти факторы могут быть внутренними — физические усилия, квалификация, побуждение и опыт, эмоциональное состояние или внешними — число часов работы, условия окружающей среды, действия наблюдателей и контролеров, процедуры и интерфейсы аппаратных средств вычислительной техники и др.

А.1.9.2 Наиболее эффективное применение перспектив человеческого фактора объясняется его активной причастностью ко всем стадиям развития системы от разработки до обучения, эксплуатации и списания. Он охватывает диапазон от наиболее полных всесторонних рассмотрений системы (включая эксплуатационный менеджмент) до взаимодействия отдельных индивидуумов на самом низком эксплуатационном уровне.

Любая задача, выполняемая человеком, может повлечь за собой его ошибки. После определения задач каждая из них анализируется в целях выявления и идентификации возможных ошибок в схожих ситуациях. Этот метод представляет собой метод анализа видов, последствий и критичности отказов для задач, решаемых человеком.

А.1.9.3 Ключевыми элементами, характеризующими анализ человеческого фактора, являются следующие:

- описание персонала, рабочей окружающей среды и выполняемых задач,
- анализ интерфейсов системы «человек — машина»;
- анализ задач, возникающих перед оператором при выполнении своих функций;
- анализ ошибок, совершаемых оператором при выполнении своих функций;
- документирование результатов.

А.1.9.4 Преимуществом метода является то, что он вносит существенный вклад в удобность и безопасность применения изделий. Анализ аварий и несчастных случаев показывает, что надежная работа человека является ключевым фактором для обеспечения безотказности системы «человек — машина». Если человеческие факторы игнорируются, прогнозирование безотказности системы может быть несовершенным.

А.1.9.5 Причинами ограничения применения метода являются:

- необходимость глубокого знания характеристик человеческой работоспособности;
- использование субъективных экспертных оценок вероятностей ошибок человека при отсутствии необходимых статистических данных.

А.1.10 Анализ устойчивости к нагрузкам

А.1.10.1 Анализ устойчивости к нагрузкам заключается в определении способности компонента или изделия противостоять электрическим, механическим или другим нагрузкам и воздействиям окружающей среды, которые могли бы быть причиной их отказа. Этот анализ определяет физические последствия воздействий на компоненты, а

также механические или физические способности компонентов выдерживать нагрузки. Соотношения нагрузок и устойчивости к ним определяют безотказность компонентов.

А.1.10.2 Анализ устойчивости к нагрузкам используется прежде всего при определении вероятности безотказной работы или эквивалентной интенсивности отказов механических компонентов. Его также используют в физике отказов для определения возможности возникновения определенных видов отказов из-за отдельных индивидуальных дефектов в компонентах.

Безотказность компонента зависит от силы воздействий и устойчивости к ним. Способность переносить нагрузки представляют случайной величиной, а прикладываемую нагрузку — другой случайной величиной. Вероятностное сопоставление этих величин осуществляют в так называемых моделях «нагрузка-прочность».

А.1.10.3 Ключевым элементом метода является детальное знание материалов и конструкции компонентов, а также других свойств, необходимых для адекватного моделирования ожидаемых нагрузок.

А.1.10.4 Преимуществом метода является то, что он может обеспечивать точное представление безотказности компонента как функции возможных механизмов отказов, благодаря чему метод обеспечивает более реалистичное физическое понимание последствий разнообразных нагрузок.

А.1.10.5 Причинами ограничения применения метода являются:

- громоздкость математической стороны проблемы в случае одновременного воздействия многих нагрузок, и особенно при взаимодействии или корреляции между двумя или более нагрузками;
- необходимость профессионального математического программного обеспечения;
- возможность ошибочных выводов при неправильном предположении о распределении одной или более случайных величин.

А.1.11 Таблица состояний

А.1.11.1 Метод таблицы состояний, также называемый структурным функциональным анализом, широко распространен в некоторых областях, в частности в электротехнике и электронике. Метод состоит в выявлении и включении в перечень (таблицу) всех возможных комбинаций состояний (работоспособных и неработоспособных) различных компонентов, которые составляют систему, и в исследовании последствий состояний.

А.1.11.2 Первые шаги применения метода аналогичны методу анализа видов и последствий отказов. Все виды отказов компонентов должны быть внесены в список. Каждый компонент характеризуется работоспособным состоянием и состоянием отказа. Вектор состояний определяется комбинацией составляющих состояний каждого компонента, представленных или его работоспособным состоянием, или его состоянием отказа.

Таблицу состояний разрабатывают, анализируя последствия всех векторов состояний. Изучение каждого вектора состояний должно также включать в себя анализ отказов (или неисправностей), чтобы выявить вероятные типовые причины отказа.

А.1.11.3 Преимуществом метода является то, что он предполагает изучение всех возможных комбинаций взаимодействия работоспособных и неработоспособных состояний компонентов, и, таким образом, является весьма эффективным. Чтобы получать относящиеся к делу комбинации состояний, таблица состояний может быть сокращена с помощью метода булевой алгебры.

А.1.11.4 Причиной ограничения применения метода является его трудная применимость для сложных систем, когда число состояний становится очень большим.

А.1.12 Суммирование наработок

А.1.12.1 Метод применяют в электротехнике и электронике для расчетов показателей безотказности изделий (составных частей) с резервом или избыточностью.

Общее свойство изделий с резервом состоит в том, что очередной отказ элемента может быть или не быть отказом изделия в целом в зависимости от того, исчерпан или нет резерв. При этом случайную величину, характеризующую безотказность изделия с резервом (например, наработку до отказа или между отказами), можно представить в виде суммы случайного числа случайных слагаемых. Такое представление наиболее полным и вместе с тем наиболее простым образом характеризует резерв любого вида.

А.1.12.2 Метод состоит из следующих этапов:

- представление наработки до отказа или между отказами изделия в виде суммы случайного числа случайных слагаемых;
- вычисление среднего значения и дисперсия наработки до отказа или между отказами изделия по известным формулам для суммы случайного числа случайных величин;
- вычисление значения коэффициента вариации;
- аппроксимация распределения наработок до отказа или между отказами изделия двухпараметрическим распределением Вейбулла или экспоненциальным распределением.

А.1.12.3 Преимуществом метода является то, что по своим возможностям он превосходит возможности метода анализа блок-схемы безотказности, и вместе с тем является более простым. Метод применим для любых видов резерва или избыточности.

А.1.12.4 Причиной ограничения применения метода является необходимость предположения о постоянстве распределений случайных слагаемых.

А.1.13 Сравнительные характеристики основных методов прогнозирования безотказности приведены в таблице А.1.

Таблица А.1

Метод	Характеристика метода								
	Применимый для сложной системы	Применимый для разработки новых видов изделий	Применимый для комбинаций неисправностей	Применимый для зависимых последовательностей событий	Применимый для распределения требований безотказности	Требуемая подготовка специалистов	Признанность и общность метода	Потребность в программном обеспечении	Готовность программного обеспечения
Прогнозирование интенсивности отказов	Нет	Да	Нет	Нет	Да	Низ.	Выс.	Ср.	Выс.
Анализ дерева неисправностей	Да	Да	Да	Нет	Да	Ср.	Выс.	Ср.	Выс.
Анализ дерева событий	НР	НР	НР	Да	НР	Выс.	Ср.	Ср.	Ср.
Анализ блок-схемы безотказности	НР	НР	Да	Нет	Да	Низ.	Ср.	Ср.	Ср.
Марковский анализ	Да	Да	Да	Да	Да	Выс.	Ср.	Выс.	Ср.
Сети Петри	Да	Да	Да	Да	Да	Выс.	Низ.	Выс.	Низ.
Анализ причин и последствий отказов	НР	НР	Нет	Нет	НР	Низ.	Выс.	Низ.	Выс.
Исследование опасности и удобности эксплуатации	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Низ.	Ср.	Низ.	Ср.
Анализ влияния человеческого фактора на безотказность	Да	Да	Да	Да	Нет	Выс.	Выс.	Ср.	Ср.
Анализ устойчивости к нагрузкам	—	—	—	—	Нет	Выс.	Ср.	Выс.	Ср.
Таблица состояний	Нет	Да	Да	Нет	Да	Выс.	Ср.	Выс.	Низ.
Суммирование наработок	Да	Да	Да	Да	Да	Ср.	—	Ср.	Ср.

Принятые сокращения и обозначения:
Выс. — высокая; Низ. — низкая; Ср. — средняя.
Да — метод применим для данной характеристики.
Нет — метод неприменим для данной характеристики.
НР — не рекомендуется как типовой метод, но может использоваться для простых систем или совместно с другими методами.
«—» — Нет данных о применении этого метода.

А.2 Вспомогательные методы анализа безотказности

А.2.1 Анализ паразитных цепей (связей)

А.2.1.1 Анализ паразитных цепей представляет собой компьютеризированный подход для отыскания паразитных цепей, которые определяются как скрытые последовательности событий (дорожки), приводящие к выполнению нежелательных или незапланированных функций или блокирующие выполнение требуемых функций. Дорожка может состоять из проводов, составных частей, интерфейсов программного обеспечения и источников энергии.

А.2.1.2 Анализ паразитных цепей используется при анализе незапланированных режимов работы в космических системах, атомной энергетике и других областях.

А.2.1.3 Метод состоит из следующих этапов:

- экспертиза цепей;
- поиск непредусмотренных дорожек.

А.2.1.4 Преимуществом метода является то, что он уменьшает ошибки разработки и человеческие ошибки в системе.

А.2.1.5 Причинами ограничения применения метода являются:

- потребность в высококвалифицированных специалистах;
- потребность в масштабных компьютерных системах и программном обеспечении.

А.2.2 Анализ наихудшего случая

А.2.2.1 Анализ наихудшего случая — это подход, основанный на определении и подтверждении, может ли работоспособность системы так или иначе нарушаться в пределах технических условий при всех возможных комбинациях заданных предельных значений ее параметров.

А.2.2.2 В общем случае метод используют для систем, состоящих из нескольких компонентов.

А.2.2.3 Метод состоит из следующих этапов:

- идентификация системы и ее компонентов;
- идентификация математической или логической функции, характеризующей работоспособность системы;
- идентификация пределов изменения параметров системы;
- анализ характеристик работоспособности системы для всех комбинаций заданных пределов изменения параметров;
- сравнение результатов с данными технических условий;
- разработка рекомендаций для доработки конфигурации системы;
- проверка выполнения рекомендаций.

А.2.2.4 Преимуществами метода являются:

- уверенность в том, что система имеет высокую надежность при дрейфе составляющих параметров и характеристик;
- не требует сложной математической обработки;
- аналитические результаты часто оказываются точными.

А.2.2.5 Причиной ограничения применения метода является необходимость знаний математических и логических связей между параметрами, которые могут быть весьма сложными.

А.2.3 Имитационное моделирование

А.2.3.1 Имитационное моделирование представляет собой набор статистических подходов, которые используют для того, чтобы подтверждать и определять, действительно ли работоспособность системы может нарушаться при всех комбинациях заданных изменений параметров изделия в пределах технических условий. Имитационное моделирование подразделяется на метод моментов и метод Монте-Карло.

Первый метод базируется на линейном приближении функции параметров, определяющих работоспособность изделия рядом Тейлора относительно номинальных значений.

Второй метод основан на стохастическом моделировании случайных реализаций значений параметра из заданных распределений.

А.2.3.2 Имитационное моделирование часто используют совместно с методом наихудшего случая. Моделирование Монте-Карло выполняют с помощью соответствующих компьютерных программ.

А.2.3.3 Имитационное моделирование состоит из следующих шагов:

а) общие шаги обоих методов:

- идентификация системы и ее компонентов;
- идентификация функций, характеризующих работоспособность системы;
- идентификация пределов изменения параметров системы;

б) метод моментов:

- установление линейного приближения функции, характеризующей работоспособность изделия рядом Тейлора;
- идентификация номинальных значений и отклонений проектируемых параметров;
- идентификация номинальных значений и отклонений работоспособности, вычисленных по проектируемым параметрам;

в) моделирование Монте-Карло:

- идентификация распределения вероятности для каждого параметра изделия;
- генерация случайных значений параметров с помощью компьютерной программы;
- идентификация результатов моделирования: распределения вероятности, среднего значения и дисперсии работоспособности системы;

г) общие шаги обоих методов:

- проверка результатов с данными технических условий;
- разработка рекомендаций для доработки конфигурации системы;
- проверка выполнения рекомендаций;
- документирование полученных результатов.

А.2.3.4 Преимущества

а) метод моментов:

- разработчик может быть уверен, что система имеет установленную надежность при дрейфе характеристик компонентов;
- аналитические результаты обеспечивают более точную интервальную оценку по сравнению с методом наихудшего случая;

б) моделирование Монте-Карло:

- разработчик может быть уверен, что система имеет установленную надежность при дрейфе характеристик компонентов;
- метод удобен для компьютеризированной обработки,
- можно моделировать любые распределения вероятностей;
- моделируемые результаты обычно являются близкими к оптимальным результатам;
- не требуются сложные математические методы обработки.

А.2.3.5 Причины ограничения применения

а) метод моментов:

- требуются математические модели, допускающие дифференцирование (разложение в ряд);
- для получения обоснованных аналитических результатов должны быть учтены все компоненты изделия;
- необходимо применять сложные математические методы обработки;

б) моделирование Монте-Карло:

- требуются математические модели для моделирования;
- для получения обоснованных аналитических результатов должны быть учтены все компоненты изделия;
- необходимо моделировать большое количество реализаций работы системы.

УДК 62-192:658.562:006.354 ОКС 03.120.30

Ключевые слова: надежность, безотказность, техника анализа и прогнозирования безотказности, методы, основные положения

Редактор *П.М. Смирнов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 13.12.2012. Подписано в печать 10.01.2013. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,20. Тираж 155 экз. Зак. 7.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru