

Б. И. Гиясов, Н. Г. Серегин, Д. Н. Серегин, В. А. Беляков

СТЕНДОВЫЕ УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА НАДЕЖНОСТЬ



Издательство АСВ
Москва
2017

УДК 62
ББК 38
С79

Рецензенты:

заведующий кафедрой промышленного транспорта и строительства
Мытищинского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана,
профессор, доктор технических наук
В.И. Запруднов;

доцент кафедры промышленного транспорта и строительства
Мытищинского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана,
доцент, кандидат технических наук
В.В. Стриженко

Гиясов Б. И., Серегин Н. Г., Серегин Д. Н., Беляков В. А.

С79 Стендовые ускоренные испытания технических систем на
надежность: Учеб. пособие. – М.: Издательство АСВ, 2017.
– 74 с.

ISBN 978-5-4323-0231-1

Подробно рассмотрены вопросы надежности и стендовых испытаний технических систем на надежность, связанные с принципами их ускорения.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» и изучающих дисциплину «Надежность технических систем и техногенные риски».

ISBN 978-5-4323-0231-1

© Издательский дом АСВ, 2017

© Гиясов Б. И., Серегин Н. Г.,
Серегин Д. Н., Беляков В. А., 2017

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Как видно из определения, надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его пребывания ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ? может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенное сочетание этих свойств.

Безотказность – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – это свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Указанные свойства надежности определенные технические состояния объекта. НЕ ЧИТАЕТСЯ. ЧТО-ТО НЕ ТАК Различают пять основных видов технического состояния объекта: исправное состояние, неисправное состояние, работоспособное состояние, неработоспособное состояние и предельное состояние.

Исправное состояние – это состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неисправное состояние – это состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Работоспособное состояние – это состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность вы-

полнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Неработоспособное состояние – это состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Предельное состояние – это состояние объекта, при котором эго дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Переход объекта из одного технического состояния в другое происходит вследствие отказа или повреждения.

Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Повреждение – это событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении его работоспособного состояния.

В теории надежности предполагается внезапный отказ, который характеризуется скачкообразным изменением значений одного или нескольких параметров объекта. На практике приходится анализировать и другие отказы, например, ресурсный отказ, в результате которого объект приобретает предельное состояние.

Для количественной оценки надежности применяют количественные показатели оценки отдельных ее свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, а также комплексные показатели, характеризующие готовность и эффективность применения технических объектов.

Эти показатели позволяют проводить расчетно-аналитическую оценку количественных характеристик отдельных свойств объекта при выборе различных схемных и конструктивных вариантов объектов при их разработке, испытаниях и в условиях эксплуатации. Комплексные показатели надежности применяют в основном на этапах испытаний и эксплуатации при оценке и анализе соответствия эксплуатационно-технических характеристик технических систем заданным требованиям.

На стадии экспериментальной отработки, испытаний и эксплуатации роль показателей надежности выполняют статистические оценки соответствующих вероятностных характеристик. С целью единообразия все показатели надежности определяются как вероятностные характеристики.

2. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Вероятность безотказной работы

Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет. Практически этот показатель определяется статистической оценкой

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (2.1)$$

где N_0 – число однотипных объектов, поставленных на испытания (во время испытаний отказавший объект не восстанавливается и не заменяется исправным);

$n(t)$ – число отказавших объектов за время t .

Из определения вероятности безотказной работы следует, что она является функцией времени, причем функция убывающая и может принимать значения от 1 до 0. График вероятности безотказной работы изображен на рис. 2.1.

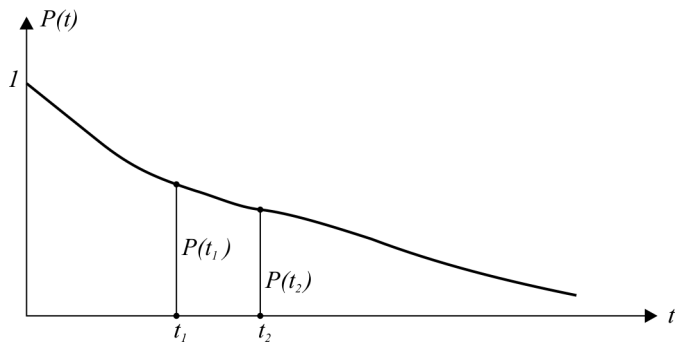


Рис. 2.1. График функции $P(t)$

Из графика видно, что функция $P(t)$ характеризует изменение надежности во времени и является достаточно наглядной оценкой.

Пример. На испытания поставлено 1000 образцов однотипных элементов, т. е. $N_0 = 1000$. При испытании отказавшие элементы не заменялись исправными. За время t отказало 10 элементов.

Следовательно, выполнив расчет по формуле (2.1), получим значение вероятности безотказной работы $P(t) = 0,99$. И можно ут-

верждать, что любой элемент из данной выборки с вероятностью $P(t) = 0,99$ не откажет за время t .

Практически иногда целесообразно пользоваться не вероятностью безотказной работы, а вероятностью отказа $Q(t)$. Поскольку работоспособность и отказ являются состояниями независимыми и противоположными, их вероятности связаны зависимостью

$$P(t) + Q(t) = 1, \text{ или } Q(t) = 1 - P(t). \quad (2.2)$$

Статистическая оценка вероятности отказа

$$Q(t) = 1 - \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad Q(t) = \frac{n(t)}{N_0}. \quad (2.3)$$

Производная от вероятности отказа по времени – это плотность вероятности, или дифференциальный закон распределения времени работы объекта до отказа:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{dF(t)}{dt} = Q'(t) = f(t). \quad (2.4)$$

Согласно математическим зависимостям (2.1), (2.2), (2.3) и (2.4) можно записать

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt. \quad (2.5)$$

Таким образом, зная плотность вероятности $f(t)$, легко найти искомую величину вероятности безотказной работы $P(t)$.

На практике достаточно часто приходится определять условную вероятность безотказной работы объекта в заданном интервале времени $P(t_1, t_2)$ при условии, что известен момент времени t_1 ЧТО-ТО ПРОПУЩЕНО? НЕ ЧИТАЕТСЯ объект работоспособен и известны $P(t_1)$ и $P(t_2)$. На основании формулы вероятности совместного появления двух зависимых событий, определяемой произведением вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную при условии, что первое событие уже наступило, имеем

$$P(t_2) = P(t_1)P(t_1, t_2). \quad (2.6)$$

Из этого следует

$$P(t_1, t_2) = \frac{P(t_2)}{P(t_1)}. \quad (2.7)$$

По известным статистическим данным можно записать

$$P(t_1, t_2) = \frac{N(t_2)}{N(t_1)}, \quad (2.8)$$

где

$$N(t_1) = N_0 - n(t_1); N(t_2) = N_0 - n(t_2). \quad (2.9)$$

Не всегда в качестве наработки принимают время в часах или годах. Например, для оценки вероятности безотказной работы коммутационных устройств с большим числом переключений в качестве переменной величины наработки целесообразно принять число циклов «включить – выключить» или при оценке надежности скользящих контактов удобнее в качестве наработки брать число проходов токоприемника по этому контакту. А при оценке надежности движущихся объектов наработку целесообразно принимать в километрах пробега, например, автомобиля. Смысл математических выражений оценки $P(t)$, $Q(t)$ и $f(t)$ при этом остается неизменной.

2.2. Средняя наработка до отказа

Средней наработкой до отказа называется математическое ожидание наработки объекта до первого отказа

$$T_1 = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt. \quad (2.10)$$

Вероятное определение ТАК? средней наработки до отказа выражается следующим образом:

$$T_1 = \int_0^{\infty} t \cdot Q'(t) dt. \quad (2.11)$$

Опуская промежуточные выкладки и зная, что $Q'(t) = -P'(t)$, можно утверждать, что средняя наработка до отказа T_1 равна площади, образованной кривой вероятности безотказной работы $P(t)$ и осями координат:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (2.12)$$

Статистическая оценка для средней наработки до отказа определяется по формуле

$$T_1 = \frac{1}{N_0} \sum_j^{N_0} t_j. \quad (2.13)$$

Как и в случае с определением вероятности безотказной работы $P(t)$, средняя наработка до отказа T_1 может оцениваться не только в часах или годах, но и в циклах, километрах пробега и другими величинами.

2.3. Интенсивность отказов

Интенсивность отказов – это условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не наступил. Из вероятностного определения следует

$$\lambda(t) = \frac{Q'(t)}{P(t)} = -\frac{1}{P(t)} P'(t). \quad (2.14)$$

Статистическая оценка интенсивности отказов имеет вид

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{cp_i} \Delta t_i}, \quad (2.15)$$

где $n(\Delta t_i)$ – число отказов объектов на интервале Δt_i , для которого определяется $\lambda(t)$;

N_{cp_i} – число работоспособных объектов в середине интервала Δt_i .

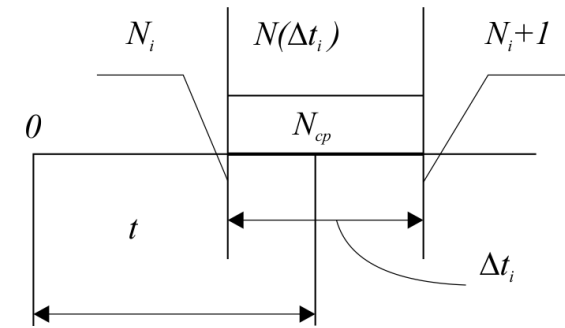


Рис. 2.2. Схема для определения N_{cp}

$$N_{cp_i} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}, \quad (2.16)$$

где: N_i – число работоспособных объектов в начале интервала Δt_i ;

N_{i+1} – число работоспособных объектов в конце интервала Δt_i .

Если при статистической оценке $\lambda(t)$ время эксперимента разбить на достаточно большое число одинаковых интервалов Δt_i за

длительный срок, то результатом обработки опытных данных будет следующий график (рис. 2.3).

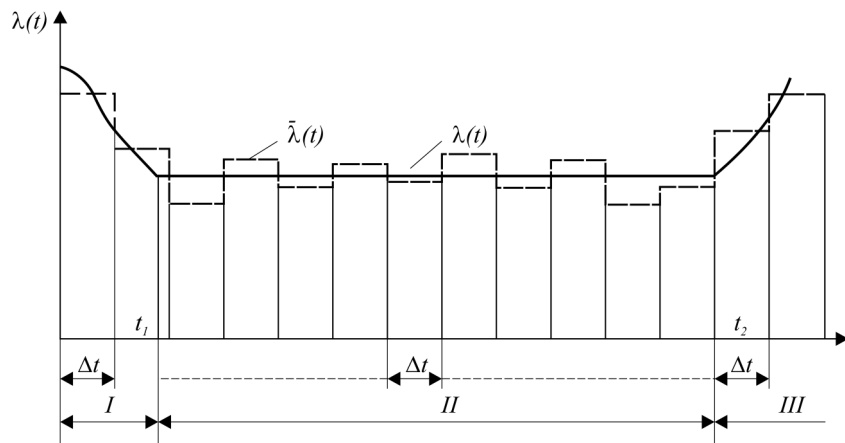


Рис. 2.3. Кривая жизни элемента: --- – опытные данные; — – линейризованная усредненная кривая; I – интервал приработки; II – интервал нормальной эксплуатации; III – интервал старения

Как показывают многочисленные результаты анализа надежности большинства объектов техники, линейризованная обобщенная зависимость $\lambda(t)$ представляет собой сложную кривую с тремя характерными интервалами, при этом на втором интервале ($t_1 - t_2$) (см. рис. 2.3) $\lambda = \text{const}$. Второй интервал может составлять более десяти лет. Он связан с нормальной эксплуатацией объектов.

Первый интервал ($0 - t_1$) (см. рис.2.3) часто называют периодом приработки элементов. Он может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от уровня отбраковки элементов на заводе-изготовителе, где элементы с внутренними дефектами своевременно изымаются из партии выпускаемой продукции. Величина интенсивности отказов на этом интервале во многом зависит от качества сборки сложных устройств, соблюдения требований монтажа и т. п.

На третьем интервале, после наступления времени t_2 по причинам, обусловленным естественными процессами старения, изнашивания или коррозии, интенсивность отказов резко возрастает, увеличивается число деградационных отказов. Для того чтобы обеспечить $\lambda = \text{const}$, необходимо заменить неисправные неремонтируемые элементы на исправные.

Интервал $\lambda = \text{const}$ соответствует экспоненциальной модели распределения вероятности безотказной работы. При $\lambda = \text{const}$ значительно упрощается расчет надежности. Интенсивность отказов λ

наиболее часто применяется в качестве исходного показателя надежности элементов.

2.4. Средняя наработка на отказ

Средняя наработка на отказ – это показатель, относящийся к восстанавливаемым объектам, при эксплуатации которых допускаются многократно повторяющиеся отказы. Восстанавливаемые объекты в начальный момент времени начинают работу и продолжают ее до первого отказа. После отказа производят восстановление работоспособности объекта, затем он вновь работает до отказа и т. д. На оси времени моменты отказов образуют поток отказов, а моменты восстановлений – поток восстановлений. Средняя наработка на отказ определяется как отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к числу отказов, происшедших за суммарную наработку:

$$T = \frac{1}{n(t)} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (2.17)$$

где t_i – наработка между $i-1$ и i -м отказами;

$n(t)$ – суммарное число отказов за время t .

2.5. Параметр потока отказов

Параметр потока отказов характеризует восстанавливаемый объект и по статистическим данным определяется следующим образом:

$$\omega(t) = \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1}, \quad (2.18)$$

где $n(t_1)$ и $n(t_2)$ – количество отказов объекта, зафиксированных соответственно по истечении времени t_1 и t_2 .

Параметр потока отказов представляет собой плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта. Отказы объектов возникают в случайные моменты времени, и в течение заданного периода эксплуатации, наблюдается поток отказов. Существует множество математических моделей потоков отказов. Наиболее часто при решении задач надежности применяют простейший поток отказов – пуассоновский поток. Этот поток отказов удовлетворяет одновременно трем условиям: стационарности, ординарности и отсутствию последствия.

Стационарность случайных процессов означает, что на любом промежутке времени Δt_i вероятность возникновения n зависит только от n и величины промежутка Δt_i , но не зависит от сдвига Δt_i по оси времени. Следовательно, при $\Delta t_i = \Delta t_{i+1} = \dots = \Delta t_{i+m}$ вероятность появления n отказов по всем интервалам составит $q_n(\Delta t_i) = q_n(\Delta t_{i+1}) = \dots = q_n(\Delta t_{i+m})$.

Ординарность случайного процесса означает, что отказы являются событиями случайными и независимыми. Ординарность потока означает невозможность появления в один и тот же момент времени более одного отказа.

Отсутствие последствия означает, что вероятность наступления n отказов в течение промежутка Δt_i не зависит от того, сколько было отказов и как они распределялись до этого промежутка. Следовательно, факт отказа любого элемента в системе не приведет к изменению характеристик других элементов системы, если даже система и отказала из-за какого-то элемента.

Опыт эксплуатации сложных технических систем показывает, что отказы элементов происходят мгновенно и что при отсутствии старения элементов поток отказов в системе можно считать простейшим.

3. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Расчет надежности технических систем – это процедура определения показателей надежности объекта с применением методов, основанных на их вычислении по справочным данным о надежности элементов объекта, по данным о надежности объектов-аналогов, данным о свойствах материалов и по другой информации, имеющейся к моменту начала расчета.

Необходимость расчета надежности технических систем существовала с момента применения их человеком. Например, в начале прошлого века существовала задача оценки среднего времени горения уличных газовых фонарей, в середине тридцатых годов прошлого века, благодаря работам известного шведского ученого В. Вейбулла, получила известность задача расчета среднего времени наработки электронных ламп до их отказа.

Ярким примером поиска методов расчета надежности является история создания ракетных комплексов Фау-1 и Фау-2 Вернером фон Брауном. В лаборатории Брауна работал немецкий математик Эрик Пьеружка, который доказал, что надежность ракеты равна произведению надежности всех ее составляющих элементов, а не надежности самого ненадежного элемента, как считал Браун. Позднее вместе с Брауном в середине пятидесятых годов прошлого века в США работал немецкий инженер Роберт Луссер, который сформулировал основные теоретические положения будущей теории надежности. Его формула для расчета надежности системы с последовательным соединением элементов стала известна как «Закон Луссера».

Первыми работами по расчету надежности в бывшем Советском Союзе являются научные статьи инженера Б. М. Якуба «Показатели и методы расчета надежности в энергетическом хозяйстве», опубликованные в журнале «Электричество» №18 за 1934 г., и профессора В. И. Сифорова «О методах расчета надежности систем, содержащих большое число элементов» – в Известиях Академии наук СССР. Отделение технических наук, №6 за 1954 г.

Независимо от закрытых работ немецких ученых в указанных статьях надежность технической системы с последовательным соединением элементов рассчитывалась как произведение надежности этих элементов.

Существуют две базовые схемы соединения элементов в техническую систему: схема последовательного соединения элементов в систему и схема параллельного соединения элементов, из которых

схема последовательного соединения элементов в техническую систему является соединением по основной схеме.

В схеме последовательного соединения элементов в техническую систему отказ любого элемента приводит к отказу системы в целом (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Схема последовательного соединения трех элементов в систему, или соединения трех элементов по основной схеме

Вероятность безотказной работы схемы последовательного соединения трех элементов в техническую систему, или соединения трех элементов по основной схеме составляет

$$P(t) = p_1(t) p_2(t) p_3(t). \quad (3.1)$$

В схеме параллельного соединения элементов в техническую систему (рис. 3.2) отказ системы в целом происходит только при отказе всех в нее входящих элементов.

Вероятность безотказной работы схемы параллельного соединения трех элементов в техническую систему составляет

$$P(t) = 1 - [1 - p_1(t)] [1 - p_2(t)] [1 - p_3(t)]. \quad (3.2)$$

Вопросы надежности современных технических систем решают на всех стадиях жизненного цикла объектов от проектирования, изготовления, эксплуатации и до утилизации. При этом могут встречаться следующие задачи:

1) обоснование количественных требований к надежности объекта или его составных частей;

2) сравнительный анализ надежности вариантов схемно-конструктивного построения объекта и обоснование выбора рационального варианта, в том числе по стоимостному критерию;

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

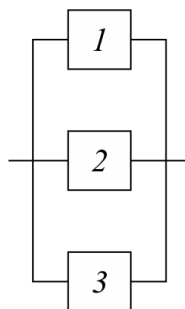


Рис. 3.2. Схема параллельного соединения трех элементов в систему

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

5) решение различных оптимизационных задач, в которых показатели надежности выступают в роли целевых функций, управляемых параметров или граничных условий, в том числе таких как оптимизация структуры объекта, распределение требований по надежности между показателями отдельных элементов объекта, расчет комплектов **ЗИП** ДЛЯ СТУДЕНТА УМЕСТНО РАСШИФРОВАТЬ, оптимизация систем технического обслуживания и ремонта, обоснование гарантийных сроков и назначенных сроков службы объекта;

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

На этапе проектирования расчет надежности производится с целью прогнозирования надежности работы проектируемой технической системы.

На этапах испытаний и эксплуатации расчет надежности служит для оценки количественных показателей надежности запроектированной технической системы.

4. ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

4.1. Виды, цели и задачи испытаний на надежность

Экспериментальные методы определения показателей надежности технических устройств и систем основаны на испытаниях, которые в зависимости от поставленных задач подразделяются на определительные, контрольные и исследовательские. По уровню проведения испытания разделяют на государственные, межведомственные и ведомственные.

Определительные испытания на надежность опытных образцов проводят в составе предварительных и (или) приемочных испытаний. Целью определительных испытаний является установление значений показателей надежности с заданной доверительной вероятностью, тем более что по результатам испытаний выявляется наиболее рациональная конструкция изделия, определяются его технические возможности, проверяется работоспособность, исследуется динамика, выявляются элементы, узлы и агрегаты, лимитирующие надежность, определяется период приработки. При этом определительные испытания необходимо приблизить к стадии разработки приборов.

Контрольные испытания на надежность на этапах постановки на производство и серийного выпуска изделий проводят самостоятельно или в составе квалификационных, аттестационных, инспекционных и, в том числе, периодических испытаний. Целью контрольных испытаний является контроль соответствия продукции требованиям по надежности, приведенным в Технических условиях (ТУ), с учетом результатов определительных испытаний. Кроме того, по результатам испытаний контролируется стабильность качества изготовления приборов и проверяется возможность поставки их потребителю.

Исследовательские испытания на надежность проводятся с целью установления законов распределения ресурсов деталей и узлов изделий, а также изучения закономерностей процессов их отказов.

В общем случае в зависимости от места проведения и принятой методики испытания на надежность подразделяются на стендовые, полигонные и эксплуатационные.

Стендовые испытания проводятся на испытательном оборудовании, под которым понимается техническое устройство для воспроизведения программ, режимов и условий испытаний. Они позво-

ляют получать данные о надежности в относительно короткий срок. Стендовые испытания дают возможность гибко менять и контролировать характер и уровень нагрузок, применять сложные измерительные приборы для многофакторного контроля параметров технического состояния. К недостаткам стендовых испытаний следует отнести сложность воспроизведения всего спектра режимов нагружения и условий эксплуатации, а также ограничение по числу одновременно испытываемых изделий.

Полигонные испытания приборов проводят на специально оборудованном полигоне. Широко распространены полигонные испытания приборов, проводимые при воздействии внешних климатических факторов. Испытания приборов, предназначенных для эксплуатации и хранения только в определенных климатических районах, проводят на полигонах, расположенных в местности, характеризующей климатическое воздействие этих районов.

Эксплуатационные испытания приборов проводят в условиях и режимах их реальной эксплуатации. При правильной методике сбора и обработки большого объема информации эксплуатационные испытания позволяют получить достоверные сведения о надежности изделий, режимах и условиях их работы, типичных отказах и их физической сущности. При этом эксплуатационные испытания могут быть однократные и многократные. Однократные и многократные испытания на надежность в условиях эксплуатации связаны с организационными трудностями и требуют продолжительного времени. При проведении эксплуатационных испытаний, особенно при ограниченном объеме выборки, сложно обеспечить статистическую однородность партии изделий. Испытательное оборудование имеет рассеивание начальных параметров технического состояния и эксплуатируется в различающихся условиях и режимах работы. Сложно обеспечить идентичный уровень качества и эффективность работ по техническому обслуживанию и ремонту приборов, что отражается на точности определения исходных данных для расчета показателей надежности.

Обычно рекомендуется проведения комплексных испытаний с рациональным сочетанием стендовых, полигонных и эксплуатационных испытаний, взаимно дополняющих друг друга и позволяющих повысить точность оценки показателей надежности.

4.2. Объекты испытаний на надежность

В качестве объектов испытаний на надежность могут быть выбраны образцы материалов, сборочные единицы приборов, датчики,

преобразователи, усилители, измерительные системы, комплексы (рис. 4.1). Причем это должны быть однотипные объекты, не имеющие конструктивных и других различий, изготовленные по единой технологии и испытываемые в идентичных условиях.

Задача выбора объекта испытаний должна решаться в каждом конкретном случае исходя из реальных возможностей производства, необходимой точности воспроизведения характера и уровня нагружения, необходимости исследования влияния процессов различной скорости на выходные параметры приборов.

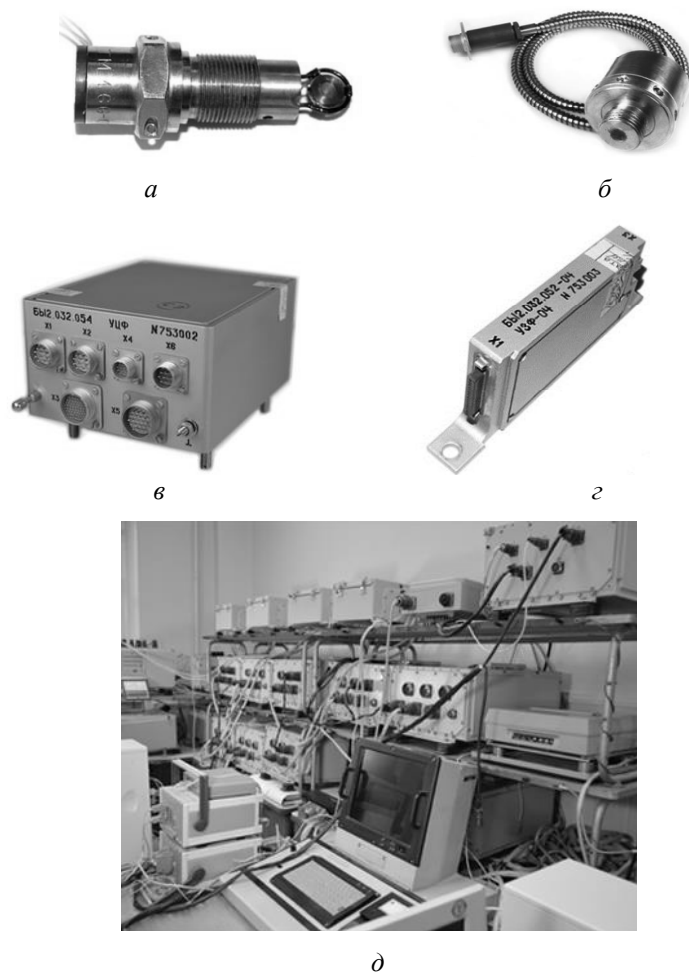


Рис. 4.1. Примеры объектов испытаний на надежность: а – датчик температуры; б – датчик вибрации; в – преобразователь; г – усилитель; д – измерительная система

На образцах материалов проводят испытания свойств материалов деталей и сборочных единиц, определяющих надежность изделий. Могут исследоваться показатели коррозионной стойкости, усталостной прочности, электромагнитные свойства и др.

Сборочные единицы устанавливаются на испытания при необходимости выявления конструктивных, технологических факторов, режимов и условий работы, влияющих на ресурс деталей данных сборочных единиц, а также в случае необходимости учета влияния и (или) взаимовлияния отдельных деталей и элементов конструкции сборочных единиц на показатели надежности изделий в целом.

Изделия в целом чаще всего подвергаются испытаниям, так как именно в составе приборов можно учесть в процессе работы все взаимодействия деталей, комплектующих и сборочных единиц, а также выявить влияние режимов и условий эксплуатации на показатели надежности.

Измерительные системы и комплексы ставятся на испытания при необходимости определения показателей надежности с учетом взаимодействия отдельных приборов, входящих в состав систем или комплексов.

Испытания на надежность состоят в основном в выявлении работоспособности определенной группы «слабых» мест, наименее стойких узлов и деталей, номенклатура которых зачастую известна заранее. Если испытаниям на надежность подвергать только эти «слабые» места, то будет достигнута определенная экономия времени и средств. Поэлементная схема испытаний обеспечивает преемственность результатов испытаний в случае применения в новой конструкции уже отработанных деталей, сборочных единиц и комплектующих. Эта схема испытаний наиболее эффективна на стадии отработки отдельных узлов приборов, поскольку позволяет получить данные для конструкторской и технологической доводки. При испытаниях сборочных единиц имеется возможность значительно увеличить объем выборки, получить необходимый статистический материал и повысить достоверность результатов. Недостатками поэлементной схемы испытаний являются сложность воспроизведения взаимодействия сопряженных с испытываемым элементом узлов и комплектующих, невозможность установления физической сущности зависимых отказов и влияния качества сборки узлов на их надежность.

Учитывая, что в значительной степени надежность изделий определяется качеством изготовления печатных плат, монтажных работ и пайкой, наиболее эффективными в этом случае являются стендовые испытания отдельных сборочных единиц. Это позволяет дос-

точно просто воспроизводить характер и уровень нагрузок с помощью несложных нагрузочно-имитирующих устройств, учитывать взаимодействие конструктивных элементов в работе узлов. В этом случае значительно меньше искажается общая картина внешних воздействий и неизменной остается природа процессов выхода из строя приборов, тем более что поузловые испытания экономически оправданы и могут быть распространены на аналогичные узлы других приборов и учтены при их совершенствовании.

Испытания изделий в целом позволяют проверить работоспособность их узлов и деталей в общей компоновке и получить данные о надежности приборов. Испытания приборов, измерительных систем и комплексов необходимы при проведении исследований параметрической надежности, когда только комплексно можно оценить влияние внешних воздействий и их изменения во времени на показатели технического состояния приборов. Однако этот вид испытаний не всегда экономически целесообразен, так как порой требует в процессе испытаний разрушения испытываемого объекта и создания сложных нагрузочно-имитирующих устройств.

Практически при отработке опытных образцов целесообразно одновременное проведение параллельных стендовых испытаний нескольких конструктивных решений сборочных единиц и изделий в целом. Такой подход сокращает общую продолжительность испытаний, позволяет для сборочных единиц применить форсированные режимы испытаний, в короткие сроки получить сравнительные данные о надежности различных конструктивных вариантов, выполнить модернизацию прибора с последующим продолжением его испытаний на надежность.

На практике иногда обращают главное внимание на совершенствование основных узлов изделия, упуская из виду, что причиной ненадежности и последующей аварии могут быть конструктивные узлы, носящие, казалось бы, второстепенный, вспомогательный характер. Обычно на высокую надежность рассчитываются именно основные узлы, основное оборудование.

Например, в известном сверхзвуковом реактивном самолете «Конкорд» англо-французского производства надежность основных бортовых систем выбрана таким образом, чтобы вероятность отказа с неопасными последствиями составляла не более 10^{-5} , а вероятность опасных отказов – не более 10^{-7} , катастрофические же поломки исчисляются вероятностью, меньшей 10^{-9} . Таким образом, основное оборудование в самолетах, как правило, рассчитано на высокую

надежность. Однако причиной катастрофы «Конкорда» в 2000 г. стал незначительный дефект второстепенного узла.

4.3. Планирование испытаний на надежность

Планирование испытаний предусматривает выбор типа плана испытаний, определение числа объектов испытаний и условий их проведения.

При определении показателей надежности возможны два варианта, различающиеся наличием или отсутствием информации о виде закона распределения наработки (ресурса). В первом случае применяют параметрические методы оценки, при которых сначала оценивают параметры закона распределения, а затем определяют показатель надежности как функцию от оцененных параметров. Во втором случае применяют непараметрические методы, при которых показатели надежности оценивают непосредственно по опытным данным.

Численные значения показателей надежности являются случайными величинами. Поэтому в процессе планирования определительных испытаний приборов под оценками показателей надежности понимают точечную или интервальную оценки, причем границы доверительного их интервала с заданной вероятностью перекрывают истинное значение показателей. Характеристикой точности оценки показателей надежности служит предельная относительная ошибка

$$\varepsilon = \max \left\{ \frac{\hat{R} - \underline{R}}{\hat{R}}, \frac{\bar{R} - \hat{R}}{\hat{R}} \right\}, \quad (4.1)$$

где $\hat{R}$ – точечная оценка показателя надежности R ; $\underline{R}$ и $\bar{R}$ – соответственно нижняя и верхняя границы одностороннего доверительного интервала при заданной доверительной вероятности q .

Исходными данными для расчета объема испытаний являются план испытаний, предельная относительная ошибка, доверительная вероятность, вид закона распределения случайной величины, коэффициент вариации, объем совокупности.

Целью планирования контрольных испытаний приборов является проверка гипотезы о том, что их надежность не ниже установленного уровня. При этом выбирается одно из двух решений: принять партию приборов, считая их надежность удовлетворительной, или забраковать контрольную партию приборов как ненадежную.

Контрольные испытания приборов проводят одноступенчатым или последовательным методами.

При одноступенчатом контроле организуется n независимых циклов испытаний. Под циклом испытаний понимают наработку t одного изделия. Для восстанавливаемых изделий объем выборки N может быть любым, лишь бы обеспечивал n циклов испытаний. Для невосстанавливаемых изделий $N = n$. В каждом цикле фиксируют отрицательный и положительный результаты. Под отрицательным результатом понимают наступление отказа или предельного состояния, или события невосстановления за время t .

Последовательный метод контроля не предусматривает предварительное определение объема выборки. Информация о надежности объектов накапливается при последовательно возрастающем объеме испытаний. Графиком последовательных испытаний является ступенчатая линия (рис. 4.2).

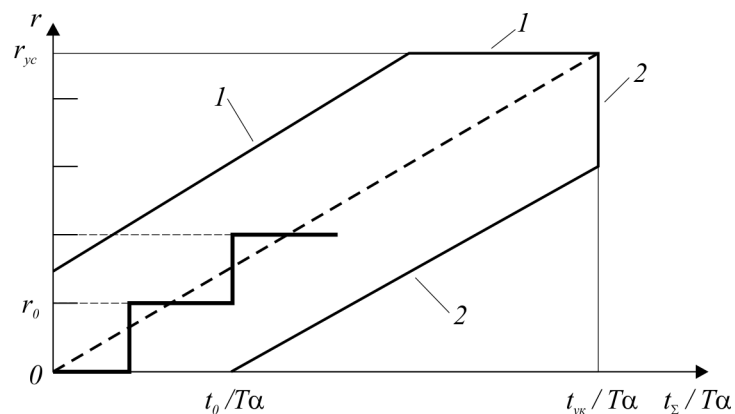


Рис. 4.2. График последовательных испытаний: 1 — линия несоответствия; 2 — линия соответствия

Ступенчатая линия графика последовательных испытаний построена по координатам $(t_{\Sigma}/T_{\omega}, r)$ точек, где t_{Σ} — суммарная наработка образцов изделия в момент наступления r -го отказа, т. е. предельного состояния.

Результаты испытаний положительны, если график последовательных испытаний достигает одной из линий соответствия 2, и отрицательны, если график последовательных испытаний достигает одной из линий несоответствия 1.

Исходными данными для планирования контрольных испытаний являются риск потребителя, риск поставщика, браковочное значение контролируемого показателя, приемочное значение контролируемого показателя, закон и параметры закона распределения контролируемого показателя надежности.

Показатели надежности как количественные характеристики регламентированы ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».

При выборе номенклатуры показателей надежности приборов рекомендуется руководствоваться следующими положениями, принятыми с учетом специфики рассматриваемых изделий:

1) номенклатура показателей надежности должна быть минимальной и в то же время достаточной для характеристики свойств надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности) и решения конкретных практических задач;

2) номенклатура показателей рассматривается для нестареющих изделий, свойства которых изменяются только под действием нагрузок, обусловленных их функционированием.

Показатели надежности определяются отдельно для сборочных единиц приборов и сложных измерительных систем и комплексов в целом. По обслуживанию приборы подразделяются на обслуживаемые, для которых проведение профилактических работ предусмотрено в нормативно-технической документации, и необслуживаемые. По ремонтируемости приборы подразделяются на ремонтируемые, для которых проведение ремонтов предусмотрено в нормативно-технической документации, и неремонтируемые. Измерительные системы и комплексы как сложные изделия чаще относятся к обслуживаемым, восстанавливаемым и ремонтируемым изделиям, для которых перечисленные виды работ регламентированы нормативной документацией.

5. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

5.1. Основные положения стендовых испытаний

Под стендовыми испытаниями на надежность понимается экспериментальное определение численных значений показателей надежности приборов, установленных на испытательном стенде, воспроизводящем комплекс воздействий и условий в соответствии с программой испытаний.

Испытания в лабораториях на стендах, проведенные в условиях моделирования рабочих процессов с применением нагрузочными устройствами, позволяют получить данные о надежности приборов в относительно короткий срок. В отличие от подконтрольной эксплуатации, эти испытания позволяют более гибко менять характер и уровень внешних входных воздействий, строго контролировать ход испытаний и выявлять в чистом виде влияние отдельных факторов на потерю изделием работоспособности. В результате стендовых испытаний, проведенных с минимальным привлечением рабочей силы, удается получать данные, на которых не отражаются специфические недостатки эксплуатации и технического обслуживания, неизбежно присущие каждому производству.

Во многом цель и задачи стендовых испытаний на надежность совпадают с целью и задачами эксплуатационных испытаний. Однако проведение испытаний в специально оснащенных лабораториях позволяет применить методы автоматизированных испытаний с элементами диагностики, выполнять в рамках испытаний на надежность комплексные исследования точностных, динамических и других показателей качества приборов, сравнивать по показателям надежности их различные конструктивные варианты на этапах проектирования и создания опытных образцов.

Стендовые испытания подразделяются на нормальные и ускоренные. К нормальным испытаниям относятся такие, которые обеспечивают получение необходимого объема информации о надежности приборов за такой же интервал времени, что и предусмотренный в условиях реальной эксплуатации.

К ускоренным относятся испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации о надежности приборов в более короткие сроки, чем при реальной эксплуатации.

Во всех случаях при проведении стендовых испытаний приборов на надежность отсутствуют перерывы в работе по организаци-

онным причинам, применяются измерительные приборы повышенной точности и другие средства ускорения получения информации о надежности. Это делает любые стендовые испытания ускоренными даже в тех случаях, когда их условия максимально приближены к условиям реальной эксплуатации.

Сокращение времени проведения испытаний на надежность является проблемой первостепенной важности в отношении сокращения сроков освоения новой техники и снижения расходов на проведение испытаний. Высокий уровень надежности современных приборов приводит к тому, что доведение изделий до отказа при режимах работы, соответствующих эксплуатационным, требует весьма длительных испытаний по сравнению с установленным для изделий ресурсом. Если требуется обширная статистическая информация по наработке приборов до отказа, то часто проведение таких испытаний методом подконтрольной эксплуатации становится практически невозможным. Ускоренные стендовые испытания дают информацию о новых приборах и позволяют судить о показателях их надежности уже на стадии создания опытных образцов. Без ускоренных испытаний нельзя оценить надежность новых приборов, их модификаций, а также конструктивных и технологических усовершенствований.

Точность и достоверность получаемых в процессе ускоренных испытаний результатов в значительной степени определяется правильным построением рабочей программы и методики испытаний.

5.2. Этапы стендовых испытаний

Основной метод стендовых испытаний на надежность вытекает из самого определения понятия надежности: при проведении испытаний приборы должны сохранять свои начальные эксплуатационные качества в процессе наработки.

Для повышения точности исследования необходимо уменьшить рассеивание параметров приборов, вызванное низким качеством изготовления или неправильной эксплуатацией. Поэтому для установления фактического уровня надежности необходимо ставить на испытания приборы, собранные из деталей, узлов и комплектующих, изготовленных строго по утвержденным конструкторским документам, ТУ и технологии.

Перед началом испытаний необходимо проверить соответствие испытываемых приборов конструкторской документации и техническим характеристикам. Дефектные детали, узлы и комплектующие должны быть заменены.

Для вновь изготовленных приборов проводится паспортизация их начального качества. При этом фиксируются те параметры, которые в процессе испытаний будут изменяться и для которых необходимость восстановления первоначального значения является критерием отказа.

Затем определяется метод имитации внешних сил воздействия на испытываемые приборы и разрабатывается конструкция нагрузочно-имитирующего устройства. После изготовления и установки на экспериментальный стенд такого устройства проводят проверку его работоспособности по точности воспроизведения рабочих процессов.

Для осуществления стендовых испытаний необходимо проведение в сокращенном объеме эксплуатационных наблюдений за работой испытываемых приборов или их аналогов. На основании данных эксплуатационных наблюдений составляются режимы нагружения или спектр эксплуатационных режимов и определяются внешние условия проведения испытаний, например, влажность, запыленность, радиация, температура.

Устанавливаются показатели и критерии надежности, которые позволяют выявить в общем потоке неисправностей испытываемых приборов ситуации, действительно приводящие к отказам.

Экспериментальный стенд оснащают нагрузочно-имитирующим устройством и приступают к испытаниям, длительность которых зависит от задач исследования. В процессе испытаний изучаются вредные воздействия и явления, снижающие работоспособность приборов.

Испытания периодически прерываются для оценки изменений начального качества приборов. Для этого проводятся исследования на воздействие внешних факторов, в процессе которых определяется состояние изделий путем замеров оценочных показателей. Проверки на правильность функционирования и изменения динамических свойств изделий следует проводить постоянно с целью более раннего обнаружения отклонения параметров технического состояния от номинальных значений.

По окончании стендовых испытаний приборов в соответствии с рабочей методикой и программой испытаний проводится паспортизация их конечного качества.

5.3. Режимы стендовых испытаний

Эффективность стендовых испытаний на надежность зависит от их продолжительности, которая определяется режимами, методами и программами испытаний.

Режимы стендовых испытаний на надежность характеризуют комплекс механических, теплофизических, химических и иных воздействий, обуславливающих деградационные процессы в испытываемых объектах.

Ускоренные испытания на надежность могут проводиться в нормальном, форсированном или комбинированном режимах.

Ускорение испытаний в форсированном режиме достигается интенсификацией вредных процессов, приводящих к отказам или повреждениям.

При выборе режимов или спектра режимов испытаний следует учитывать, что получение достоверной информации по результатам испытаний возможно только в случае сохранения физической картины отказов аналогичной эксплуатационной.

Режимы работы в эксплуатации, соответствующие заданным типичным условиям их использования в сочетании с требуемыми ресурсами, являются основой всех этапов создания изделий: расчетов, конструирования, изготовления, испытаний и доводки.

Режимы стендовых испытаний в общем случае отличаются от режимов эксплуатации, но связаны с ними количественно и качественно. Количественная связь обусловлена необходимостью сравнения интенсивности процессов разрушения при испытаниях с их интенсивностью при эксплуатации. Качественная связь обусловлена необходимостью воспроизведения на испытаниях таких же процессов разрушения, как и в эксплуатации.

Выбору режимов испытаний предшествуют несколько этапов:

- 1) определение видов разрушений и вариантов эксплуатации, воспроизводимых при испытаниях;
- 2) определение количественных характеристик режимов эксплуатации;
- 3) классификация действующих нагрузок по степени их разрушающего воздействия;
- 4) анализ ограничений форсированных режимов испытаний.

При проведении стендовых испытаний необходимо соблюдать принцип «подобия отказов». Этот принцип предполагает, что различные процессы, приводящие к утрате работоспособности приборов в процессе испытаний, полностью соответствуют процессам, протекающим в них в условиях реальной эксплуатации. Каждый процесс разрушения имеет свою критическую область. При переходе границ этой области происходят его качественные изменения. Режимы и методы стендовых испытаний следует выбирать таким образом, чтобы границы критической области не

были достигнуты и качественная сторона процесса разрушения осталась неизменной.

Несмотря на сложность и многообразие явлений, сопровождающих стендовые испытания реальных приборов, в каждом конкретном случае можно установить группу факторов, которые определяют отказы изделий для данных условий. Изменение в определенных соотношениях и пределах факторов этой группы или какого-либо одного фактора приводит только к увеличению или уменьшению интенсивности протекания процессов выхода из строя приборов без изменения качественной стороны вышеуказанных процессов. Только при определенных критических значениях ведущей группы факторов происходит скачкообразное изменение качественных и количественных характеристик выхода изделий из строя.

Сокращенные испытания чаще проводятся в нормальных режимах с нагрузками, максимально приближенными к эксплуатационным. Эти режимы должны обеспечивать эквивалентность разрушающих воздействий при сокращенных испытаниях и в условиях эксплуатации. Эквивалентность должна оцениваться при выборе режимов испытаний и при получении фактических характеристик надежности.

Первая оценка эквивалентности сводится к уточнению передаточной функции от задающего к исполнительному элементу нагрузочно-имитирующего устройства. Она проводится при разработке экспериментального стенда и при периодических проверках показателей технического состояния объекта испытаний. Вторая оценка осуществляется сравнением параметров стендовых и эксплуатационных режимов нагружения. Сопоставляются средние значения нагрузок и дисперсии, законы распределения нагрузок и зависимости параметров нагрузочных режимов от времени.

6. ОСОБЕННОСТИ УСКОРЕНИЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

6.1. Принципы ускорения стендовых испытаний

Принципами ускорения стендовых испытаний приборов на надежность называется совокупность теоретических и экспериментальных закономерностей или обоснованных допущений, на основе которых достигается сокращение продолжительности испытаний.

Сокращенные испытания проводят на основе принципов уплотнения рабочих циклов и экстраполяции по времени.

Форсированные испытания основываются на применении принципов усечения спектра нагрузок, учащения рабочих циклов, сравнения, экстраполяции по нагрузке, «доламывания», прогрессивного форсирования нагрузок и запросов.

Совокупность правил применения принципов стендовых ускоренных испытаний приборов на надежность для определения или контроля показателей надежности групп или видов изделий образует метод стендовых ускоренных испытаний. Перечисленные принципы ускорения стендовых испытаний могут быть применены в сочетании друг с другом при составлении программы и метода испытаний, что существенно сокращает их продолжительность.

В основу перечисленных принципов ускорения стендовых испытаний положена гипотеза о том, что надежность объекта испытаний при условии сохранения физической картины отказов зависит от величины выработанной им доли ресурса в прошлом и не зависит от того, как выработан этот ресурс.

Ресурс изделия описывается уравнением

$$r(T) = \int_0^T \omega(t) dt, \quad (6.1)$$

где $r(T)$ – ресурс, вырабатываемый за время T ЗА КАКОЕ ВРЕМЯ?;

$\omega(t)$ – неотрицательная функция, выражающая какой-либо параметр изделия, ухудшающийся в процессе наработки.

Ресурс, выработанный в процессе ускоренных испытаний, должен соответствовать ресурсу, выработанному при нормальной эксплуатационной нагрузке. Тогда коэффициент ускорения примет вид

$$K_y = \int_0^T \omega(t) dt / \int_0^T \omega_y(t) dt. \quad (6.2)$$

Коэффициент ускорения показывает, во сколько раз продолжительность ускоренных испытаний меньше продолжительности испытаний, проведенных при условиях режима эксплуатации, регламентированных научно-технической документацией.

Уплотнение рабочих циклов как принцип ускоренных испытаний предусматривает сокращение перерывов в работе приборов, устранение простоев и сокращение времени на вспомогательные работы. Сокращение рабочих циклов допускается только в тех случаях, когда перерывы в работе не влияют на скорость процессов, приводящих к отказам. Реализация принципа уплотнения рабочих циклов обеспечивается проведением круглосуточных испытаний, а также автоматизированных испытаний с контролем рабочих параметров и режимов испытаний. Коэффициент ускорения испытаний по принципу уплотнения рабочих циклов

$$K_{yi} = \frac{T}{T_v} = \frac{t_p + t_{bc}}{t_p}, \quad (6.3)$$

где t_p – время работы приборов;
 t_{bc} – время внутрисменных потерь.

С учетом организационных особенностей ускоренных испытаний коэффициент ускорения испытаний по принципу уплотнения рабочих циклов во времени

$$K_{yi} = \frac{K_{исп} t_{см} i_y}{K_{исп} t_{см} i}, \quad (6.4)$$

где $K_{исп}$, $K_{исп} y$ – коэффициенты использования в эксплуатации и испытаниях соответственно;

$t_{см}$, $t_{см} y$ – продолжительность смены в эксплуатации и в испытаниях соответственно;

i , i_y – сменность работы приборов в эксплуатации и в испытаниях соответственно.

Принцип экстраполяции по времени основан на гипотезе о возможности достаточно достоверного прогнозирования надежности приборов. Экстраполяцию осуществляют на основе модели отказов. Нарботку до отказов оценивают по результатам кратковременных усеченных испытаний. Различают два вида усечения испытаний:

- 1) прекращение испытаний при достижении заданной наработки;
- 2) прекращение испытаний при достижении заданного количества отказов.

При применении принципа экстраполяции по времени коэффициент ускорения K_y определяется как отношение среднего прогнози-

руемого ресурса T_p к продолжительности испытаний, т. е. соответствующей наработке t_n на момент усечения испытаний:

$$K_y = T_p / t_n. \quad (6.5)$$

В общем случае случайная функция изменения параметра $a(t)$ изделия во времени t представляется в виде

$$a(t) = a + p(t) + d(t) = a + p(t) + z(t) + c(t), \quad (6.6)$$

где a – начальное значение параметра (математическое ожидание);

$p(t)$ – изменение параметра, обусловленное деградационными процессами, протекающими со средней скоростью;

$d(t)$ – функция параметра, обусловленная медленно протекающими процессами;

$z(t)$ – периодическая составляющая, являющаяся детерминированной функцией;

$c(t)$ – случайная составляющая, являющаяся стационарной случайной функцией.

При известных по результатам стендовых испытаний характеристиках случайного процесса $a(t)$ изменения параметра a экстраполяция сводится к определению вероятности безотказной работы $P(T_p)$ до момента времени T_p , рассматриваемой как вероятность пересечения установленной границы изменения параметра a_{max} (рис. 6.1).

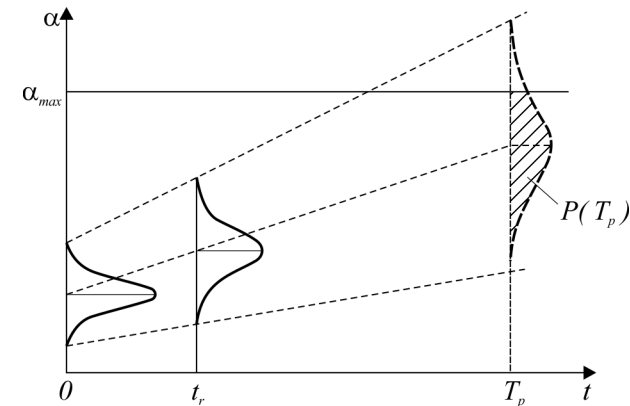


Рис. 6.1. Схема ускорения испытаний экстраполяцией по времени

При этом необходимо учитывать, что практически любую функцию параметра x по наработке t путем соответствующего преобразования координат можно отображать в линеаризованном виде и определять коэффициенты уравнений по методу наименьших квадратов.

Использование метода предполагает, что функция изменения параметра x сохраняется неизменной во времени, вплоть до дости-

жения изделием предельного состояния, и что на всем этом интервале она монотонна и имеет производные.

Можно считать, что экстраполяция по времени дает удовлетворительные результаты по точности при продолжительности испытаний менее 40–70 % ресурса изделий при нормальных испытаниях.

Принцип усежения спектра нагрузок заключается в исключении части нагрузок, не оказывающих существенного повреждающего воздействия на объект испытаний, что сопровождается общим ростом среднего уровня нагружения и ускоренной потерей изделием работоспособности.

Большинство приборов подвержено при эксплуатации воздействию широкого спектра случайных и периодически повторяющихся внешних факторов. Программный блок нагрузок, реализуемых при испытаниях, формируется путем проведения статистического анализа повторяемости нагрузок и отбрасывания определенной части нагрузок, не влияющих на рассматриваемый процесс разрушения (рис. 6.2).

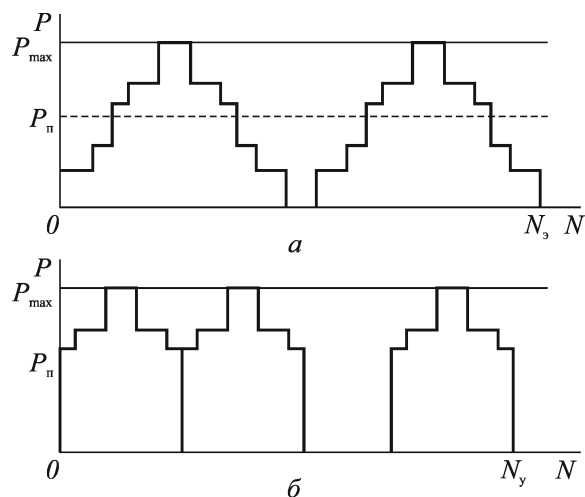


Рис. 6.2. Схема ускорения испытаний усежением спектра эксплуатационных нагрузок: *a* – режим эксплуатации; *б* – режим испытаний

Коэффициент ускорения в рассматриваемом случае определяется отношением общего числа циклов N_y в блоке эксплуатационного нагружения к общему числу циклов N_y в усеженном блоке нагружения:

$$K_y = N_y / N_y. \quad (6.7)$$

Частным случаем усежения спектра нагрузок является исключение установившейся части рабочего цикла, а в некоторых случаях испытания целесообразно проводить в режиме «пуск – остановка».

Эффективность принципа усежения спектра нагрузок выше, если режимы, не приводящие к повреждениям, составляют во времени доминирующую часть общего эксплуатационного спектра рабочих режимов.

Принцип учащения рабочих циклов основан на увеличении частоты циклического нагружения в испытаниях на усталость или скорости движения под нагрузкой в испытаниях на параметрическую нагрузку. Его применение допустимо в тех случаях, когда долговечность объекта испытаний зависит от числа приложенных циклов воздействий, но не зависит от частоты их приложения.

При испытаниях на усталость коэффициент ускорения

$$K_y = f_y / f_n, \quad (6.8)$$

где f_y и f_n – частоты приложения нагрузки соответственно при ускоренных и нормальных испытаниях.

Применение принципа учащения рабочих циклов требует отдельной оценки влияния частоты нагружения на предел выносливости объекта испытаний и на его ресурс по критерию усталости при заданных условиях нагружения. Для поддержания заданного температурного режима объекта испытаний целесообразно в ускоренных испытаниях осуществлять его охлаждение.

Принцип экстраполяции по нагрузке заключается в проведении испытаний при уровнях нагружения, превышающих нормальный, и экстраполяции полученной зависимости показателя надежности от форсированного до эксплуатационного уровня нагружения.

Для ускоренной оценки предела выносливости проводят испытания нескольких групп образцов материалов или деталей приборов на уровнях напряжений, превышающих предел выносливости. Строят отрезок левой ветви *l* кривой усталости Велера. Экстраполируют этот отрезок левой ветви до предполагаемой абсциссы точки перелома N_C кривой усталости, получают ориентировочную оценку предела выносливости (рис. 6.3).

Для априорного определения абсциссы точки перелома кривой используют различные источники информации или зависимость

$$N_C = \left(2 + \frac{\alpha_\sigma}{2} \right) 10^6, \quad (6.9)$$

где α_σ – теоретический коэффициент концентрации напряжений в опасном сечении испытываемого образца материала.

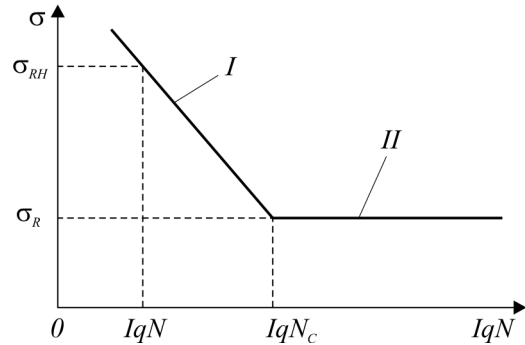


Рис. 6.3. Схема испытаний при ускоренной оценке предела выносливости

В испытаниях на параметрическую надежность каждая представительная группа объектов подвергается форсированному воздействию определенного уровня F_i (рис. 6.4). По каждой группе определяются закон распределения ресурса и параметры закона. Применяв метод наименьших квадратов, устанавливают зависимости в виде функций изменения параметров распределения во времени, и далее прогнозируется надежность в области нормальных режимов нагружения.

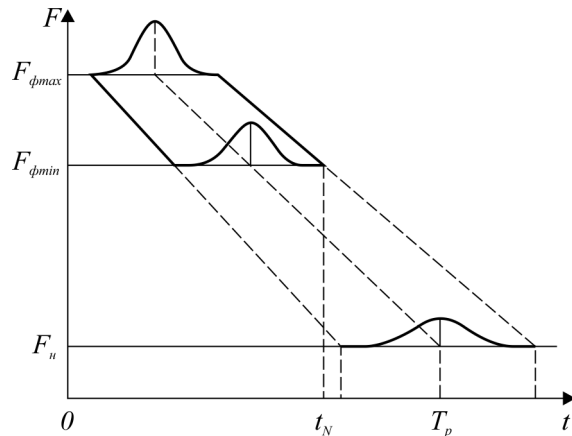


Рис. 6.4. Схема ускорения испытаний экстраполяцией по нагрузке.

К недостаткам принципа экстраполяции по нагрузке можно отнести необходимость наличия большого числа объектов испытаний, доводимых до предельного состояния; невозможность одновременного форсирования по нескольким составляющим режима испытаний.

На точность оценки ресурса большое влияние оказывает разница между максимальной $F_{\phi \max}$ и минимальной $F_{\phi \min}$ форсированными нагрузками (см. рис. 6.4). При малой разнице уменьшается точность экстраполяции, при большой увеличивается длительность испытаний.

Принцип «доламывания» применяется при ускоренных испытаниях на усталость и предусматривает кратковременные испытания изделий при эксплуатационном напряжении σ_n и последующее «доламывание» объекта испытаний высокой нагрузкой σ_k (рис. 6.5).

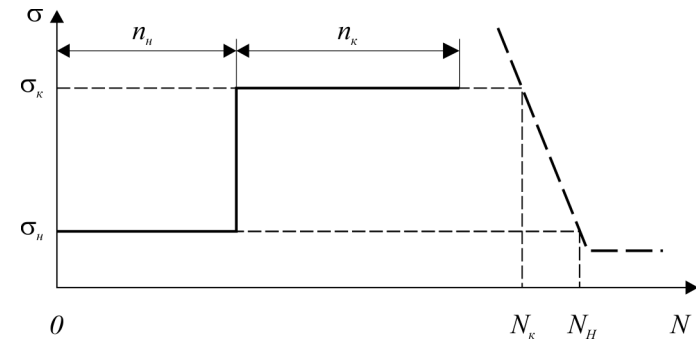


Рис. 6.5. Схема ускорения испытаний по методу «доламывания»

Формула для оценки остаточного ресурса при напряжении σ_k после упрощения имеет вид

$$\bar{n}_k \approx \mu n_H \left[\left(\bar{N}_k \right)^{1 - \lg n_H \lg \bar{N}_k} - 1 \right], \quad (6.10)$$

где $\bar{n}_k$ – математическое ожидание остаточного ресурса объекта при «доламывании» его контрольной нагрузкой σ_k ;

μ – коэффициент, характеризующий поведение материала детали при однократной нагрузке;

n_H – предварительная наработка объекта при эксплуатационной нагрузке σ_n ;

$\bar{N}_k$ – средний ресурс объекта при форсированном напряжении σ_n ;

N_H – искомый средний ресурс изделия при нормальном напряжении σ_n .

Неизвестные параметры μ и N_H формулы (6.10) определяются методами итерации, последовательного приближения, максимума правдоподобия по результатам нескольких экспериментальных исследований с различными предварительными наработками n_{Hi} . При

ожидаемое значение ЧТО-ТО НЕ ТАК, НЕ ЧИТАЕТСЯ ресурса только в 2–3 раза превышает максимальную предварительную нагрузку.

Существуют модифицированные принципы «доламывания», отличающиеся большой точностью и стабильностью получаемых оценок усталостного ресурса с применением номограмм, позволяющих выбрать оптимальные относительные длительности предварительных нагрузок.

Принципы прогрессивного форсирования нагрузок Про, Нэдэшана, Эномото и Локати применяются для ускоренного определения предела выносливости. Они основываются на постоянном росте форсированных нагрузок на объект испытаний во времени до достижения им предельного состояния.

При определении предела выносливости **принципом Про** испытывается не менее трех серий образцов или деталей в условиях различных скоростей возрастания напряжений для каждой серии. Испытания всех серий начинают при одинаковом начальном напряжении. Скорость возрастания напряжения γ_0 обычно выбирается в диапазоне 50...500 Па/цикл. В результате испытаний получают для каждой скорости роста напряжений свои значения разрушающих напряжений σ_{pi} .

Искомое значение предела выносливости определяют путем экстраполяции экспериментальной зависимости разрушающего напряжения от скорости роста напряжений на основании уравнения

$$\bar{\sigma}_p = \sigma_{-1} + A \cdot \alpha^C, \quad (6.11)$$

где $\bar{\sigma}_p$ – медиана разрушающих напряжений, соответствующих данной скорости;

σ_{-1} – предел выносливости объекта испытаний при симметричном цикле нагружения;

A – скорость возрастания амплитуды напряжения;

A, C – параметры.

Более широко применяется **принцип Локати**, предназначенный для ускоренной оценки пределов выносливости при контрольных испытаниях различных объектов.

Принцип Локати предусматривает испытания объектов при ступенчатом увеличении нагрузки от начального уровня до разрушающего. Обработка результатов испытаний выполняется с применением линейной гипотезы накопления повреждений для получения ускоренной оценки предела выносливости σ_R . При испытании пар-

тии из 5–6 деталей принцип Локати позволяет достичь коэффициента ускорения, равного 25.

Принцип «запросов» применяется при ускоренных испытаниях изделий на параметрическую надежность в тех случаях, когда отказ обуславливается достижением предельного уровня некоторым параметром, монотонно изменяющимся во времени.

Принцип «запросов» основан на чередовании нормального P_n (запрос) и форсированного P_ϕ режимов нагружения (рис. 6.6). Ресурс объекта испытаний вырабатывается главным образом на ступенях форсированного нагружения. Испытания начинают после приработки изделий и заканчивают на ступени с нормальным режимом. Длительность ступени нормального режима определяется условием накопления минимального изменения параметра $\Delta a_{\min}$, который может быть достоверно измерен. Длительность нагружения на ступенях в процессе испытаний может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от математического ожидания скорости изменения параметра и изменения скорости по мере выработки ресурса.

Число нормальных ступеней нагружения m_n ограничивается условием

$$2 \leq m_n \leq \frac{a_{np} - a_0}{\Delta a_{\min}}. \quad (6.11)$$

Целесообразно на каждой форсированной ступени проводить испытания с накоплением величины изменения параметра:

$$\Delta a_\phi = \frac{a_{np} - a_0 - m_n \cdot a_{\min}}{m_n - 1}, \quad (6.12)$$

где a_{np} – максимально допускаемое значение контролируемого параметра;

a_0 – значение параметра после периода приработки.

В процессе испытаний постоянно контролируется скорость изменения параметра на ступенях нормального и форсированного нагружений.

Пересчет величины параметра Δa_ϕ , накопленной на ступени форсированного нагружения, на нормальный режим выполняется методом «вытягивания площадей» под кривой скорости изменения параметра форсированного режима $\xi_{i\phi}$ по известным из эксперимента скоростям изменения параметра перед началом ξ_{in} и после окончания $\xi_{(i+1)n}$ каждого i -го этапа форсирования.

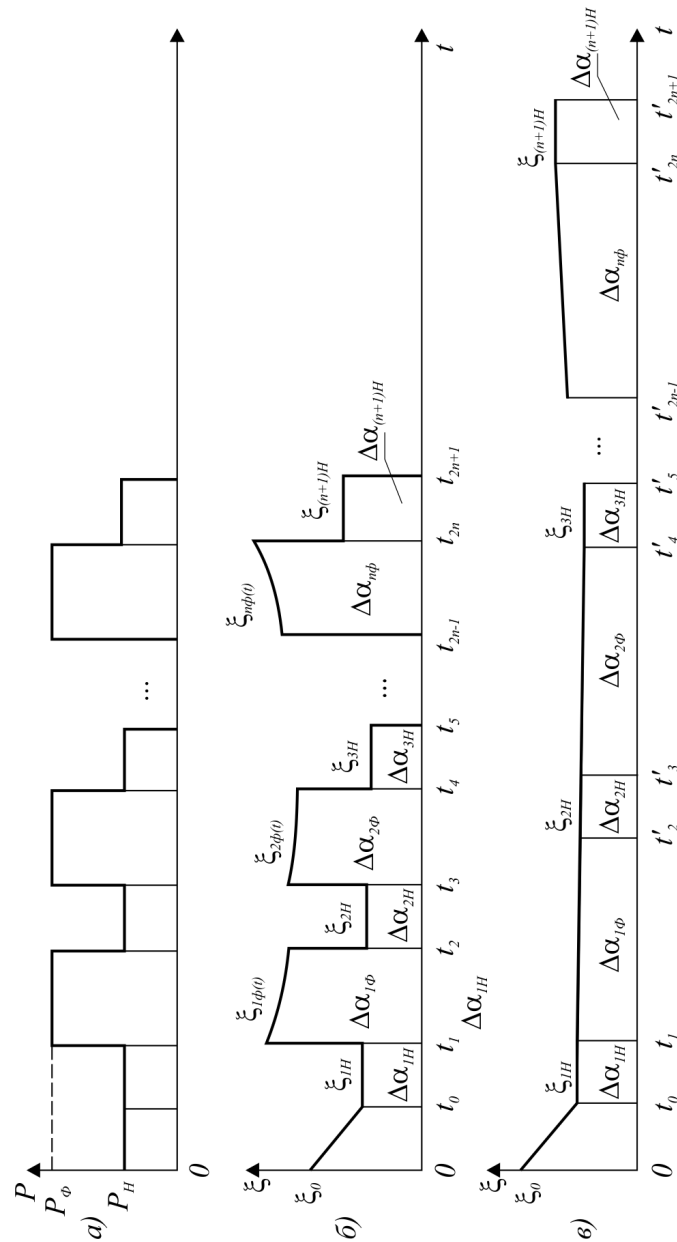


Рис. 6.6. Схема ускорения испытаний по принципу «запросов»:

a – схема нагружения; *б* – изменение скорости параметра надёжности в процессе испытаний;

в – схемы пересчёта результатов ускоренных испытаний на номинальный эксплуатационный режим

В интервале $(t_2 - t_1)$ накопленная величина изменения параметра на первом форсированном режиме составит

$$\Delta a_{1\phi} = \int_{t_1}^{t_2} \xi_{1\phi}(t) dt. \quad (6.13)$$

Интервал времени $\Delta t_{1н} = (t_2 - t_1)$ нормального режима, соответствующий накопленной величине изменения параметра $\Delta a_{1\phi}$ на форсированном режиме, определяется из условия:

$$\int_{t_1}^{t_2} \xi_{1\phi}(t) dt = 0,5[\xi_{1н} + \xi_{2н}](t'_2 - t_1); \quad (6.14)$$

$$\Delta t_{1н} = \frac{2}{\xi_{1н} + \xi_{2н}} \int_{t_1}^{t_2} \xi_{1\phi}(t) dt. \quad (6.15)$$

Интервал времени $\Delta t_{2н}$ нормального режима, соответствующий накопленной величине изменения параметра $\Delta a_{2\phi}$ интервалу НЕПО-НЯТНО $(t_4 - t_3)$ форсированного режима, находят аналогично:

$$\Delta t_{2н} = \frac{2}{\xi_{2н} + \xi_{3н}} \int_{t_3}^{t_4} \xi_{2\phi}(t) dt. \quad (6.16)$$

В интервале $(t_{2н} - t_{2н-1})$ с накопленной величиной $\Delta a_{n\phi}$:

$$\Delta t_{nн} = \frac{2}{\xi_{nн} + \xi_{(n+1)н}} \int_{t_{2н-1}}^{t_{2н}} \xi_{n\phi}(t) dt. \quad (6.17)$$

Величина ресурса объекта испытаний по параметру *a* в пересчете на нормальный эксплуатационный режим составит

$$t_{2н+1} = t_0 + t_{01} + \Delta t_{1н} + t_{23} + \Delta t_{2н} + \dots + \Delta t_{nн} + t_{(2н)(2н+1)}. \quad (6.18)$$

Коэффициент ускорения испытаний

$$K_y = \frac{t'_{2н+1}}{t_{2н+1}}. \quad (6.19)$$

Преимущества испытаний по принципу «запросов» заключаются в высоких коэффициентах ускорения, в достаточной для практики точности оценки долговечности изделий и в возможности получения достоверной информации при ограниченной выборке испытываемых изделий.

Модификацией принципа «запросов» является принцип испытаний, основанный на ступенчатом возрастании нагрузок на ступенях нормального нагружения в диапазоне эксплуатационных режимов работы от $P_{1н}$ до $P_{нн}$ (рис. 6.7).

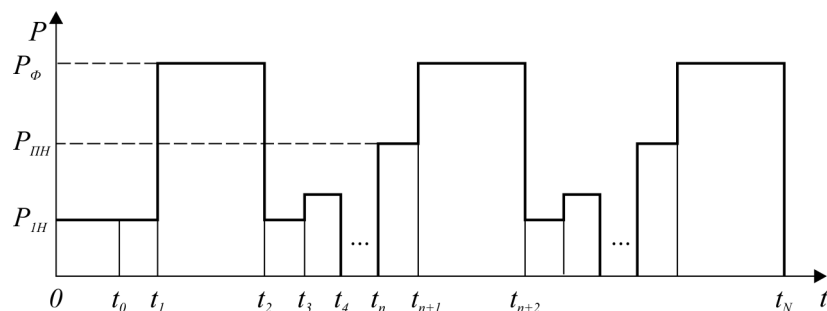


Рис. 6.7. Схема нагружения со ступенчато возрастающей эксплуатационной нагрузкой при ускоренных испытаниях по принципу «запросов»

Это позволяет определить ресурс приборов по конкретному параметру в зависимости от режимов их работы.

Принцип испытаний и обработки полученных результатов лишь незначительно отличается от вышеизложенного. К недостаткам рассмотренного принципа можно отнести несколько меньшее значение коэффициента ускорения испытаний.

6.2. Организация стендовых ускоренных испытаний

Сложность и ответственность задач, решаемых современными приборами, предъявляют к их надежности очень высокие требования, тем более что эти же задачи требуют увеличения времени работы приборов с сохранением заданных исходных показателей надежности. Также необходимо отметить, что при больших заданных значениях времени работы приборов вероятность их безотказной работы должна быть не менее $0,97 \dots 0,99$.

Испытательные стенды и экспериментальные установки согласно таким высоким требованиям должны обеспечивать следующие допустимые отклонения имитации воздействия внешних факторов: температуры $\pm 3^\circ\text{C}$; относительной влажности $\pm 3\%$; давления $\pm 5\%$; амплитуды вибрации $\pm 15\%$; частоты вибрации ± 2 Гц на частотах 50 Гц; ± 5 Гц на частотах выше 50 Гц; ускорение (вибрации, удары) $\pm 20\%$.

Для определения соответствия приборов техническим заданиям необходимо проведение продолжительных испытаний над большими объемами выборок. Поэтому специфика организации стендовых уско-

ренных испытаний приборов заключается в необходимости одновременного решения двух задач: сокращение продолжительности испытаний и сокращение числа испытываемых образцов.

Сократить продолжительность испытаний можно рационально, используя законы математической статистики и общую теорию планирования эксперимента. Математическая основа метода должна базироваться на закономерностях процессов разрушения изделий при эксплуатации и испытаниях.

Для решения второй задачи необходимо привлечение априорной информации физического или статистического характера о процессах старения, протекающих в приборах, измерительных системах и их элементах, и привлечение современных математических методов для оптимального использования статистических данных многофакторных экспериментов.

Исходя из этого, можно выделить три основных метода стендовых ускоренных испытаний приборов на надежность: метод форсированных испытаний, метод прекращения испытаний до наступления отказов и комбинированный метод.

Метод форсированных испытаний заключается в ужесточении их режимов, которое эквивалентно такому изменению вектора параметров эксплуатации, при котором увеличивается скорость протекания процессов износа изделий и в отдельных случаях – самовосстановления. Для увеличения скоростей естественного старения изделий применяют изменение параметров внешних условий: температуры, давления, влажности и т. п.

Недостатками метода форсированных испытаний являются:

- 1) возможность существенного изменения физико-химических процессов старения или самовосстановления изделий;
- 2) практическая невозможность числовой оценки корреляции между значениями параметров испытаний, принадлежащих как увеличению скоростей параметров внешних условий, так и изменению вектора параметров эксплуатации, и параметрами скоростей протекания процессов старения, в особенности для вновь освоенных изделий или при изменении технологии производства изделий.

В силу указанных особенностей метод форсированных испытаний можно применять только при сравнительных или контрольных испытаниях. Проведение определительных испытаний этим методом практически невозможно.

Форсированные испытания вновь разрабатываемых и серийно выпускаемых изделий организуются по следующим этапам:

1) для обеспечения максимально возможного ускорения испытаний на основании статистических данных разрабатываются методики выбора форсирующих факторов и форсирующего режима. При этом физическая природа возникновения отказов должна оставаться неизменной;

2) определяются интервальные значения коэффициента ускорения и находятся законы распределения времени работы приборов до отказов;

3) в соответствии с принципом наследственности определяется динамика распределения и выясняются причины отказов во время нормальных испытаний;

4) определяются зависимости между вероятностями безотказной работы в нормальном и форсированном режимах;

5) формируются исходные данные для проведения форсированных ускоренных испытаний на надежность.

Метод прекращения испытаний до наступления отказов заключается в том, что на основе методов индивидуального прогнозирования развития процессов старения определяется момент отказа. Сущность этого метода заключается в идентификации изменения текущего значения параметра $\gamma(t)$ во времени, с последующим прогнозированием его значения в момент отказа. В качестве прогнозируемых величин могут быть применены либо параметры качества изделия, либо функции от этих параметров.

Основными недостатками метода прекращения испытаний до наступления отказов являются:

1) трудность нахождения определяющих надежность параметров;

2) практическая невозможность установления определяющих параметров допустимых значений объекта, что не позволяет прогнозировать момент наступления отказов;

3) малые значения коэффициентов ускорения, которые лежат в основном в пределах 2...3,5.

Однако, несмотря на упомянутые недостатки, метод прекращения испытаний до наступления отказов позволяет установить не только значение момента наступления отказов, но и их доверительные интервалы.

В силу изложенных особенностей метод прекращения испытаний до наступления отказов целесообразно применять в случае необходимости разделения изделий по качественным группам. Кроме того, применение этого метода ускоренных испытаний позволяет создать группу методов ускоренных разрушающих испытаний.

Комбинированный метод ускоренных испытаний заключается в совместном применении двух вышеперечисленных методов.

Установлены и качественные изменения при совместном применении первых двух методов. Эти изменения позволяют избежать недостатков метода форсированных испытаний за счет параллельного проведения испытаний, предусмотренных научно-технической документацией.

Комбинированному методу ускоренных испытаний характерны следующие недостатки:

1) невозможность проведения одновременного испытания нескольких изделий;

2) сложность вычислительных процедур.

При анализе недостатков каждого метода ускоренных испытаний необходимо учитывать, что широкое применение вычислительной техники исключает все недостатки, связанные с большим объемом вычислений. Для повышения эффективности испытаний и снижения экономических затрат следует увеличивать объемы вычислений, если они приводят к упрощению или сокращению сроков самих испытаний.

При организации ускоренных испытаний большое значение имеет выбор действующих факторов: однофакторного (температура или влажность); многофакторного (температура, биологические факторы, давление или механические воздействия).

Постановку задачи, последовательность организации стендовых ускоренных испытаний приборов на надежность и определение параметров действующих факторов иллюстрирует схема последовательности организации стендовых ускоренных испытаний приборов на надежность на основе информационных потоков (рис. 6.8).

Схема (см. рис. 6.8) наглядно показывает этапы последовательности организации стендовых ускоренных испытаний приборов на надежность, из которых целесообразно подробнее рассмотреть первые шесть:

– на первом этапе проводится анализ условий эксплуатации изделий с последующим определением нормируемых и количественных показателей надежности;

– на втором этапе определяется круг функций и задач испытаний, по выполнению которых будет оценено качество функционирования приборов;

– на третьем этапе проводятся экспериментальные исследования надежности приборов, определяется значение параметров внешних действующих факторов, обеспечивающих предельную степень форсирования испытаний;

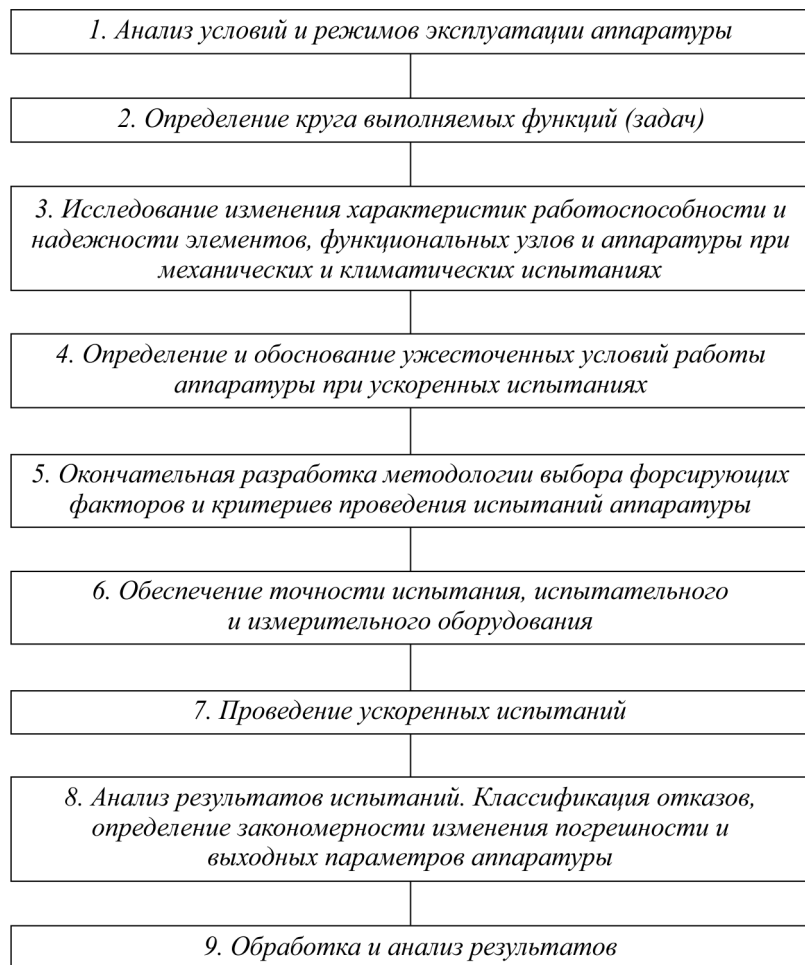


Рис. 6.8. Схема последовательности организации стендовых ускоренных испытаний приборов на надежность на основе информационных потоков

– на четвертом и пятом этапах на основании статистических данных в зависимости от конструкции приборов окончательно определяются форсирующие факторы и продолжительность испытаний, режим ускоренных испытаний на воздействие влажности и морского тумана;

– на шестом этапе обеспечиваются точность, допустимая предельная погрешность испытываемых приборов, средств контроля, измерения и испытаний.

7. АВТОМАТИЗАЦИЯ СТЕНДОВЫХ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

7.1. Основные направления автоматизации испытаний

Автоматизация стендовых ускоренных испытаний приборов на надежность осуществляется по двум основным направлениям:

1. Путем создания специализированных экспериментальных установок (стендов) для контроля качества и статистической оценки свойств материалов по стандартизированным методикам, обеспечивающим автоматическое управление режимами испытаний, централизованный сбор информации в многоточечных системах и обработку однотипных результатов испытаний, что характерно для испытаний массовых видов изделий.

2. Путем применения универсального оборудования с мобильной структурой, легко приспособляемой для решения различных задач, что характерно при проведении многофакторных испытаний по программам, которые могут изменяться или совершенствоваться в процессе испытаний.

Автоматизация стендовых ускоренных испытаний приборов на надежность дает возможность:

- повысить эффективность разработок новых приборов и уменьшить затраты на их отработку;
- получить качественно новые результаты, достижение которых принципиально невозможно без использования автоматизированных систем исследований;
- повысить оперативность в получении, обработке и использовании информации о качестве и надежности приборов.

Наиболее важными составными частями автоматизируемых контрольно-испытательных стендов являются механизмы, выполняющие следующие функции:

- подача изделия к месту контроля или испытания;
- ориентация и закрепление изделия;
- включение изделия в измерительную и контрольную схему;
- выполнение заданной программы контроля или испытаний;
- фиксация результатов испытаний;
- выключение испытываемого изделия из измерительных и контрольных схем;
- открепление изделия;

- съем изделия с места испытаний;
- транспортирование изделия на следующую операцию.

В соответствии с этим в структурную схему автомата или полу-автомата для контроля или испытания изделия входят следующие функциональные узлы:

- механизмы перемещения и ориентации;
- устройства закрепления и включения приборов в измерительную и контрольную схему;
- блок задания испытательных режимов по принятой программе;
- преобразователи и усилительно-измерительные устройства для измерения показаний при контроле или испытании приборов;
- записывающие устройства, фиксирующие результаты испытаний;
- отбраковывающие устройства;
- системы защиты для остановки всего процесса;
- устройства для транспортирования приборов на следующую операцию.

Техническое задание (ТЗ) на разработку автоматизированной системы испытаний содержит:

- перечень функций автоматизированной системы испытаний с ее краткой характеристикой;
- характеристики необходимой точности и быстродействия выполнения каждой функции и их совокупности;
- значение показателей надежности для системы и реализуемых ею отдельных функций;
- режимы функционирования по реализации каждой управляющей функции;
- характеристики совместимости автоматизированной системы испытаний со сменными системами;
- сведения об условиях эксплуатации автоматизированной системы испытаний и ее составных частей;
- метрологические характеристики измерительных каналов;
- эргономические требования к автоматизированной системе испытаний;
- требования по численности и квалификации оперативного и обслуживающего персонала.

7.2. Структура автоматизированных систем испытаний

Автоматизированные системы испытаний являются звеньями общей интегрированной системы автоматизации современных приборо-

строительных предприятий. Пример иерархии автоматизированных систем одного из подобных предприятий показан на рис. 7.1.

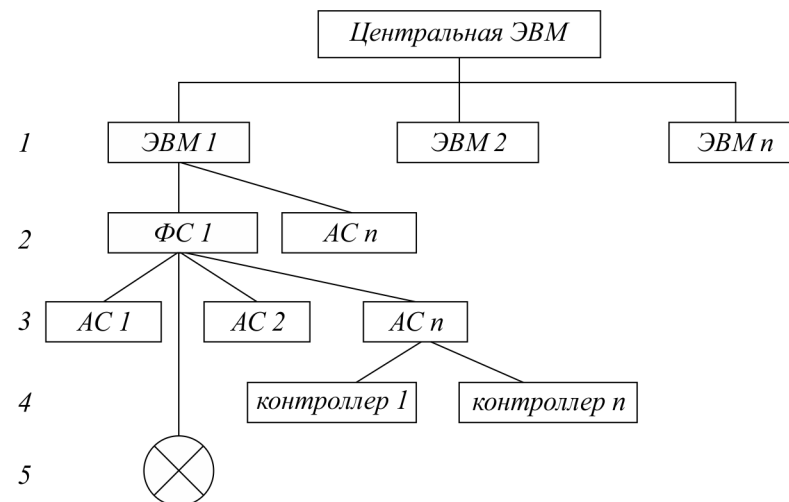


Рис. 7.1. Иерархия автоматизированных систем

На пятом уровне находятся исполнительные механизмы и датчики, сигнал с которых поступает на четвертый уровень контроллеров, и далее на третий уровень автоматизированных систем испытаний. Несколько автоматизированных систем третьего уровня объединяются в системы более высокого второго уровня, которые передают обобщенную информацию на первый уровень, соответствующий уровням цехов, отдельных производств или научных центров. И затем информация поступает на центральный сервер предприятия. Такая иерархия позволяет контролировать, с одной стороны, практически каждый преобразователь с центрального сервера и в то же время не загружает его управлением участками среднего звена, позволяя руководству предприятия сосредоточиться на масштабном планировании и управлении предприятием.

Автоматизированные системы испытаний (АСИ) могут быть соединены по следующим структурным схемам: радиальной, кольцевой и радиально-кольцевой.

Радиальная структурная схема (рис. 7.2) обладает высоким быстродействием и независимым снятием показаний с исполнительных механизмов и датчиков. Однако ей свойственна высокая стоимость, низкая ремонтпригодность, а из-за большого количества сигнальных и управляющих каналов, и надежность.

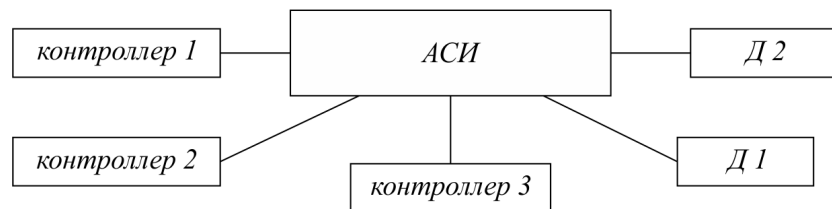


Рис. 7.2. Радиальная структурная схема

Эта структурная схема реализуется только в исследовательских АСИ.

В кольцевой структурной схеме (рис. 7.3) все датчики и управляющий сервер объединены в управляющее кольцо, и сигнал последовательно передается от модуля к модулю.

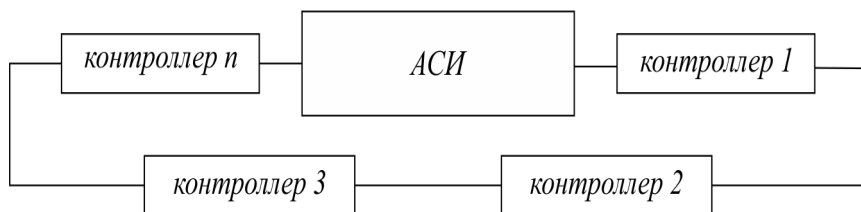


Рис. 7.3. Кольцевая структурная схема

АСИ, построенные по кольцевой структуре, обладают достаточно низким быстродействием и при выходе из строя хотя бы одного из блоков измерения останавливаются, при этом они дешевы и часто применяются в системах, где не требуется высокое быстродействие.

Преобладающими в настоящее время являются АСИ, построенные по радиально-кольцевой структуре (рис. 7.4).

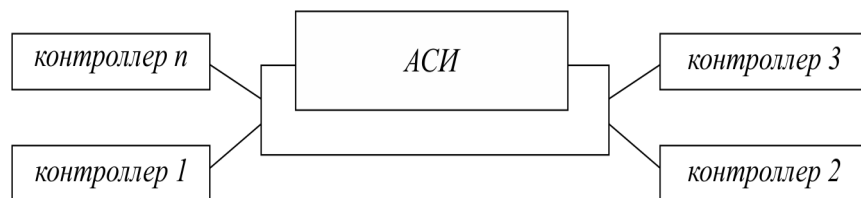


Рис. 7.4. Радиально-кольцевая структурная схема

Эта компоновка АСИ при относительно малом числе сигнальных каналов позволяет построить структуру с приемлемым быстродействием и не зависит от выхода из строя отдельных элементов систем.

АСИ включают в себя следующее:

- техническое обеспечение (совокупность взаимодействующих и объединенных в единое целое устройств получения, ввода, подготовки, обработки, хранения, регистрации, вывода, отображения, использования, передачи информации и средств реализации управляющих воздействий АСИ);
- математическое обеспечение (методы, математические модели, алгоритмы функционирования АСИ и решения отдельных задач испытаний);
- программное обеспечение (программы, необходимые для реализации всех функций АСИ);
- информационное обеспечение (нормативно-справочная документация, содержащая описание стандартных испытательных процедур и типовых управляющих решений, форма предоставления и организации данных АСИ, в том числе формы документов в виде программ и протоколов обмена данными);
- лингвистическое обеспечение (тезаурусы, языки описания и манипулирования данными, управления процессами испытаний и программирования);
- организационное обеспечение (совокупность правил и предписаний, устанавливающих структур и их подразделений, и требуемое взаимодействие персонала автоматизированных систем с комплексом технических средств и между собой);
- методическое обеспечение (документация, в которой содержатся состав, правила отбора и эксплуатации автоматизированных испытательных комплексов, последовательность операций, реализующих типовые процедуры контроля и испытаний, инструкции по работе с оборудованием);
- метрологическое обеспечение (метрологические средства и инструкции по их применению).

К техническому обеспечению АСИ предъявляются следующие требования:

- 1) комплекс технических средств АСИ должен быть достаточен для реализации всех функций, установленных в техническом задании на систему;
- 2) в комплекс технического оборудования АСИ должны входить технические средства, необходимые для наладки и проверки работоспособности технических средств и запасные приборы;
- 3) технические средства АСИ должны иметь срок службы не менее шести лет, а их технические характеристики должны обеспе-

чивать взаимозаменяемость одноименных средств без изменения и регулировки остальных;

4) структура и характеристики технических средств АСИ должны обеспечивать принцип автоматизации и возможность модернизации;

5) техническое обеспечение АСИ должно быть надежным, устойчивым к внешним воздействиям, к нестабильности источников питания и создавать минимальный уровень промышленных помех.

Математическое обеспечение должно иметь возможность связать все применяемые модели в единое целое и рассматривать АСИ как единый объект (рис. 7.5).

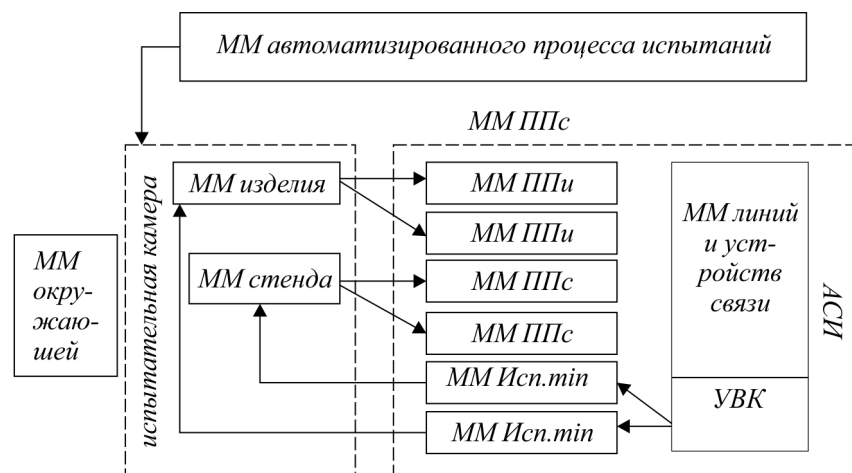


Рис. 7.5. Структура математического обеспечения автоматизированных систем испытаний: ММ – математическая модель; ППС – первичный преобразователь стенда; ППц – первичный преобразователь изделия

Блок «ММ окружающей» НЕ ЗАКОНЧЕН

В состав программного обеспечения АСИ входят общее программное обеспечение, которое включает программы и операционные системы, и обслуживающие стандартные программы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. ГОСТ РВ 20.57.304-98. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методы оценки соответствия требованиям к надежности.
3. ГОСТ В 25976-83. Порядок назначения норм и проведения ускоренных испытаний на сохраняемость при хранении.
4. ГОСТ Р 51372-99. Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов. Общие положения.
5. ГОСТ Р 53167-2008. Методы определения стойкости полимерных электроизоляционных материалов и систем путем ускоренных испытаний в агрессивных газообразных средах. Общие требования. Испытания материалов и систем изоляции для низковольтных электротехнических изделий.
6. Беляков В. А., Серегин Н. Г., Серегин Д. Н., Семенов К. В. Стендовые ускоренные испытания приборов на надежность: Учебное пособие. М.: Издательство МГУЛ, 2015.
7. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: Учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2003.
8. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Задачи и упражнения по теории вероятностей: Учебное пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005.
9. Серегин М. Ю. Организация и технология испытаний: в 2 ч.: Учебное пособие. Тамбов: Издательство Тамб. гос. техн. ун-та, 2006.
10. Серегин Н. Г. Нагрузочно-имитирующие устройства испытательных стендов для исследования надежности механизмов фрезерных станков: Инженерный вестник. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, №08, 2014.
11. Шашурин В. Д., Ветрова Н. А., Назаров В. В., Серегин Н. Г. Ускоренные испытания на надежность технических систем: Учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТЕНДОВЫЕ УСТАНОВКИ

Экспериментальный стенд для испытаний настольного типа

Экспериментальный стенд настольного типа оснащен Т-образной основой и силовым нагрузителем, установленным на верхней траверсе. Силовая рама, управление и дисплей размещены на столе и обеспечивают приспособляемость системы для выполнения статических и динамических испытаний. Данный стенд доступен в диапазоне нагрузок от 5 до 50 кН. Этот стенд легко устанавливаем и обычно не требует дополнительных средств, таких как охлаждение.



Рис. П.1.1. Экспериментальный стенд настольного типа

Стандартные технические характеристики:

- рабочая частота от 0 до 100 Гц;
- гибкое управление;
- максимальная нагрузка 5/10/15/25/50 кН;
- ход штока от ± 50 до ± 100 мм;
- пригодность к использованию разных видов захватов и приспособлений;
- пониженный шум.

Решаемые прикладные задачи:

- усталостный рост трещины;
- механика разрушения;
- испытания при комнатных температурах;
- испытания при высоких температурах;
- испытания в агрессивной среде;
- растяжение/сжатие;
- мало- и многоцикловая усталость;
- измерения демпфирующей силы;
- твердость материалов;
- требования и задачи исследовательской индустрии.

Спецификация:

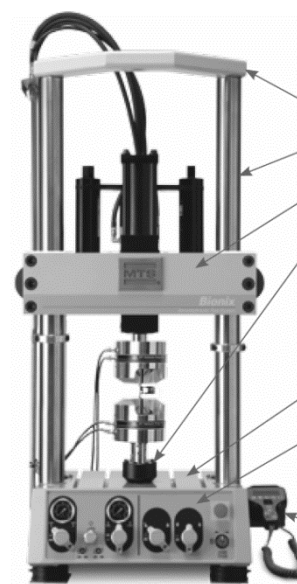
Модель	Vi-01-100-2CTT	Vi-01-101-2CTT
Максимальная нагрузка, кН	5/10/15/25	50
Расстояние между колоннами, мм	400	400
Максимальный просвет, мм	700	700
Высота силовой рамы, мм	1500	2000
Размеры стола, мм	550 × 350	1000×750
Число колонн	2	2
Масса, кг	200	300

Испытательный рамочный нагрузочный стенд

Испытательный рамочный нагрузочный стенд – это экономически выгодное решение для проведения статических и динамических

испытаний с малыми нагрузками. Выполненный в компактной форме, нагрузочный стенд может быть размещен на лабораторном столе или на полу, не занимая больших лабораторных или производственных площадей. Данный стенд не только особо компактен, но и обеспечивает полный функционал для проведения испытаний, включающий в себя:

- силовой привод с диапазоном нагрузки от 15 до 25 кН;
- возможность испытаний материалов низкой прочности;
- размещение заготовок нестандартного размера;
- возможность выполнения растяжения, сжатия, сгибания и усталостных испытаний; специальные биомедицинские тесты; проверка на долговечность небольших по размеру элементов;
- большое расстояние между колоннами позволяет расположить дополнительные приспособления: климатические камеры и печи.



- Съемная балка
- Высокоточные колонны
- Промежуточная балка высокой степени жесткости
- Установочный узел
- Базовые направляющие
- Панель управления
- Пульт дистанционного управления

Привод с широким диапазоном вариации нагрузки

Устройство дросселирования гидравлического давления

Дополнительные гидросиловые двигатели перемещения промежуточной балки

Приспособления для крепления испытываемых образцов

Съемная регулируемая пневматическая виброизоляционная опора

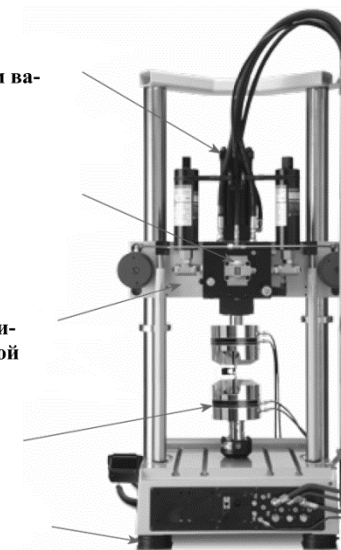


Рис. П.1.2. Испытательный рамочный нагрузочный стенд

Приложение 2

РАБОЧАЯ МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ БЛОКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

1. Объект испытаний

Испытаниям подвергаются блоки радиоэлектронной аппаратуры, представляющей собой универсальный вторичный источник питания.

Объем выборки составляет 40 образцов универсальных вторичных источников питания.

Средняя наработка на отказ блоков универсальных вторичных источников питания должна быть не менее 16 000 часов в нормальных условиях эксплуатации.

Отказом универсальных вторичных источников питания считают такое состояние, при котором значение хотя бы одного из контролируемых параметров вышло за пределы установленных полей допусков.

2. Цель испытаний

Целью стендовых ускоренных испытаний на безотказность блоков радиоэлектронной аппаратуры является определение значения коэффициента ускорения стендовых испытаний, достижимое для форсированного режима, выбранного на этапе предварительных исследований.

3. Общие положения

Контролируемым параметром при проведении предварительных ускоренных стендовых испытаний является наработка на отказ и объем выборки не менее 30 образцов.

На испытания представляют образцы изделий, прошедших электротермотренировку и техническую проверку в объеме приемосдаточных испытаний.

4. Условия и порядок проведения испытаний

Для проведения стендовых ускоренных испытаний универсальных вторичных источников питания применяют испытательное оборудование, которое обеспечивает диапазон заданных режимов испытаний.

Испытания проводят в двух режимах: нормальном и форсированном.

Параметры нормального режима испытаний:

- температура окружающей среды (25 ± 2) °C;

- относительная влажность (65 ± 3)% при температуре 25 °C;
- давление 10^5 Па (760 мм рт. ст.);
- термоциклирование, выполняемое три раза в течение установленного времени в диапазоне температур от –15 до 35 °C.

Параметры форсированного режима испытаний:

- температура окружающей среды в диапазоне от –60 до 70 °C;
- относительная влажность максимальная (93 ± 3) % при температуре –60 °C;
- термоциклирование, выполняемое три раза в течение установленного времени в диапазоне температур от –60 до 80 °C;
- должно быть обеспечено дистанционное включение и выключение блоков.

Испытания в нормальном режиме проводят при неизменных давлении, влажности и температуре. Через каждые 237 ч испытаний проводят трехкратное термоциклирование в течение трех часов. При термоциклировании блоки находятся в нерабочем состоянии.

Испытания в форсированном режиме проводят циклически с циклом 240 ч: 117 ч при повышенной температуре 70 °C и 117 ч при пониженной температуре –60 °C. В форсированном режиме изделия включают в работу периодически с продолжительностью работы 1 ч и паузой 1 ч.

Испытываемые блоки универсальных вторичных источников питания разбивают на пары и испытывают в нормальном режиме до наступления отказа хотя бы одного из блоков в каждой паре. После каждого отказа исправный блок пары переключают в форсированный режим и испытывают до отказа.

В процессе испытаний фиксируют наработку в моменты отказов изделий каждой пары.

В ходе испытаний контролируют следующие технические параметры:

- амплитуду выходного напряжения;
- уровень пульсаций выходного напряжения.

Замеры технических параметров осуществляют после каждого цикла термоциклирования и через каждые 10 ч в процессе работы при постоянной температуре. Результаты замеров фиксируют в журнале испытаний.

5. Оцениваемые показатели

Оцениваемым показателем является коэффициент ускорения K_y и его верхняя и нижняя границы, достижимые при выбранном форсированном режиме.

6. Обработка, анализ и оценка результатов испытаний

Обработку, анализ и оценку результатов испытаний осуществляют в такой последовательности:

1. Фиксируют первое значение коэффициента $K_y = 1$.
 2. Используя зарегистрированные в журнале испытаний данные о наработках каждого изделия до отказа, определяют прогнозируемые значения моментов отказа второго изделия каждой пары в нормальном режиме испытаний.

3. Составляют объединенный вариационный ряд из наработок первого изделия каждой пары и полученных прогнозируемых значений моментов отказа второго изделия каждой пары в нормальном режиме в порядке возрастания их значений.

4. Для вариационного ряда рассматривают ранги.

5. Вычисляют значение ранговой статистики для $K_y = 1$.

6. Задают новое значение коэффициента K_y , увеличив его на величину шага $\Delta K = 0,1$.

7. Последовательно, с выбранным шагом $\Delta K = 0,1$ перебирают разные значения $K_i = 1 + i \cdot \Delta K$, где $i = 1, 2, \dots$

8. Вычисления продолжают до того значения $K_y = K_o$, после которого начинает возрастать значение ранговой статистики. Значение K_o принимают в качестве коэффициента ускорения стендовых испытаний универсальных вторичных источников питания K_y , т. е. $K_y = K_o$.

9. Находят верхнюю и нижнюю границы коэффициента ускорения стендовых испытаний универсальных вторичных источников питания K_y .

7. Материально-техническое и метрологическое обеспечение

– Пульт проверки изделий – 40 шт.;

– Источник питания – 40 шт.;

– Термокамера – 1 шт.

8. Отчетность

Результаты стендовых ускоренных испытаний универсальных вторичных источников питания по изложенной выше методике оформляют в виде научно-технического отчета, в котором приводят статистические данные, параметры режимов циклограмм и полученное значение коэффициента ускорения K_y .

Исходными данными являются: ЭТО ПРИМЕР?

1. Число пар изделий – 20.

2. Моменты отказов изделий пар:

первого изделия:

3065,3

3954,0

577,4

1873,5

5769,9

31116,3

11212,0

13902,4

198,4

297,0

2411,7

19437,2

2843,6

5108,96898,94132,99999,9 ЭТО ЧТО?

11337,3

12810,1

31828,1

2136,6

4703,1

второго изделия:

3707,2

15500,9

2188,9

6104,9

7114,8

32239,5

24058,7

19319,3

1243,9

918,1

8417,4

22139,1

3324,2

19714,0

13435,9

34929,1

3480,8

9230,2

3. Уровень доверия для доверительного интервала – 0,8.

Результаты компьютерной обработки исходных данных по изложенной выше методике:

1. $K_y = 4,8$.

2. $K_{y, \text{нижн.}} = 2,3$.

3. $K_{y, \text{верхн.}} = 19,8$.

4. Уровень значимости проверяемой гипотезы – 0,99696.

Приложение 3

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА СОХРАНЯЕМОСТЬ НА ПРИМЕРЕ ИМИТАТОРА СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ

1. Объект испытаний

Испытаниям подвергается имитатор сигналов датчиков (рис. П.3.1), предназначенный для применения в качестве составной части контрольно-проверочной аппаратуры телеметрических систем и приборов.



Рис.П.3 1. Имитатор сигналов датчиков.

Имитатор сигналов датчиков изготовлен в герметичном исполнении.

В техническом задании на прибор установлены следующие условия его хранения:

- 1) прибор должен упаковываться в штатную тару;
- 2) требования к консервации, упаковке, маркировке должны соответствовать ГОСТ 0.014-78, ГОСТ 9.014-78, ГОСТ В 9.001-72;
- 3) тара может быть негерметичной;
- 4) прибор должен сохранять свои характеристики после хранения в условиях (+5...+35) °С и влажности 80 % при 20 °С;
- 5) гарантийный срок хранения 10 лет;
- 6) прибор должен допускать хранение в составе контрольно-проверочной аппаратуры в течение 1 года согласно требованиям ГОСТ 16350-80.

Для определения показателей сохраняемости имитатора сигналов датчиков проводят его стендовые ускоренные испытания на сохраняемость при хранении в отапливаемых помещениях.

2. Цель испытаний

Стендовые ускоренные испытания на сохраняемость имитатора сигналов датчиков при хранении в отапливаемых помещениях проводятся с целью:

- определения показателей сохраняемости прибора и оценки его соответствия требованиям технического задания в части условий и длительности хранения;
- анализа характера отказов и повреждений для разработки рекомендаций по устранению возможных причин их возникновения.

3. Общие положения

Стендовые ускоренные испытания имитатора сигналов датчиков на сохраняемость проводятся в рамках предварительных испытаний в соответствии с ГОСТ РВ 20.57.304-98.

Ускоренные испытания проводятся путем форсирования климатического фактора (температуры), приводящего к интенсификации деградационных процессов.

Перечень документации, необходимой для проведения испытаний, указан в табл. П.3.1.

Таблица П.3.1

Наименование	Обозначение
Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методы оценки соответствия требованиям к надежности	ГОСТ РВ 20.57.304-98
Порядок назначения норм и проведения ускоренных испытаний на сохраняемость	ГОСТ В 25976-83

4. План проведения испытаний

При стендовых ускоренных испытаниях на сохраняемость имитатор сигналов датчиков подвергают воздействию климатических факторов.

Статистические параметры климатических факторов определяют из условий хранения и задают в соответствии с табл. П.3.1.

Режим и длительность ускоренных испытаний определяют в расчете на один год естественного хранения (годовой цикл испытаний).

Число годовых циклов испытаний должно соответствовать числу лет заданного срока сохраняемости (10 циклов).

Прибор, изготовленный в герметичном исполнении и законсервированный с использованием влагопоглотителя, подвергают испытаниям на тепловое старение.

При ускоренных испытаниях на тепловое старение воспроизводят основной климатический фактор: повышенную температуру.

При назначении режимов ускоренных испытаний учитывается место хранения: отапливаемые (хранилища) помещения.

Температуру испытаний $T_{\text{и}}$ выбирают из условия автотемпературности ускоренных испытаний естественному хранению ПРОПУЩЕНО СЛОВО? НЕ ЧИТАЕТСЯ с учетом максимально допустимых температур. Условия автотемпературности и методы их проверки являются инструментом проверки приемлемости форсированного режима как ускоряющего испытания, который выбирается при проведении так называемых предварительных ускоренных испытаний. Значение выбрано из ряда рекомендуемых и составляет 343 К (69 °С).

Расчет времени ускоренных испытаний прибора на сохраняемость при хранении произведен в соответствии с требованиями ГОСТ РВ20.57.304-98 (см. табл. П.3.1).

Длительность ускоренных испытаний прибора на тепловое старение рассчитывается по формуле

$$\tau_{\text{и}} = \sum_{j=1}^N \tau_{\text{и}j} = \frac{1}{\lambda_{\text{хр}}(T_{\text{и}})} \sum_{j=1}^N \lambda_{\text{хр}}(T_j) \tau_{\text{хр}j}, \quad (\text{П.3.1})$$

где $\tau_{\text{и}}$ – длительность ускоренных испытаний, имитирующих один год естественного хранения в условиях положительной температуры, ч;

$\tau_{\text{и}j}$ – длительность ускоренных испытаний, имитирующих хранение аппаратуры в j -м интервале положительных температур $T_{\text{хр}j}$ в течение времени $\tau_{\text{хр}j}$, ч;

$\tau_{\text{хр}j}$ – продолжительность существования j -го интервала положительных температур в течение одного года в условиях естественного хранения, ч;

T_j – среднее значение положительной температуры в j -м интервале температур в условиях естественного хранения, К;

$T_{\text{и}}$ – температура испытаний, К;

$\lambda_{\text{хр}}(T_{\text{и}})$ – интенсивность отказов аппаратуры при положительной температуре испытаний $T_{\text{и}}$, 1/ч;

$\lambda_{\text{хр}}(T_j)$ – интенсивность отказов электронных радиотехнических изделий (ЭРИ) при температуре хранения T_j , 1/ч;

N – число принятых интервалов температуры для условий естественного хранения.

Интенсивность отказов аппаратуры при положительной температуре хранения и испытаний рассчитывается по формуле

$$\lambda_{\text{хр}}(T) = \sum_{k=1}^r n_k \cdot \lambda_{\text{хр}k}(T) = \sum_{k=1}^r n_k \cdot \lambda_{\text{хр}Tk} e^{B_k(T)[1/T_{\text{хр}} - 1/T]}, \quad (\text{П.3.2})$$

Для ЭРИ четвертого и пятого поколений формула (П.3.2) принимает вид

$$\sum_{k=1}^{r_1} n_k \cdot \lambda_{\text{хр}k}(T) = \sum_{k=1}^{r_1} n_k e^{A_{1k}(T) - B_{1k}(T)}, \quad (\text{П.3.3})$$

где $\lambda_{\text{хр}k}(T)$ – интенсивность отказов k -го типа ЭРИ при температуре хранения и испытаний T , 1/ч;

$T_{\text{хр}T}$ – средняя температура при хранении в отапливаемых хранилищах, равновероятно размещенных по территории Российской Федерации, К;

$\lambda_{\text{хр}Tk}$ – средняя по группе ЭРИ интенсивность отказов, 1/ч;

$B_k(T)$ – энергетическая функция k -го типа ЭРИ третьего поколения, определяемая на основании анализа и обобщения опытных данных по сохраняемости ЭРИ в условиях эксплуатации и испытаний, характеризующая зависимость скорости его старения от температуры, К;

$A_{1k}(T)$ – функция предэкспонент k -типа, определяемая на основании анализа и обработки данных по сохраняемости в условиях эксплуатации и испытаний, и характеризующая совместно с энергетической функцией зависимость скорости старения ИС ДАТЬ РАСШИФРОВКУ-ЕЩЕ НЕ БЫЛО от температуры;

$B_{1k}(T)$ – энергетическая функция k -го типа;

r – число типов ЭРИ третьего поколения в аппаратуре;

r_1 – число типов интегральных микросхем в аппаратуре.

К ЭРИ первого поколения относили радиоэлектронную аппаратуру, построенную на электровакуумных лампах.

Ко второму поколению относили ЭРИ, основу которых составляли полупроводниковые приборы.

К третьему поколению ЭРИ отнесли интегральные схемы среднего уровня интеграции. В ЭРИ резко уменьшилось число элементов и соединений между ними. В связи с этим во много раз уменьшились масса и габариты, повысилась надежность и функциональность радиоэлектронных изделий.

Четвертое поколение – это ЭРИ, построенные с использованием интегральных схем повышенной степени интеграции. ЭРИ, в которых применяются большие интегральные схемы с программируемой логикой (микропроцессорные комплекты), позволяющие использовать цифровую обработку информации.

В настоящее время развиваются ЭРИ пятого поколения, в которых находят применение приборы функциональной электроники.

В качестве среднего значения положительной температуры принимаем среднегодовую температуру в отапливаемых хранилищах, расположенных повсеместно по территории Российской Федерации и равную 285,4 К согласно требованиям ГОСТ В 25976-83.

Для расчетов режимов ускоренных испытаний приборов используют обобщенные данные по продолжительности существования температур в отопляемом хранилище по климатическим районам Российской Федерации, представленные в ГОСТ В 25976-83.

Далее представлен результат расчета длительности стендовых ускоренных испытаний, имитирующий один год естественного хранения имитатора сигналов датчиков.

В табл. П.3.2 представлены элементный состав и характеристики кинетики старения имитатора сигналов датчиков, приведенные в ГОСТ РВ20.57.304-98.

Таблица П.3.2

ЭРИ	Шм.	$\lambda_{\text{хр}}(T_{285,4 \text{ К}}), 1/\text{ч}$	Характеристики кинетики старения
P1-12	211	7,35E-10	$B(T) = 12108 - 21,729T - 0,145T^2 + 0,000378T^3$
K53-56	46	3,5E-09	$B(T) = 32795 - 75,06T$
K10-17в	201	1,913E-09	$B(T) = 29916 - 49,85T - 0,3572T^2 + 0,000837T^3$
2Т665А9	4	1,15E-09	$B(T) = 50905 - 103,485T - 0,57167T^2 + 0,001414T^3$
2Т664А9	2	1,152E-09	$B(T) = 50905 - 103,485T - 0,57167T^2 + 0,001414T^3$
2Т384АМ-2	16	1,444E-08	$B(T) = 50905 - 103,485T - 0,57167T^2 + 0,001414T^3$
2Д918Б-1	12	2,4E-10	$B(T) = 168534 - 972,862T + 1,5588T^2 - 0,000282T^3$

Продолжительность существования температур в зоне хранения приборов представлена в табл. П.3.3.

Таблица П.3.3

Отопляемое хранилище	
$T_j, \text{ К}$	$j, \text{ ч}$
275,5	637
280,5	2694
285,5	2622
290,5	1686
295,5	787
300,5	170
305,5	151
310,5	19

С учетом приведенных в табл. П.3.2 и П.3.3 данных длительность ускоренных испытаний на тепловое старение аппаратуры, определенная по формуле (П.3.1) составляет

$$\tau_{\text{и}} = 215 \text{ ч (9 сут.)}.$$

Продолжительность испытаний имитатора сигналов датчиков при годовом испытательном цикле приведена в табл. П.3.4.

Таблица П.3.4

Виды воздействующих факторов	Характеристики воздействующих факторов	Величины воздействующих факторов
Повышенная температура	Температура, °С	$+(70 \pm 2)$
	Относительная влажность, %	Не нормируется
	Продолжительность воздействия, сут.	9

5. Условия и порядок проведения испытаний

Испытания на тепловое старение проводят в климатических камерах, обеспечивающих управление режимами по температуре.

Значение абсолютной влажности в камере не должно превышать 110 г/м^3 .

Испытания на тепловое старение выполняют в следующем порядке:

1. Перед испытаниями проводят внешний осмотр имитатора сигналов датчиков.
2. Проверяют функционирование имитатора сигналов датчиков в нормальных условиях.
3. Проводят испытания имитатора сигналов датчиков при всех видах воздействий в выключенном (ненагруженном) состоянии в штатной таре.
4. Помещают имитатор сигналов датчиков в термокамеру. В течение 3 ч температуру в камере доводят до $(70 \pm \text{ТАК?}2) \text{ } ^\circ\text{С}$. Выдерживают прибор при этом значении температуры в течение 9 суток.
5. Через 9 сут. температуру в камере доводят до нормальной. Выдерживают имитатор сигналов датчиков в течение 3 ч и открывают камеру.
6. Извлекают имитатор сигналов датчиков из упаковки. Проверяют.
7. Повторяют проверку 9 раз.

Имитатор сигналов датчиков считается выдержавшим испытания на сохраняемость, если:

а) количественные показатели сохраняемости соответствуют установленным в техническом задании;

б) все отказы и повреждения прибора, выявленные в процессе и после хранения, устранены силами, средствами и в порядке, предусмотренными в эксплуатационной документации;

в) при проверке технического состояния прибора по окончании испытаний состояние металлических поверхностей и покрытий, лакокрасочных покрытий, пластмасс, резинотехнических изделий и упаковки соответствует нормам, установленным в техническом задании.

6. Метрологическое, программное и материально-техническое обеспечение испытаний

Для проведения испытаний применяют стандартное оборудование, которое к началу испытаний должно быть аттестовано в соответствии с ГОСТ Р 8.568-97.

К стендовым ускоренным испытаниям на сохраняемость разрешается допускать лиц, ознакомленных с инструкцией по технике безопасности при работе с высоким напряжением.

Для проведения стендовых ускоренных испытаний на сохраняемость должна быть создана квалификационная комиссия.

Материально-техническое обеспечение испытаний на надежность, совмещенных с другими испытаниями имитатора сигналов датчиков, осуществляется в порядке, установленном для предварительных испытаний.

7. Отчетность

Результаты испытаний заносятся в журнал испытаний. Журнал является основным документом и ведется в одном экземпляре.

При проявлении отказов в приборе в процессе ускоренных испытаний комиссия обязана:

- провести тщательный анализ прибора для выявления отказавших элементов и установления причин (механизмов возникновения) отказов;

- дополнительно для конкретного отказавшего элемента с учетом его энергетической функции рассчитать длительность ускоренных испытаний, которая соответствует назначенной длительности естественного хранения прибора, если причиной отказа признаны условия ускоренного хранения;

- сравнить фактическую длительность ускоренных испытаний до наступления отказа прибора с расчетной длительностью ускоренных испытаний комплектующего изделия. Если расчетная длительность оказалась больше фактической длительности ускоренных испытаний прибора, то отказ учитывают; если расчетная длительность

не больше фактической, то это равносильно тому, что при испытаниях для комплектующего изделия проимитирована длительность естественного хранения большая, чем назначенная для прибора, и отказ не следует учитывать.

Отказы, причины возникновения которых, не вызваны условиями хранения, не учитывают.

Если в процессе проведения испытаний будут выявлены отклонения от нормы, не влияющие на дальнейшее проведение испытаний, ведущим конструктором и разработчиком по согласованию с представителем заказчика принимается решение о дальнейшем проведении испытаний, а выявленные отклонения должны быть занесены в графу «Отклонения» в журнале испытаний.

По выявленным отклонениям ведущий конструктор и разработчик обязаны принять техническое решение, о чем должна быть сделана запись в графе «Принятое решение» в журнале испытаний.

После проведения испытаний комиссия делает вывод о соответствии или несоответствии имитатора сигналов датчиков требованиям настоящей программы

По окончании испытаний составляется протокол.

Приложение 4

МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И СОХРАНЯЕМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ ИЗОЛЯЦИИ В АГРЕССИВНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ СРЕДАХ

Испытания электроизоляционных лаков и систем покрытий материалов изоляции проводят в соответствии с ГОСТ Р 51372-99 и ГОСТ Р 53167-2008.

1. Образцы для испытаний

Образцом для испытаний являются два скрученных между собой отрезка провода (рис. П.4.1). Скрутки изготавливают из сложенного пополам отрезка провода номинальным диаметром от 0,80 до 1,18 мм. Длина скрученной части образца должна быть 125 мм.

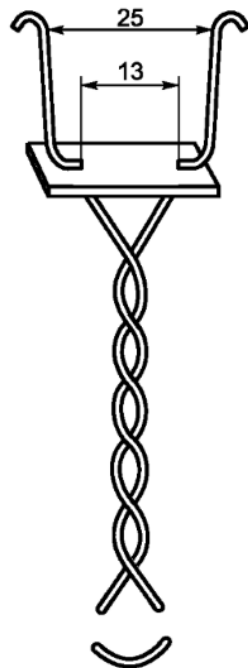


Рис. П.4.1. Образец для испытаний

Натяжение при скручивании провода и число скруток должны соответствовать данным табл. П.4.1.

Таблица П.4.1

Номинальный диаметр проволоки, мм	Натяжение, Н, для проволоки		Число скруток на длине 125 мм
	медной	алюминиевой	
0,125–0,250	0,83	0,415	33
0,280–0,355	1,67	0,835	23
0,400–0,500	3,33	1,665	16
0,560–0,750	6,85	3,425	12
0,800–1,06	13,2	6,6	8
1,12–1,25	26,5	13,25	6

С выводных концов образцов механическим способом удаляют (зачищают) изоляцию.

Перед началом испытаний подготовленные образцы проверяют в течение 1–2 сут. испытательным напряжением частотой 50 Гц, прикладываемым к их зачищенным концам.

Значение испытательного напряжения в зависимости от толщины изоляции выбирают в соответствии с данными табл. П.4.2.

Таблица П.4.2

Толщина изоляции провода, мм	Испытательное напряжение, В (частота тока 50 Гц)
0,015–0,024	900
0,025–0,035	1200
0,036–0,050	1500
0,051–0,070	2100
0,071–0,090	3000
0,091–0,130	3600

2. Порядок проведения испытаний

Испытания являются прерывающимися. В каждом испытательном режиме образцы подвергают воздействию основных разрушающих внешних воздействующих факторов (температуры, относительной влажности воздуха и агрессивной газообразной среды определенного вида и концентрации). Через промежутки времени в соответствии с режимами испытаний, указанными в табл. П.4.3, изделия извлекают из камеры и проверяют испытательным напряжением в соответствии с нагрузкой, указанной в табл. П.4.4 путем приложения напряжения в течение 1–2 сут.

Таблица П.4.3

Продолжительность испытаний, сут.	Периодичность измерения параметра – критерия отказа, ч	Продолжительность испытаний, недели	Периодичность измерения параметра – критерия отказа, сут.
до 0,5	0,5	св. 2 до 4 вкл.	1
св. 0,5 до 1 вкл.	1,0	св. 4 до 7 вкл.	2
св. 1 до 2 вкл.	2,0	св. 7 до 14 вкл.	4
св. 2 до 4 вкл.	4,0	св. 14 до 25 вкл.	7
св. 4 до 7 вкл.	8,0	св. 25 до 50 вкл.	14
св. 7 до 14 вкл.	12,0	св. 50	30

Таблица П.4.4

Толщина изоляции провода, мм	Испытательное напряжение, В (частота 50 Гц)
0,005–0,024	300
0,025–0,035	400
0,036–0,050	500
0,051–0,070	700
0,071–0,090	1000
0,091–0,130	1200

3. Обработка результатов испытаний

Срок L каждого образца вычисляют в часах как суммарное время воздействия среды во всех циклах испытаний при данном режиме испытаний.

Затем вычисляют средний срок L как среднеарифметическое всех сроков L образцов, подвергнутых испытаниям в данном режиме.

После этого вычисляют логарифмы каждого срока ($\lg L = u$) и среднелогарифмический срок L в данном режиме ($\bar{U}$ – среднеарифметическое значение логарифмов сроков L).

Полученные результаты испытаний корректируют, исключая из рассмотрения образцы с резко выделяющимися значениями логарифмов. Методика исключения резко выделяющихся значений результатов испытаний заключается в том, что в качестве метода исключения применяют критерий Ирвина в следующей последовательности:

1. Определяют некорректированный средний логарифмический срок L при каждом испытательном режиме:

$$\bar{U}_{ic} = 1 / n_{ic} \sum U_i, \quad (\text{П.4.1})$$

где $U_i = \lg L$ – значение срока L для каждого образца в данном режиме;
 n_{ic} – число образцов, испытываемых в данном испытательном режиме.

2. Вычисляют некорректированную дисперсию логарифмов сроков при каждом испытательном режиме:

$$S_{ic}^2 = 1 / (n_{ic} - 1) \sum n_{ic} (U_i - \bar{U}_{ic})^2. \quad (\text{П.4.2})$$

3. Полученные значения U располагают в ряд $U_1, U_2, U_3 \dots U_n$ по степени возрастания значения U (вариационный ряд).

4. Проверяют сомнительные значения на одном или двух краях ряда, составленного в п. 3. Проверку начинают от края и проверяют поочередно каждое следующее (по направлению к середине ряда) сомнительное значение.

5. Для проверки вычисляют функцию

$$\lambda_{kc} = (U_{kc} - U_{(k-1)c}) / S_{ic}, \quad (\text{П.4.3})$$

где U_{kc} – вызывающее сомнение значение логарифма срока L ;

$U_{(k-1)c}$ – следующее от края ряда значение логарифма срока L ;

k – номер по порядку от края ряда.

6. Сравнивают полученные значения λ_{kc} с приведенными в табл. П.4.5 значениями $\lambda_{\text{табл}}$. Если хотя бы для одного вызывающего сомнения значения сроков U_{kc} от края ряда до U_{kc} включительно.

7. Проверку продолжают до тех пор, пока не будут получены значения

$$\lambda_{kc} \leq \lambda_{\text{табл}} \quad (\text{П.4.4})$$

Таблица П.4.5

n_{ic}	Значения $\lambda_{\text{табл}}$ для исключения резко выделяющихся значений при доверительной вероятности		n_{ic}	Значения $\lambda_{\text{табл}}$ для исключения резко выделяющихся значений при доверительной вероятности	
	95 %	99%		95%	99%
5	1,9	2,4	50	1,1	1,6
10	1,5	2,0	100	1,0	1,5
20	1,3	1,8	400	0,9	1,3
30	1,2	1,7	1000	0,8	1,2

Затем для данного режима испытаний вычисляют среднеарифметический срок L и среднелогарифмический срок L ($\bar{U}$ – среднеарифметическое значение логарифмов срока L всех оставшихся для рассмотрения образцов).

Вычисляем дисперсию результатов испытаний образца S^2 при испытательном режиме по формуле

$$S^2 = (\sum n_i (U_i - \bar{U})^2) / (n_i - 1), \quad (\text{П.4.5})$$

где n_i – число образцов, оставленных для рассмотрения.

Вычисляют среднелогарифмический срок $\bar{U}_{\text{тр}}$, значение дисперсии $S_{\text{тр}}$ и среднеарифметический срок $\dot{L}_{\text{тр}}$ при значениях температуры, влажности, концентрации агрессивной среды, нормированных для соответствующий групп условий агрессивности, которые для рассматриваемого случая являются требуемыми воздействующими факторами:

$$\bar{U}_{\text{тр}} = \bar{U} \lg K, \quad (\text{П.4.6})$$

где K – коэффициент ускорения (см. табл. П.4.6).

$$\begin{aligned} S_{\text{тр}} &= S \lg K; \\ \dot{L}_{\text{тр}} &= \dot{L} K; \\ \dot{L}_{\text{тр}} &= 10^{\bar{U}_{\text{тр}}}. \end{aligned} \quad (\text{П.4.7})$$

Таблица П.4.6

Вид агрессивной среды	Коэффициент ускорения испытаний для групп условий агрессивности		
	X1	X2	X3
NH ₃	2,72	2,56	2,33
NO ₂	2,86	2,66	2,45

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Основные понятия и определения надежности технических систем	3
2. Основные показатели безотказности технических систем	5
2.1. Вероятность безотказной работы	5
2.2. Средняя наработка до отказа	7
2.3. Интенсивность отказов	8
2.4. Средняя наработка на отказ	10
2.5. Параметр потока отказов	10
3. Расчет надежности технических систем	12
4. Испытания на надежность технических систем	15
4.1. Виды, цели и задачи испытаний на надежность	15
4.2. Объекты испытаний на надежность	16
4.3. Планирование испытаний на надежность	20
5. Стендовые испытания на надежность	23
5.1. Основные положения стендовых испытаний	23
5.2. Этапы стендовых испытаний	24
5.3. Режимы стендовых испытаний	25
6. Особенности ускорения стендовых испытаний на надежность	28
6.1. Принципы ускорения стендовых испытаний	28
6.2. Организация стендовых ускоренных испытаний	39
7. Автоматизация стендовых ускоренных испытаний на надежность	44
7.1. Основные направления автоматизации испытаний	44
7.2. Структура автоматизированных систем испытаний	45

Список литературы.....	50
Приложения.....	51
Приложение 1. Экспериментальные стендовые установки ..	51
Приложение 2. Рабочая методика стендовых ускоренных испытаний на безотказность блоков радиоэлектронной аппаратуры.....	55
Приложение 3. Программа и методика стендовых ускоренных испытаний на сохраняемость на примере имитатора сигналов датчиков ...	59
Приложение 4. Методика ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость материалов изоляции в агрессивных и газообразных средах	67

Учебное пособие

Ботир Иминжонович **Гиясов**
Николай Григорьевич **Серегин**
Дмитрий Николаевич **Серегин**
Владимир Алексеевич **Беляков**

СТЕНДОВЫЕ УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА НАДЕЖНОСТЬ

Редактор: В.В. Космин
Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев*
Дизайн обложки: *Т.А. Негрозова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 09.06.17.
Формат 60х90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. 4 п.л. Заказ №

ООО «Издательство АСВ»: 129337, Москва, Ярославское шоссе, 19,
отдел реализации – оф. 12, тел.: +7(925)084-74-24,
e-mail: iasv@iasv.ru, Internet: www.iasv.ru