ГОСТ 27.301-95

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Издание официальное

БЗ 8—96

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
Минск

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН МТК 119 «Надежность в технике»

ВНЕСЕН Госстандартом России

2 ПРИНЯТ Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 7—95 от 26 апреля 1995 г.)

За принятие проголосовали:

Наименование государства	Наименование национального органа по стандартизации
Республика Белоруссия	Белстандарт
Республика Казахстан	Казгосстандарт
Республика Молдова	Молдовастандарт
Российская Федерация	Госстандарт России
Республика Узбекистан	Узгосстандарт
Украина	Госстандарт Украины

3 Стандарт разработан с учетом положений и требований международных стандартов МЭК 300—3—1(1991), МЭК 863(1986) и МЭК 706—2(1990)

4 Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 26 июня 1996 г. № 430 межгосударственный стандарт ГОСТ 27.301—95 введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации 1 января 1997 г.

5 ВЗАМЕН ГОСТ 27.410—87 (в части п. 2)

© ИПК Издательство стандартов, 1996

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Госстандарта России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Определения 1
4 Основные положения 2
4.1 Порядок расчета надежности 2
4.2 Цели расчета надежности 2
4.3 Общая схема расчета 3
4.4 Идентификация объекта 3
4.5 Методы расчета 4
4.6 Исходные данные 6
4.7 Адекватность метода расчета 7
4.8 Требования к методикам расчета 7
4.9 Представление результатов расчета 9
Приложение А Методы расчета надежности и общие рекомендации по их применению 10
Приложение Б Перечень справочников, нормативных и методических документов по расчету надежности 15

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

Надежность в технике

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ

Основные положения

Dependability in technics.
Dependability prediction. Basic principles

Дата введения 1997—01—01

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт устанавливает общие правила расчета надежности технических объектов, требования к методикам и порядок представления результатов расчета надежности.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2.102—68 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов

ГОСТ 27.002—89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 27.003—90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности

ГОСТ 27.310—95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения

3 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем стандарте применены общие термины в области надежности, определения которых установлены ГОСТ 27.002. Дополнительно в стандарте применены следующие термины, относящиеся к расчету надежности.

Издание официальное
★

3.1. Расчет надежности — процедура определения значений показателей надежности объекта с использованием методов, основанных на их вычислении по справочным данным о надежности элементов объекта, по данным о надежности объектов-аналогов, данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета.

3.2 Прогнозирование надежности — частный случай расчета надежности объекта на основе статистических моделей, отражающих тенденции изменения надежности объектов-аналогов и/или экспертных оценок.

3.3 Элемент — составная часть объекта, рассматриваемая при расчете надежности как единое целое, не подлежащее дальнейшему разукрупнению.

4 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1 Порядок расчета надежности

Надежность объекта рассчитывают на стадиях жизненного цикла и соответствующих этим стадиям этапах видов работ, установленных программой обеспечения надежности (ПОН) объекта или документами, ее заменяющими.

ПОН должна устанавливать цели расчета на каждом этапе видов работ, применяемые при расчете нормативные документы и методики, сроки выполнения расчета и исполнителей, порядок оформления, представления и контроля результатов расчета.

4.2 Цели расчета надежности

Расчет надежности объекта на определенном этапе видов работ, соответствующем некоторой стадии его жизненного цикла, может иметь своими целями:

обоснование количественных требований по надежности к объекту или его составным частям;

проверка выполнимости установленных требований и/или оценка вероятности достижения требуемого уровня надежности объекта в установленные сроки и при выделенных ресурсах, обоснование необходимых корректировок установленных требований;

сравнительный анализ надежности вариантов схемно-конструктивного построения объекта и обоснование выбора рационального варианта;

определение достигнутого (ожидаемого) уровня надежности объекта и/или его составных частей, в том числе расчетное определение показателей надежности или параметров распределения характеристик надежности составных частей объекта в качестве исходных данных для расчета надежности объекта в целом;

обоснование и проверка эффективности предлагаемых (реализованных) мер по доработкам конструкции, технологии изготовления, системы технического обслуживания и ремонта объекта, направленных на повышение его надежности;

решение различных оптимизационных задач, в которых показатели надежности выступают в роли целевых функций, управляемых параметров или граничных условий, в том числе таких, как оптимизация структуры объекта, распределение требований по надежности между показателями отдельных составляющих надежности (например безотказности и ремонтопригодности), расчет комплектов ЗИП, оптимизация систем технического обслуживания и ремонта, обоснование гарантийных сроков и назначенных сроков службы (ресурса) объекта и др.;

проверка соответствия ожидаемого (достигнутого) уровня надежности объекта установленным требованиям (контроль надежности), если прямое экспериментальное подтверждение их уровня надежности невозможно технически или нецелесообразно экономически.

4.3 Общая схема расчета

4.3.1 Расчет надежности объектов в общем случае представляет собой процедуру последовательного поэтапного уточнения оценок показателей надежности по мере отработки конструкции и технологии изготовления объекта, алгоритмов его функционирования, правил эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта, критериев отказов и предельных состояний, накопления более полной и достоверной информации о всех факторах, определяющих надежность, и применения более адекватных и точных методов расчета и расчетных моделей.

4.3.2 Расчет надежности на любом этапе видов работ, предусмотренном планом ПОН, включает:

идентификацию объекта, подлежащего расчету;

определение целей и задач расчета на данном этапе, номенклатуры и требуемых значений рассчитываемых показателей надежности;

выбор метода(ов) расчета, адекватного(ых) особенностям объекта, целям расчета, наличию необходимой информации об объекте и исходных данных для расчета;

составление расчетных моделей для каждого показателя надежности;

получение и предварительную обработку исходных данных для расчета, вычисление значений показателей надежности объекта и, при необходимости, их сопоставление с требуемыми;

оформление, представление и защиту результатов расчета.

4.4 Идентификация объекта

4.4.1 Идентификация объекта для расчета его надежности включает получение и анализ следующей информации об объекте, условиях его эксплуатации и других факторах, определяющих его надежность:

назначение, области применения и функции объекта;

критерии качества функционирования, отказов и предельных состояний, возможные последствия отказов (достижения объектом предельного состояния) объекта;

структура объекта, состав, взаимодействие и уровни нагруженности входящих в него элементов, возможность перестройки структуры и/или алгоритмов функционирования объекта при отказах отдельных его элементов;

наличие, виды и способы резервирования, используемые в объекте;

типовая модель эксплуатации объекта, устанавливающая перечень возможных режимов эксплуатации и выполняемых при этом функций, правила и частоту чередования режимов, продолжительность пребывания объекта в каждом режиме и соответствующие наработки, номенклатуру и параметры нагрузок и внешних воздействий на объект в каждом режиме;

планируемая система технического обслуживания (ТО) и ремонта объекта, характеризуемая видами, периодичностью, организационными уровнями, способами выполнения, техническим оснащением и материально-техническим обеспечением работ по его ТО и ремонту;

распределение функций между операторами и средствами автоматического диагностирования (контроля) и управления объектом, виды и характеристики человеко-машинных интерфейсов, определяющих параметры работоспособности и надежности работы операторов;

уровень квалификации персонала;

качество программных средств, применяемых в объекте;

планируемые технология и организация производства при изготовлении объекта.

4.4.2 Полнота идентификации объекта на рассматриваемом этапе расчета его надежности определяет выбор соответствующего метода расчета, обеспечивающего приемлемую на данном этапе точность при отсутствии или невозможности получения части информации, предусмотренной 4.4.1.

4.4.3 Источниками информации для идентификации объекта служит конструкторская, технологическая, эксплуатационная и ремонтная документация на объект в целом, его составные части и комплектующие изделия в составе и комплектах, соответствующих данному этапу расчета надежности.

4.5 Методы расчета

4.5.1 Методы расчета надежности подразделяют:

по составу рассчитываемых показателей надежности (ПН);

по основным принципам расчета.

4.5.2 По составу рассчитываемых показателей различают методы расчета:

безотказности,

ремонтопригодности,

долговечности,

сохраняемости,

комплексных показателей надежности (методы расчета коэффициентов готовности, технического использования, сохранения эффективности и др.).

4.5.3 По основным принципам расчета свойств, составляющих надежность, или комплексных показателей надежности объектов различают:

методы прогнозирования,

структурные методы расчета,

физические методы расчета.

Методы прогнозирования основаны на использовании для оценки ожидаемого уровня надежности объекта данных о достигнутых значениях и выявленных тенденциях изменения ПН объектов, аналогичных или близких к рассматриваемому по назначению, принципам действия, схемно-конструктивному построению и технологии изготовления, элементной базе и применяемым материалам, условиям и режимам эксплуатации, принципам и методам управления надежностью (далее — объектов-аналогов).

Структурные методы расчета основаны на представлении объекта в виде логической (структурно-функциональной) схемы, описывающей зависимость состояний и переходов объекта от состояний и переходов его элементов с учетом их взаимодействия и выполняемых ими функций в объекте с последующими описаниями построенной структурной модели адекватной математической моделью и вычислением ПН объекта по известным характеристикам надежности его элементов.

Физические методы расчета основаны на применении математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам объектов (к достижению объектами предельного состояния), и вычислении ПН по известным параметрам нагруженности объекта, характеристикам примененных в объекте веществ и материалов с учетом особенностей его конструкции и технологии изготовления.

Характеристика перечисленных методов и рекомендации по их применению приведены в приложении А.

4.5.4 Метод расчета надежности конкретного объекта выбирают в зависимости от:

целей расчета и требований к точности определения ПН объекта;

наличия и/или возможности получения исходной информации, необходимой для применения определенного метода расчета;

уровня отработанности конструкции и технологии изготовления объекта, системы его ТО и ремонта, позволяющего применять соответствующие расчетные модели надежности.

4.5.5 При расчете надежности конкретных объектов возможно одновременное применение различных методов, например методов прогнозирования надежности электронных и электротехнических элементов с последующим использованием полученных результатов в качестве исходных данных для расчета надежности объекта в целом или его составных частей различными структурными методами.

4.6 Исходные данные

4.6.1 Исходными данными для расчета надежности объекта могут быть:

априорные данные о надежности объектов-аналогов, составных частей и комплектующих изделий рассматриваемого объекта по опыту их применения в аналогичных или близких условиях;

оценки показателей надежности (параметры законов распределения характеристик надежности) составных частей объекта и параметров примененных в объекте материалов, полученные экспериментальным или расчетным способом непосредственно в процессе разработки (изготовления, эксплуатации) рассматриваемого объекта и его составных частей;

расчетные и/или экспериментальные оценки параметров нагруженности примененных в объекте составных частей и элементов конструкции.

4.6.2 Источниками исходных данных для расчета надежности объекта могут быть:

стандарты и технические условия на составные части объекта, применяемые в нем комплектующие элементы межотраслевого применения, вещества и материалы;

справочники по надежности элементов, свойствам веществ и материалов, нормативам продолжительности (трудоемкости, стоимости) типовых операций ТО и ремонта и другие информационные материалы;

статистические данные (банки данных) о надежности объектов-аналогов, входящих в их состав элементов, свойствах применяемых в них веществ и материалов, о параметрах операций ТО и ремонта, собранные в процессе их разработки, изготовления, испытаний и эксплуатации;

результаты прочностных, электрических, тепловых и иных расчетов объекта и его составных частей, включая расчеты показателей надежности составных частей объекта.

4.6.3 При наличии нескольких источников исходных данных для расчета надежности объекта приоритеты в их использовании или методы объединения данных из разных источников должны быть установлены в методике расчета. В расчете надежности, включаемом в комплект рабочей документации на объект, предпочтительным должно быть применение исходных данных из стандартов и технических условий на составные части, элементы и материалы.

4.7. Адекватность метода расчета

4.7.1 Адекватность выбранного метода расчета и построенных расчетных моделей целям и задачам расчета надежности объекта характеризуют:

полнотой использования в расчете всей доступной информации об объекте, условиях его эксплуатации, системе ТО и ремонта, характеристиках надежности составных частей, свойствах применяемых в объекте веществ и материалов;

обоснованностью принятых при построении моделей допущений и предположений, их влиянием на точность и достоверность оценок ПН;

степенью соответствия уровня сложности и точности расчетных моделей надежности объекта доступной точности исходных данных для расчета.

4.7.2 Степень адекватности моделей и методов расчета надежности оценивают путем:

сопоставления результатов расчета и экспериментальной оценки ПН объектов-аналогов, для которых применялись аналогичные модели и методы расчета;

исследования чувствительности моделей к возможным нарушениям принятых при их построении допущений и предположений, а также к погрешностям исходных данных для расчета;

экспертизы и апробации применяемых моделей и методов, проводимых в установленном порядке.

4.8 Требования к методикам расчета

4.8.1 Для расчета надежности объектов применяют:

типовые методики расчета, разрабатываемые для группы (вида, типа) однородных по назначению и принципам обеспечения надежности объектов, оформляемые в виде соответствующих нормативных документов (государственных и отраслевых стандартов, стандартов предприятия и др.);

методики расчета, разрабатываемые для конкретных объектов, особенности конструкции и/или условий применения которых не

допускают применения типовых методик расчета надежности. Указанные методики, как правило, включают непосредственно в отчетные документы по расчету надежности или оформляют в виде отдельных документов, включаемых в комплект документации соответствующего этапа разработки объекта.

4.8.2 Типовая методика расчета надежности должна содержать:

характеристику объектов, на которые распространяется методика, в соответствии с установленными настоящим стандартом правилами их идентификации;

перечень рассчитываемых ПН объекта в целом и его составных частей, методы, применяемые для расчета каждого показателя;

типовые модели для расчета ПН и правила их адаптации для расчета надежности конкретных объектов, соответствующие этим моделям алгоритмы расчета и, при наличии, программные средства;

методы и соответствующие методики оценки параметров нагруженности составных частей объектов, учитываемых в расчетах надежности;

требования к исходным данным для расчета надежности (источники, состав, точность, достоверность, форма представления) или непосредственно сами исходные данные, методы объединения разнородных исходных данных для расчета надежности, получаемых из разных источников;

решающие правила для сопоставления расчетных значений ПН с требуемыми, если результаты расчета применяют для контроля надежности объектов;

методы оценки погрешностей расчета ПН, вносимые принятыми для используемых моделей и методов расчета допущениями и предположениями;

методы оценки чувствительности результатов расчета к нарушениям принятых допущений и/или к погрешностям исходных данных;

требования к форме представления результатов расчета ПН и правила защиты результатов расчета в соответствующих контрольных точках ПОН и при экспертизах проектов объектов.

4.8.3 Методика расчета надежности конкретного объекта должна содержать;

информацию об объекте, обеспечивающую его идентификацию для расчета надежности в соответствии с требованиями настоящего стандарта;

номенклатуру рассчитываемых ПН и их требуемые значения;

модели для расчета каждого ПН, принятые при их построении допущения и предположения, соответствующие алгоритмы вычисления ПН и применяемые программные средства, оценки погрешностей и чувствительности выбранных (построенных) моделей;

исходные данные для расчета и источники их получения;

методики оценки параметров нагруженности объекта и его составных частей или непосредственно оценки указанных параметров со ссылками на соответствующие результаты и методики прочностных, тепловых, электрических и иных расчетов объекта.

4.9 Представление результатов расчета

4.9.1 Результаты расчета надежности объекта оформляют в виде раздела пояснительной записки к соответствующему проекту (эскизному, техническому) или самостоятельного документа (РР по ГОСТ 2.102, отчета и др.), содержащего:

цели и методику (ссылку на соответствующую типовую методику) расчета;

расчетные значения всех ПН и заключения о их соответствии установленным требованиям надежности объекта;

выявленные недостатки конструкции объекта и рекомендации по их устранению с оценками эффективности предлагаемых мер с точки зрения их влияния на уровень надежности;

перечень составных частей и элементов, лимитирующих надежность объекта или по которым отсутствуют необходимые данные для расчета ПН, предложения по включению в ПОН дополнительных мероприятий по повышению (углубленному исследованию) их надежности или по их замене на более надежные (отработанные и проверенные);

заключение о возможности перехода к следующему этапу отработки объекта при достигнутом расчетном уровне его надежности.

4.9.2 Содержание отчетного документа по расчету надежности должно допускать возможность независимой проверки результатов расчета при экспертизе проекта и контроле реализации ПОН.

4.9.3 Расчетные оценки ПН, заключения о их соответствии установленным требованиям и возможности перехода к следующему этапу видов работ по разработке (постановке на производство) объекта, рекомендации по доработкам с целью повышения его надежности включают в акт приемочных испытаний, если принято решение о контроле надежности объекта расчетным методом.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

МЕТОДЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ И ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ПРИМЕНЕНИЮ

1 Методы прогнозирования надежности

1.1 Методы прогнозирования применяют:

для обоснования требуемого уровня надежности объектов при разработке технических заданий и/или оценки вероятности достижения заданных ПН при проработке технических предложений и анализе требований ТЗ (контракта). Пример соответствующих методов прогнозирования ремонтопригодности объектов содержится в МР 252—87;

для ориентировочной оценки ожидаемого уровня надежности объектов на ранних стадиях их проектирования, когда отсутствует необходимая информация для применения других методов расчета надежности. Пример методики прогнозирования показателей безотказности блоков радиоэлектронной аппаратуры в зависимости от ее назначения и числа примененных в ней элементов (групп активных элементов) содержится в американском военном стандарте MIL—STD—756A;

для расчета интенсивностей отказов серийно выпускаемых и новых электронных и электротехнических элементов разных типов с учетом уровня их нагруженности, качества изготовления, областей применения аппаратуры, в которой используются элементы. Примеры соответствующих методик содержатся в американском военном справочнике MIL—HDBK—217 и отечественных справочниках по надежности ИЭТ общепромышленного и специального назначения;

для расчета параметров типовых задач и операций технического обслуживания и ремонта объектов с учетом конструктивных характеристик объекта, определяющих его ремонтопригодность. Примеры соответствующих методик содержатся в МР 252—87 и американском военном справочнике MIL—HDBK—472.

1.2 Для прогнозирования надежности объектов применяют:

методы эвристического прогнозирования (экспертной оценки);

методы прогнозирования по статистическим моделям;

комбинированные методы.

Методы эвристического прогнозирования основаны на статистической обработке независимых оценок значений ожидаемых ПН разрабатываемого объекта (индивидуальных прогнозов), даваемых группой квалифицированных специалистов (экспертов) на основе предоставленной им информации об объекте, условиях его эксплуатации, планируемой технологии изготовления и других данных, имеющихся в момент проведения оценки. Опрос экспертов и статистическую обработку индивидуальных прогнозов ПН проводят общепринятыми при экспертной оценке любых показателей качества методами (например метод Дельфи).

Методы прогнозирования по статистическим моделям основаны на экстра- или интерполяции зависимостей, описывающих выявленные тенденции изменения ПН объектов-аналогов с учетом их конструктивно-технологических особенностей и других факторов, информация о которых для разрабатываемого объекта известна или может быть получена в момент проведения оценки. Модели для прогнозирования строят по данным о ПН и параметрах объектов-аналогов с использованием

известных статистических методов (многофакторного регрессионного или факторного анализа, методов статистической классификации и распознавания образов).

Комбинированные методы основаны на совместном применении для прогнозирования надежности объектов методов прогнозирования по статистическим моделям и эвристических методов с последующим сравнением результатов. При этом эвристические методы используют для оценки возможности экстраполяции используемых статистических моделей и уточнения прогноза по ним ПН. Применение комбинированных методов целесообразно в случаях, когда есть основания ожидать качественных изменений уровня надежности объектов, не отражаемых соответствующими статистическими моделями, или при недостаточном для применения только статистических методов числе объектов-аналогов.

2 Структурные методы расчета надежности

2.1 Структурные методы являются основными методами расчета показателей безотказности, ремонтопригодности и комплексных ПН в процессе проектирования объектов, поддающихся разукрупнению на элементы, характеристики надежности которых в момент проведения расчетов известны или могут быть определены другими методами (прогнозирования, физическими, по статистическим данным, собранным в процессе их применения в аналогичных условиях). Эти методы применяют также для расчета долговечности и сохраняемости объектов, критерии предельного состояния которых выражаются через параметры долговечности (сохраняемости) их элементов.

2.2 Расчет ПН структурными методами в общем случае включает:

представление объекта в виде структурной схемы, описывающей логические соотношения между состояниями элементов и объекта в целом с учетом структурно-функциональных связей и взаимодействия элементов, принятой стратегии обслуживания, видов и способов резервирования и других факторов;

описание построенной структурной схемы надежности (ССН) объекта адекватной математической моделью позволяющей в рамках введенных предположений и допущений вычислить ПН объекта по данным о надежности его элементов в рассматриваемых условиях их применения.

2.3 В качестве структурных схем надежности могут применяться:

структурные блок-схемы надежности, представляющие объект в виде совокупности определенным образом соединенных (в смысле надежности) элементов (стандарт МЭК 1078);

деревья отказов объекта, представляющие графическое отображение причинно-следственных связей, обуславливающих определенные виды его отказов (стандарт МЭК 1025);

графы (диаграммы) состояний и переходов, описывающих возможные состояния объекта и его переходы из одного состояния в другое в виде совокупности состояний и переходов его элементов.

2.4 Математические модели, применяемые для описания соответствующих ССН, определяются видами и сложностью указанных структур, принятыми допущениями относительно видов законов распределения характеристик надежности элементов, точностью и достоверностью исходных данных для расчета и другими факторами.

Ниже рассмотрены наиболее употребительные математические методы расчета ПН, что не исключает возможности разработки и применения других методов, более адекватных структуре и другим особенностям объекта.

2.5 Методы расчета безотказности невосстанавливаемых объектов вида 1 (по классификации объектов в соответствии с ГОСТ 27.003).

Как правило, для описания безотказности таких объектов применяют блок-схемы безотказности, правила составления и математического описания которых установлены МЭК 1078. В частности, указанным стандартом установлены:

методы прямого расчета вероятности безотказной работы объекта (ВБР) по соответствующим параметрам безотказности элементов для простейших параллельно-последовательных структур;

методы расчета ВБР для более сложных структур, относящихся к классу монотонных, включая метод прямого перебора состояний, метод минимальных путей и сечений, метод разложения относительно любого элемента.

Для расчета показателей типа средней наработки объекта до отказа в указанных методах используют метод прямого или численного интегрирования распределения наработки до отказа объекта, представляющего композицию соответствующих распределений наработок до отказа его элементов. Если информация о распределении наработок до отказа элементов неполна или недостоверна, то применяют различные граничные оценки ПН объекта, известные из теории надежности [1-4].

В частном случае невосстанавливаемой системы с различными способами резервирования и при экспоненциальном распределении наработок до отказа элементов применяют ее структурное отображение в виде графа переходов и его математическое описание с помощью марковского процесса.

При использовании для структурного описания безотказности деревьев отказов в соответствии с МЭК 1025 вероятности соответствующих отказов рассчитывают с использованием булева представления дерева отказов и метода минимальных сечений.

2.6 Методы расчета безотказности и комплексных ПН восстанавливаемых объектов вида I

Универсальным методом расчета для объектов любой структуры и при любых сочетаниях распределений наработок между отказами и времен восстановления элементов, при любых стратегиях и методах восстановления и профилактики служит метод статистического моделирования, в общем случае включающий [3]:

синтез формальной модели (алгоритма) формирования последовательности случайных событий, происходящих в процессе работы объекта (отказов, восстановлений, переключений на резерв, начала и конца технического обслуживания);

разработку программного обеспечения для реализации на ЭВМ составленного алгоритма и расчета ПН объекта;

проведение имитационного эксперимента на ЭВМ путем многократной реализации формальной модели, обеспечивающей требуемую точность и достоверность расчета ПН.

Метод статистического моделирования для расчета надежности применяют при отсутствии адекватных аналитических моделей из числа рассматриваемых ниже.

Для резервированных последовательных структур с восстановлением и произвольными способами резервирования элементов применяют марковские модели для описания соответствующих графов (диаграмм) состояний.

В некоторых случаях для объектов с неэкспоненциальными распределениями наработок и времени восстановления немарковская задача расчета ПН может быть сведена к марковской путем введения определенным способом фиктивных состояний объекта в его граф переходов.

Другой эффективный метод расчета ПН объектов с резервом основан на представлении наработок их между отказами в виде суммы случайного числа случайных слагаемых и непосредственном вычислении ПН объектов без привлечения методов теории случайных процессов.

2.7 Методы расчета показателей ремонтопригодности

Методы расчета показателей ремонтопригодности в общем случае основаны на представлении процесса ТО или ремонта определенного вида как совокупности отдельных задач (операций), вероятности и цели выполнения которых определяются показателями безотказности (долговечности) объектов и принятой стратегией ТО и

ремонта, а продолжительность (трудоемкость, стоимость) выполнения каждой задачи зависит от конструктивной приспособленности объекта к ТО (ремонту) данного вида.

В частности, при расчете показателей ремонтопригодности объектов при текущем неплановом ремонте распределение времени (трудоемкости, стоимости) его восстановления представляет композицию распределений затрат на отдельные задачи восстановления с учетом ожидаемой вероятности выполнения каждой задачи за некоторый период работы объекта. Указанные вероятности могут быть рассчитаны, например, с помощью деревьев отказов, а параметры распределения затрат на выполнение отдельных задач рассчитывают одним из методов, установленных, например, МР 252—87 (нормативно-коэффициентным, по регрессионным моделям и др.).

Общая схема расчета включает:

составление (например методами АВПКО по ГОСТ 27.310) перечня возможных отказов объекта и оценку их вероятностей (интенсивностей);

отбор из составленного перечня методом расслоенной случайной выборки некоторого достаточно представительного числа задач и расчет параметров распределений их продолжительности (трудоемкости, стоимости). В качестве таких распределений обычно используют усеченное нормальное или альфа-распределение;

построение эмпирического распределения затрат на текущий ремонт объекта путем сложения с учетом вероятностей отказов распределений затрат на отдельные задачи и его сглаживание с помощью соответствующего теоретического распределения (логарифмически-нормального или гамма-распределения);

вычисление показателей ремонтопригодности объекта по параметрам выбранного закона распределения.

2.8 *Методы расчета показателей надежности объектов вида* 11 (по классификации ГОСТ 27.003)

Для объектов данного вида применяют ПН типа "коэффициент сохранения эффективности" ($K_{эф}$), при расчете которого сохраняются общие принципы расчета надежности объектов вида 1, но каждому состоянию объекта, определяемому совокупностью состояний его элементов или каждой возможной его траектории в пространстве состояний элементов, должно быть поставлено в соответствие определенное значение доли сохраняемой номинальной эффективности от 0 до 1 (для объектов вида 1 эффективность в любом состоянии может принимать только два возможных значения: 0 или 1).

Существует два основных метода расчета $K_{эф}$:

метод усреднения по состояниям (аналог метода прямого перебора состояний), применяемый для объектов кратковременного действия, выполняющих задачи, продолжительность которых такова, что вероятностью изменения состояния объекта в процессе выполнения задачи можно пренебречь и учитывать только его начальное состояние;

метод усреднения по траекториям, применяемый для объектов длительного действия, продолжительность выполнения задач которыми такова, что нельзя пренебречь вероятностью смены состояний объекта при их выполнении за счет отказов и восстановлений элементов. При этом процесс функционирования объекта описывается реализацией одной из возможных траекторий в пространстве состояний.

Известны также некоторые частные случаи расчетных схем для определения $K_{эф}$, применяемые для систем с определенными видами функции эффективности, например:

системы с аддитивным показателем эффективности, каждый элемент которых вносит определенный независимый вклад в выходной эффект от применения системы;

системы с мультипликативным показателем эффективности, получаемым как произведение соответствующих показателей эффективности подсистем;

системы с резервированием функций;

системы, выполняющие задачу несколькими возможными способами с использованием различных сочетаний элементов, участвующих в выполнении задачи каждым из них;

симметричные ветвящиеся системы;

системы с пересекающимися зонами действия и др.

Во всех перечисленных выше схемах $K_{эф}$ системы представляют функцией $K_{эф}$ ее подсистем или ПН элементов.

Наиболее принципиальным моментом в расчетах $K_{эф}$ является оценка эффективностей системы в различных состояниях или при реализации различных траекторий в пространстве состояний, проводимая аналитически, или методом моделирования, или экспериментальным путем непосредственно на самом объекте или его натурных моделях (макетах).

3 Физические методы расчета надежности

3.1 Физические методы применяют для расчета безотказности, долговечности и сохраняемости объектов, для которых известны механизмы их деградации под влиянием различных внешних и внутренних факторов, приводящие к отказам (предельным состояниям) в процессе эксплуатации (хранения).

3.2 Методы основаны на описании соответствующих процессов деградации с помощью адекватных математических моделей, позволяющих вычислять ПН с учетом конструкции, технологии изготовления, режимов и условий работы объекта по справочным или определенным экспериментально физическим и иным свойствам веществ и материалов, используемых в объекте.

В общем случае указанные модели при одном ведущем процессе деградации могут быть представлены моделью выбросов некоторого случайного процесса за пределы границ допустимой области его существования, причем границы этой области могут быть также случайными и коррелированными с указанным процессом (моделью непревышения).

При наличии нескольких независимых процессов деградации, каждый из которых порождает свое распределение ресурса (наработки до отказа), результирующее распределение ресурса (наработки объекта до отказа) находят с использованием модели "слабейшего звена" (распределение минимума независимых случайных величин).

3.3 Компоненты моделей непревышения могут иметь различную физическую природу и, соответственно, описываться разными видами распределений случайных величин (случайных процессов), а также могут быть в моделях накопления повреждений. Этим обусловлено большое разнообразие применяемых на практике моделей непревышения, причем лишь в относительно редких случаях эти модели допускают прямое аналитическое решение. Поэтому основным методом расчета надежности по моделям непревышения является статистическое моделирование.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

ПЕРЕЧЕНЬ СПРАВОЧНИКОВ, НОРМАТИВНЫХ И МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ ПО РАСЧЕТУ НАДЕЖНОСТИ

1 *Б.А. Козлов, И.А. Ушаков.* Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. 472 с.

2 Надежность технических систем. Справочник под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.

3 Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т.

Т. 2 под ред. Б.В. Гнеденко. М.: Машиностроение, 1987. 280 с;

Т. 5 под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1988. 224 с.

4 *Б.Ф. Хазов, Б.А. Дидусев.* Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.

5 Стандарт МЭК 300—3—1(1991) Управление надежностью. Часть 3. Руководства. Раздел 1. Обзор методов анализа надежности.

6 Стандарт МЭК 706—2(1991) Руководство по обеспечению ремонтопригодности аппаратуры. Часть 2, раздел 5. Анализ ремонтопригодности на стадии проектирования.

7 Стандарт МЭК 863(1986) Представление результатов прогнозирования безотказности, ремонтопригодности и готовности.

8 Стандарт МЭК 1025(1990) Анализ деревьев отказов.

9 Стандарт МЭК 1078(1991) Методы анализа надежности. Метод расчета безотказности с использованием блок-схем.

10 РД 50—476—84 Методические указания. Надежность в технике. Интервальная оценка надежности технического объекта по результатам испытаний составных частей. Общие положения.

11 РД 50—518—84 Методические указания. Надежность в технике. Общие требования к содержанию и формам представления справочных данных о надежности комплектующих изделий межотраслевого применения.

12 МР 159—85 Надежность в технике. Выбор видов распределений случайных величин. Методические рекомендации.

13 МР 252—87 Надежность в технике. Расчет показателей ремонтопригодности при разработке изделия. Методические рекомендации.

14 Р 50—54—82—88 Надежность в технике. Выбор способов и методов резервирования.

15 ГОСТ 27.310—95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.

16 Военный стандарт США MIL—STD—756A. Моделирование и прогнозирование безотказности.

17 Военный справочник по стандартизации США MIL—HDBK—217E. Прогнозирование безотказности элементов радиоэлектронной аппаратуры.

18 Военный справочник по стандартизации США MIL—HDBK—472. Прогнозирование ремонтопригодности

УДК 62—192.001.24:006.354 ОКС 21.020 Т51 ОКСТУ 0027

Ключевые слова: надежность, расчет надежности, прогнозирование надежности, порядок расчета, требования к методикам, представление результатов

Редактор *Р.С.Федорова*
Технический редактор *В.Н.Прусакова*
Корректор *М.С.Кабашова*
Компьютерная верстка *А.Н.Золотаревой*

Изд. лиц. № 021007 от 10.08.95. Сдано в набор 14.10.96. Подписано в печать 10.12.96.
Усл.печ.л. 1,16. Уч.-изд.л. 1,10. Тираж 535 экз. С 4001. Зак. 558.

ИПК Издательство стандартов
107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник"
Москва, Лялин пер:, 6

gost.e-ecolog.ru