ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 27.607— 2013

Надежность в технике. Управление надежностью

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

IEC 60300-3-5:2001 (NEQ)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 сентября 2013 г. № 1075-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта МЭК 60300-3-5:2001 «Управление общей надежностью. Часть 3.5. Руководство по применению. Условия испытания надежности и принципы статистических испытаний» (IEC 60300-3-5:2001 «Dependability management. Part 3-5. Application quide. Reliability test conditions and statistical test principles», NEQ)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Стандартинформ, 2015

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 2
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 5
5 Категории испытаний по их основному целевому назначению 10
6 Условия испытаний 17
7 Сбор данных и классификация отказов 20
8 Анализ данных испытаний 23
9 Статистические методы и методики анализа данных 28
10 Отчетность 35
Приложение А (справочное) Проверка и отсеивание данных 38
Приложение Б (справочное) Общие примеры 43
Библиография 46

Введение

Надежностно-ориентированное техническое обслуживание (RCM) представляет собой методологию выявления и выбора политики предупреждения и (или) предупреждения отказов (далее — политики управления отказами), нацеленной на эффективное обеспечение требуемых безопасности, готовности и экономичной эксплуатации изделий. Политика управления отказами может включать в себя действия по техническому обслуживанию, изменения правил применения, конструктивные доработки и другие действия, нацеленные на ослабление последствий отказов.

Методология построения RCM была первоначально разработана в 1960-х годах для гражданской авиации и установлена в документе ATA-MGS-3. В настоящее время RCM представляет собой проверенную временем методологию, общепринятую во многих отраслях.

RCM представляет собой процесс выработки и принятия решений, направленных на выявление подходящих и эффективных требований к системе и операциям предупредительного ТО, отвечающих последствиям выявляемых отказов в части их влияния на безопасность, техническую эффективность и экономичность эксплуатации изделия и вызывающих указанные отказы и механизмы его деградации. Конечным результатом применения RCM является определение необходимости тех или иных действий по предупредительному ТО, изменений конструкции изделия или иных действий по повышению его эффективности.

Основными этапами программы RCM являются:

а) инициирование и планирование;

б) анализ функциональных отказов;

в) отбор задач;

г) внедрение;

д) непрерывное совершенствование.

Все задачи должны быть нацелены на обеспечение безопасности изделий для персонала и окружающей среды, а также на выполнение требований по эффективности и экономичности их эксплуатации. Следует отметить, что критерии отбора должны зависеть от природы изделий и их назначения. Например, производственные процессы должны быть экономически жизнеспособными и отвечать строгим требованиям по охране окружающей среды, в то время как изделия военного назначения должны полностью отвечать оперативным требованиям, но при этом к ним могут применяться не столь жесткие требования по безопасности, экономичности и экологичности.

Максимальную пользу приносит проведение RCM-анализа на стадии разработки изделий, когда его результаты могут быть непосредственно повлиять на их конструкцию. RCM-анализ также полезен на этапах эксплуатации, ТО изделий, когда могут быть усовершенствованы содержание и методы ТО, проведены конструктивные и иные доработки.

Успешное применение RCM требует хорошего знания оборудования и систем, условий и контекста их применения, взаимосвязанных с ними систем, а также возможных отказов и их последствий. Наибольшая эффективность достигается в случаях, когда анализ нацелен на предупреждение и (или) ослабление последствий отказов, имеющих серьезные последствия с точки зрения безопасности, влияния на окружающую среду, экономичность и эффективность применения изделий.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Надежность в технике. Управление надежностью

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Dependability in technics. Dependability management

Дата введения в действие — 2014—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит указания по планированию и проведению испытаний на безотказность и по применению статистических методов анализа получаемых при испытаниях данных.

Стандарт распространяется на испытания восстанавливаемых и невосстанавливаемых, ремонтируемых и неремонтируемых изделий с постоянными и непостоянными интенсивностями (параметрами потоков) отказов.

Стандарт может применяться:

- когда проведение испытаний на безотказность специально оговорено в контракте или им подразумевается;
- при планировании испытаний на безотказность;
- в процессе проведения испытаний на безотказность как составной части приемочных, квалификационных, типовых, сертификационных и приемо-сдаточных испытаний;
- при анализе данных, полученных по результатам эксплуатации, и (или) при испытаниях на безотказность и составлении отчетов об их проведении.

Настоящий стандарт также применяют в случаях, когда в контракте или в плане испытаний содержатся указания на необходимость применения статистических стандартов МЭК без ссылок на конкретные стандарты.

В процессе разработки, проверки и оценки конструкции новых изделий проводят разные виды испытаний, назначение которых заключается в выявлении и устранении слабых мест разработанной конструкции и, таким образом, в улучшении технических характеристик, безопасности, надежности, а также в снижении стоимости изготовления, технического обслуживания (ТО) и ремонта изделий. Стандарт распространяется только на случаи применения статистических методов анализа результатов испытаний на безотказность, хотя содержащиеся в нем указания по выбору условий и режимов испытаний, их планированию и документальному оформлению применимы для большинства видов испытаний.

Настоящий стандарт разработан с учетом требований следующих стандартов: ГОСТ Р 27.403, ГОСТ 27.310, ГОСТ 27.402, ГОСТ Р 27.004, ГОСТ Р 27.301, ГОСТ Р 51901.16, ГОСТ 15.201, ГОСТ 15.309, ГОСТ 27.002, ГОСТ Р МЭК 60605-6, ГОСТ Р МЭК 61650.

Настоящий стандарт не распространяется на испытания программных продуктов, хотя применим для изделий, в состав которых входят как аппаратные, так и программные средства. Таким образом, стандарт распространяется на широкую гамму изделий, включая потребительские товары, изделия промышленного, оборонного и авиакосмического назначения.

Настоящий стандарт устанавливает правила анализа данных в целях контроля и оценки показателей безотказности, сравнительной оценки изделий по уровню безотказности и оценки показателей типа отношения «успех—отказ». В разделе 9 настоящего стандарта приведена схема планирования процесса обработки данных испытаний на безотказность.

Издание официальное

Положения и статистические методы анализа, приведенные в настоящем стандарте, применимы также в не затрагиваемых в нем случаях испытаний изделий на стойкость к внешним воздействующим факторам, к ускоренным испытаниям со ступенчато возрастающими нагрузками и испытаниям на стойкость к перегрузкам.

2 Нормативные ссылки

ГОСТ 15.309—98 Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения

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

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

ГОСТ 27.402—95 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). Часть 1. Экспоненциальное распределение

ГОСТ Р 15.201—2000 Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство

ГОСТ Р 27.004—2009 Надежность в технике. Модели отказов

ГОСТ Р 27.301—2011 Надежность в технике. Управление надежностью. Техника анализа безотказности. Основные положения

ГОСТ Р 27.403—2009 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы

ГОСТ Р 50779.27—2007 (МЭК 61649:1997) Статистические методы. Критерий согласия и доверительные интервалы для распределения Вейбулла

ГОСТ Р 51901.3—2007 (МЭК 60300-2:2004) Менеджмент риска. Руководство по менеджменту надежности

ГОСТ Р 51901.13—2005 (МЭК 61025:1990) Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей

ГОСТ Р 51901.16—2005 (МЭК 61194:1995) Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки

ГОСТ Р МЭК 60068-2-30—2009 Испытания на воздействия внешних факторов. Часть 2-30. Испытания. Испытание Db: Влажное тепло, циклическое (12 ч + 12-часовой цикл)

ГОСТ Р МЭК 60605-6—2007 Надежность в технике. Критерии проверки постоянства интенсивности отказов и параметра потока отказов

ГОСТ Р МЭК 61650—2007 Надежность в технике. Методы сравнения постоянных интенсивностей отказов и параметров потока отказов

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов 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 выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

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

3.1 **цензурирование:** Прекращение испытаний после наступления некоторого числа отказов или после определенного времени их проведения, когда еще есть работающие изделия.

3.2 **коэффициент дискриминации:** Характеристика ($D > 1$) плана испытаний, определяющая его способность разделять приемочный и браковочный уровни контролируемых показателей надежности.

Примечание — Коэффициент дискриминации характеризует качество выбранного плана испытаний.

3.3 **интенсивность отказов (мгновенная):** Предел, если таковой существует, к которому стремится отношение условной вероятности момента наступления отказа изделия T в интервал $(t; t + \Delta t)$ к длине этого интервала Δt, стремящейся к нулю, при условии, что изделие в момент времени t является работоспособным.

3.4 **параметр потока отказов (мгновенный):** Предел, если таковой существует, к которому стремится среднее число отказов восстанавливаемого изделия на интервале $(t; t + \Delta t)$ к длине этого интервала Δt, стремящейся к нулю.

3.5 **вероятность отказа:** Вероятность того, что изделие откажет или что попытка окажется неудачной в заданных условиях.

Примечание — Наблюдаемая вероятность отказа представляет собой отношение числа отказавших изделий или неудавшихся попыток к моменту завершения испытаний к общему числу испытанных изделий (совершенных попыток).

3.6 **высокий уровень имитации:** Условия испытаний, при которых схема внешних воздействий и рабочих нагрузок очень близко совпадает с теми, которые изделия испытывают в процессе реальной эксплуатации.

3.7 **гипотеза (нулевая или альтернативная):** Статистическое предположение относительно одного или нескольких показателей безотказности или вида распеделения, подлежащее проверке статистическими методами.

3.8 **низкий уровень имитации:** Условия испытаний, при которых схема внешних воздействий и рабочих нагрузок очень близко совпадает с теми, которые изделия испытывают в одних условиях окружающей среды и при одном сценарии их эксплуатации.

Примечание — Условия испытаний могут быть выбраны применительно к усредненным или наиболее тяжелым условиям окружающей среды и рабочих нагрузок. Поскольку в этом случае при испытаниях не ставится задача имитации всего возможного диапазона внешних воздействий и реальных условий и режимов эксплуатации, а требуется установить только воспроизводимые и простые условия, то условия испытаний также упрощаются. Например, при них могут быть воспроизведены только наиболее значимые параметры условий и режимов эксплуатации.

3.9 **отказ с необнаруженной причиной:** Отказ, о котором поступило сообщение, но который не может быть воспроизведен или объяснен на основе текущего состояния изделия.

Примечание — Этот отказ, тем не менее, может присутствовать.

3.10 **повторяющиеся отказы:** Два или большее число отказов, происходящих в одном и том же месте изделия, в одинаковых элементах, примененных в разных частях изделия, в однотипных элементах, поставленных одним и тем же производителем, в одном и том же цикле испытаний, но не одновременно.

3.11 **учитываемый отказ:** Отказ, подлежащий учету при интерпретации результатов испытаний или эксплуатации изделий или в расчетах их показателей безотказности.

Примечание — Должны быть установлены критерии отнесения отказов к учитываемым.

3.12 **критический отказ:** Отказ, последствия которого могут создать угрозу для жизни и здоровья людей, для окружающей среды, со значительным экономическим ущербом и снижением безопасности при эксплуатации.

3.13 **отработка изделий на безотказность:** Повышение надежности посредством проведения испытаний, выявления и анализа отказов, выработки и проведения мероприятий по их предупреждению и продолжения испытаний.

3.14 **испытания на безотказность:** Эксперимент, проводимый в целях измерения, количественной оценки или классификации показателей безотказности.

Примечания

1 Испытания на безотказность отличаются от испытаний на стойкость и устойчивость изделий к ВВФ, нацеленных на проверку способности изделий выдерживать экстремальные условия хранения, транспортирования и применения по назначению.

2 Испытания на безотказность могут включать в себя испытания на стойкость и устойчивость к ВВФ.

3 Испытания на безотказность могут быть составной частью испытаний на надежность, а также приемочных, квалификационных, типовых, сертификационных, периодических, приемо-сдаточных испытаний.

3.15 **испытания на надежность:** Испытания, проводимые для определения показателей надежности продукции в заданных условиях.

3.16 **контрольные испытания:** Испытания, проводимые на различных стадиях жизненного цикла изделия, в целях установления его соответствия требованиям нормативных документов.

3.17 **приемочные испытания:** Контрольные испытания опытных образцов (опытных партий) изделий или изделий единичного производства, проводимых при постановке продукции на производство и (или) использования по назначению.

3.18 **квалификационные испытания:** Контрольные испытания установочной серии или первой промышленной партии, проводимые в целях оценки готовности предприятия к выпуску изделия данного типа.

3.19 **типовые испытания:** Контрольные испытания, проводимые в целях оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в конструкцию, технологический процесс, а также при изменении условий применения или технических характеристик изделия.

3.20 **сертификационные испытания:** Контрольные испытания, проводимые в целях установления соответствия характеристик и свойств изделия нормативным документам (техническим регламентам, стандартам различного уровня и др.) и технической документации.

3.21 **периодические испытания:** Контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые в объемах и в сроки, установленные нормативными документами, в целях контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения ее выпуска.

3.22 **приемо-сдаточные испытания:** Контрольные испытания серийно выпускаемой продукции при приемочном контроле.

3.23 **эксплуатационные испытания:** Контрольные испытания по подтверждению соответствия изделий требованиям проектной документации, проводимые в условиях эксплуатации.

3.24 **испытания со ступенчатым нагружением:** Испытания, состоящие из нескольких последовательных периодов равной продолжительности в постепенно утяжеляемых нагрузочных условиях.

Примечание — Цель испытаний со ступенчатым нагружением состоит в установлении наихудших условий работы изделий, превышающих его возможности. Поэтому эти испытания продолжают, постепенно увеличивая нагрузки, вплоть до отказа испытуемого образца, и результатом испытаний служит этот предельный уровень нагрузок, а не наработка до отказа.

3.25 **риск (статистический):** Вероятность принятия ошибочного решения на основе статистических критериев. Ошибочное решение может заключаться в отклонении нулевой гипотезы в случае, когда она справедлива (риск первого рода или риск изготовителя/поставщика, задаваемый уровнем α) или в принятии нулевой гипотезы в случае, когда она ошибочна (риск второго рода или риск потребителя/заказчика, задаваемый уровнем β).

3.26 **риск:** Сочетание вероятности нанесения ущерба от критического отказа изделия и тяжести последствий отказа.

3.27 **предельное состояние:** Состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация невозможна, недопустима или нецелесообразна.

3.28 **критерий предельного состояния:** Признак или совокупность признаков предельного состояния изделия, установленные нормативными документами и эксплуатационной документацией.

3.29 **вероятность успеха (безотказной работы, безотказного срабатывания):** Вероятность того, что изделие выполнит назначенные функции или что попытка выполнения задачи (срабатывания) в заданных условиях будет успешной.

Примечание — Оценка вероятности успеха по результатам наблюдений представляет собой отношение числа неотказавших изделий или удачных попыток выполнения задачи к общему числу наблюдаемых изделий (совершенных попыток).

3.30 **условия испытаний:** Любые факторы и (или) действия, за исключением свойств самого испытуемого изделия, способные повлиять на возникновение его отказа при испытаниях. Условия испытаний включают в себя условия работы, окружающей среды и предупредительного технического обслуживания.

3.31 **цикл испытаний:** Периодически повторяемое при испытаниях, четко определенное и воспроизводимое сочетание условий работы, окружающей среды и технического обслуживания.

3.32 **план испытаний:** Инструкция для персонала, проводящего испытания. План может содержать статистический план контроля показателей безотказности с указанием его характеристик (число испытуемых образцов, уровни рисков, коэффициент дискриминации и т. д.), перечень испытательного

оборудования, методы проведения испытаний и ведения наблюдений и отчетности, анализа данных, собранных в процессе испытаний.

3.33 **программа и методика испытаний, ПиМ:** Документ, устанавливающий цели испытаний (например, оценка или проверка показателей безотказности, сравнение вариантов конструкции по безотказности), требования и возможные ограничения по продолжительности испытаний, применяемому испытательному оборудованию или числу испытуемых образцов. ПиМ могут также устанавливать место проведения испытаний (лабораторные или эксплуатационные), возможность и допустимость восстановления, ремонта отказавших при испытаниях образцов.

3.34 **сжатие времени испытаний:** Способ ускорения испытаний, при котором в ходе их проведения не учитывают перерывы в работе изделий или периоды их работы в облегченных условиях, но в циклы испытаний включают только периоды работы в нормальных условиях, воспроизводимых в циклах испытаний. Такие испытания, проводимые циклами заданной длительности, будут эквивалентны большему календарному времени эксплуатации изделий.

3.35 **тренд:** Наблюдаемая тенденция к повышению или убыванию наблюдаемой величины после устранения случайных и систематических ошибок и нанесения ее значений в хронологической последовательности на временной график.

3.36 **восстанавливаемое изделие:** Изделие, работоспособность которого в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в процессе эксплуатации.

3.37 **невосстанавливаемое изделие:** Изделие, работоспособность которого в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению в процессе эксплуатации.

Примечания

1 Невосстанавливаемое изделие может подвергаться планово-профилактическому обслуживанию в заранее устанавливаемые сроки. К невосстанавливаемым изделиям относят изделия, устанавливаемые на объекты, в которых восстановление работоспособности в процессе эксплуатации в случае возникновения отказа не представляется возможным. В таких изделиях должен обеспечиваться заданный уровень безотказности.

2 Для невосстанавливаемого изделия возвращение в состояние, в котором оно способно выполнить требуемую функцию после отказа, не может быть осуществлено при конкретных условиях эксплуатации. Изделие, которое является невосстанавливаемым при одних условиях, может быть восстанавливаемым при других условиях. Эти условия могут включать в себя климатические, технические или экономические обстоятельства.

3.38 **ремонтируемое изделие:** Изделие, ремонт которого возможен и предусмотрен эксплуатационной документацией.

3.39 **неремонтируемое изделие:** Изделие, ремонт которого не предусмотрен эксплуатационной документацией.

Примечания к терминам «восстанавливаемое изделие», «невосстанавливаемое изделие», «ремонтируемое изделие», «неремонтируемое изделие»

1 Отнесение изделия к восстанавливаемому или невосстанавливаемому определяется наличием к нему доступа на месте эксплуатации.

2 Ремонтопригодность определяется конструкцией изделия. Как восстанавливаемое, так и невосстанавливаемое изделие может быть как ремонтируемым, так и неремонтируемым.

4 Общие положения

4.1 Вводные замечания и правовые основы

4.1.1 Вводные замечания

Применяя настоящий стандарт, пользователь должен уметь выбирать среди действующих стандартов те, которые подходят и необходимы для планирования, проведения и анализа результатов конкретных испытаний на безотказность.

В настоящем стандарте содержатся ссылки на соответствующие национальные стандарты Российской Федерации и стандарты МЭК, устанавливающие условия и режимы проведения испытаний и статистические методы (их планирования и обработки результатов), которые должны устанавливаться одновременно.

Методы испытаний, устанавливаемые настоящим стандартом, применимы для изделий и систем всех типов, включая, например, электрические, электронные, электромеханические, механические, пневматические и гидравлические устройства. Эти изделия могут быть как восстанавливаемыми, так и невосстанавливаемыми в процессе эксплуатации или проведения испытаний.

Методы испытаний пригодны для различных этапов и стадий жизненного цикла изделий, включая их разработку (испытания экспериментальных моделей, составных частей и прототипов), постановку на

производство, установившееся производство и использование по назначению. Эти методы могут применяться как для лабораторных, так и эксплуатационных испытаний. Они также пригодны для изделий, изнашиваемых и (или) стареющих в процессе эксплуатации.

Всякий раз, когда в настоящем стандарте возникает понятие «отказ изделий», этому событию может быть противопоставлено иное событие, заключающееся в возврате изделия в работоспособное состояние, например посредством ремонта.

Термин «время» в настоящем стандарте может иметь смысл как календарного времени, так и наработки испытуемого изделия, выражаемой в часах работы, пройденном расстоянии, рабочих циклах или иных единицах измерения. Во всех случаях, когда в настоящем стандарте упоминаются такие параметры, как интенсивность или параметр потока отказов, то всегда имеются в виду, если иное специально не оговорено, мгновенные значения этих величин.

Настоящий стандарт распространяется на методы анализа в целях подтверждения, определения, сравнения и контроля показателей безотказности. В разделе 9 настоящего стандарта приведена диаграмма, содержащая указания по планированию статистической обработки данных, собираемых в процессе испытаний на безотказность.

4.1.2 Правовые основы

При возникновении противоречий между положениями настоящего стандарта и требованиями, установленными в контракте и (или) в техническом задании (ТЗ) [технических условиях (ТУ)], следует руководствоваться последними.

Поскольку настоящий стандарт требует согласования некоторых вопросов между заказчиком, изготовителем и независимой испытательной организацией, если таковая привлекается, то во всех контрактах или планах испытаний должны содержаться ссылки на настоящий стандарт и на любые иные стандарты, устанавливающие правила и методы испытаний, которые предполагается применять.

Кроме того:

- при выборе особых методов и правил испытаний, способов их проведения и любых других намеченных способов применения настоящего стандарта к специфике определенного проекта, в контракте или в программе и методике испытаний (ПиМ) должно быть специально отмечено, кем предложены те или иные отступления от настоящего стандарта и в каких областях они должны применяться;
- при использовании особых методов и правил испытаний способ их проведения должен быть согласован, а соответствующие соглашения сторон приложены к контракту или ПиМ испытаний;

если какие-либо вопросы, требующие согласования, не удалось своевременно разрешить, то это должно быть специально оговорено в контракте или плане испытаний с указанием крайних сроков согласования и методов разрешения противоречий.

Во всех случаях контракт должен устанавливать, кто отвечает за проведение испытаний, какие последствия наступают в связи с неспособностью сторон надлежащим образом провести испытания или за выявленное при испытаниях несоответствие системы установленным требованиям, характер или ограничения по размерам возмещения ущерба пострадавшей в результате испытаний стороны и указания по участию заказчика в реализации программы испытаний.

4.2 Цели испытаний на безотказность

Принятие любых инженерных решений должно быть основано на измеримых и воспроизводимых данных. В большинстве случаев источниками подобной информации служат различные испытания.

Цель испытаний на безотказность состоит в получении объективных и воспроизводимых данных о показателях безотказности изделий. Получение таких данных требует, чтобы условия испытаний, установленные в плане испытаний, были, по возможности, многократно воспроизводимыми, а испытуемые образцы изделий были репрезентативными (см. 4.5).

Более детально цели конкретных испытаний на безотказность могут заключаться:

- в оценке значений показателей безотказности;
- выявлении «слабых» мест изделий и выработке мер по их совершенствованию;
- проверке расчетных оценок безотказности изделий на стадии их проектирования, с тем чтобы, например, убедиться в адекватности выбранных конструктивных решений;
- выявлении факторов, вызывающих отказы, и выработку мер, направленных на ослабление их влияния на безотказность изделий;
- оценке влияния технологических процессов изготовления изделий на их безотказность;
- оптимизации системы ТО и ремонта изделий;
- придании изделиям большей надежности (в т. ч. безотказности) и безопасности;
- улучшении технических характеристик и качества изделий;
- оценке и снижении начальной стоимости и стоимости жизненного цикла изделий;

- анализе условий эксплуатации (применения) и их влияния на безотказность изделий;
- обосновании значений показателей безотказности, включаемых в техническую документацию;
- оценке отдельных составляющих стоимости жизненного цикла изделий.

Технические условия на проведение испытаний на безотказность должны включать в себя:

- описание реальных условий эксплуатации изделий;
- цели и задачи всех и отдельных видов испытаний;
- виды и планы отбора образцов для испытаний;
- технические требования к показателям и характеристикам испытуемых образцов;
- средства испытаний;
- правила сбора и обработки данных;
- оценку и использование результатов испытаний;
- правила проверки методологии испытаний.

Следует учитывать, что испытания на безотказность представляют собой всего лишь одну из многих составляющих программы обеспечения безотказности, задача которой состоит в повышении эффективности всех работ, связанных с обеспечением безотказности и выполняемых в ходе разработки и изготовления новых изделий.

4.3 Классификация испытаний на безотказность

4.3.1 Классификация по основной цели испытаний

Со статистической точки зрения испытания на безотказность в соответствии с их основными целями подразделяют на испытания, проводимые в целях:

- оценки (определения значений) показателей безотказности (определительные испытания, испытания на надежность);
- проверки соответствия достигнутых показателей безотказности заданным их значениям, например в контракте, ТЗ или ТУ (контрольные испытания: приемочные, квалификационные, типовые, сертификационные, периодические, приемо-сдаточные);
- сравнение двух вариантов конструктивного исполнения или двух изготовленных изделий по уровню безотказности (сравнительные испытания).

4.3.2 Классификация по месту проведения испытаний

В зависимости от места проведения различают:

- лабораторные (стендовые) испытания и
- эксплуатационные испытания.

Преимущество лабораторных испытаний на безотказность состоит в том, что все измерения и оценки проводят в контролируемых и, соответственно, многократно воспроизводимых условиях. Количество образцов, подвергаемых лабораторным испытаниям, как правило, намного меньше количества образцов, испытываемых в эксплуатации, и поэтому отбор образцов для лабораторных испытаний имеет важное значение.

Объектами эксплуатационных испытаний, как правило, служат образцы изделий, эксплуатируемых потребителями (заказчиком). Преимуществом таких испытаний является то, что условия их проведения идентичны реальным условиям эксплуатации. Поскольку условия эксплуатации изделий различными пользователями зачастую различаются, то целесообразно анализировать безотказность применительно к одинаковым условиям эксплуатации. Вместе с тем при объединении данных, полученных в разных условиях эксплуатации, оценки показателей безотказности получаются осредненными для всей генеральной совокупности эксплуатируемых изделий. Вариации оцененных показателей могут быть сглажены посредством объединения данных, собранных в сходных условиях, но в этом случае полученные оценки распространяются только на эти условия. Примерами такого группирования может быть объединение данных, собираемых по отдельным странам или относящихся к одной партии изделий, поставленных потребителям.

Условия лабораторных испытаний могут быть подобраны таким образом, что с высокой долей уверенности можно гарантировать непревышение внешних воздействий и режимов работы испытуемых образцов за установленные пределы. Лабораторные испытания также обеспечивают более быстрое принятие решений по их результатам и более раннее выявление проблем для своевременного проведения соответствующих корректирующих действий.

С другой стороны, эксплуатационные испытания обеспечивают получение более реалистичных результатов и не требуют лишнего испытательного оборудования. Затраты на их проведение зачастую ниже затрат на сопоставимые лабораторные испытания, а испытуемые изделия при этом находятся в нормальных условиях и режимах работы. Вместе с тем существенным недостатком эксплуатационных

испытаний является невозможность их проведения в жестко контролируемых условиях. Воспроизводимость условий и результатов этих испытаний также, как правило, ниже, чем при испытаниях в лабораторных условиях.

С точки зрения предъявляемых требований и эффективности испытания в лабораторных и эксплуатационных условиях во многом сходны.

Если имеется несколько мест, в которых возможно проведение эксплуатационных испытаний, то при выборе наиболее подходящего места следует исходить из главного назначения таких испытаний.

Когда есть достаточно оснований полагать, что достигнутый уровень безотказности по крайней мере не ниже требуемого, то следует выбирать место проведения испытаний с условиями, наиболее тяжелыми из установленных в соответствующей технической документации.

Если требуется оценить показатели безотказности изделий в нормальных эксплуатационных условиях или поставлена задача выбора оптимального плана их ТО и ремонтов, то следует для проведения испытаний выбирать места с наиболее типичными условиями эксплуатации.

Если необходимо получить сравнительную информацию о безотказности изделий, то места ее сбора должны быть с примерно идентичными условиями эксплуатации во избежание сравнения данных, относящихся к разным условиям.

Должно также учитываться наличие на местах эксплуатации, где проводятся испытания, персонала необходимой квалификации.

В ходе эксплуатационных испытаний должен быть налажен непрерывный мониторинг условий и режимов работы изделий и параметров окружающей среды. Если такой мониторинг в процессе нормальной эксплуатации восстанавливаемых изделий невозможен, то наблюдения следует проводить в случайно выбранные моменты времени или пользоваться отчетами и наблюдениями операторов.

4.3.3 Классификация по времени получения результатов

Дополнительно испытания на безотказность подразделяют в соответствии со временем, требуемым для получения необходимой информации в избранных условиях их проведения:

- на нормальные испытания, проводимые при номинальных нагрузках испытуемых изделий;
- ускоренные испытания, проводимые при нагрузках, превышающих номинальные или продолжительность которых сокращена за счет различных способов сжатия времени испытаний, например путем испытаний периодически работающих изделий в непрерывном режиме или сокращения перерывов между циклами, испытания со ступенчатой нагрузкой.

4.4 Статистические планы испытаний

План испытаний на безотказность должен устанавливать число испытуемых образцов, правила обращения с отказавшими при испытаниях образцами [их ремонт, замена (восстановление) или снятие с испытаний] и критерии принятия решений об окончании испытаний. Существуют два основных типа планов испытаний на безотказность с восстановлением/заменой отказавших образцов или без них:

- усеченный последовательный;
- ограниченный по времени или количеству отказов.

Следует иметь в виду, что любой статистический план испытаний, предусмотренный настоящим стандартом, должен устанавливать:

а) количество образцов изделий, поставленных на испытания;

б) подлежат ли ремонту (замене) образцы, отказавшие во время испытаний;

в) количество образцов, оставшихся работоспособными на момент окончания испытаний;

г) условия окончания испытаний (усечение по времени или по количеству отказов).

Все планы испытаний обязательно должны быть основаны на статистических предположениях и допущениях, поскольку показатели безотказности по своей природе являются статистическими.

4.5 Программа и методика испытаний

Во время подготовки к проведению испытаний должны быть детально проработаны все методологические, технические и финансовые вопросы, включая связанные с персоналом, которому предстоит их проводить. Поскольку безотказность включает в себя как временные аспекты, так и аспекты, связанные с работоспособностью изделий, то при планировании испытаний на безотказность должны быть установлены:

- значения ресурса в часах и (или) циклах срабатывания, километрах пробега и др. (в зависимости от вида испытуемого изделия);
- критерии отказов;
- критерии предельных состояний;
- сроки проведения испытаний;

- постоянство или непостоянство интенсивности или параметра потока отказов испытуемых изделий (предполагаемых или подтверждаемых);
- возраст испытуемых образцов, условия их хранения и порядок подготовки к испытаниям;
- условия окружающей среды при проведении испытаний;
- условия и режимы работы изделий во время испытаний;
- требуемое и разрешенное при испытаниях техническое обслуживание испытуемых образцов.

Совокупность изделий, из которых отбирают образцы для испытаний, выбирают на основе временных, технических и экономических соображений. При этом оценить репрезентативность выборки обычно можно только качественно.

На практике контрольные испытания на безотказность для ускорения принятия решений на стадии производства продукции проводят на опытных образцах, созданных в ходе разработки, или на установочных образцах, изготовленных в процессе постановки на производство. Зачастую эти образцы не являются репрезентативными по отношению к серийной продукции, что может приводить к неверным решениям.

Выборка образцов для испытаний должна быть репрезентативной по отношению к той совокупности, которую она представляет, с тем чтобы обеспечивать получение достоверной информации и вынесение верных суждений о безотказности этой совокупности. Выполнение этого требования может быть обеспечено отбором образцов для испытаний по методу случайной выборки. Если выборка не обладает должной репрезентативностью, то результаты ее испытаний могут вводить в заблуждение.

Отобранные образцы не должны подвергаться никаким воздействиям до начала испытаний, если иное специально не оговорено в плане испытаний. Все составные части и компоненты испытуемых образцов должны оставаться в оригинальном состоянии в течение всего периода испытаний за исключением разрешенных ТО и модификаций (см. 6.4).

Если испытания прерваны для проведения технического обслуживания или по административным и иным, непредвиденным причинам, то они должны быть возобновлены с минимальной задержкой с той наработки, при которой они были прерваны, если иное не оговорено в ПиМ.

При необходимости в плане испытаний и ПиМ должны быть установлены разрешенные перерывы в их проведении с указанием максимально допустимой продолжительности таких перерывов, а в случае циклического режима испытаний — моменты времени внутри цикла, с которых разрешено возобновить испытания. Во время перерывов лабораторных испытаний испытуемые образцы должны храниться в стандартных лабораторных условиях, если иное не оговорено в ПиМ.

При объединении результатов нескольких испытаний используют накопленное время (наработку) всех испытаний.

Непостоянство интенсивностей или потоков отказов испытумых изделий способно сильно повлиять на результаты испытаний. Если количество испытуемых образцов невелико, а время испытаний достаточно продолжительно (наработки достаточно велики), то в ходе их проведения могут наблюдаться деградационные отказы, возникающие после продолжительной работы изделий. Однако если то же суммарное время испытаний (суммарная наработка) достигается посредством суммирования относительно небольших продолжительностей испытаний (наработок) большого количества образцов, то фиксируемые отказы не могут быть отнесены к деградационным. Для ранних отказов справедливо противоположное утверждение — при испытаниях большего количества образцов в течение меньшего времени вероятность появления таких отказов возрастает.

Все ремонты (замены) отказавших образцов в процессе испытаний и досрочные прекращения испытаний должны быть отражены в отчетности по испытаниям, поскольку эта информация имеет важное значение для последующего статистического анализа их результатов.

Если предполагается, что отобранные для испытаний образцы могут иметь повышенную интенсивность ранних отказов, связанных с «приработкой» изделия, то при статистическом анализе должны учитываться любые отклонения от постоянства интенсивностей отказов.

Если ранние отказы при испытаниях на безотказность нежелательны и не должны учитываться в оценках безотказности изделий, то следует предусмотреть предварительные отбраковочные испытания отобранных образцов до их постановки на испытания.

Для оценки или контроля таких показателей, как интенсивность отказов, параметр потока отказов, средней наработки на отказ или средней наработки до отказа, продолжительность испытаний должна быть достаточной для наблюдения необходимого числа отказов испытуемых изделий. Любые априорные допущения должны быть заранее оговорены.

Для испытаний очень надежных изделий может потребоваться либо очень большое число испытуемых образцов, что возможно при эксплуатационных испытаниях, либо применение методов ускорен-

ных лабораторных испытаний. Для изделий с резервированием испытания могут проводиться на уровне составных частей (с последующей расчетной оценкой показателей безотказности изделия в целом по результатам испытаний резервированных составных частей). В некоторых случаях для оценки или контроля безотказности таких изделий взамен испытаний допускается применять иные методы (см. ГОСТ Р 51901.3).

4.6 Использование результатов испытаний

Следует учитывать, что результаты испытаний напрямую относятся только к безотказности испытанных образцов. В связи с этим в отчете об испытаниях должны быть приведены обоснования того, насколько репрезентативна выборка испытанных образцов по отношению ко всей совокупности изделий. Дополнительные обоснования следует приводить в случаях, когда результаты контрольных или определительных испытаний экстраполируют:

- на другие совокупности изделий (например, на другие партии);
- на условия нагружения и внешние воздействующие факторы, отличающиеся от принятых во время испытаний;
- на большие наработки изделий по сравнению с теми, которые имели место при испытаниях.

Для оценки обоснованности подобных экстраполяций требуется проведение анализа в части:

- возможных различий между изделиями внутри одной совокупности;
- влияния уровней нагрузок и внешних воздействующих факторов на появление отказов разных видов;
- ожидаемых вариаций значений интенсивностей или параметров потоков отказов изделий в зависимости от их наработок.

Доверительные интервалы оценок показателей безотказности должны максимально покрывать возможные их вариации, обусловленные различиями между условиями лабораторных испытаний и условиями эксплуатации.

Итоговые заключения по результатам испытаний не должны ограничиваться лишь формальными решениями (о соответствии или несоответствии уровня безотказности испытанных изделий установленным требованиям или иных решений в соответствии с целями испытаний). Должны быть тщательно проанализированы причины и последствия всех отказов, наблюдавшихся во время испытаний, и намечены эффективные коррективные меры по их предупреждению в дальнейшем.

5 Категории испытаний по их основному целевому назначению

В соответствии с целевым назначением испытания на безотказность подразделяют (4.3):

- на контрольные, включая проверку соответствия изделий установленным требованиям по альтернативному признаку без определения фактических значений контролируемых показателей;
- определительные;
- сравнительные.

5.1 Контрольные испытания

Контрольные испытания на безотказность входят, как правило, в состав приемочных, квалификационных, типовых, периодических и приемо-сдаточных испытаний опытных образцов и серийно выпускаемой продукции, проводимых в соответствии с ГОСТ 15.201, ГОСТ 15.309.

Перед началом контрольных испытаний на безотказность должен быть составлен план испытаний, устанавливающий:

- требования к контрольным испытаниям на безотказность в соответствии с положениями раздела 5 настоящего стандарта и с учетом особенностей изделий, подлежащих испытаниям;
- перечень испытательного оборудования, включая оборудование для моделирования внешних воздействующих факторов окружающей среды, средства мониторинга технического состояния испытуемых изделий, средства их ТО, ремонта и контроля выполнения программы испытаний;
- указания по проведению испытаний и в отношении действий, предпринимаемых после возникновения отказов испытуемых образцов и испытательного оборудования;
- указания по ведению отчетности и правила принятия решений по результатам испытаний.

Контрольные испытания на безотказность допускается проводить в лабораторных или эксплуатационных условиях (см. 4.3).

В таблице 1 приведен перечень основных типов планов контрольных испытаний с рекомендациями по их применению для контроля определенных показателей безотказности.

Усеченный последовательный план испытаний может быть охарактеризован следующим образом:

- в процессе испытаний осуществляют непрерывный или прерывистый, но с малыми интервалами мониторинг технического состояния испытуемых образцов, фиксируются их накопленные наработка и количество учитываемых отказов, которые сравниваются с установленными критериями принятия решений о соответствии или несоответствии контролируемых показателей безотказности установленным требованиям либо о продолжении испытаний.

Испытания с ограниченной наработкой или с ограниченным количеством отказов характеризуются следующим образом:

- в процессе испытаний осуществляют непрерывный или прерывистый, но с малыми интервалами мониторинг технического состояния испытуемых образцов, фиксируются их накопленные наработка и количество учитываемых отказов. Испытания продолжают до тех пор, пока суммарная наработка испытуемых образцов не превысит заданного значения, и в этом случае принимают решение о соответствии изделий установленным требованиям, или пока суммарное количество отказов не превысит заданного, и в этом случае принимают решение о несоответствии изделия установленным требованиям.

Таблица 1 — Типы статистических планов испытаний на безотказность

Типы статистических планов испытаний	Область применения	Контролируемые требования по безотказности
Усеченный последовательный	Восстанавливаемые, ремонтируемые в ходе испытаний изделия. (невосстанавливаемые = незаменяемые, восстанавливаемые = заменяемые)	Приемочный и браковочные значения постоянных интенсивности или параметра потока отказов
	Невосстанавливаемые неремонтируемые изделия. Невосстанавливаемые ремонтируемые изделия. Восстанавливаемые неремонтируемые изделия	Приемочные и браковочные уровни вероятности безотказной работы
С фиксированными наработкой/количеством отказов	Восстанавливаемые, ремонтируемые в ходе испытаний изделия	Приемочный и браковочные значения постоянных интенсивности или параметра потока отказов
	Невосстанавливаемые неремонтируемые изделия. Невосстанавливаемые ремонтируемые изделия. Восстанавливаемые неремонтируемые изделия	Приемочные и браковочные уровни вероятности безотказной работы
С фиксированной календарной продолжительностью без замены/восстановления отказавших изделий	Невосстанавливаемые, ремонтируемые, неремонтируемые в ходе испытаний изделия	Приемочные и браковочные уровни вероятности безотказной работы

На рисунке 1 сравниваются усеченный последовательный план испытаний с планом испытаний с фиксированными наработкой и количеством отказов при одинаковых уровнях рисков. На рисунке 2 приведен график зависимости ожидаемого накопленного времени испытаний до принятия решения в зависимости от истинного значения средней наработки на отказ для указанных двух типов планов. Приведенные рисунки иллюстрируют некоторые преимущества и недостатки планов испытаний каждого типа.

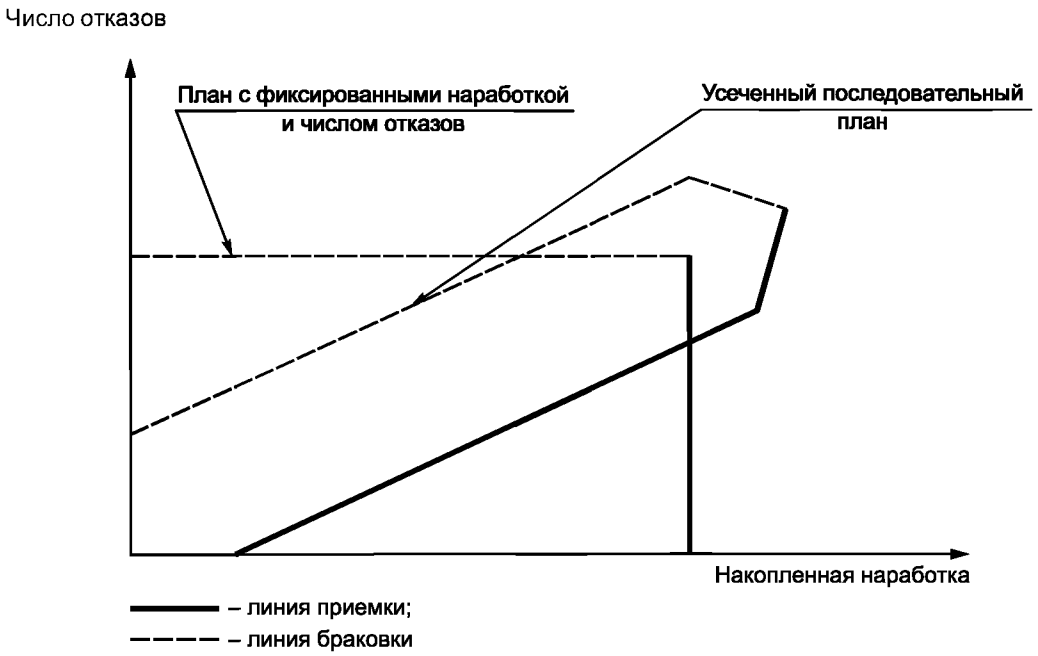


Рисунок 1 — Сравнение усеченного последовательного плана и плана с фиксированными наработкой и количеством отказов испытуемых образцов при одинаковых рисках принятия решений

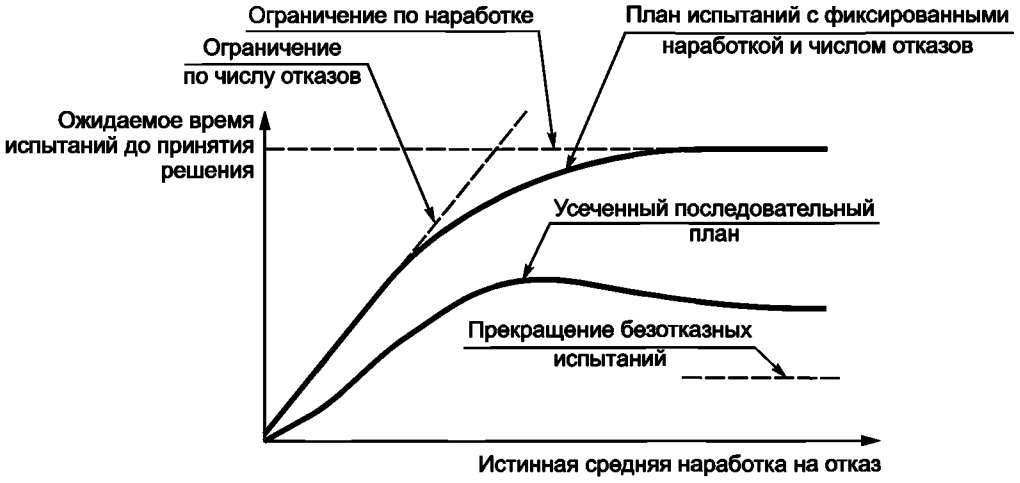


Рисунок 2 — Ожидаемая суммарная продолжительность испытаний до принятия решения в зависимости от истинной средней наработки изделий на отказ

Таблица 2 содержит сводные данные о преимуществах и недостатках планов испытаний обоих типов, основанные на графиках, приведенных на рисунках 1 и 2.

Таблица 2 — Сравнение статистических планов испытаний

Тип плана	Преимущества	Недостатки
Одноступенчатый план с фиксированными наработкой и числом отказов	Поскольку максимальная продолжительность испытаний фиксирована, то имеется возможность заранее, до начала испытаний, выявить потребности в испытательном оборудовании и персонале	В среднем число отказов и суммарная наработка испытуемых образцов до принятия решений превышает аналогичные характеристики усеченного последовательного плана
	Максимальное число отказов при испытаниях известно заранее, что позволяет определить максимально необходимое число испытуемых образцов при испытаниях без восстановления или замены отказавших изделий	Очень надежные и очень ненадежные изделия приходится испытывать максимальное время или до максимального числа наблюдаемых отказов, чтобы принять решение, которое при использовании усеченного последовательного плана могло быть принято намного раньше
	Максимальное суммарное время испытаний меньше, чем для усеченного последовательного плана с теми же параметрами	
Усеченный последовательный план	В общем случае количество отказов при испытаниях, требующееся для принятия решений, меньше, чем для соответствующего одноступенчатого плана с фиксированными наработками и числом отказов	Количество отказов и число испытуемых образцов соответственно варьируются в более широких пределах, чем для одноступенчатого плана с теми же параметрами
	План имеет фиксированный максимум по суммарной наработке и количеству отказов	Максимальные суммарные наработки и количество отказов могут быть выше, чем у эквивалентного одноступенчатого плана
	В общем случае суммарная наработка до принятия решения является минимальной	

5.1.1 Терминология, используемая в контрольных испытаниях на безотказность

Контрольные испытания проводят в целях проверки соответствия показателей безотказности разработанного изделия установленным требованиям по безотказности. Результатом контрольных испытаний является принятие решения о соответствии (приемке) или о несоответствии (браковке) изделия.

Контрольные испытания основаны на статистических методах проверки гипотез. Статистическая проверка заключается в принятии решений относительно того, может ли некоторая гипотеза, которую принято называть нулевой, быть отклонена в пользу принятия альтернативной гипотезы. Эти конкурирующие гипотезы представляют собой утверждения относительно параметров предполагаемой вероятностной модели.

В терминах контрольных испытаний все планы и критерии принятия решений основаны на двух характеристиках:

- приемочное количество учитываемых отказов в заданном количестве испытаний или за заданное соответствующее время испытаний (наработка) (приемочное количество отказов может быть равным нулю);
- приемочное количество испытаний или приемочное время испытаний (наработка) для заданного количества учитываемых отказов, которое может быть равно нулю.

Критерии принятия решений о приемке или браковке изделий по уровню безотказности устанавливают в плане испытаний в соответствии с выбранными значениями рисков принятия решений и разрешающего отношения D.

В статистическом контроле различают риски (статистические) рода I и II, определяемые как вероятности отклонения нулевой гипотезы, когда она справедлива, и ее приемки, когда она неверна. Риски рода I и II принято обозначать α и β соответственно.

Применительно к контрольным испытаниям на безотказность риском изготовителя α принято называть вероятность забракования изделия с приемочным значением контролируемого показателя безотказности, а риском потребителя или заказчика β — вероятность приемки изделий с браковочным значением контролируемого показателя безотказности.

Для повышения вероятности приемки изделий по результатам контрольных испытаний изготовитель должен стремиться к тому, чтобы значения контролируемых показателей превышали установленный приемочный уровень.

Разрешающее отношение D применительно к планам испытаний представляет собой отношение приемочного уровня контролируемого показателя к браковочному. Примерами контролируемых показателей безотказности могут быть вероятность безотказной работы, параметр потока или интенсивность отказов.

Достоверность испытаний $(1 - \beta)$ представляет собой вероятность недопущения рисков второго рода. На основании этой вероятности может быть построена оперативная характеристика плана испытаний, представляющая собой зависимость вероятности P_a неотклонения нулевой гипотезы в зависимости от истинного значения контролируемого показателя безотказности. Оперативная характеристика может быть построена для плана испытаний любого типа, указывая вероятность приемки изделий, обладающих различными истинными значениями контролируемого показателя безотказности при $D > 1$. На рисунке 3 приведены графики оперативных характеристик одноступенчатых планов с фиксированными наработками и числом отказов В.5, В.6, В.7 и В.8. На этих графиках по оси ординат отложены значения вероятности приемки P_a, а по оси абсцисс отложены значения отношения m/m_0, m — истинное значение среднего времени между отказами или до отказа, m_0 — заданное приемочное значение этого показателя. Плану В.5 соответствуют значения рисков $\alpha = \beta = 0{,}10$ и $D = 1{,}5$. Более полное описание планов этого типа содержится в стандарте МЭК 61124.

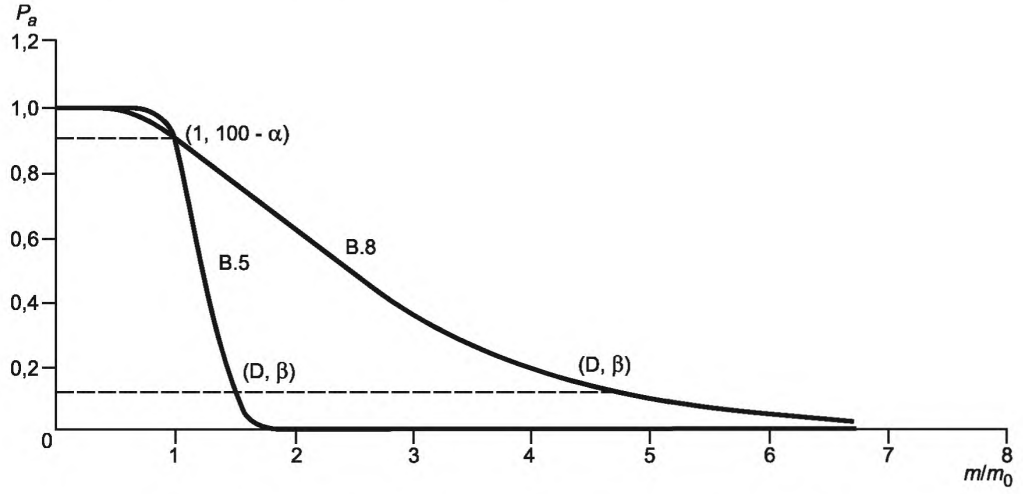


Рисунок 3 — Оперативные характеристики планов испытаний В.5 и В.8

Риски принятия решений ясно видны из оперативной характеристики соответствующего плана испытаний. Эти риски поставщик и потребитель должны согласовать между собой, стараясь найти оптимальный баланс между значениями рисков и ростом затрат на проведение испытаний, связанных с увеличением их объема (количества образцов и их наработок при испытаниях), требуемым для снижения рисков, а также с учетом иных факторов, таких как, например, рост потребностей в испытательном оборудовании и других средствах проведения испытаний, увеличение общей продолжительности испытаний. Увеличение объема испытаний снижает при тех же значениях рисков разрешающее отношение D, что следует из более пологого вида кривой оперативной характеристики.

Таблица 3 — Обзор проверки гипотез

Проверка гипотез		Истинные (неизвестные) характеристики изделия	
		Справедлива нулевая гипотеза ($T_1^*/m_0 = p_0 = 30$)	Справедлива альтернативная гипотеза ($D \times T_1^*/m_0 = D \times p_0 = 1{,}5 \times 30 = 45$)
Решения, основанные на наблюдениях	Принята нулевая гипотеза ($r \le c = 35$)	Правильное решение: ($P_a = 100 - \beta' = 100 - 12 = 88$ %). Мощность плана контроля	Неверное решение: ($P_a = \alpha' = 9{,}9$ %). Риск потребителя (вероятность ошибки первого рода)
	Принята альтернативная гипотеза ($r > c = 35$)	Неверное решение: ($P_a = \beta' = 12$ %). Риск поставщика (вероятность ошибки второго рода, уровень значимости)	Правильное решение: ($P_a = 100 - \alpha' = 100 - 9{,}9 = 60{,}1$ %)

5.1.2 Требования к контрольным испытаниям на безотказность

Все требования, касающиеся проведения контрольных испытаний изделий на безотказность, должны быть включены в контракт или в ПиМ или предусмотрены ими. Требования ПиМ должны быть достаточными для детального описания контрольных испытаний. При включении в ПиМ требований к контрольным испытаниям на безотказность в них должна содержаться информация, предусмотренная 5.1.2.1—5.1.2.4 настоящего стандарта.

5.1.2.1 Образцы для испытаний и тип испытаний

Должны быть установлены:

а) описание или тип изделий, подлежащих испытаниям;

б) тип испытаний (лабораторные или эксплуатационные, см. 4.3.2);

в) совокупность изделий, из которых надлежит отбирать образцы для испытаний (если это возможно), и любые особые методы отбора испытуемых образцов (см. 4.5).

5.1.2.2 Показатели безотказности и статистические планы испытаний

Должны быть также установлены:

а) номенклатура показателей безотказности и их приемочные значения. Если показатели безотказности системы предполагается контролировать на основе данных самостоятельных испытаний на безотказность ее составных частей, то должны быть установлены соответствующие методы пересчета, например в виде ссылок на ГОСТ Р 51901.13;

б) план контрольных испытаний, подлежащий использованию (см. 5.1). План следует выбирать преимущественно из числа стандартных планов испытаний, приведенных в таблице 1. При выборе иных планов их применение должно быть соответствующим образом обосновано;

в) испытания, которые следует провести для подтверждения справедливости принятых предположений о виде закона распределения (см. 9.1 и 9.2).

5.1.2.3 Условия испытаний и испытательные циклы

Следует установить (если подходит соответствующее требование):

- условия работы испытуемых образцов и условия окружающей среды во время испытаний, включая нагрузки, возможные действия с образцами (см. 6.3);
- предупредительное техническое обслуживание в процессе испытаний (см. 6.4);
- испытательный цикл в виде последовательности режимов работы и сочетаний нагрузок, возможных действий, обслуживания и ВВФ (см. 6.1, 6.2 и 6.3).

5.1.2.4 Технические характеристики и отказы испытуемых образцов

Следует установить (если подходит соответствующее требование):

- функциональные параметры образцов, контролируемые во время испытаний;
- критерии отказов испытуемых изделий (см. 7.1—7.3);
- виды отказов (критических), наступление которых требует немедленного принятия решений о забраковании изделий (см. 7.2.2.1);
- виды отказов, которые следует считать неучитываемыми (см. 7.2.1);
- критерии предельных состояний, при проявлении которых следует прекратить испытания;
- периоды испытаний, которые должны учитываться при определении наработок испытуемых образцов (см. 7.4);

- ограничения по учитываемой наработке или по числу выполненных операций для каждого испытуемого образца;
- условия ремонта (восстановления) отказавших при испытаниях образцов и продолжения испытаний;
- график измерений контролируемых параметров образцов, если невозможен их мониторинг в процессе испытаний.

5.1.3 Контроль вероятности безотказной работы

Если требуется проконтролировать только вероятность безотказной работы изделий в течение заданного времени (наработки), то испытания сводятся только к подсчету общего количества и количества неудачных попыток срабатывания или к подсчету количества отказавших из общего количества образцов, испытанных в течение заданного времени (наработки), с последующей статистической обработкой полученных результатов.

В отличие от контроля других показателей безотказности в данном случае контрольные испытания сводятся к статистическому контролю качества по альтернативному признаку (до достижения заданной наработки или времени испытаний) без измерения фактических возможных наработок испытуемых образцов до отказа или неотказавших образцов за время испытаний.

5.2 Определительные испытания на безотказность

Цель определительных испытаний заключается в оценке численных значений одного или нескольких показателей безотказности изделий, которые впоследствии могут использоваться, например, для определения будущих расходов по гарантийным обязательствам или для прогнозирования безотказности изделий в эксплуатации. Определительные испытания обычно проводят в целях количественной оценки безотказности изделий с использованием одного или нескольких ключевых показателей. Наряду с описанием условий испытаний и исходными данными для оценки показателей должны быть также определены доверительные границы для каждого показателя.

При определительных испытаниях оценки интересующих показателей безотказности должны определяться применительно к полному сроку службы (ресурсу) изделий. Номенклатура оцениваемых показателей должна быть заранее установлена.

Описания условий испытаний, перечни контролируемых при испытаниях параметров испытуемых образцов, собираемые данные и методы испытаний при определительных испытаниях аналогичны тем, что применяют при контрольных испытаниях (см. 5.1).

Статистические методы оценки показателей безотказности описаны в разделе 9 настоящего стандарта. Для оценки показателей безотказности допускается использовать имеющиеся данные предыдущих испытаний или собранные в процессе эксплуатации при условии, что эти данные являются достаточно полными, достоверными и пригодными к использованию.

5.3 Сравнительные испытания на безотказность

Сравнительные испытания проводят в случаях, когда требуется сравнить по уровню безотказности два сходных типа изделий. Эти испытания могут также потребоваться в случае сравнения показателей безотказности изделий, имеющих в своем составе комплектующие двух разных типов.

Задача сравнительных испытаний может быть определена как проверка гипотезы о том, что изделие А превосходит по безотказности изделие В, причем оценивать фактические значения показателей безотказности обоих изделий при этом нет необходимости.

Образцы изделий обоих типов А и В испытывают в одинаковых условиях. Это особенно важно, когда испытания проводят в условиях с низким уровнем имитации условий эксплуатации, а также в случаях испытаний в форсированных или сжатых по времени режимах. Даже если не известно, насколько точно условия сравнительных испытаний воспроизводят реальные условия эксплуатации сравниваемых изделий, их результаты могут быть использованы для сравнения изделий по безотказности при условии, что виды отказов при испытаниях относятся к числу учитываемых.

Детализированный план сравнительных испытаний в лабораторных или эксплуатационных условиях должен быть составлен в соответствии с требованиями, установленными выше для контрольных испытаний. Статистические методы сравнения изделий по безотказности приведены в разделе 9 настоящего стандарта.

Описания условий испытаний, перечни контролируемых при испытаниях параметров испытуемых образцов, собираемые данные и методы испытаний при сравнительных испытаниях аналогичны тем, что применяют при контрольных испытаниях (см. 5.1).

Должен также обязательно проводиться анализ наблюдаемых при испытаниях отказов.

6 Условия испытаний

6.1 Общие принципы выбора условий испытаний

При выборе условий испытаний изделий на безотказность необходимо учитывать следующие факторы:

- основная причина, по которой требуется провести или проводят испытания;
- условия окружающей среды в процессе эксплуатации изделий;
- ожидаемые вариации условий эксплуатации испытуемых изделий;
- вероятность того, что различные внешние воздействующие на изделия факторы в процессе эксплуатации будут провоцировать их отказы;
- относительная стоимость испытаний в различных условиях;
- имеющиеся средства испытаний;
- допустимая продолжительность испытаний;
- прогнозируемые значения показателей безотказности в различных условиях испытаний.

Если основанием для проведения испытаний является необходимость доказать, что безотказность изделий находится на уровне, не уступающем некоторому критическому значению, определенному, например, из условий безопасной эксплуатации, то при выборе условий испытаний не должен быть упущен ни один из имеющих значение факторов, относящихся к экстремальным условиям эксплуатации.

Если требуется продемонстрировать уровень безотказности изделий в нормальных условиях эксплуатации, например для оптимизации системы их ТО и ремонтов, то условия испытаний должны с высокой точностью воспроизводить указанные условия эксплуатации. Если же назначение испытаний состоит в сравнении по безотказности различных вариантов конструктивного исполнения изделий с выбором лучшего варианта по результатам испытаний, то важнее всего обеспечить воспроизводимость условий испытаний, зачастую проводимых при предельных нагрузках, испытываемых изделиями в эксплуатации. В любом случае внешние воздействия и нагрузки на изделия при испытаниях не должны превышать установленных предельных значений, за исключением испытаний со ступенчато возрастающими нагрузками. Следует отметить, что настоящий стандарт не распространяется на указанный вид испытаний, хотя установленные в нем статистические методы могут быть использованы для их планирования и обработки результатов, если при этом заменить наработки изделий количеством уровней нагрузок.

В случае, когда при выборе условий испытаний следует учесть наличие у изделий нескольких условий эксплуатации, отличающихся режимами работы, внешними воздействиями окружающей среды, порядком проведения ТО и ремонтов, то испытания обычно проводят соответствующими периодически повторяемыми циклами. Подробный план испытаний на безотказность должен включать в себя диаграмму, указывающую расположение внутри каждого цикла испытаний, длительность, периодичность различных условий работы, внешних воздействий, предупредительных ТО и ремонтов и взаимосвязи между ними.

Когда требуется максимально близко воспроизвести несколько реальных условий применения, окружающей среды, ТО и ремонтов, то испытательный цикл следует разрабатывать применительно к испытаниям данного изделия. Методика разработки таких циклов с высоким уровнем имитации условий эксплуатации приведена в МЭК 60605-2 [1]. Этот стандарт может также служить основой для составления особых испытательных циклов в случаях необходимости выполнения специальных требований, например в части применения средств мониторинга особых свойств изделий или достижения высокой степени сжатия продолжительности испытаний.

При проведении испытаний на безотказность при одном наборе условий и режимов работы, внешних воздействий, ТО и ремонта, выбранном из числа многих их сочетаний, возможных в эксплуатации, для моделирования таких типовых условий эксплуатации можно применить один из стандартных циклов испытаний с низким уровнем имитации, установленных серией стандартов МЭК 60605-3 [2]. В иных случаях может быть выбран один из более тяжелых по внешним воздействующим факторам циклов испытаний.

В общем случае не рекомендуется для ускорения испытаний применять циклы с нагрузками, превышающими те уровни, которые могут встречаться в эксплуатации, за исключением сравнительных испытаний или испытаний со ступенчато возрастающими нагрузками. Ускорение испытаний за счет сжатия календарного времени их проведения может применяться для изделий, показатели безотказности которых зависят, в основном, от числа отработанных циклов. Состав и уровни внешних воздействующих факторов следует, по возможности, выбирать из предпочтительных условий испытаний, установленных серией стандартов МЭК 60068 [3].

6.2 Техническое состояние образцов перед началом испытаний и их корректирующие ТО и ремонты

Следует установить (если соответствующие требования подходят для данного изделия):

а) все испытания, регулировки, калибровки, которые должны пройти все образцы изделий до начала испытаний на безотказность, включая величины их наработок до испытаний, обусловленных, например, проведением предварительных испытаний (см. 6.1);

б) методы корректирующих ТО и ремонтов, включая указания любых возможных замен, отказавших во время испытаний ремонтируемых и неремонтируемых образцов изделий (см. 6.4.2);

в) способы приведения испытуемых образцов в заданное техническое состояние, например посредством имитации старения и (или) транспортирования.

6.3 Технические требования к условиям испытаний в части условий и режимов работы и внешних воздействующих факторов

6.3.1 Условия и режимы работы

6.3.1.1 Режимы функционирования

Сложные изделия могут иметь несколько определенных, различающихся между собой режимов функционирования. Описание характера работы таких изделий в реальных условиях эксплуатации должно содержать процентное распределение времени их нахождения в каждом режиме и схемы перехода из одного режима в другой. Эти переходы могут осуществляться по командам оператора или автоматически. Примеры многофункциональных изделий: радиоприемник, используемый в качестве приемника радиопередачи в метровом диапазоне радиоволн или аудиоусилителя; измерительный прибор, используемый в качестве цифрового вольтметра или счетчика импульсов; радар, используемый для слежения в ручном или автоматическом режиме.

6.3.1.2 Входные сигналы

Требования к входным сигналам, подаваемым на испытуемые изделия, должны быть установлены с указанием допусков на значения их измеримых параметров, способных повлиять на функционирование изделий. Это особенно важно в случаях использования сложного испытательного оборудования, с тем чтобы имелась возможность различать отказы самих испытуемых образцов и отказы испытательного оборудования. Входные сигналы составляют важную часть технических требований к стойкости (устойчивости) изделий к внешним воздействующим факторам (ВВФ), и требования к ним должны устанавливаться в виде, например, номинальных или крайних значений их параметров.

6.3.1.3 Нагрузочные условия

Электрические и механические нагрузки обычно представляют значительную часть нагрузок, прилагаемых к образцам изделий во время испытаний, и поэтому должны быть тщательным образом установлены. Электрические нагрузки могут характеризоваться входным импедансом и любыми переходными режимами. Механические нагрузки могут быть статическими и динамическими. Как составная часть нагрузочных условий, должны быть установлены требования к выходной мощности испытуемых изделий во время испытаний. Все составляющие нагрузок должны быть заданы в виде номинальных или предельных значений соответствующих параметров.

6.3.1.4 Возможные воздействия и обращение с испытуемыми образцами

Для имитации условий эксплуатации зачастую во время испытаний требуются воздействия на рычаги и другие органы управления. Вместе с тем излишние и неконтролируемые воздействия могут служить источниками непредвиденных нагрузок. Поэтому требования и ограничения на все такие воздействия должны быть подробно оговорены в плане испытаний на безотказность. Если превышение оговоренных требований по обращению с изделиями представляет собой одну из составляющих режима испытаний, то оно должно быть тщательно описано в плане.

6.3.1.5 Поддержка и снабжение

Должны быть установлены требования к параметрам внешних источников электропитания, таким как, например, напряжение, частота, форма волны, возможные колебания и искажения. Должны быть также установлены требования к обеспечению другими вспомогательными средствами и расходными материалами, такими как вода, смазки, воздух для охлаждения, сжатый воздух и т. п.

Для изделий, снабженных искусственным охлаждением от внешних источников, их рабочая температура частично или полностью определяется характеристиками системы охлаждения. Поэтому в плане испытаний должны содержаться подробные требования к параметрам этой системы, таким как расход охлаждающего воздуха или жидкости, температура, влажность, чистота подаваемого воздуха и т. п.

6.3.2 Условия окружающей среды

Условия окружающей среды в реальных условиях эксплуатации обычно представляют собой определенные сочетания ВВФ переменной интенсивности. Вместе с тем точный контроль условий окружаю-

щей среды во время эксплуатационных испытаний обычно невозможен по экономическим соображениям, а также может быть нецелесообразен исходя из целей самих испытаний. Тем не менее фиксация условий эксплуатационных испытаний имеет особое значение.

При лабораторных испытаниях ВВФ могут прилагаться к испытуемым образцам поодиночке, в некоторых сочетаниях или в определенной последовательности. Во всех случаях, когда это возможно, тяжесть ВВФ при испытаниях на безотказность должна выбираться на основе ГОСТ Р МЭК 60068-2-30.

В подробном плане испытаний должны быть установлены условия их проведения в части ВВФ окружающей среды, предпочтительно в виде последовательности стандартных условий испытаний и переходов между ними, с дополнительной информацией, указанной в ГОСТ Р МЭК 60068-2-30. Должна быть также приведена полная информация о всех отклонениях выбранных условий испытаний от стандартизованных.

Подробные указания по выбору условий и режимов работы испытуемых образцов и ВВФ на них приведены в [1].

В большинстве случаев условия и режимы работы, условия окружающей среды, ТО и ремонтов изделий в эксплуатации отличаются большим разнообразием сочетаний, последовательности и тяжести различных факторов. Вместе с тем могут быть выделены некоторые сходные категории условий эксплуатации, встречающиеся достаточно часто, чтобы оправдать возможность применения стандартизованных испытательных циклов при проведении контрольных и определительных испытаний изделий на безотказность. Эти стандартизованные (предпочтительные) условия испытаний подробно регламентированы серией стандартов [2] и должны применяться везде, где это возможно.

6.4 Установление условий ТО и ремонта

6.4.1 Предупредительные ТО и ремонты

Предупредительное ТО образцов в ходе испытаний на безотказность может выполняться для тех видов изделий, ПиМ которых оно предусмотрено в качестве обычной процедуры в процессе их реальной эксплуатации. В любом случае порядок предупредительного ТО во время испытаний не должен принципиально отличаться от принятого в эксплуатации, а его объемы должны быть не большими, но и не меньшими, чем в процессе реальной эксплуатации изделий.

Типовыми работами, выполняемыми в составе предупредительного ТО, являются: замена составных частей, регулировка, смазка, чистка, переналадки и т. п.

В программе испытаний должны быть, по крайней мере, установлены:

- предупредительные работы, подлежащие выполнению в ходе испытаний, и ограничения по их проведению;
- периодичность, продолжительность и другие характеристики, определяющие потребности изделий в предупредительном ТО.

Программа испытаний может предусматривать проверки функционирования и, при необходимости, замены резервных составных частей изделий, если такие работы подлежат выполнению в эксплуатации в соответствии с ТУ на эти изделия.

Периодичность предупредительного ТО и другие его характеристики должны быть подробно описаны в плане испытаний и приняты во внимание до начала испытаний. Периодичность обслуживания может быть установлена в единицах наработки изделий, в календарном времени или в соответствующих единицах измерения продолжительности испытаний, например в испытательных циклах. Периодичность обслуживания должна быть увязана с периодичностями других циклически выполняемых в процессе испытаний на безотказность действий. Информация о всех проведенных предупредительных ТО и ремонтах должна быть включена в отчет об испытаниях.

6.4.2 Корректирующие ТО и ремонты

Подробный план испытаний должен содержать описание порядка замен составных частей ремонтируемых при испытаниях изделий, включая уровни разукрупнения (сборочные единицы, элементы и т. д.), на которых допускается замена или ремонт отказавших во время испытаний образцов изделий.

В случае возникновения отказа испытуемого образца должны быть предприняты следующие действия:

а) отказ должен быть адекватным образом отражен в отчетности и исследован настолько глубоко, насколько это возможно в процессе испытаний. Если не удалось точно установить причину отказа, то выполнение действий, перечисленных ниже, оказывается возможным только частично;

б) отказ должен быть локализован, после чего должен быть проведен его анализ и начаты диагностические проверки изделия в целях обнаружения его причин;

в) должна быть проведена первоначальная оценка категории отказа. Его окончательная классификация должна быть отложена до получения отчета об анализе отказавшей составной части;

г) необходимо проверить наличие возможных вторичных отказов;

д) на основе выполненных действий на предыдущих шагах следует принять решение относительно необходимых объемов ремонта испытуемого образца, если таковой возможен;

е) провести ремонт отказавшего изделия, если в нем есть необходимость. Отказавшие, но невосстанавливаемые ремонтируемые и неремонтируемые изделия должны быть сохранены в том состоянии, в котором произошли их отказы, для последующего углубленного анализа;

ж) если план испытаний это допускает, то испытания отремонтированных образцов должны быть немедленно продолжены.

После проведения ремонта и до возобновления испытаний восстанавливаемых изделий допускается проверка их работоспособности в условиях ремонтного подразделения. Подробный план испытаний на безотказность должен при необходимости устанавливать перечень заменяемых при ремонтах составных частей и элементов восстанавливаемых образцов изделий, а также величины их наработок (число испытательных циклов), требующихся для проверки эффективности их восстановления. Эти наработки и возникающие при этом отказы должны фиксироваться, но не учитываться при обработке результатов испытаний, если иное не оговорено специально в плане испытаний на безотказность.

Если проведенная диагностика оказалась неверной и замена составной части или элемента изделия не устранила его отказ, то замененные части должны быть, по возможности, возвращены на место и продолжен процесс поиска отказа.

7 Сбор данных и классификация отказов

В зависимости от вида проведенных испытаний на безотказность в ходе их проведения фиксируют возникающие отказы либо подсчитывают число отказавших изделий после прекращения испытаний. В плане испытаний должны быть четко установлены продолжительность испытаний, требования к мониторингу технического состояния испытуемых образцов изделий и критерии их отказов (критерии предельных состояний). Соответствующие указания на этот счет содержатся в МЭК 60300-3-2 [4] и в последующих подразделах настоящего стандарта.

Данные, собираемые в процессе испытаний, должны содержать описания особенностей монтажа испытуемых образцов, которые способны повлиять на безотказность изделий. В отчете об испытаниях должны быть также приведены подробные описания условий и режимов работы изделий и условий окружающей среды во время испытаний.

7.1 Мониторинг технического состояния испытуемых образцов изделий

В плане испытаний должны быть четко установлены излагаемые ниже требования к мониторингу технического состояния испытуемых образцов изделий.

7.1.1 Мониторинг функциональных параметров

Должны быть установлены перечень и допустимые значения функциональных параметров испытуемых образцов изделий, контролируемых в процессе испытаний. Граничные значения этих параметров зачастую используют для установления критериев отказов (критериев предельных состояний) (см. 7.2).

Мониторинг должен охватывать все установленные параметры или только некоторые из них. Может оказаться полезным вести наблюдения за некоторыми дополнительными параметрами, тенденции изменения которых могут предупреждать о приближающихся отказах (критерии предельных состояний).

При испытаниях резервированных изделий может быть предусмотрен мониторинг технического состояния резервных составных частей.

7.1.2 Методы измерений

Для каждого наблюдаемого параметра должны быть установлены метод и требуемая точность измерения его значений. При необходимости должен быть установлен метод оценки суммарной ошибки измерений.

7.1.3 Периодичность наблюдений

Мониторинг ключевых параметров должен осуществляться, по возможности, непрерывно в целях выявления перемежающихся отказов изделий. Если непрерывный мониторинг по каким-то причинам невозможен, то в плане испытаний должны быть установлены периодичность проверок технического состояния образцов и их расположение внутри испытательных циклов.

Интервалы времени между проверками должны быть как можно менее продолжительными, во избежание существенных смещений результатов испытаний на безотказность. Предпочтительно, чтобы периодичность проверок не превышала длительности одного испытательного цикла.

7.2 Виды отказов

Для всех наблюдаемых при испытаниях параметров технического состояния изделий должны быть установлены предельно допустимые их значения. При этом считают, что отказ изделия наступил при устойчивом или перемежающемся выходе за указанные пределы хотя бы одного из этих параметров, включая выходные данные, в заданных условиях окружающей среды. Все отказы должны быть проанализированы и классифицированы в соответствии с подпунктами настоящего стандарта, приведенными ниже.

Зафиксированные отказы, обусловленные ошибками измерений, и отказы внешней измерительной аппаратуры относят к числу неучитываемых при обработке результатов испытаний.

Если произошел выход за пределы допусков более одного параметра, то каждое из подобных событий рассматривают как самостоятельный отказ испытуемого образца, если только все они не вызваны одной общей причиной. В этом случае все выявленные таким образом отказы учитывают как один отказ.

Если присутствуют две и более независимые причины отказа, то все обусловленные ими отказы рассматривают как один отказ испытуемого образца.

Каждый выявленный отказ испытуемого изделия должен быть отнесен к категории учитываемых или неучитываемых. Все отказы, которые не удалось четко отнести к категории неучитываемых согласно правилам, установленным в 7.2.1, или по дополнительным признакам, оговоренным в плане испытаний, должны быть отнесены к категории учитываемых. Это относится и к необнаруженным отказам, если иное не установлено в плане испытаний.

Все учитываемые отказы, выявленные в процессе или по завершении испытаний, должны приниматься в расчет при статистическом анализе их результатов и принятии решений.

7.2.1 Классификация неучитываемых отказов

Отказ испытуемого образца изделий может быть отнесен к категории неучитываемых только при условии, что обстоятельства его возникновения ясно доказывают, что он относится к числу одного из тех видов, что указаны в 7.2.1.1—7.2.1.3. Эти доказательства должны быть описаны и включены в отчет об испытаниях. Дополнительные виды неучитываемых отказов конкретных изделий должны быть установлены в плане их испытаний.

7.2.1.1 Вторичные отказы

Вторичные отказы всегда относят к неучитываемым, в то время как вызвавшие их первичные отказы подразделяют на учитываемые или неучитываемые в соответствии с ПиМ испытаний. Вторичные отказы могут возникать с некоторой задержкой по времени по отношению к моментам возникновения первичных отказов. Продолжительность такой задержки должна быть согласована с заказчиком и испытательной организацией.

7.2.1.2 Отказы, обусловленные нарушениями правил эксплуатации (эксплуатационные отказы)

Подобные отказы во время испытаний могут быть следствиями неправильного выбора условий испытаний, например превышением ВВФ и пределов нагрузок, установленных в технической документации, или недопустимого воздействия на испытуемые образцы, допущенного персоналом, монтирующим, испытывающим или ремонтирующим изделия. Эти отказы всегда относят к категории неучитываемых, если иное не согласовано заинтересованными сторонами.

Примечание — Если требованиями к изделию предусмотрено обеспечение его стойкости к неоговоренным воздействиям и ошибкам операторов, то это следует учитывать при согласовании.

7.2.1.3 Отказы, причиной которых являются недостатки в конструкции изделия (конструктивные отказы), устраненные доработками конструкции

Отказы, ранее наблюдавшиеся при испытаниях, могут повлечь за собой доработки конструкции или иные меры, внедренные после завершения испытаний на всех изделиях данной совокупности. Если существуют убедительные доказательства эффективности этих мероприятий, то по согласованию заинтересованных сторон результаты завершенных испытаний могут быть переоценены с отнесением указанных отказов к неучитываемым.

7.2.1.4 Отказы, причиной которых являются недостатки в изготовлении изделия (производственные отказы), устраненные доработками технологического процесса изготовления, совершенствованием методов производственного контроля

Отказы, ранее наблюдавшиеся при испытаниях, могут повлечь за собой доработки технологического процесса изготовления изделия, совершенствования методов производственного контроля или

иные меры, внедренные после завершения испытаний при изготовлении изделий данной совокупности. Если существуют убедительные доказательства эффективности этих мероприятий, то по согласованию заинтересованных сторон результаты завершенных испытаний могут быть переоценены с отнесением указанных отказов к неучитываемым.

7.2.1.5 Отказы, вне зависимости от причин их проявления, находящиеся за пределами значений показателей долговечности (срока службы, ресурса) и назначенных показателей (назначенного срока службы, назначенного ресурса), в пределах которых определяются показатели безотказности (деградационные отказы)

В случае если планом испытаний предусмотрено продолжение испытаний изделия после наработки им полного ресурса или принятия решения по результатам испытаний об уменьшении заданных планом и программой испытаний величин срока службы и ресурса (назначенных срока службы и ресурса), то все отказы, вне зависимости от причин их возникновения, находящиеся за пределами заданных или вновь установленных величин срока службы, ресурса (назначенных срока службы и ресурса), могут быть переоценены и отнесены к деградационным и неучитываемым.

Примечание — Должны быть установлены критерии отнесения отказов к категории неучитываемых.

7.2.2 Особые виды отказов

В плане испытаний на безотказность могут быть дополнительно установлены особые виды отказов, классифицируемых, например, по их влиянию на характеристики испытуемых изделий или по местоположению отказавших составных частей, являющихся резервными или не слишком важными частями изделий, или по стоимости и продолжительности последующего ремонта изделий.

7.2.2.1 Отказы, требующие немедленного забракования изделий (критические отказы)

В некоторых случаях при проведении контрольных испытаний на безотказность может оказаться целесообразным установить виды отказов изделий, при возникновении которых независимо от их числа следует принимать решение о немедленном забраковании изделий, не дожидаясь применения обычных критериев приемки или браковки. В таких случаях определение подобных отказов должно быть включено в план испытаний.

К числу таких отказов испытуемых образцов изделий могут быть отнесены, например, критические отказы, создающие угрозу безопасности обслуживающего персонала или других людей, безопасность которых зависит от исправного функционирования данных изделий, или с большой вероятностью способные повлечь за собой значительный материальный ущерб.

7.2.2.2 Повторяющиеся отказы

Повторяющиеся отказы могут сигнализировать о наличии конструктивных дефектов в изделии или указывать попадание в эксплуатацию изделий ненадлежащего качества. Появление повторяющихся отказов служит также важным свидетельством возможных износа, старения или развития иных процессов деградации, приводящих к росту интенсивности отказов.

При появлении повторяющихся отказов должно быть проведено специальное расследование их причин и пересмотрены первоначальные предположения относительно вида распределения наработок до отказа, на отказ (см. 8.4).

7.2.2.3 Отказы резервированных изделий

По согласованию между заказчиком и изготовителем отказы резервированных систем могут рассматриваться и учитываться отдельно от отказов, приводящих только к сокращению кратности резервирования. Такое разделение отказов по типам и последствиям для изделий должно быть учтено в плане испытаний. В ПиМ испытаний должно быть установлено, какие отказы изделия в целом и отказы его составных частей, сокращающие кратность резервирования, следует относить к категории учитываемых.

Примечание — В зависимости от текущего состояния изделия отказ одного и того же типа может привести к отказу изделия или только к сокращению кратности резервирования.

7.3 Анализ отказов

Каждый отказ, возникший в ходе испытаний, должен быть проанализирован, по крайней мере с той глубиной, которая позволит отнести его к категории учитываемых или неучитываемых.

Анализ отказов должен по возможности точно определить первичные причины их возникновения, а также иные факторы, внесшие свой вклад в их возникновение.

Цель углубленного анализа отказов состоит в обосновании последующих корректирующих действий, например изменений конструкции или производственных процессов изготовления изделий.

Для содействия проведению анализа в отчетной документации по результатам испытаний должна быть сохранена вся относящаяся к отказам информация, а замененные при устранении отказов составные части и детали должны быть собраны и направлены на физико-технический анализ.

Анализ отказов должен подтвердить, что виды отказов, наблюдавшихся во время испытаний, возможны в намеченных или ожидаемых условиях эксплуатации изделий, прошедших испытания. Это особенно важно в случаях проведения сравнительных и ускоренных испытаний, например при ступенчато возрастающих нагрузках.

Отказы тех видов, которые признаны нехарактерными для планируемых условий эксплуатации, могут быть по согласованию сторон переквалифицированы и отнесены к категории неучитываемых при данных испытаниях. Если в ходе анализа отказ изделия не обнаружен, то тем не менее данное событие должно быть засчитано как учитываемый отказ, если иное решение не согласовано между заинтересованными сторонами. Отказы программных средств и изделий, имеющих встроенные программные средства, могут потребовать применения специальных методов анализа.

7.4 Учитываемая наработка

Величины учитываемой наработки образцов при испытаниях совместно с количеством учитываемых отказов в дальнейшем используют для контроля соответствия безотказности изделий установленным требованиям или для оценки значений показателей их безотказности.

В зависимости от принятого плана испытаний должны учитываться индивидуальные наработки испытуемых образцов или суммарные накопленные наработки всей испытуемой выборки. Любые затраты времени и наработки образцов в ходе предварительных испытаний, их ТО и ремонтов, так же, как все простои изделий, не должны включаться в учитываемые наработки. При периодическом мониторинге технического состояния испытуемых образцов все выявленные отказы при очередной проверке относят к середине интервала между проверками.

В плане испытаний должны быть установлены минимальная и максимальная учитываемые наработки каждого испытуемого образца.

Для испытуемых образцов, состоящих из двух или большего числа отдельных блоков, учитываемая наработка должна принимать в расчет учитываемые наработки любого блока, входящего в его состав.

В плане испытаний должны быть определены способы учета наработок испытуемых образцов. Если при испытаниях требуется учитывать наработки каждого образца, рекомендуется снабдить все испытуемые образцы соответствующими приборами учета времени работы или счетчиками рабочих циклов. Показания этих приборов должны сниматься и записываться после каждого наблюдаемого отказа и завершения обслуживания. Когда учет наработки (составных частей сложного изделия) практически невозможен, допускается применять иные способы ее измерения. Например, наработки авиационного оборудования могут измеряться в часах налета самолета, на котором оно установлено, с использованием соответствующих коэффициентов пересчета или без них.

8 Анализ данных испытаний

Методы статистического анализа данных, полученных при испытаниях, зависят от способа их цензурирования. Этот способ должен быть установлен в плане испытаний, а методы обработки цензурированных данных — в методике испытаний (см. 4.4).

8.1 Невосстанавливаемые изделия

Испытания невосстанавливаемого (неремонтируемого) изделия прекращают после отказа. Момент наступления отказа каждого испытуемого образца должен быть зафиксирован в протоколе испытаний или в файле, в котором собирают данные испытаний.

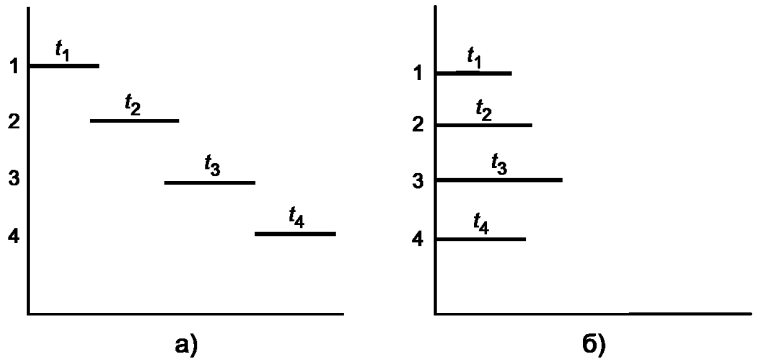
8.2 Восстанавливаемые изделия

Такие изделия подлежат восстановлению после отказа, после чего их испытания продолжают. Восстанавливаемое ремонтируемое изделие восстанавливают путем ремонта или замены его деталей. При этом любая частичная замена отказавшей составной части должна рассматриваться как ремонт всего изделия.

Восстанавливаемое неремонтируемое изделие восстанавливают путем замены его новым. Если допустимое число восстановлений изделий ограничено, то это должно быть специально оговорено в плане испытаний. Момент наступления отказов всех восстанавливаемых образцов во время испытаний фиксируют в протоколе испытаний или в файле, в котором собирают данные испытания, вместе с информацией о выполненном ремонте и замененных в его ходе деталях и модулях. Отказавшие замененные компоненты должны быть сохранены для последующего анализа.

8.3 Структура данных об отказах (цензурирование)

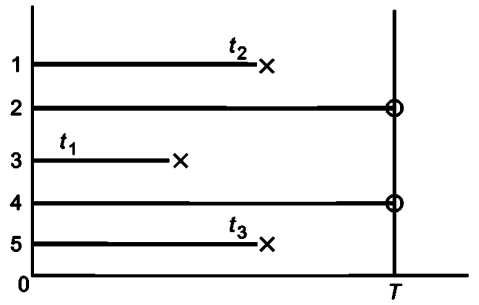
Способ определения наработки до отказа (на отказ) не зависит от того, ставят ли образцы изделий на испытания последовательно, один за другим [рисунок 4а)], одновременно [рисунок 4б)] или применяют смешанный способ постановки изделий на испытания. Данные испытаний считают полными, если зафиксированы наработки до отказа (на отказ) всех образцов, поставленных на испытания. Если известна только календарная продолжительность работы изделий до отказов как, например, в случае наблюдений за реальной эксплуатацией, то для расчета их наработок должны быть известны коэффициенты их технического использования.



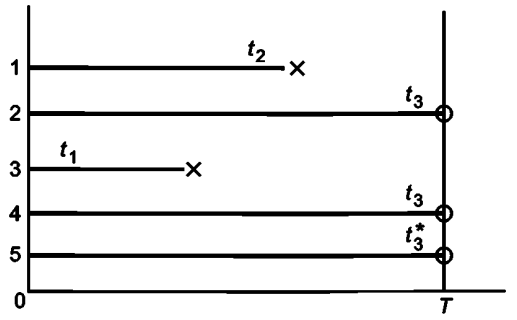
t — наработка до отказа

Рисунок 4 — Пример наработок до отказа

Если часть изделий не успела отказать к моменту завершения испытаний, то данные, полученные в результате таких испытаний, принято называть цензурированными. Если испытания прерывают через заданное время T и часть испытуемых образцов до этого момента не отказала, то цензурированные данные таких испытаний имеют вид, показанный на рисунке 5а). Если же испытания заканчивают после наблюдения заданного числа отказов, то цензурированные данные имеют вид, показанный на рисунке 5б).



а) — Случай ограниченного времени испытаний



б) — Случай испытаний с ограниченным числом отказов

Рисунок 5 — Пример цензурирования данных

Оба эти случая представляют собой примеры, т. н. однократного цензурирования. Возможно также многократное цензурирование, когда образцы изделий ставят на испытания и снимают с испытаний для анализа в произвольные моменты времени независимо друг от друга. При этом часть изделий остается работоспособной и продолжает испытываться. Пример многократного цензурирования эксплуатационных наблюдений показан на рисунке 6.

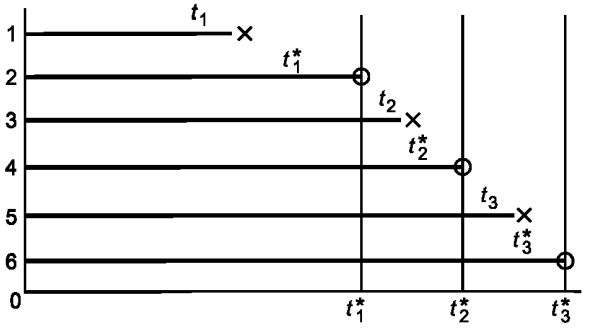


Рисунок 6 — Пример многократного цензурирования данных

Не отказавшие изделия, снятые с испытаний по иным причинам, принято называть приостановленными.

Восстанавливаемым ремонтируемым в процессе испытаний называют изделие, способность которого выполнять назначенные функции восстанавливают любым способом, кроме замены всего изделия целиком. Поскольку такие изделия во время испытаний могут отказывать более одного раза, то фиксируют их наработки между отказами.

На рисунке 7 приведен пример наработок между отказами и времени восстановления, фиксируемых при испытаниях восстанавливаемого ремонтируемого изделия.

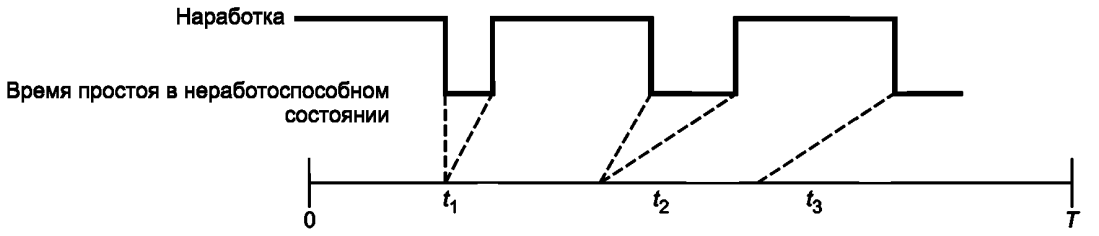


Рисунок 7 — Пример наработок между отказами одного восстанавливаемого ремонтируемого при испытаниях изделия

Когда в конце испытаний подсчитывают количество отказавших и не отказавших изделий, то оценкой вероятности безотказной работы служит отношение количества работоспособных изделий к общему количеству изделий, поставленных на испытания.

Вид данных, собранных в процессе испытаний, определяет выбор метода их анализа. Это означает, что необходимо учитывать, изделия какого типа предстоит испытать (т. е. восстанавливаемые, в том числе ремонтируемые или неремонтируемые, или невосстанавливаемые), какой вид испытаний будет проведен и будут ли введены ограничения продолжительности испытаний по суммарной наработке или числу отказов.

8.4 Модели отказов

8.4.1 Статистическая природа

Большинство величин, наблюдаемых в связи с оценкой надежности, представляют собой случайные переменные. Это означает, что любой отказ представляет собой непредсказуемое событие, но вероятность его возникновения на заданном интервале времени может быть оценена. Истинное значение этой вероятности может быть неизвестным, но ее можно оценить на основе наблюдений.

Типовыми примерами случайных переменных, связанных с надежностью, являются наработки до отказа и на отказ, число отказов за заданный промежуток времени, число отказавших изделий или число неудачных попыток.

Для более эффективного использования результатов наблюдений, полученные данные обычно описывают с помощью некоторой модели, являющейся идеализированным представлением реальной действительности. Примеры ряда простых подобных моделей приведены в последующих пунктах настоящего стандарта.

8.4.2 Интенсивность отказов

В принципе, понятие интенсивности отказов применимо как к невосстанавливаемым, так и восстанавливаемым ремонтируемым изделиям и означает число отказов в единицу времени в расчете на одно наблюдаемое изделие. На практике этот показатель применяют преимущественно к неремонтируемым изделиям, таким как компоненты и детали. Интенсивность отказов связана с распределением наработок изделий до отказа.

Интенсивность отказов оценивают как отношение числа отказов некоторой совокупности наблюдаемых изделий к суммарной их наработке за заданный промежуток времени. Интенсивность отказов невозможно оценить для одного образца изделий, но только для их совокупности.

Примечание — Важно различать понятия интенсивности отказов и параметра потока отказов, особенно в случаях непостоянства значений этих показателей.

При экспоненциальном распределении наработок до отказа интенсивность отказов является постоянной. При наличии определенного тренда в изменениях интенсивности отказов с наработкой изделий (ее возрастание или убывание) распределение наработок до отказа может быть описано распределением Вейбулла.

8.4.3 Параметр потока отказов

Параметр потока отказов относится исключительно к восстанавливаемым ремонтируемым изделиям, например системам. Это означает, что этот показатель может быть оценен для одного образца изделий на основе наблюдений за его наработками между последовательными отказами посредством деления общего числа его отказов за некоторый период наблюдений (например, за календарный год) на его суммарную наработку за этот период. В этом случае отказы каждого изделия возникают последовательно, образуя стохастический поток.

Если наработки изделия на отказ распределены экспоненциально, то параметр такого потока отказа является постоянным. В этом случае число отказов в единицу времени может быть описано с помощью однородного пуассоновского процесса.

Во многих случаях непостоянства параметра потока отказов тренд его изменения может быть описан с использованием степенных зависимостей.

Примечание — При наличии определенного тренда в оценках параметра потока отказов такой поток отказов может быть описан с помощью неоднородного пуассоновского процесса.

На рисунке 8 приведен график зависимости накопленного числа отказов восстанавливаемого изделия от суммарной его наработки. Наработки между следующими друг за другом отказами увеличиваются с ростом суммарной наработки, что означает снижение параметра потока отказов этого изделия. Тангенс угла наклона прямой, соединяющей начало координат с любой точкой кривой, показанной на рисунке 8, соответствует среднему значению параметра потока отказов на данном интервале наработок, а тангенс угла наклона касательной в любой точке кривой — мгновенному значению параметра потока отказов.

Аналогичная кривая зависимости накопленного числа отказов от суммарной наработки изделия показана на рисунке 9, но в этом случае не обнаруживается никаких тенденций к изменению наработок между смежными отказами, т. е. параметр потока отказов данного изделия является постоянным.

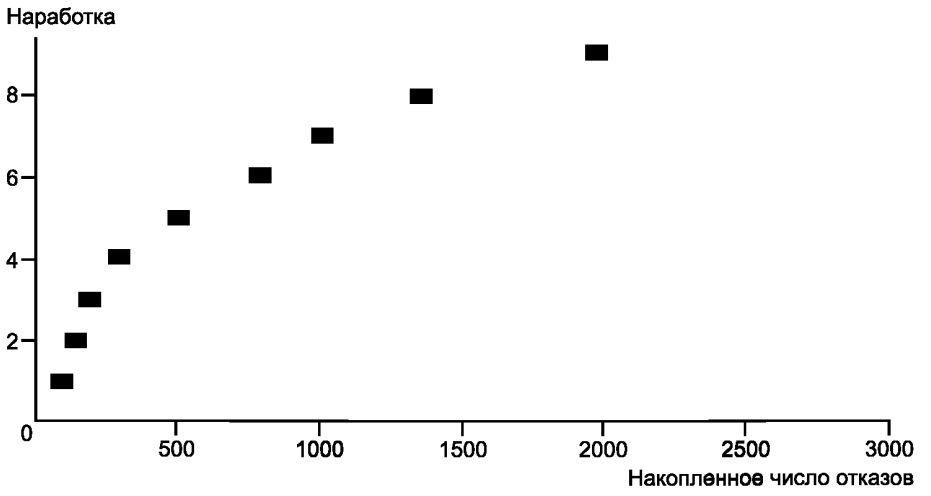


Рисунок 8 — Пример тенденции к росту наработок на отказ одного восстанавливаемого изделия (тренда к снижению параметра потока отказов)

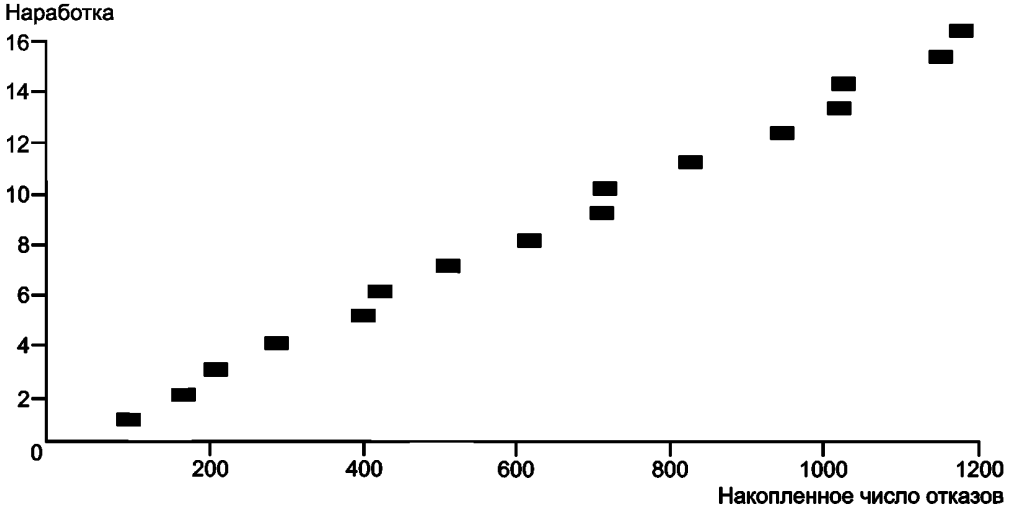


Рисунок 9 — Пример зависимости накопленного числа отказов от суммарной наработки одного восстанавливаемого изделия с постоянным параметром потока отказов

8.4.4 Заключительные замечания

Наблюдаемые наработки до отказа неремонтируемых изделий моделируются их распределениями. Наработки до первого отказа ремонтируемых изделий также могут моделироваться их распределениями, но данные о наработках между последующими отказами ремонтируемых изделий моделируют с использованием случайных потоков.

В таблице 4 приведена сводка сведений, изложенных в предыдущих подразделах.

Таблица 4 — Обзор моделей, применяемых для анализа данных об отказах изделий

Виды изделий	Показатели безотказности	Интенсивность/ параметр потока отказов	Данные	Модель	Примечания
Неремонтируемые	Интенсивность отказов (для группы изделий). Вероятность безотказной работы (для одного изделия)	Постоянная	Наработки до отказа, число отказов	Экспоненциальное распределение наработок до отказа	
		Непостоянная	Наработки до отказа, число отказов	Распределение Вейбулла наработок до отказа	
Ремонтируемые	Параметр потока отказов	Постоянный	Наработки между отказами, на отказ, число отказов	Случайный поток с экспоненциальным распределением наработок между отказами, на отказ	Число отказов на интервале времени описывается однородным пуассоновским потоком
		Непостоянный	Наработки между отказами, на отказ, число отказов	Случайный поток, изменения наработок между отказами, на отказ описываются степенной зависимостью	Число отказов на интервале времени описывается неоднородным пуассоновским потоком

9 Статистические методы и методики анализа данных

9.1 Описание статистических методов

Статистические методы, используемые в настоящем стандарте, подразделяются на следующие четыре основных вида:

- методы проверки гипотез о виде закона распределения;
- методы определения точечных и интервальных оценок показателей безотказности;
- методы статистического контроля показателей безотказности;
- методы сравнения изделий по безотказности.

Таблицы 5—8 содержат краткие описания стандартизованных методов, применяемых для оценки, контроля и сравнения показателей безотказности изделий.

Таблица 5 — Методы проверки гипотез о виде закона распределения

Модель	Стандарт	Требования к данным	Результат
Постоянная интенсивность отказов	МЭК [5]	Численный метод, требующий не менее 10 наблюдений наработок до отказа	Принятие или отклонение гипотезы
	МЭК 60605-4 [6] ГОСТ Р МЭК 60605-6	Графический метод, требующий наличия не менее четырех наблюдений наработок до отказа. Данные должны быть полными или однократно цензурированными	
Постоянный параметр потока отказов	ГОСТ Р МЭК 60605-6	Численный метод, требующий не менее 6 наблюдений наработок между отказами, на отказ ремонтируемого изделия, наблюдаемого в течение достаточно продолжительного времени	Принятие или отклонение гипотезы
Распределение Вейбулла наработок до отказа	МЭК 61649 [7] МЭК 60605-4 [6]	Требуется не менее 10 наблюдений наработок до отказа неремонтируемого изделия. Данные должны быть полными или однократно цензурированными. Графический метод, требующий не менее четырех наблюдений наработок до отказа	Принятие или отклонение гипотезы

Окончание таблицы 5

Модель	Стандарт	Требования к данным	Результат
Степенная модель	МЭК 61164 [8] МЭК 61710 [9]	Данные испытаний ремонтируемых восстанавливаемых изделий с ограничениями по числу отказов или суммарной наработке Наблюдения должны содержать данные о накопленной при испытаниях наработке или о числе отказов, сгруппированных по интервалам наработок при испытаниях	Принятие или отклонение гипотезы

Таблица 6 — Методы определения точечных и интервальных оценок показателей безотказности

Модель	Стандарт	Требования к данным	Результат
Экспоненциальное распределение	[6]	Требуется знать количество учитываемых отказов и величину накопленной учитываемой наработки испытанных образцов	Точечные и интервальные оценки интенсивности отказов и средней наработки до отказа, параметра потока отказов
Распределение Вейбулла	[7]	Численный метод, требующий знания наработок до отказа невосстанавливаемых изделий	Точечные и интервальные оценки параметров масштаба и формы распределения, нижние доверительные границы для вероятности безотказной работы
	[6]	Графический метод, требующий наблюдений за наработками изделий до отказа	Параметры масштаба и формы, параметр сдвига
Степенная модель	[8] [9]	Сгруппированные или одиночные данные о наработках между отказами, на отказ	Точечные оценки параметра потока отказа, параметров масштаба и формы распределения наработок между отказами, на отказ, точечные и интервальные оценки средней наработки между отказами, на отказ (MTBF), интервальные оценки параметра формы распределения наработок между отказами, на отказ
Биномиальная модель	[6] ИСО 11453 [10]	Число отказов (неудач) и общее число испытанных образцов (попыток)	Доверительные границы для вероятности безотказной работы (вероятности успеха)

Таблица 7 — Методы контроля показателей надежности

Модель	Стандарт	Требования к данным	Результат
Контроль вероятности безотказной работы	МЭК 61123 [11]	Знание заданной вероятности безотказной работы (успеха) и приемочного количества отказов (неудачных попыток)	Соответствие или несоответствие установленным требованиям
Постоянные интенсивность отказов или параметр потока отказов	МЭК 61124 [12]	Наблюдаемое число учитываемых отказов и накопленная учитываемая наработка (продолжительность испытаний)	Соответствие или несоответствие установленным требованиям
Установившийся коэффициент готовности	МЭК 61070 [13]	Знание времени пребывания в работоспособном состоянии и простоя одного ремонтируемого изделия. Все время пребывания в работоспособном состоянии должно иметь экспоненциальное распределение. Время предупредительных ТО и ремонтов при определении времени простоя не учитываются	Соответствие или несоответствие установленным требованиям

Таблица 8 — Методы сравнительных испытаний

Модель	Стандарт	Требования к данным	Результат
Постоянная интенсивность отказов	ГОСТ Р МЭК 61650	Суммарные наработки до отказа и количества отказов сравниваемых изделий	Принятие или отклонение гипотезы при сравнительном уровне безотказности
Постоянный параметр потока отказов	ГОСТ Р МЭК 61650	Накопленные продолжительности испытаний сравниваемых изделий, пересчитанные в суммарные учитываемые наработки, и количества учитываемых отказов	Принятие или отклонение гипотезы при сравнительном уровне безотказности

9.2 Взаимосвязи между статистическими методами

На рисунке 10 приведен алгоритм анализа безотказности ремонтируемых или неремонтируемых изделий с постоянным параметром потока отказов. На приведенной схеме показаны все четыре вида статистических методов, перечисленных в 9.1, и выявлены связи между этими методами и видами законов распределения наработок до отказа. Отталкиваясь от предполагаемого или подтвержденного вида распределения данных испытаний, приведенная схема указывает доступные в настоящее время стандартные методы оценки, контроля и сравнения показателей безотказности и проверки гипотез о виде распределений наработок до отказа.

			Распределение				
Предполагаемое биномиальное	Предполагаемое экспоненциальное		Проверенное экспоненциальное		Проверенное Вейбулла		Предполагаемое Вейбулла
		Гипотеза принята	Проверка гипотезы об экспоненциальном распределении	Гипотеза отклонена		Проверка гипотезы о распределении Вейбулла	Гипотеза принята
						Гипотеза отклонена	
						Стандарт МЭК отсутствует	
Контроль ВБР	Оценка		Контроль	Сравнение			Оценка

Рисунок 10 — Стандартизованные методы анализа, доступные для неремонтируемых изделий

На рисунке 11 приведен аналогичный алгоритм анализа безотказности ремонтируемых изделий исходя из модели потока отказов. Пользователь должен обратиться к схеме на рисунке 10, если предполагает постоянство потока отказов анализируемых изделий. Точно так же он должен перейти к алгоритму, показанному на рисунке 10, если не будет отвергнута гипотеза о постоянстве параметра потока отказов после ее проверки. Оба рисунка указывают на наличие статистических методов всех четырех видов только для случаев постоянства интенсивностей или параметров потока отказов. Отсутствуют также стандартизованные методы контроля и сравнения показателей безотказности в случае, когда наработки до отказа имеют распределение Вейбулла.

			Процесс			
Предполагаемое постоянство параметра потока отказов	Проверенное постоянство параметра потока отказов			Подтвержденная степенная зависимость		Предполагаемая степенная зависимость
Подтверждено	Проверка постоянства	Не подтверждено		Проверка справедливости степенной зависимости	Подтверждена	
См. рисунок 10				Не подтверждена		
				Стандартизованный метод отсутствует		
Оценка	Контроль	Сравнение				Оценка, демонстрация

Рисунок 11 — Стандартизованные методы анализа, доступные для ремонтируемых изделий

9.3 Методика анализа

Приведенные на рисунках 12—14 схемы содержат указания в отношении того, какие статистические методы пригодны для оценки, контроля и сравнения показателей безотказности.

				Оценка				
		Биромиальные определительные испытания	Да	Дискретные наблюдения?				
				Нет				
			Нет	Изделия восстанавливаемые?	Да			
Предполагаемое распределение экспоненциальное?	Да	Оценка параметра экспоненциального распределения			Да	Предположительно параметр потока отказов постоянен?		
Нет		Гипотеза подтверждена				Нет		
Да	Нет	Проверка гипотезы об экспоненциальном распределении		Гипотеза подтверждена		Проверка гипотезы о постоянстве параметра потока отказов		
Да		Гипотеза отвергнута				Гипотеза отвергнута		
						Предполагаемая степенная зависимость	Нет	Проверка гипотезы о степенной зависимости
Предполагаемое распределение Вейбулла	Нет	Проверка гипотезы о распределении Вейбулла	Гипотеза отвергнута					
		Гипотеза принята	Нет стандартизованного метода оценки					
Оценка параметров распределения Вейбулла и показателей безотказности						Оценка показателей при степенной модели	Стандартизованный метод отсутствует	

Рисунок 12 — Доступные стандартизованные методы оценки безотказности

Для оценки безотказности невосстанавливаемых изделий в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 12, существуют стандартизованные статистические методы, приведенные в таблице 9.

Таблица 9

Методы	Стандарт
Критерии проверки гипотезы о постоянстве интенсивности и параметра потока отказов	ГОСТ Р МЭК 60605-6
Точечные оценки и доверительные интервалы показателей безотказности в случае экспоненциального распределения наработок до отказа	[6]
Критерии проверки гипотезы о распределении Вейбулла наработок до отказа	[7]
Точечные и интервальные оценки показателей безотказности в случае распределения Вейбулла наработок до отказа	[7]
Точечные оценки и доверительные границы показателей безотказности для биномиального плана испытаний	[10]

Для оценки безотказности ремонтируемых изделий следует применять стандартизованные статистические методы, приведенные в таблице 10.

Таблица 10

Метод	Стандарт
Проверка гипотезы о постоянстве параметра потока отказов	ГОСТ Р МЭК 60605-6
Оценка параметров степенной модели	[8]

В случае, когда доступные данные содержат только число отказавших изделий из известного общего числа испытанных или число удачных из общего числа попыток выполнения поставленной задачи, то наиболее подходящим является биномиальное распределение. Подробные указания по оценке показателей безотказности для этого случая содержатся в [10].

				КОНТРОЛЬ		
	Да	Изделия ремонтируемые	Да	Распределение непрерывное?	Нет	
		Нет				
	Предполагаемое постоянство параметра потока отказов?		Предполагаемое постоянство интенсивности отказов?	Нет		Контроль вероятности успеха
	Да		Да			
Проверка постоянства параметра потока отказов	Подтверждено			Проверка постоянства интенсивности отказов		
Не подтверждена				Не подтверждено		
Стандартизованный метод контроля отсутствует		Имеется стандартизованный метод контроля		Стандартизованный метод контроля отсутствует		

Рисунок 13 — Доступные стандартизованные методы контроля безотказности

Стандартизованные статистические методы контроля безотказности в соответствии со схемой, приведенной на рисунке13, включают в себя перечисленные в таблицах 11 и 12.

Таблица 11

Метод	Стандарт
Проверка гипотез о постоянстве интенсивности и параметра потока отказов	ГОСТ Р МЭК 60605-6
Планы контроля при постоянных интенсивности и параметре потока отказов	[12]
Методики составления и применения планов контрольных испытаний для вероятности безотказной работы или вероятности отказа	[11]

				СРАВНЕНИЕ				
			Да	Изделия ремонтируемые	Нет			
			Предполагается постоянство параметра потока отказов		Предполагается постоянство интенсивности отказов?			
	Постоянство потока отказов подтверждено?		Да		Да		Постоянство интенсивности отказов подтверждено?	
	Да						Нет	
	Стандартизованный метод сравнения отсутствует			Имеется стандартизованный метод сравнения			Стандартизованный метод сравнения отсутствует	

Рисунок 14 — Доступные методы сравнения значений интенсивностей отказов и параметра потока отказов

Таблица 12

Метод	Стандарт
Проверка гипотез о постоянстве интенсивности и параметра потока отказов	ГОСТ Р МЭК 60605-6
Сравнение двух оценок постоянных интенсивностей отказов и двух оценок постоянных параметров потоков отказов	ГОСТ Р МЭК 61650

9.4 Выводы и возможные действия по результатам испытаний

9.4.1 Приемка

Если в процессе испытаний не выявлено отказов, требующих принятия немедленного решения о забраковании изделий, и не наблюдалось повторяющихся отказов (см. 7.2.2.1 и 7.2.2.2), а результаты испытаний соответствуют статистическим критериям приемки, то изделия должны быть приняты без всяких последующих действий.

9.4.2 Условная приемка

Условная приемка должна быть результатом переговоров между изготовителем и заказчиком.

9.4.3 Браковка

Если не выполнены условия приемки, установленные в 9.4.1, или не согласована условная приемка в соответствии с 9.4.2, то изделия должны быть забракованы.

10 Отчетность

Отчет об испытаниях должен содержать информацию, достаточную для того, чтобы она служила прочной основой для принятия окончательных решений или для оценок показателей безотказности. Отчет должен включать в себя документы, перечисленные в последующих подразделах. Каждый из этих документов должен включать описания испытуемых изделий и детальные требования к их испытаниям на безотказность.

Отчет об испытаниях должен содержать историю каждого испытуемого образца с указанием нагрузок и внешних воздействий, которым он мог подвергаться в прошлом до начала испытаний и которые могли стать причинами отказов определенного вида.

10.1 Журнал испытаний и отчетные данные

На каждый испытуемый образец должен быть заведен отдельный журнал или файл. Все данные должны записываться в хронологическом порядке по мере возникновения отказов (см. 10.4). Если по соображениям целесообразности заведен один журнал или общий файл с записями, относящимися к партии испытуемых образцов, то должна быть обеспечена прослеживаемость данных, относящихся к каждому из них.

Для предоставления наиболее полной информации следует наряду с данными об отказах собирать также сведения о не отказавших при испытаниях образцах.

Детализированные данные, собираемые в процессе испытаний, должны включать в себя все учитываемые и доступные для записи сведения, включая:

а) идентификационные данные об испытуемых изделиях:
- наименование;
- наименование изготовителя;
- тип изделия;
- серийные номера испытуемых образцов и их прочие идентификационные признаки;

б) все наблюдения и предпринятые действия в хронологическом порядке. Каждое наблюдение должно включать в себя:
- дату и время;
- условия работы изделия;
- условия окружающей среды;
- значения контролируемых технических параметров изделия;
- замечания относительно условий испытаний, не соответствующих установленным в ПиМ;
- текущее показание счетчика наработки (времени испытаний);
- фамилии участников испытаний;

в) замечания общего характера.

10.2 Отчетность об условиях испытаний и наблюдениях

Отчет об испытаниях совместно с итоговым отчетом об анализе отказов должен содержать всю первичную информацию, необходимую для исчерпывающего анализа данных, служащего основой для принятия решений по результатам испытаний. Отчетность должна вестись на протяжении всех испытаний. При этом предпочтительной является непрерывная отчетность.

Должны фиксироваться любые события, представляющиеся значимыми персоналу, проводящему испытания. Состав и полнота фиксируемых данных должны быть установлены в плане испытаний. Формы для записи данных должны допускать непосредственное ведение в них записей персоналом, проводящим испытания.

Протокол испытаний каждого образца должен содержать следующие записи:

а) дату и время возникновения отказа или иного значимого события и проведения любого действия с указанием учитываемой наработки образца;

б) детальное описание анализа отказов и всю информацию, имеющую значение для классификации наблюдаемых отказов, включая ссылки на соответствующие сообщения об отказах;

в) описание любых событий или действий с испытуемым образцом, включая работы по предупредительному техническому обслуживанию, предусмотренные планом испытаний;

г) идентификационные данные всех замененных или установленных на место составных частей и элементов;

д) характеристики условий работы испытуемого образца и окружающей среды;

е) время, потраченное на проверку эффективности всех корректирующих действий;

ж) фамилии персонала, проводившего испытания, и операторов.

10.3 Сообщения об отказах

Сообщение должно составляться о каждом отказе, наблюдавшемся при испытаниях, и содержать описание отказа, результаты его анализа и предпринятых действий с отказавшим образцом изделий. Специалист, отвечающий за проведение испытаний, обязан отслеживать все сообщения об отказах, обращая особое внимание на те из них, в которых присутствует запись о том, что в конечном итоге отказ не обнаружен.

Сообщение об отказе должно содержать все сведения из числа перечисленных в последующих пунктах настоящего стандарта, если они имеют смысл для конкретных изделий.

10.3.1 Информация, предоставленная оператором

а) Идентификационные данные об отказе:

- дата и календарное время возникновения;
- серийный номер или версия испытуемого образца;
- сборочные единицы и элементы, имеющие отношение к отказу;
- условия и режим работы образца в момент отказа;
- условия окружающей среды в момент отказа;
- наработка образца на момент отказа;
- фамилия оператора;

б) внешние проявления и (или) симптомы отказа:

- природа частичного или полного отказа;
- значения технических параметров изделия, вышедшие за пределы допусков;
- наличие критериев предельного состояния, предшествующих возникновению отказа;
- приборы и оборудование, использованные для обнаружения отказа;
- возможные действия, предпринятые для выявления факта возникновения отказа и его масштабов;

в) ссылки на взаимосвязанные сообщения об отказах;

г) мнение оператора об отнесении отказа к определенной категории;

д) рекомендуемые корректирующие действия по устранению отказа;

е) предложения о необходимости снятия отказавшего образца с испытаний или о его переводе в нерабочее состояние;

ж) общие замечания.

10.3.2 Информация, предоставляемая ремонтниками

а) Подтверждение наличия отказа:

- методы и средства, использованные для проверки наличия отказа (изученные внешние проявления и симптомы);
- наблюдения и замечания;

б) описание проведенного ремонта:

- перечень выполненных работ;
- дата, сроки и продолжительность ремонта;
- название ремонтной организации и фамилии ремонтников;
- в случае необнаружения причины отказа — перечень выполненных действий по поиску причины отказа;

в) идентификация замен. Для каждого замененного изделия или его составной части должны быть указаны:

- расположение или место на схеме;
- название;
- обозначение типа, номер партии и характеристики;
- наименование изготовителя;
- указание местоположения замененных частей и деталей;
- перечень составных частей и деталей, замена которых не привела к устранению отказа изделия;
- отчет об анализе отказа, проведенном в процессе и после завершения ремонта с указанием, при возможности, предполагаемых причин отказов;
- предложения по физико-техническому анализу замененных изделий или деталей;

г) мнения ремонтников относительно причин отказа и его классификации. Системный отказ может иметь более одной причины, например произойти в результате дефектов аппаратных и программных средств в сочетании с ошибками оператора;

д) рекомендуемые корректирующие действия или модификации, нацеленные на предупреждение аналогичных повторных отказов;

е) общие замечания.

10.3.3 Информация, предоставленная персоналом, проводившим анализ отказа

а) Анализ замененных изделий или деталей:
- результаты визуального осмотра и первоначальных измерений;
- результаты углубленного анализа (физического, химического и т. д.);
- дата проведения анализа;
- название организации, проводившей анализ, и фамилии исполнителей;

б) анализ условий, способствовавших возникновению отказа;

в) выявленная причина отказа и его классификация;

г) рекомендуемые корректирующие действия;

д) общие замечания.

10.4 Сводное сообщение об отказах

Единый документ или общий файл должен содержать обобщенную информацию обо всех отказах. Данные об отказах и соответствующих им наработках испытанных образцов должны быть прослеживаемыми для их отражения в журнале испытаний и в отчете об отказах.

Содержание сводного сообщения должно включать, по возможности, следующие разделы, имеющие отношение к рассматриваемым изделиям:

а) общие сведения:
- идентификационные данные испытанных изделий;
- ссылки на подробный план испытаний;

б) сводка учитываемых отказов в хронологической последовательности, содержащая:
- дату и время возникновения каждого отказа;
- отнесение каждого отказа к определенному виду в соответствии с введенной классификацией;
- ссылки на соответствующие сообщения об отказах;
- серийные номера испытанных изделий;
- накопленное число учитываемых отказов;
- накопленные учитываемые наработки испытуемых образцов;

в) сводка всех неучитываемых отказов, содержащая:
- их классификацию;
- ссылки на соответствующие сообщения об отказах;

г) информация о продолжительности простоев и восстановлений.

10.5 Ведомость замененных изделий и израсходованных запасных частей (необязательный документ)

Ведомость должна содержать сведения о параметрах потоков отказов, частоте замен изделий и связанном с ними расходе запасных частей, предназначенных для планирования ТО и ремонта изделий и их логистической поддержки.

Ведомость должна содержать:

а) информацию общего характера:
- идентификационные данные изделий;
- ссылки на подробный план испытаний;

б) инвентарный список замененных изделий и израсходованных запасных частей, в котором для каждого изделия и запасной части должны быть указаны:
- идентификационные данные;
- условия применения во время испытаний;
- общее количество в испытуемых изделиях;
- общее число отказавших изделий;
- суммарная накопленная учитываемая наработка во время испытаний.

10.6 Итоговый отчет

Итоговый отчет по результатам контрольных или определительных испытаний на безотказность должен содержать:
- сводное сообщение об отказах (см. 10.4);
- графики и численные результаты статистической обработки данных испытаний;
- окончательные выводы и предлагаемые мероприятия по результатам испытаний.

Приложение А
(справочное)

Проверка и отсеивание данных

А.1 Введение

Существует ряд общих требований, относящихся ко всем видам испытаний, на которые распространяется настоящий стандарт. Эти требования в основном касаются разработки ПиМ испытаний и контроля за их проведением.

Внимание специалиста, ответственного за испытания, до начала любых испытаний должно быть сосредоточено на ряде моментов, включая, в частности:

- цель испытаний;
- имеющееся испытательное оборудование;
- разработку программы и методики испытаний;
- постановку изделий на испытания;
- контроль за проведением испытаний;
- сбор данных в ходе испытаний.

Тщательное предварительное планирование испытаний повышает вероятность того, что полученные в ходе их проведения данные можно будет проанализировать с использованием стандартных статистических методов, на которые имеются ссылки в настоящем стандарте.

Перед применением любого из этих методов собранные данные должны быть проверены и должным образом очищены.

Особое внимание при этом должно быть обращено на любые необычные отклонения, наличие которых позволяет полагать, что собранные данные представляют собой смесь данных, относящихся к разным генеральным совокупностям. Анализ данных в целях выявления подобных отклонений может проводиться с использованием простых графиков, характеризующих зависимость числа отказов от наработки, столбиковых и круговых диаграмм, таблиц, а также более сложных статистических методов, например дисперсионного анализа, позволяющего получать более формализованные указания на наличие статистически значимых различий в собранных данных. Необычный характер данных может также указывать на проблемы, связанные с испытательным оборудованием или сбором данных, а также на наличие в выборке данных, относящихся к отказам разных видов.

Поэтому специалист, обрабатывающий данные испытаний, до того как приступить к статистическому анализу собранных данных, должен, по возможности, провести исследование отказавших изделий в целях выявления видов или механизмов их отказов. Объединение в одной выборке данных, относящихся к отказам разных видов, может привести к ошибкам в их обработке. В лучшем случае удастся получить лишь усредненные оценки по всем видам отказов, причем следует иметь в виду, что состав отказов разных видов может меняться в зависимости от условий испытаний, например в результате действия закона Аррениуса.

А.2 Классификация отказов

На рисунке А.1 приведена столбиковая диаграмма, показывающая распределение числа наблюдаемых отказов некоторого изделия по видам. Классификация отказов по видам позволяет лучше понимать, в каких областях находятся реальные проблемы, требующие решения. Поэтому статистическое моделирование должно проводиться раздельно по данным каждой категории. Фактически приведенная диаграмма представляет собой частный случай диаграммы Парето, указывая на то, что большая часть отказов обусловлена малым числом причин.

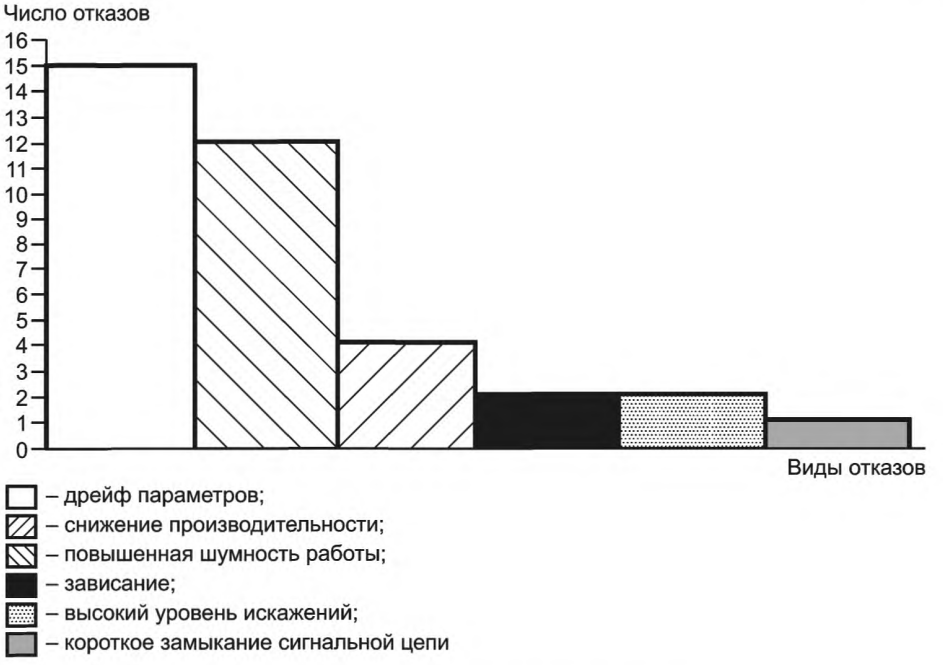


Рисунок А.1 — Пример диаграммы Парето

А.3 Классификация неисправностей

На рисунке А.2 показана круговая диаграмма, дающая распределение неисправностей восстанавливаемого изделия по видам, причем их классификация проведена таким образом, чтобы повторного появления таких неисправностей в будущем можно было избежать за счет изменений конструкции изделий, производственных процессов, смены поставщиков комплектующих изделий и иными способами. Такая классификация особенно полезна на стадии разработки изделий, когда число неисправностей, обусловленных недостатками конструкции, дефектами комплектующих и внешними причинами, постепенно снижается со временем за счет отработки конструкции, отладки и проверки технологических процессов. Такая классификация неисправностей особенно важна в случае реализации программ повышения надежности.

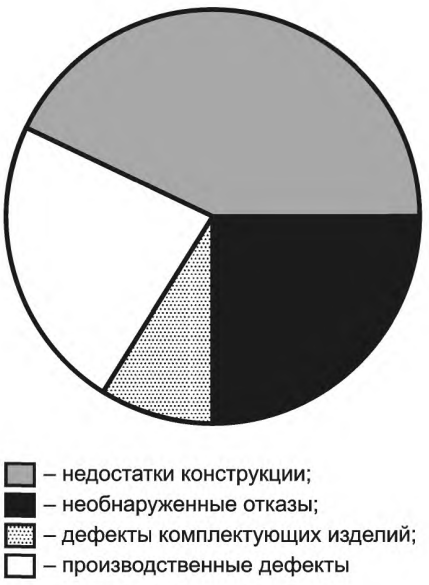


Рисунок А.2 — Пример классификации неисправностей

А.4 Набор данных об отказах разных видов

На графике, приведенном на рисунке А.3, показаны значения наработок до отказа изделий определенного вида. Можно заметить, что на графике четко видны три набора данных. Если речь идет об электронном оборудовании, то первый из этих наборов относится к так называемым ранним отказам, обусловленным, например, конструктивными дефектами, неправильным выбором комплектующих изделий, производственными проблемами, непропайкой соединений, механическими повреждениями и т. п. Средний набор данных, скорее всего, связан со случайными отказами или, возможно, с негерметичностью корпусов. Третья группа данных связана с действием различных механизмов старения и износа, например с усталостными разрушениями паяных соединений. Подобный анализ данных должен быть проведен до того, как приступать к статистической обработке данных в целях контроля, оценки или сравнения показателей безотказности

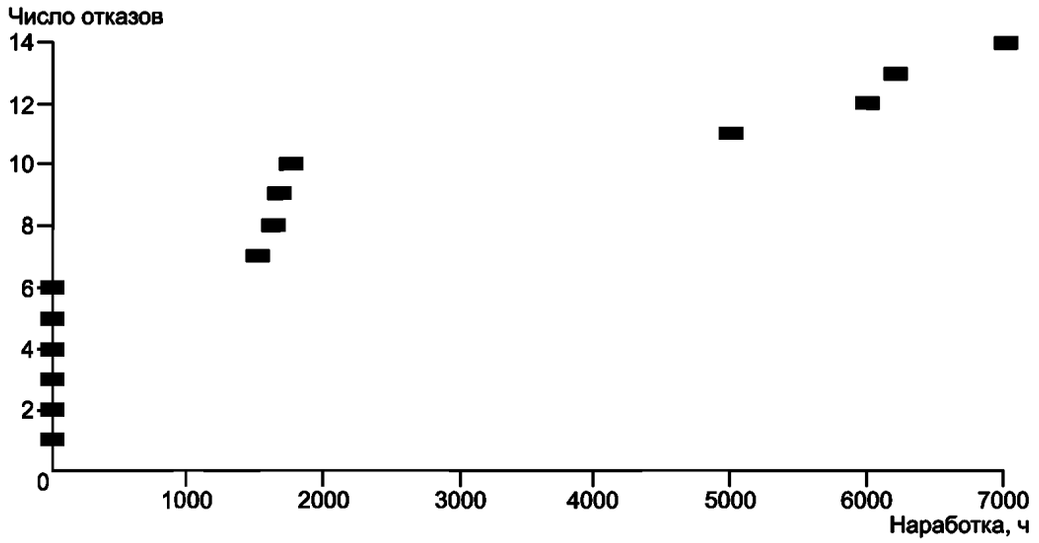


Рисунок А.3 — Пример набора разнородных данных, относящихся к отказам разного вида

А.5 Набор данных, относящихся к разным генеральным совокупностям

Если есть основания подозревать, что некоторые изделия, входящие в состав действующей системы, имеют производственные дефекты определенного вида, то для выявления масштабов данной проблемы, с точки зрения ее влияния на ожидаемый срок службы или ресурс, следует испытать некоторое число однотипных изделий, чтобы оценить их срок службы или ресурс. Испытания должны быть проведены в условиях, которые способны вызывать отказы того же вида, что наблюдаются при эксплуатации изделий в полевых условиях. Предположим, для испытаний выделено 60 образцов изделий, разделенных на три партии. Результаты испытаний прежде всего должны быть проверены на принадлежность всех трех партий изделий к одной генеральной совокупности. Для выявления наличия статистически значимых различий между результатами испытаний разных партий изделий могут применяться различные аналитические методы, например такие, как дисперсионный анализ.

На рисунке А.4 показаны значения наработок до отказа неремонтируемых изделий, разделенных при испытаниях на три партии.

Из приведенных данных видно, что изделия из партии С ведут себя при испытаниях отличным от остальных партий образом, и есть основания полагать, что в данном случае имеет место смесь данных, относящихся к двум генеральным совокупностям. Это предположение может подтвердить анализ отказов и применение формальных статистических методов проверки однородности данных. Дальнейшая обработка собранных данных с использованием методов, приведенных в настоящем стандарте, будет иметь смысл только в том случае, если данные, относящиеся к партиям А и В, будут обрабатываться отдельно от данных партии С.

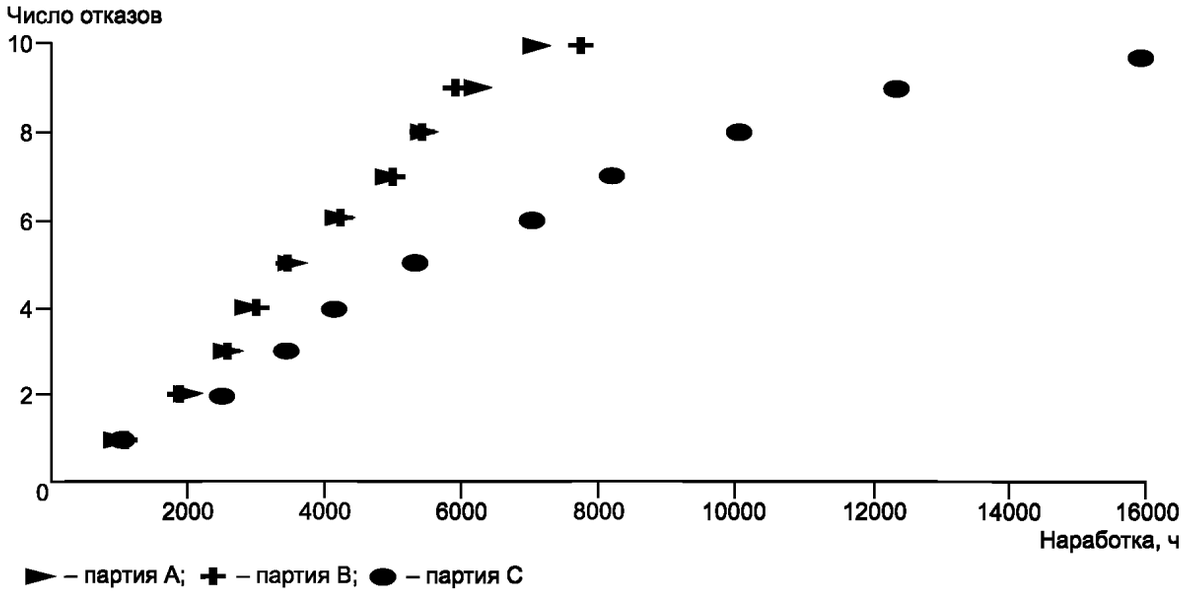


Рисунок А.4 — Пример смеси данных из разных генеральных совокупностей

А.6 Диагностика неисправностей

Предположим, что при испытаниях некоторых неремонтируемых изделий обнаружилось больше ожидаемого количества неисправностей, что повлекло за собой повышенные оценки интенсивности отказов этих изделий. Тщательный анализ собранных данных выявил, что наработки изделий до отказа распределялись так, как показано на рисунке А.5.

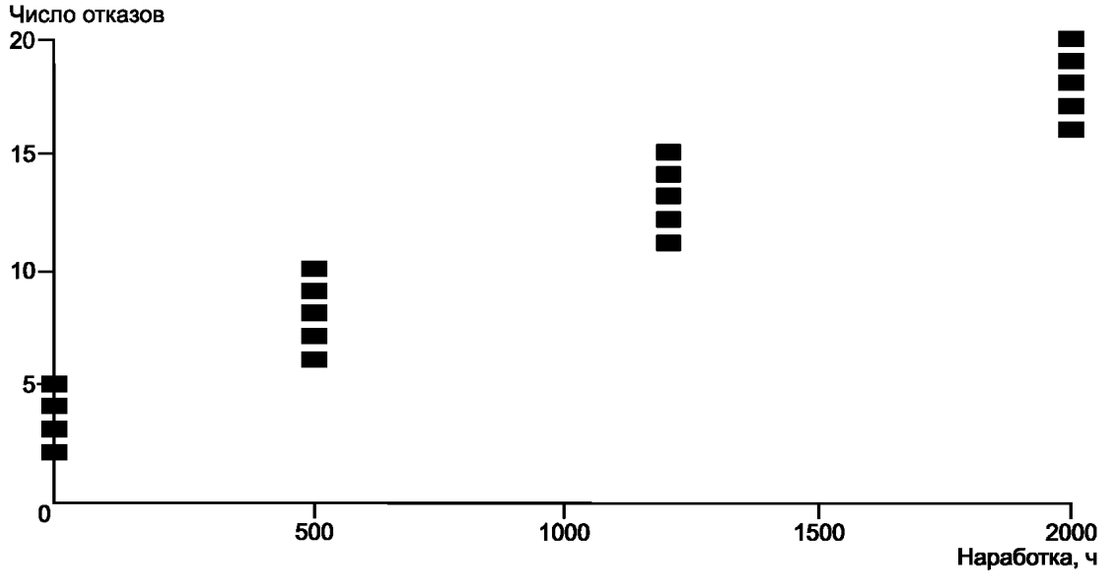


Рисунок А.5 — Пример проблемы диагностирования

Дальнейшее расследование выявило, что на каждой печатной плате имелось по пять однотипных изделий, причем, как выяснилось при собеседовании с инженером, занимавшимся диагностикой неисправностей данного устройства, тот в случае отказа одного из этих изделий предпочитал на всякий случай заменять все пять. Если бы интенсивность отказов этих изделий оценивалась без этого предварительного расследования, то это привело бы к заниженным значениям ожидаемых сроков их службы и к заказу значительно большего количества запасных частей, чем реально требовалось.

А.7 Отказы испытательного оборудования

На рисунке А.6 представлены наработки между отказами одного ремонтируемого изделия. Из диаграммы следует, что после периода довольно значительного количества ранних отказов следует период, на котором наблюдается тенденция к увеличению наработок между отказами.

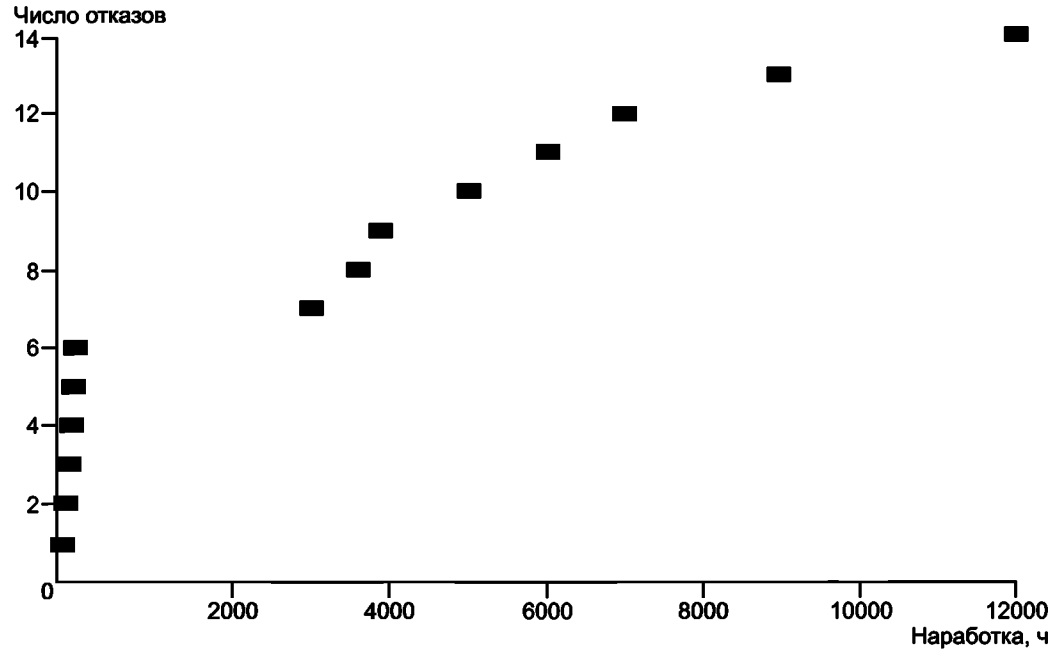


Рисунок А.6 — Пример распределения данных по кластерам

Причины такой кластеризации данных должны быть исследованы до того, как приступать к подбору статистической модели для их описания. Когда при испытаниях используется сложное оборудование для имитации реальных условий эксплуатации, критически важными оказываются правильные настройки этого оборудования. Ранние отказы испытуемых изделий, показанные на рисунке А.6, могут оказаться следствием ошибочного выбора параметров настройки испытательного оборудования.

Во всех случаях, приступая к подбору распределения или случайного процесса для моделирования данных, полученных при испытаниях, исследователь должен прежде всего полагаться на инженерные знания и суждения относительно испытуемых изделий, которые могут уточняться и подкрепляться с использованием поначалу простых, а затем и более сложных статистических методов анализа данных.

Приложение Б
(справочное)

Общие примеры

Б.1 Введение

Цель настоящего стандарта состоит в снабжении пользователей руководящими указаниями по надлежащему применению статистических методов контроля, оценки и сравнения показателей безотказности по результатам испытаний. В основном тексте стандарта содержатся описания основных концепций таких испытаний и общие требования к данным, собираемым в ходе их проведения, вместе с обзором доступных стандартизованных методов их обработки. В последующих разделах настоящего Приложения приведены примеры типовых сценариев обработки данных, с которыми могут столкнуться пользователи настоящего стандарта. Описания возможных при этом проблем приведены совместно с перечнями наиболее подходящих методов их решения.

Б.2 Контрольные испытания, однородный пуассоновский поток отказов

В данном случае стоит задача проверки значений средней наработки на отказ восстанавливаемого изделия в эксплуатации. При этом должны быть выполнены условия, перечисленные в разделе 9 настоящего стандарта.

Каждое ремонтируемое изделие снабжено счетчиком наработки. Изделия эксплуатируются заказчиком при постоянном присутствии представителей поставщика. Предупредительные ТО и ремонты выполняются заказчиком, но поиск причин неисправностей, восстановления и анализ отказов выполняет поставщик в присутствии представителей заказчика.

Статистические методы, используемые для решения поставленной задачи, указаны на рисунке 13 настоящего стандарта. Если нет оснований предполагать постоянство параметра потока отказов, то требуется подобрать соответствующую модель, описывающую характер его изменения с наработкой (ГОСТ Р МЭК 60605-6). В случае доказанного постоянства параметра потока отказов для подтверждения соответствия MTBF установленным требованиям может быть применен метод контроля, установленный [12, раздел В.7].

Б.3 Определительные испытания при распределении Вейбулла наработок до отказа

Изготовитель проводит лабораторные испытания на собственной испытательной базе. При этом должны быть выполнены требования, установленные в разделе 9 настоящего стандарта.

Уровень нагрузок при испытаниях выбран такой же, как в реальной эксплуатации неремонтируемых изделий, но эти изделия эксплуатируются не непрерывно. Поэтому испытания могут быть ускорены за счет сжатия перерывов между циклами использования изделий и проведения испытаний в круглосуточном режиме. В течение суток во время испытаний возможно осуществить 48 рабочих циклов, а это означает, что одни сутки испытаний эквивалентны 48 дням реальной эксплуатации.

Предупредительные ТО и ремонты для данных изделий не предусмотрены. Если изделие отказало, то его снимают с испытаний и направляют на физико-технический анализ в целях выявления вида и причин отказа. В ходе анализа были выявлены отказы двух разных видов. Отказы одного вида были обусловлены усталостью, а другого — накоплением посторонних загрязнений. Для каждого вида отказа подбор распределения Вейбулла проводился самостоятельно и независимо.

Статистические методы, пригодные для решения рассматриваемой задачи, показаны на рисунке 12. Поскольку интенсивность отказов изделий в обоих случаях растет с наработкой, то для статистического моделирования результатов испытаний наиболее подходит распределение Вейбулла. Методы оценки параметров этого распределения по статистическим данным и расчета соответствующих показателей безотказности приведены в ГОСТ Р 50779.27.

Б.4 Оценка безотказности, степенная модель (пример 1)

В данном случае исходные данные для оценки собраны в процессе эксплуатации ремонтируемых изделий. Эти данные содержатся в протоколах ремонта, заполняемых обслуживающим персоналом заказчика. Каждое ремонтируемое изделие снабжено счетчиком числа рабочих циклов (в данном случае — счетчиком изготовленных множительным устройством копий).

Анализ собранных данных указывает на то, что параметр потока отказов изделий со временем снижается. Это обусловлено тем, что срок службы источника света в копирах постоянно повышался с каждой новой партией изделий, поставленных потребителям.

Разработана программа предупредительного ТО и ремонта копиров, рассчитана стоимость их жизненного цикла, а потребителям предлагается заключить с поставщиком контракты на ТО и ремонты. Расчетная стоимость жизненного цикла использована при участии в тендере на поставки большого числа копиров правительственным учреждениям.

Алгоритм решения задачи оценки безотказности для данного случая представлен на рисунке 12. Поскольку известно, что параметр потока отказов не является постоянным, то для данного случая подходит степенная модель, использование которой при статистическом анализе данных о безотказности регламентировано ГОСТ Р 51901.16.

Б.5 Сравнительная оценка ремонтируемых изделий в случае постоянства параметров потоков отказов

Изготовитель проводит ускоренные лабораторные испытания в целях сравнения по уровню безотказности двух вариантов конструктивного исполнения ремонтируемых изделий. Ускорение испытаний достигается за счет увеличения нагрузки и рабочей температуры выше тех пределов, которые изделия испытывают в эксплуатации, наряду с их термоциклированием.

Надзор за проведением испытаний осуществляет изготовитель, а условия их проведения соответствуют требованиям 4.3.2 настоящего стандарта.

Анализ отказов показал, что при испытаниях наблюдались отказы того же вида, что и в процессе эксплуатации.

Оказалось, что новая конструкция превосходит старую, и было решено модифицировать соответствующим образом изделия, находящиеся в эксплуатации, при очередном их ТО.

Алгоритм статистического анализа данных для решения поставленной задачи приведен на рисунке 14. Поскольку параметры потока отказов обоих вариантов конструкции изделий постоянны, то для их сравнения может быть применен метод, установленный ГОСТ Р МЭК 61650.

Б.6 Контроль вероятности безотказной работы

Было решено проверить соответствие вероятности безотказной работы изделий установленным требованиям по данным, собранным в эксплуатации. При этом должны быть выполнены условия, установленные в разделе 9 настоящего стандарта.

Каждое ремонтируемое изделие снабжено счетчиком рабочих циклов. Изделия эксплуатируются заказчиком при постоянном присутствии представителей поставщика. Предупредительные ТО и ремонты выполняются заказчиком, но поиск причин неисправностей, восстановления и анализ отказов выполняет поставщик в присутствии представителей заказчика.

В соответствии с требованиями контракта вероятность безотказного выполнения одного рабочего цикла (ресурса до ремонта) должна быть не менее 95 % и подтверждена с доверительной вероятностью не менее 90 %.

На основе собранных данных вероятность отказа в одном цикле работы может быть рассчитана в соответствии с [10]. Если изготовитель обязан подтвердить соответствие вероятности отказа заданным требованиям, то он должен провести контрольные испытания. В данном случае может быть выбран план контроля с $D = 2$ и рисками $\alpha = \beta = 20$ % из числа планов, содержащихся в [11].

Б.7 Оценка, степенная модель (пример 2)

Сложная электронная система, состоящая из аппаратной и программной частей, проходит серию предварительных отработочных испытаний в стадии разработки. По мере реализации программы экспериментальной отработки вскрывается ряд отказов, которые после соответствующего анализа подразделяют на: отказы, обусловленные недостатками конструкции, программного обеспечения или технических условий на аппаратные и программные средства; отказы, вызванные дефектами комплектующих элементов; отказы испытательного оборудования и невыявленные перемежающиеся отказы. После каждого отказа испытуемые образцы изделия ремонтируют. В результате исследования причин отказов предпринимают необходимые меры по их устранению, включая доработку аппаратных и программных средств, совершенствование производственных процессов, внесение изменений в ТУ на систему и ее комплектующие. Все эти доработки ведут к повышению безотказности изделия. Анализ данных о наработках на отказ по данным отработочных испытаний с большой вероятностью укажет на наличие роста безотказности. Соответственно, результаты отработочных испытаний следует анализировать с использованием методов, указанных на рисунке 11, т. е. с учетом допущения непостоянства параметра потока отказов. Для статистического исследования таких данных подходит степенная модель, установленная ГОСТ Р 51901.16.

Б.8 Различия между интенсивностью и параметром потока отказов

Первое и наиболее общее различие между этими показателями безотказности вытекает из того, что интенсивность отказов, как правило, применяют для характеристики совокупности невосстанавливаемых неремонтируемых или восстанавливаемых неремонтируемых изделий, а параметр потока отказов характеризует безотказность восстанавливаемых ремонтируемых изделий. Однако в некоторых случаях интенсивность отказов можно применять и для невосстанавливаемых ремонтируемых изделий. Это положение можно проиллюстрировать следующим реальным примером.

В электронных системах замены проводят на уровне блоков на печатных платах с установленными на них элементами. Эти блоки в данном случае рассматриваются как неремонтируемые изделия. Но замены осуществляются с использованием запасных частей, в запасах которых могут присутствовать наряду с новыми блоками также блоки, отремонтированные после замены. Для этих отремонтированных блоков, не ремонтируемых в составе системы, могут в равной степени применяться такие показатели, как интенсивность отказов и параметр потока отказов,

если рассматривать их как восстанавливаемые после замены изделия. Если, например, эти блоки могут содержать изнашиваемые или стареющие электромеханические элементы, но их ранние отказы обусловлены преимущественно дефектами интегральных схем, то один и тот же блок в течение его срока службы может восстанавливаться несколько раз путем замены отказавших интегральных схем, и для него вполне применим такой показатель безотказности, как параметр потока отказов. Когда параметр потока отказов этого блока начинает расти по причине износа его электромеханических элементов, то это указывает на нецелесообразность дальнейших его восстановлений, и этот блок подлежит списанию.

Для оценки параметра потока отказов таких изделий, естественно, необходимо фиксировать все его периодические наработки, располагая их в хронологической последовательности, исключая при этом продолжительность восстановления и хранения в комплектах запасных частей.

Данный пример доказывает, насколько важно учитывать, что при оценке безотказности возможны самые разные интерпретации такого параметра, как время. При этом могут учитываться полное календарное время эксплуатации, время до первого отказа и между отказами, время работы (наработка), в которое не входят продолжительность ремонта, простоя, хранения, и т. д. Промежутки времени (наработки) до отказа (между отказами, на отказ) могут быть упорядочены по величине при оценке интенсивности отказов или в хронологической последовательности при оценке параметра потока отказов.

Библиография

[1]	МЭК 60605-2:1994	Испытание аппаратуры на надежность. Часть 2: Разработка испытательных циклов
[2]	МЭК 60605-3 (все части)	Испытание аппаратуры на надежность. Часть 3: Предпочтительные условия испытаний
[3]	МЭК 60068 (все части)	Испытание на воздействие внешних факторов
[4]	МЭК 60300-3-2:2004	Управление общей надежностью. Часть 3. Руководство по применению. Полевой сбор данных по общей надежности
[5]	МЭК 60605-6:2007	Испытание аппаратуры на надежность. Часть 6. Испытания на достоверность допущения постоянной частоты отказов или постоянной интенсивности отказов
[6]	МЭК 60605-4:2001	Испытание аппаратуры на надежность. Часть 4. Статистические методы показательного распределения. Точечные оценки, доверительные интервалы, интервалы прогнозирования и интервалы допустимых отклонений
[7]	МЭК 61649:2008	Анализ по Вейбуллу
[8]	МЭК 61164:2004	Повышение надежности. Статистические испытания и методы оценки
[9]	МЭК 61710:2013	Модель степенного закона. Критерии согласия и методы оценки
[10]	ИСО 11453:1996	Статистическая обработка данных. Испытания и доверительные интервалы, касающиеся пропорций
[11]	МЭК 61123:1991	Испытания на надежность. Планы проверки соответствия техническим требованиям для определения нормы успешного исхода
[12]	МЭК 61124:2012	Испытания на надежность. Испытания на соответствие для постоянной интенсивности отказа и постоянного параметра потока отказов
[13]	МЭК 61070:1991	Методики испытаний на соответствие техническим требованиям к стационарной готовности изделий

УДК 62-192:658.562:006.354 ОКС 21.020 Т59

Ключевые слова: надежность, безотказность, техническое обслуживание, ориентированное на безотказность

Редактор *Т.С. Никифорова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.Е. Нестерова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 12.01.2015. Подписано в печать 05.03.2015. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,10. Тираж 156 экз. Зак. 949.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru