

М 498244

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Рахмангулов Ринат Рашидович

МЕТОДЫ УСКОРЕННОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ УНИКАЛЬНЫХ
ИЗДЕЛИЙ С ДЛИТЕЛЬНЫМИ СРОКАМИ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ
И ИХ СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Специальность 08.00.20—Стандартизация и управление
качеством продукции

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва — 1991

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана и научно-исследовательском институте "Атолл"

Научный руководитель:

доктор технических наук
профессор Карташэз Г.Д.
доктор технических наук
Грабовецкий В.П.

Официальные оппоненты:

кандидат технических наук
Лосицкий О.Г.

Ведущая организация:

указано в решении специализированного совета

Защита состоится "21" ноября 1991 г. в 10 час.
на заседании специализированного совета К 053.15.16 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва Б-5, 4-я Бауманская ул., д.5.

в библиотеке Московского университета им. Н.Э.Баумана.
экземпляре, заверенный по адресу.

20 ноября 1991 г.

М 498244

20 ноября 1991 г.
Садовская Т.Г.

г. Объем 1,0 п.л.
адрес: МГТУ им. Н.Э.Баумана

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1498244

Рахмангулов Р.Р. Метод

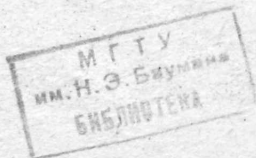
Актуальность исследования. Создание эффективной системы управления качеством — одна из основных народно-хозяйственных задач по повышению качества изделий.

Для решения этой задачи требуется своевременное получение информации о качестве и надежности изготавливаемых изделий. Непрерывное повышение технических требований к качеству разрабатываемых изделий привело к резкому возрастанию требований к их надежности. Применение существующих методов для проверки соответствия изделий заданным требованиям по надежности связано с испытаниями большого количества образцов в течение продолжительного времени. Подобные испытания не позволяют получать оперативную информацию о качестве изделий в приемлемые сроки, когда внесение каких-либо конструктивных изменений в изделия вызывает большие сложности из-за временных и производственных ограничений.

Простое сокращение длительности испытаний ведет к недоиспытанности изделий в процессе его разработки и производства, а это, в свою очередь, ведет к большим материальным затратам в эксплуатации, а в ряде случаев и к невыполнению поставленной задачи. Недоиспытанность изделий объясняется тем, что основанные на статистическом подходе методы оценки надежности требуют получения определенного количества отказов, или, по крайней мере, проведения испытаний в течение времени, равного периоду эксплуатации. Причем, чем выше требования по надежности, тем требуется большее количество испытываемых изделий и продолжительнее испытания. В том и другом случае оценка надежности высоконадежных изделий с длительными сроками активного существования (ДСАС), дорогостоящих и уникальных, выпускаемых единичными образцами, вызывает значительные трудности, а иногда и в принципе невозможна.

Это обстоятельство послужило причиной поиска методов обеспечения качества, позволяющих существенно сократить продолжительность контрольных испытаний на надежность.

Целью диссертационной работы является повышение технического уровня и качества изделий с ДСАС и обеспечение их высокой эксплуатационной надежности. Для достижения этой цели были проведены исследования по разработке методов ускоренной оценки надежности этих изделий и методов их технологических сборочных испытаний.



Исходя из поставленной цели в диссертации рассмотрены и решены следующие задачи:

1. Разработан комбинированный метод прогнозирования показателей надежности (ресурса и вероятности безотказной работы) изделий с ДСАС по экстремальным значениям и технических параметров в форсированных режимах.
2. Предложен метод технологических отбраковочных испытаний, позволяющий выявить и устранить большинство дефектов и отказов на ранних стадиях изготовления изделий с ДСАС.
3. Создано программное обеспечение для автоматизированной обработки результатов ускоренных испытаний на ЭВМ.
4. Проведены оценки технико-экономической эффективности внедрения разработанных методик ускоренных испытаний и технологической тренировки изделий с ДСАС.

Предмет и объект исследования. Предметом исследования являются закономерности и особенности поведения технических параметров изделий с ДСАС от режимов и длительности испытаний, а также их свойства, влияющие на показатели качества изделий. Соответственно объектом исследования является аппаратура изделий с ДСАС и методы ускоренной оценки ее надежности.

Методы исследования. Методической и теоретической основой выполненного исследования явились результаты работ советских и зарубежных ученых в области ускоренных испытаний.

В процессе исследований были проработаны основные теоретические и методические разработки, изложенные в работах В.С. Сотскова, Г.Д. Карташова, Д.В. Гаскарова и других ученых, учтены рекомендации Госстандарта СССР, руководящих отраслевых документов, а также рекомендации, полученные в результате выполнения НИР "Салон-3".

Для решения практических задач, рассматриваемых в диссертации, были использованы математические методы корреляционно-регрессионного анализа, теории вероятностей и математической статистики, аппарат прогнозирования случайных процессов и программирования на ЭВМ.

Научная новизна выносимых на защиту результатов исследования состоит в следующем:

1. Разработан комбинированный метод ускоренной оценки надежности изделий с ДСАС, позволяющий значительно сократить длительность предварительных исследований и непосредственных испы-

таний без снижения качества оценки.

1.1. Для достижения этой цели впервые применена регрессионная модель прогнозирования экстремальных значений технических параметров изделий в форсированных режимах испытаний, которая позволяет осуществить пересчет результатов форсированных испытаний к нормальным условиям не по наработкам на отказ изделий, а по изменению их технических параметров. Это вызвано тем, что для высоконадежных изделий с ДСАС получение отказов в процессе испытаний затруднено.

1.2. Использование теории экстремальных значений случайных процессов позволило определить параметры модели прогнозирования изменения технических характеристик изделий с ДСАС по результатам их измерений на сравнительно коротком начальном интервале времени и использовать полученную модель для прогноза на длительный период эксплуатации.

1.3. При разработке метода использовано свойство асимптотического разложения коэффициента корреляции между наработками изделий в нормальном и форсированном режимах, которое позволяет проводить ускоренные испытания в рамках линейной модели, что сокращает длительность предварительных исследований.

2. Определены зависимости коэффициентов ускорения испытаний для изделий с ДСАС от ускоряющих факторов.

3. Предложен метод проверки выбранной модели прогнозирования на стадии предварительных исследований.

4. Разработаны метод технологических отбраковочных испытаний и методика оценки ее технической эффективности.

Практическим результатом выполненной работы является то, что разработанные методики ускоренных испытаний позволяют сократить длительность испытаний на надежность изделий с ДСАС с 5-10 летнего срока (при испытании в нормальных условиях) или с 9-ти месячного (при испытании в форсированном режиме) до 1,5-2 месяцев и провести оценку показателей надежности по результатам прогнозирования технических параметров изделий даже при отсутствии их отказов в процессе испытаний.

Разработанные рекомендации по организации технологических тренировок изделий, методика их проведения позволяет существенно повысить качество изделий на этапе производства и тем самым обеспечить высокую требуемую эксплуатационную надежность.

Программы расчета на ЭВМ могут быть использованы для обработки результатов измерений основных технических параметров с целью определения прогнозируемых оценок надежности изделий, как в процессе нормальных так и форсированных испытаний.

Стандартизация методик проведения ускоренных испытаний и оценки надежности изделий, а также методики их технологической тренировки позволяет использовать их для конкретных изделий и условий производства и способствует их скорейшему внедрению.

Результаты диссертации внедрены в разработки изделий профиля НИИ "Атолл" и использованы в итоговых материалах КНИР "Салон-3" головным исполнителем - в/ч 67947.

Годовой экономический эффект от внедрения методики ускоренных испытаний изделий с ДСАС при однократном ежегодном их проведении составляет 47740 рублей в год (в ценах 1989г.), а техническая эффективность проведения технологической тренировки изделий выражается в уменьшении количества отказов в эксплуатации на 1,5-2 порядка по сравнению со случаем, когда такая тренировка не проводилась.

Сформулированные выводы и рекомендации являются достаточно обоснованными и подтверждаются длительными экспериментами, а также согласуются с опытом разработки, изготовления и испытаний изделий с ДСАС.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы получили одобрение после обсуждения на следующих научно-технических конференциях:

- зональных конференциях "По методам прогнозирования надежности проектируемых РЭА и ЭВА", "Методы оценки и повышения надежности РЭС" в г. Пензе в 1987 и 1990 г.г.,
- конференции "О применении методов прогнозирования в ускоренных испытаниях" в ЦНИИ "Морфизприбор" в г. Ленинграде в 1989г.,
- конференциях молодых ученых и специалистов в НИИ "Атолл" в 1984 и 1986 г.г., а также в НПО "Квант" в г. Киеве в 1986г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ, отражающих основное содержание.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Изложена на 156 стр. машинописного текста, содержит 14 таблиц, 24 рисунка. Список литературы включает 116 наименований работ. Приложений 51 стр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и задачи исследования, основные научные положения, защищаемые диссертантом, практическая значимость работы, ее апробация, структура диссертации.

В первой главе проведен анализ существующих методов ускоренных испытаний на надежность как подсистемы управления качеством изделий, определены проблемы форсированных испытаний и методов прогнозирования, исследованы перспективы развития ускоренных методов оценки надежности, приведены необходимые понятия и определения по данной теме, принятые в технической литературе.

Одним из распространенных в настоящее время способов сокращения длительности испытаний на надежность является использование форсированных режимов, которое основано на интенсификации деградационных процессов, приводящих к отказу изделий за счет воздействия более жестких, чем реальных, режимов.

Построение методов форсированных испытаний требует решения ряда проблем, основными из которых являются:

- выбор форсированного режима;
- определение коэффициента ускорения испытаний;
- установление способа расчета показателей надежности по результатам форсированных испытаний;
- оценка точности и достоверности испытаний;
- обоснование возможности использования полученных результатов на последующих партиях изделий и др.

Известно, что форсированный режим E_* необходимо выбирать таким, чтобы между моментами отказов ξ в нормальном E_0 и форсированном E_* режимах одного и того же изделия существовала некоторая функциональная зависимость:

$$\xi_0 = \varphi(\xi_*). \quad (1)$$

В этом случае длительность форсированных испытаний t_* определяется как

$$t_* = \varphi^{-1}(t_0) \quad (2)$$

где φ^{-1} - функция, обратная φ ;

t_0 - заданное время безотказности,

а вероятность безотказной работы $P(t_0, E_0)$ изделия в нормальных условиях E_0 - по формуле

$$P(t_0, E_0) = 1 - F_*[\varphi^{-1}(t_0)], \quad (3)$$

где F_* - функция распределения наработки на отказ изделий в форсированном режиме.

Требование (I) является жестким. Наиболее вероятно, что в реальных условиях точки ξ_0 , ξ_* будут вместо кривой (I) занимать некоторую область Δ с границами φ_1 и φ_2 .

$$\Delta = \{(\xi_0, \xi_*) | \varphi_1(\xi_*) \leq \xi_0 \leq \varphi_2(\xi_*)\}. \quad (4)$$

Для построения методов форсированных испытаний необходимо, чтобы область Δ была как можно уже. Один из путей решения этой проблемы изложен в работе.

В главе приведен ряд программ испытаний изделий по проверке условия (I), сформулирован основной теоретический результат, полученный Карташовым Г.Д., на котором базируются методы проверки гипотез о существовании функциональной связи между моментами отказов в различных режимах.

Анализ программ показывает, что наиболее сложной задачей, решаемой на стадии предварительных исследований, является обоснование правильности выбора форсированного режима. Если же априори известно, что форсированный режим не нарушает условия автономности процессов старения или, другими словами, что существует функциональная зависимость (I), то функцию φ на требуемом интервале времени можно определить по результатам более простых испытаний.

В главе показано, что для сложных изделий с большим количеством последовательно-соединенных элементов связь между моментами отказов в нормальном ξ_0 и форсированном ξ_* режимах должна хорошо описываться линейной функцией вида

$$\xi_0 = K \cdot \xi_* \quad (5)$$

где K - неизвестный коэффициент ускорения испытаний.

Другим перспективным направлением сокращения длительности испытаний является метод прогнозирования, предложенный Г.Д. Карташовым, и называемый методом „вложенных множеств“. Этот метод не требует проведения предварительных испытаний и позволяет оценить требования по надежности на уровне высоких требований, предъявляемых к надежности изделий с ДСАС.

Однако этот метод требует испытания большого количества изделий в течение непродолжительного периода и в настоящее время может быть использован только для простых элементов типа резисторов

или конденсаторов. Для использования его в качестве методики ускоренных испытаний изделия в целом необходимо решить ряд сложных проблем.

Кроме анализа методов оценки надежности по результатам форсированных испытаний в главе проведен анализ методов оценки, использующих модели прогнозирования и рассмотрены проблемы, возникающие при этом.

Методы прогнозирования в принципе позволяют оценивать надежность изделий и по результатам нормальных испытаний, т.к. для построения моделей прогнозирования используются те же результаты измерений технических параметров в процессе испытаний.

Но у высоконадежных изделий, которыми являются изделия с ДСАС, параметры в нормальных условиях изменяются незначительно и практически на большом интервале времени испытаний остаются постоянными.

Таким образом, проведенный анализ существующих методов и проблем ускоренных испытаний на надежность как подсистемы управления качеством изделий показал, что для рассматриваемого класса изделий с ДСАС ни один из анализируемых методов не эффективен по следующим причинам:

1. Методики оценки надежности, основанные на статистических методах, требуют для своего применения достижения в результате испытаний определенного количества отказов, что для изделий с ДСАС весьма затруднено.

2. Применение методов прогнозирования надежности в нормальных условиях испытаний также неэффективно, т.к. параметры высоконадежных изделий в этих условиях практически постоянны. Это делает невозможным построение модели прогнозирования надежности изделий с ДСАС.

В выводах главы дана формулировка задач, которые необходимо решить в процессе выполнения работы.

Во второй главе приведены результаты исследований методов ускоренной оценки надежности. Представлены основные математические модели, используемые при прогнозировании, предложен метод проверки выбранной модели на стадии предварительных исследований.

Конечным результатом исследований явилась разработка метода ускоренных испытаний на надежность изделий с ДСАС, использующего модель прогнозирования экстремальных значений их основных технических параметров в форсированных режимах испытаний.

При разработке метода было проведено исследование регрессионных методов пересчета результатов форсированных испытаний на случай, когда у изделий измеряются технические параметры, а не фиксируются наработки и отказы.

Метод заключается в построении математической модели зависимости параметров от режимов и длительности испытаний, т.е. используется регрессия по техническим параметрам изделий.

Построение модели осуществлялось на основе одномерных моделей, которые аппроксимируют во времени лишь один технический параметр $X(t)$ изделия - ДСАС некоторым случайным процессом

$$\hat{X}(t) = f(t) + \delta(t), \quad (6)$$

где $f(t)$ - детерминированная составляющая, интерпретируемая как полезный сигнал;

$\delta(t)$ - случайная составляющая, или "белый" шум.

В качестве типовых аппроксимирующих функций при оценке результатов испытаний использовались четыре вида моделей: линейная, степенная, логарифмическая и показательная. Критерием выбора наилучшей из них была принята наименьшая дисперсия остаточных отклонений измерений параметров.

Перед осуществлением прогноза показателей надежности изделий по выбранной модели была проведена оценка ее точности. Оценка проводилась экспериментальным и аналитическим методами.

Экспериментальный метод заключался в сравнении результатов ускоренных испытаний с результатами испытаний, которые проводились на аналогичных образцах изделий в нормальных условиях.

Аналитический метод состоит в том, что аппроксимация поведения технического параметра проводилась по первым 10-15 значениям измерений, хотя фактическое количество наблюдений было значительно больше. Оба метода показали приемлемые для практического применения точность и достоверность выбранных моделей.

Разработанный метод ускоренной оценки надежности и позволяет прогнозирование не самих технических параметров, а их экстремальных значений. Это вызвано тем, что для широкого класса случайных процессов при больших значениях времени t распределение их экстремальных значений с достаточной степенью точности описываются известной группой экстремальных законов (вейбулловским, 2-х параметрическим экспоненциальным, нормальным). При этом параметры этих законов (математические ожидания, среднеквадратические отклонения, параметры λ, γ, θ) в логарифмическом масштабе изменяются

линейно, что существенно облегчает их определение.

Использование этой особенности для изделий с большими сроками эксплуатации позволяет не проводить длительных предварительных исследований, а оценивать параметры моделей по результатам испытаний на коротком промежутке времени и применить полученную модель для осуществления прогноза на весь требуемый срок эксплуатации.

В главе приведены результаты апробации методик ускоренных испытаний, разработанных на основе вышеприведенного метода. В процессе работы были испытаны три группы изделий с ДСАС: две группы — блоки РЭА разработки НИИ "Атолл", а третья — покупные оптические модули ОПМ-3.

В результате испытаний блоков были получены зависимости коэффициентов ускорения испытаний от форсирующих факторов. Были определены их точечные и интервальные оценки. В частности, при изменении температуры испытаний от 70°C до 125°C и одновременном воздействии цикличности отключения-включения питания 4ц/час коэффициент ускорения изменяется в пределах от 8 до 75, т.е. во столько же раз сокращается длительность испытаний.

Апробация комбинированного метода прогнозирования проводилась на примере испытаний необслуживаемого аналого-цифрового устройства (НАЦУ). Этот метод может быть применен для изделий, выпускаемых малыми партиями, для только растущих и невосстанавливаемых в процессе эксплуатации. Метод требует проверки на этапе предварительных исследований следующих гипотез:

— математические ожидания экстремальных значений технического параметра $X(t)$ изделия с ДСАС

$$\bar{x}(t) = \max_{0 \leq \tau \leq t} X(\tau) \quad \text{и} \quad x(t) = \min_{0 \leq \tau \leq t} X(\tau) \quad (7)$$

линейно и меняются во времени (см. рис. 1);

— дисперсии экстремальных значений случайных функций $\bar{x}(t)$ и $x(t)$ постоянны во времени;

— экстремальные значения технического параметра в момент времени t_3 распределены по нормальному закону, t_3 — заданное время эксплуатации.

Метод позволяет определить коэффициент ускорения $K_{\text{ф}}$ от форсирующего фактора ε и установить коэффициент ускорения от применения метода прогнозирования $K_{\text{пр}}$.

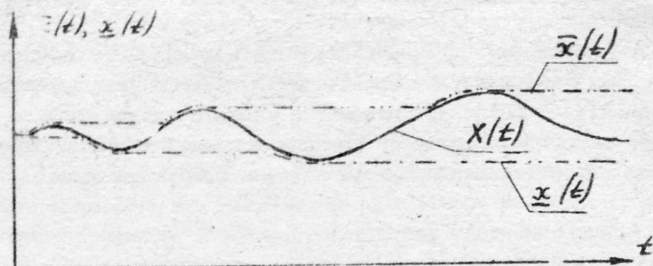


Рис. 1.

Предварительные исследования проводились на двух партиях НАЛ-100 по два устройства в каждой. Одна партия испытывалась при нормальной температуре $20^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$, другая – при температуре $70^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Одновременным форсирующим фактором являлась цикличность отключения питания – 4 цикла в час.

Метод определения коэффициента ускорения от форсирования $K_{\text{ф}}$ описан ниже.

По результатам измерений технического параметра $X(t)$ для каждого устройства были построены функции экстремальных значений и их математических ожиданий. Так как на устройстве был установлен верхний предел допуска, то осуществлялось построение верхних экстремальных значений.

$$\bar{x}_0'(t) = \max_{t_2 < t} \{x_0'(t_2)\}, \quad \bar{x}_*'(t) = \max_{t_2 < t} \{x_*'(t_2)\}, \quad (8)$$

где $x_0'(t_2)$ и $x_*'(t_2)$ – значения технического параметра X в момент времени t_2 , $i = 0, 1, 2, \dots, \ell$ – номера замеров;

$i = \ell + 2$ – количество изделий n_0 и n_* , испытываемых при 20°C и 70°C соответственно.

Оценки математических ожиданий определяются как

$$\bar{m}_0(t_2) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \bar{x}_0'(t_i), \quad (9)$$

$$\bar{m}_*(t_2) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \bar{x}_*'(t_i). \quad (10)$$

В этом случае коэффициент ускорения $K_{\text{ф}}$ оценивается по формуле:

$$\bar{K}_q \equiv \frac{\int_0^{T_0} [\bar{M}_0(t) - \bar{M}_0(T_0)] dt}{\int_0^{T_0} [\bar{M}_*(t) - \bar{M}_*(T_*)] dt} \quad (11)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \bar{M}_0(t) &= \bar{M}_0(t_i) + \frac{\bar{M}_0(t_{i+1}) - \bar{M}_0(t_i)}{t_{i+1} - t_i} (t - t_i), \\ \bar{M}_*(t) &= \bar{M}_*(t_i) + \frac{\bar{M}_*(t_{i+1}) - \bar{M}_*(t_i)}{t_{i+1} - t_i} (t - t_i), \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

T_0 и T_* — максимальные времена, удовлетворяющие уравнению

$$\bar{M}_0(T_0) = \bar{M}_*(T_*). \quad (13)$$

Графический метод определения $\bar{K}_q$ приведен на рис. 2.

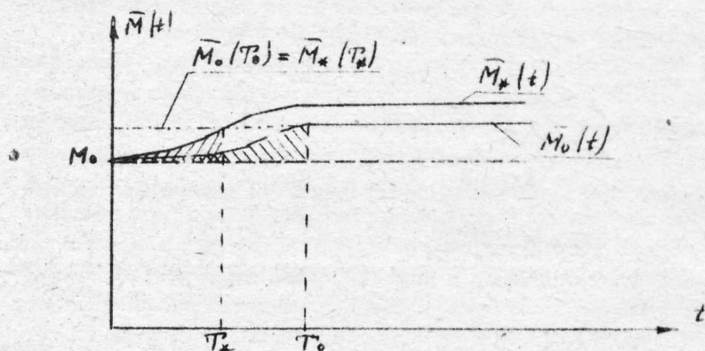


Рис. 2

Коэффициент ускорения от применения метода прогнозирования $K_{пр}$ выбирается в зависимости от количества изделий, поставленных на испытания и количества замеров ℓ параметров. Для $m_* = 2$ и количества замеров $\ell = 12$ $K_{пр} = 4,75$.

В процессе апробации метода проводилась оценка вероятности безотказной работы блока НАЦУ, которая определялась по формуле:

$$P_{1,3} = \Phi \left\{ \frac{X_B - \bar{M}_n(t_3)}{\sigma_n(t_3)} \right\}, \quad (14)$$

где $\Phi\{\omega\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\omega} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ - табулированная функция;

X_a - верхний предел допуска на параметр.

По результатам измерений для каждой партии изделий рассчитывались оценки математических ожиданий $\bar{M}(t_z)$ и дисперсий $\bar{\sigma}^2(t_z)$ экстремальных значений технического параметра и их весовые коэффициенты α_z :

$$\begin{aligned}\bar{M}(t_z) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L \bar{x}^i(t_z), \\ \bar{\sigma}^2(t_z) &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^L [\bar{x}^i(t_z) - \bar{M}(t_z)]^2 \\ \alpha_z &= \frac{6K_{np}(2z-1) + 4z - 6z + 2}{(z+1)(z+2)}, \quad z=0,1,2,\dots,L.\end{aligned}\quad (15)$$

Прогнозируемые значения этих оценок на момент времени t_3 для каждой партии определялись по формулам:

$$\begin{aligned}\bar{M}_n(t_3) &= \sum_{z=0}^L \alpha_z \cdot \bar{M}(t_z), \\ \bar{\sigma}_n^2(t_3) &= \frac{1}{L+1} \sum_{z=0}^L \bar{\sigma}^2(t_z).\end{aligned}\quad (16)$$

Продолжительность испытаний t_u первой партии изделий, испытывавшихся при $T = 20^\circ\text{C}$, определялась по формуле:

$$t_u = \frac{t_3}{K_{np} \cdot K_u}, \quad (17)$$

а второй, испытывавшейся при $T = 70^\circ\text{C}$ по:

$$t_u = \frac{t_3}{K_{\phi} \cdot K_{np} \cdot K_u}, \quad (18)$$

где $K_u = 4$ - коэффициент ускорения от применения циклической нагрузки.

В результате расчетов по формулам (14-16) была получена оценка вероятности безотказной работы для первой партии $\bar{P}(t_3) = 0,97$, для второй - $\bar{P}(t_3) = 0,9$. Расхождение результатов обуславливается тем, что фактический коэффициент ускорения от воздействия форсирующего фактора (температуры) более высок, чем полученный расчетом, а также точностью проведенных замеров и расчетов. Полученные расчеты подтверждаются длительными экспериментами в нормальных условиях и согласуются с опытом разработки, изготовления и испытаний изделий с ДСАС.

Блоки НАЦУ испытывались при температуре 70°C , достигнутый при этом коэффициент ускорения равен 36, т.е. во столько раз разработанный метод позволяет сократить длительность испытаний.

Таким образом, разработанные и апробированные методики ускоренных испытаний изделий с ДСАС позволяют значительно уменьшить продолжительность испытаний по оценке и контролю показателей надежности, что соответствует решению одной из поставленных задач.

В третьей главе рассматриваются вопросы стандартизации разработанных методик. Стандартизация методик испытаний позволяет упорядочить их с целью определения возможности применения к конкретному классу изделий с ДСАС и способствует быстрому их внедрению в производство. Указанные методики были отработаны и доведены до уровня стандартов предприятия в виде типовых методик, на основании которых могут быть разработаны инженерные методики для конкретных изделий и условий производства.

В главе приведены две типовые методики ускоренных испытаний: одна — для изделий малой серии, когда на испытания можно поставить до 10 образцов, предельный температурный режим которых не ниже 100°C , другая — для изделий, изготавливаемых единичными образцами, когда на испытания достаточно поставить 1-2 образца, но температурный режим форсирования ограничен пределом в 70°C максимально допустимой рабочей температурой элементной базы изделий.

В том и другом случае достигается реальное сокращение длительности испытаний более, чем в 20 раз.

В первой методике сокращение длительности осуществляется только за счет форсирования режимов, а во второй — за счет применения модели прогнозирования технических параметров в форсированных испытаниях.

В четвертой главе даны практические рекомендации по внедрению разработанных методов ускоренной оценки надежности изделий с ДСАС в производство. Разработанные методики, приведенные в главе 3, позволяют оценивать показатели надежности изделий, длительно работающих в условиях труднодоступных для ремонта в процессе эксплуатации. Это могут быть приборы глубоководных систем передачи информации — кабельных линий связи, расположенные на глубине до 5-10 километров и имеющие срок службы до 10-15 лет, а также приборы, устанавливаемые на космических летательных аппаратах.

Указанные методики могут быть применены для высоконадежной аппаратуры, отказы которой носят параметрический характер и имеют весьма малую вероятность. Внезапные отказы, которые могут иметь место в результате испытаний, происходят за счет грубых дефектов производства комплектующих элементов или самой аппаратуры. Анализ их причин дает необходимую информацию для проведения соответствующих мероприятий по устранению подобных отказов в будущих образцах.

Обеспечение вышеуказанных условий достигается применением высоконадежных комплектующих элементов, а также внедрением комплекса технологических отбраковочных испытаний, так называемой технологической тренировки, в связи с чем в главе исследуются методы этих испытаний. В результате была разработана методика технологической тренировки изделий с ДСАС, позволяющая выявить скрытые дефекты производства, не обусловленные процессами старения.

С целью практического ее использования в главе приводится типовая методика проведения технологической тренировки, а также методика оценки эффективности ее внедрения.

Основной результат опытного внедрения методики тренировки заключается в значительном сокращении отказов в эксплуатации. Проведенная оценка эффективности тренировки показывает, что только внедрение термоиклирования и термоковой тренировки дало возможность снизить количество потенциальных отказов, как минимум в 44 раза при доверительной вероятности 0,9.

Оценка эффективности проведения испытаний ускоренными методами проводилась по методике в/ч 67947, разработанной в процессе НИР по теме "Салон-3". Основными показателями оценки были срок окупаемости дополнительных капитальных вложений и головной экономический эффект, которые в условиях производства НИ "Атолл" соответственно составили 140 часов и 47740 рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ действующих методов ускоренных испытаний на надежность показал, что для рассматриваемого класса высоконадежных изделий с ДСАС, изготавливаемых единичными образцами, ни один из анализируемых методов не эффективен.

2. Разработан комбинированный метод прогнозирования показателей надежности (ресурса и вероятности безотказной работы)

изделий с ДСАС, позволяющий значительно, до 36 раз, сократить длительность испытаний на надежность.

3. Проведено обобщение регрессионных методов пересчета результатов форсированных испытаний к нормальным условиям для случая, когда у изделий измеряются технические параметры, что позволило применить их для изделий с ДСАС.

4. Определены коэффициенты ускорения испытаний для изделий с ДСАС в зависимости от температуры испытаний. Установлено, что при изменении температуры испытаний от 70° до 125°С коэффициент ускорения находится в пределах от 8 до 75, т.е. во столько же раз может быть сокращена длительность испытаний на надежность.

5. Разработан метод проверки выбранной модели прогнозирования на стадии предварительных исследований, позволяющий оценить точность модели с точки зрения ее практического применения.

6. Разработана методика технологической тренировки, цель которой - выявление и устранение большинства дефектов и отказов на ранних стадиях изготовления и обеспечение высокой эксплуатационной надежности изделий с ДСАС.

7. Разработана методика оценки технической эффективности проведения технологической тренировки.

8. Создано программное обеспечение для автоматизированной обработки результатов ускоренных испытаний на ЭВМ.

Все разработанные методики прошли апробацию на конкретных изделиях в условиях производства НИИ "Атолл" и доказали свою эффективность.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения методики ускоренных испытаний изделий составляет 47 тыс. руб. в год при однократном их проведении (в ценах 1989 г.).

Основные положения диссертации отражены в работах:

1. Рахмангулов Р.Р., Шевченко В.С. Экспериментальная отработка методики ускоренных испытаний невосстанавливаемых приборов высоконадежных РЭА/ Вопросы к таблестроения. Сер. Навигация и гироскопия. - 1983. - Вып. 72. - С. 65-68.

2. Рахмангулов Р.Р., Шевченко В.С. Предварительный анализ результатов ускоренных испытаний /Об. НТО им. акад. А.Н. Крылова. Эффективность автоматизированных систем. Материалы по обмену опытом. - М. 1984. - Вып. 39. - С. 186-190.

3. Рахмангулов Р.Р., Кочергина И.В. Анализ результатов отработки методики ускоренных испытаний блоков ГЭА/Сб.НТО им. акад. А.Н.Крылова. Эффективность автоматизированных систем Материалового обмена опытом. М.: ИЭС, -Бчп. I. -С.277-285.

4. Рахмангулов Р.Р., Фисун В.И. Обеспечение надежности невосстанавливаемых приборов с длительным сроком непрерывной работы на этапах разработки и испытаний опытного образца/Судостроительная промышленность. Сер. общетехническая. - 1986-№4. - С.27-41.

5. Рахмангулов Р.Р., Кочергина И.В., Игнатов К.А. О прогнозировании показателей надежности ГЭА в форсированных испытаниях /Надежность и контроль качества. -1987. -№11. -С.39-44.

6. Рахмангулов Р.Р. Повышение надежности в результате технологической тренировки//Методы прогнозирования надежности проектируемых ГЭА и ЭВА. Тезисы докладов к зональной конференции. Пенза, 1987. -С.14-15.

7. Рахмангулов Р.Р. Об использовании модели прогнозирования при разработке методов ускоренных испытаний ГЭА// Методы оценки и повышения надежности ГЭС. Тезисы докладов к зональной конференции. Пенза, 1990. -С.42-43.