ГОСТ Р 51910—2002

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОВЕРКИ УСКОРЕННЫМИ МЕТОДАМИ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И СОХРАНЯЕМОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Разработка и построение

Издание официальное

БЗ 8—2001/199

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Техническим комитетом по стандартизации ТК 341 «Внешние воздействия»

ВНЕСЕН Научно-техническим управлением Госстандарта России

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 4 июля 2002 г. № 263-ст

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 2002

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Определения 2
4 Общие положения 3
5 Определение основных критичных узлов и выбор критериев отказа 3
6 Выбор типового (условного) режима эксплуатации 5
7 Выбор основных видов испытательных воздействий и способов их приложения 5
8 Определение способов ускорения испытаний 6
9 Обработка результатов ускоренных испытаний 11
10 Установление режима ускоренных контрольных испытаний 12
Приложение А Испытания электрических контакторов на гамма-процентный срок службы . . . 13
Приложение Б Методика обработки результатов испытаний на гамма-процентный срок службы . 17

Введение

Настоящий стандарт содержит требования, относящиеся к выбору типового режима эксплуатации технических изделий, определению основных критичных узлов, критериев отказа изделий, основных видов испытательных воздействий и способов их приложения, способов ускорения испытаний, способов статистической обработки их результатов. Наиболее существенной частью стандарта являются требования, относящиеся к выбору видов ускоряющих испытательных воздействий и конкретных режимов испытаний. Базой для установления указанных требований являются разработанные в последнее время стандарты на требования и методы испытаний в части стойкости к внешним воздействующим факторам (далее — ВВФ) всех технических изделий. В этих стандартах установлены группы условий эксплуатации и хранения изделий в части ВВФ, увязанные с данными условиями методы и режимы испытаний, а также типизированная зависимость показателей стойкости изделий от значений ряда ВВФ. Испытания являются циклическими. Отличительным признаком таких испытаний является то, что воздействие каждого фактора в каждом цикле осуществляют в соответствии со стандартизованными методиками, а жесткость воздействия каждого фактора в каждом цикле составляет единую долю общей жесткости воздействия каждого фактора за весь срок службы изделия.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОВЕРКИ УСКОРЕННЫМИ МЕТОДАМИ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И СОХРАНЯЕМОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Разработка и построение

Research and testing strategy by accelerated methods of environmental conditions influence for industrial products longevity and storage ability. Development and design

Дата введения
для вновь разрабатываемых изделий — 2003—03—01
для разработанных до 2002—01—01 изделий — 2004—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на машины, приборы и другие технические изделия всех видов (далее — изделия) и применяемые для этих изделий полимерные материалы, металлы и сплавы (далее — материалы); детали и узлы из них; полимерные системы, системы электрической изоляции (далее — системы материалов); защитные покрытия от коррозии (далее — покрытия).

Стандарт устанавливает общие требования к построению методики исследования и проверки ускоренными методами влияния внешних воздействующих факторов [(далее — ВВФ) климатических, механических ВВФ и специальных, в том числе агрессивных, сред] на долговечность и сохраняемость изделий или (и) их деталей и узлов, материалов, систем материалов и покрытий.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 9.045—75 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Ускоренные методы определения светостойкости

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

ГОСТ 10518—88 Системы электрической изоляции. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость

ГОСТ 15150—69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 15543.1—89 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам

ГОСТ 26883—86 Внешние воздействующие факторы. Термины и определения

ГОСТ 30630.0.0—99 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Общие требования

ГОСТ 30630.1.2—99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации

ГОСТ 30631—99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации

ГОСТ Р 51368—99 Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на устойчивость к воздействию температуры

ГОСТ Р 51369—99 Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие влажности

Издание официальное

ГОСТ Р 51370—99 Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытание на воздействие солнечного излучения

ГОСТ Р 51371—99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие ударов

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

ГОСТ Р 51684—2000 Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытание на воздействие давления воздуха или другого газа

ГОСТ Р 51801—2001 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к воздействию агрессивных и других специальных сред

ГОСТ Р 51802—2001 Методы испытаний на стойкость к воздействию агрессивных и других специальных сред машин, приборов и других технических изделий

ГОСТ Р 51804—2001 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Комбинированные испытания

ГОСТ Р 51908—2002 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий транспортирования и хранения

3 Определения

В настоящем стандарте применяют термины с соответствующими определениями и сокращениями, относящиеся к областям:

- общих понятий ВВФ — по ГОСТ 15150 и ГОСТ 26883;
- испытаний на стойкость к ВВФ — по ГОСТ 30630.0.0;
- надежности технических изделий — по ГОСТ 27.002;
- сохраняемости (дополнительные понятия) — по ГОСТ Р 51908;
- надежности материалов и систем материалов — по ГОСТ Р 51372.

Кроме того, в стандарте применяют следующие термины с соответствующими определениями:

полимерная система: Полимерный материал или совокупность полимерных материалов, рассматриваемых в сочетании с присоединенными неполимерными деталями, применительно к конкретному типу, серии или части изделия[1)] (по ГОСТ Р 51372).

система электрической изоляции: Изоляционный материал или совокупность изоляционных материалов, рассматриваемых вместе с относящимися к ним токоведущими частями, применительно к отдельному типу, типоразмеру или части электротехнического изделия (приложение 1 ГОСТ 10518) (по ГОСТ Р 51372).

агрессивная среда: Среда, обладающая кислотным, основным или окислительным действием и вызывающая разрушение (или ухудшение параметров) материалов и (или) изделий (по ГОСТ Р 51372).

эффективное значение: По ГОСТ 26883 и ГОСТ 15150 (по ГОСТ Р 51372).

коэффициент ускорения испытаний: Величина, показывающая, во сколько раз уменьшается значение показателей долговечности или срок сохраняемости при испытаниях относительно заданных значений показателей долговечности или срока сохраняемости в эксплуатации, или срока хранения до ввода в эксплуатацию (по ГОСТ Р 51372).

критерий отказа: Параметр, определяющий работоспособность изделия, систем материалов, покрытия, материала[2)] (по ГОСТ Р 51372).

критическое значение критерия отказа: Предельное значение критерия отказа, при котором изделие, система материалов, покрытия, материал еще удовлетворяют предъявленным к ним требованиям в условиях эксплуатации, хранения до ввода в эксплуатацию или испытания[3)] (по ГОСТ Р 51372).

греющееся изделие: Изделие, у которого превышение температуры самой теплой точки его отдельных узлов, чувствительных к температуре, влажности, агрессивной среде, или изделия в целом над температурой внешней среды (при нагрузке, соответствующей верхнему значению температуры

[1)] Аналогично определяют срок службы материалов или систем изоляции в изделии.

[2)] В некоторых нормативных документах — характеристика или характеристический показатель.

[3)] В некоторых нормативных документах — параметр-критерий отказа.

внешней среды) составляет 10 °С и более; или у которого превышение температуры поверхности, измеренной в условиях свободного обмена воздуха после достижения теплового равновесия, над температурой внешней среды при той же нагрузке составляет 5 °С и более[1)] (по ГОСТ Р 51372).

4 Общие положения

4.1 Основной целью и средством исследований являются получение функциональных зависимостей между показателями долговечности и сохраняемости изделий и значениями ВВФ и экспериментальное определение коэффициентов этих зависимостей.

По результатам определения коэффициентов этих зависимостей с требуемой доверительной вероятностью могут быть установлены:

- средний или гамма-процентный ресурс или срок службы, или срок сохраняемости (далее — срок L) при заданных значениях (постоянных или переменных) основных ВВФ;
- значения основных ВВФ, при которых допустима эксплуатация изделий при заданном сроке L;
- графики зависимости срока L от основных ВВФ, могущие служить аттестованными нормативно-справочными данными о свойствах материалов, системы материалов, покрытий, изделий;
- режим ускоренных контрольных испытаний при одном значении основных ВВФ;
- прогноз зависимости изменения значений критерия отказа от продолжительности действия заданных значений основных ВВФ.

4.2 Основной составной частью при разработке методики исследования и проверки ускоренными методами влияния ВВФ на долговечность и сохраняемость изделий является выбор:

- формы и конструкции образца — для материалов, покрытий, систем материалов;
- основных критичных узлов — для готовых изделий;
- критериев отказа;
- критических значений критериев отказа;
- типового (условного) режима эксплуатации — для готовых изделий;
- основных видов испытательных воздействий, последовательностей и способов их приложения;
- способов ускорения испытаний, в том числе плана и режимов испытаний, периодичности контроля показателей критериев отказа в процессе испытания, последовательности и контроля параметров после испытаний.

4.3 В нормативных документах на методы испытаний конкретных материалов или покрытий способы приложения и виды ВВФ, критерии отказа и формы образца должны соответствовать преимущественному применению материалов или покрытий в конструкции. Если допускают несколько основных применений материала или покрытия, то могут быть разработаны несколько методов испытаний.

Результаты испытаний материалов в виде образцов методами испытаний материалов используют для предварительной оценки долговечности материалов. Для определения долговечности и сохраняемости материалов в составе изделия проводят испытания материалов в составе покрытий или систем материалов методами испытаний покрытий или систем материалов, если иное не указано в нормативных документах на испытания материалов.

4.4 При разработке методики испытаний наиболее целесообразной является последовательность выбора, указанная в 4.2. Однако в процессе разработки методики может оказаться необходимой корректировка ранее принятых решений.

5 Определение основных критичных узлов и выбор критериев отказа

5.1 Предпочтительно выбирать прямые критерии отказа (т. е. критерии, связанные с нарушением основных функций материала в системе материалов).

5.2 Допускается пользоваться косвенными критериями (для удобства измерений или сокращения числа образцов). Например, при расчете ресурса обмотки электрических машин мощностью от 1 до 400 кВт пользуются данными об изменении степени дефектности изоляции обмоточных проводов, определяемой по увеличению числа трещин в процессе старения.

При этом необходимо учитывать, что изменение значений косвенных критериев может быть обусловлено механизмом отказа. Например, для электроизоляционных систем изделий низкого переменного напряжения в большинстве случаев прямым критерием отказа является снижение пробивного напряжения изоляции до равного или более низкого, чем напряжения, действующие на

[1)] В некоторых нормативных документах — тепловыделяющее изделие или тепловыделяющий образец.

электрическую изоляцию при эксплуатации изделий. Однако для удобства измерений часто используют косвенный критерий — значение сопротивления изоляции при измерении постоянным напряжением. При этом необходимо учитывать, что изменение значений сопротивления изоляции может быть вызвано механизмом отказа, в ряде случаев отличающимся от механизмов отказа, вызывающих изменение электрической прочности изоляции.

5.3 При выборе критериев отказа следует также учитывать, что их значения могут зависеть от значения ужесточенного разрушающего воздействия; в этом случае необходимо предусмотреть измерение значений параметров изделий, материалов, систем материалов и покрытий в одинаковых условиях, несмотря на различие значений разрушающих ВВФ. При этом иногда требуется отделять обратимые изменения значений указанных параметров от необратимых.

5.4 При выборе критичных узлов изделий следует учитывать, что зачастую для электротехнических изделий критичным узлом является система электрической изоляции.

В этом случае за критерий отказа рекомендуется принимать пробой при воздействии испытательного напряжения. Значение испытательного напряжения выбирают в зависимости от функции, которую выполняют материалы в конструкции. Значение испытательного напряжения должно быть достаточно высоким, чтобы можно было установить критическую степень разрушения изоляции, но в то же время не настолько высоким, чтобы изменить характер старения изоляции, определяемый воздействием основных разрушающих факторов, или вывести изоляцию из строя в том состоянии, в каком она еще способна функционировать в данной конструкции.

Для электроизоляционных материалов и систем изоляции неэлектротехнических изделий за критерий отказа принимают пробой при воздействии испытательного напряжения или изменения значений других параметров (например, удельного объемного сопротивления, волновых параметров, тангенса угла диэлектрических потерь или же механической прочности) до установленного критического значения, если этими параметрами в большей степени, чем приложенным напряжением, определяется работоспособность материала или систем изоляции.

Для неэлектроизоляционных материалов и систем материалов критерии отказа устанавливают в нормативных документах на методы испытаний.

Если в качестве критерия отказа принят пробой при воздействии испытательного напряжения, то в стандартах на методы испытаний указывают длительность приложения испытательного напряжения и стадию цикла, на которой его прилагают.

5.5 При выборе критерия отказа учитывают фиксированное значение измеряемого параметра, а не степень его изменения по отношению к исходному значению. При исследовании систем материалов, для которых в изделиях различных видов критичными могут быть разные уровни измеряемого параметра, рекомендуется в качестве критерия отказа принимать несколько уровней параметра и соответственно определять разные ресурсы.

Допускается при сравнении материалов использовать при выборе критерия степень изменения значения измеряемого параметра по отношению к исходному значению. Следует учитывать, что этот способ может привести к необоснованной отбраковке образцов с более высокими начальными значениями параметра, но с несколько большей скоростью его изменения. За исходное значение параметра при этом способе принимают, как правило, среднее арифметическое результатов испытаний при числе образцов, определенном статистическим методом, обеспечивающим попадание среднего (с заданной относительной ошибкой) в интервал с заданной доверительной вероятностью. Выбранная при этом доверительная вероятность должна соответствовать доверительной вероятности, выбранной для расчетов показателей долговечности или сохраняемости изделия в целом.

Необходимость и методы предварительной стабилизации свойств образцов (например, тренировка, выдерживание в кондиционированных условиях) устанавливают в стандартах на методы испытаний.

5.6 Критичные узлы изделий предпочтительно определять оценкой и обобщением отказов на основе опыта эксплуатации изделий. При этом допускается применение метода экспертных оценок.

Допускается определение критичных узлов изделий проводить на базе ресурсных испытаний по ранее разработанным методикам, при этом следует учитывать возможные погрешности из-за несоответствия условий испытаний и условий эксплуатации. Например, по одной из методик ускорение испытаний контакторов при ресурсных испытаниях может быть достигнуто сокращением интервалов между включением-выключением, что вызывает быстрый износ контактов, но облегчает работу электрической изоляции катушек и, тем самым, искажает результаты испытаний контактора в целом.

6 Выбор типового (условного) режима эксплуатации

6.1 Многообразие реальных режимов эксплуатации изделий должно быть сведено к одному или нескольким условным типовым режимам эксплуатации.

Эти режимы должны быть представлены в виде набора видов ВВФ как внешних, так и зависящих от режима работы.

6.2 При выборе типового режима эксплуатации проводят, в частности, разделение этапов эксплуатационного хранения и этапов выработки ресурсов изделий. При этом учитывают, что такое разделение этапов может быть нецелесообразным для некоторых изделий в соответствии с их конструктивными особенностями и особенностями эксплуатации.

7 Выбор основных видов испытательных воздействий и способов их приложения

7.1 Проводят анализ влияния эксплуатационных воздействующих факторов, выбранных в соответствии с разделом 6, на узлы и материалы изделий, связанные с критериями отказа. При этом виды эксплуатационных ВВФ делят на несущественные и существенные. Последние принимают в качестве испытательных воздействий.

7.2 Факторы, принятые в качестве испытательных воздействий, подразделяют на основные, вызывающие разрушение при длительном воздействии (разрушающие), и на дополнительные, только выявляющие произведенное основными факторами разрушение (диагностические).

7.3 Следует учитывать, что один и тот же фактор может быть либо основным, либо только диагностическим в зависимости от значения и продолжительности его действия, последовательности приложения испытательных воздействий и (или) сочетания этого фактора с другими. Примеры даны в 7.3.1 и 7.3.2.

7.3.1 Сочетание относительной влажности с температурой без воздействия агрессивной среды вызывает только обратимые процессы увлажнения без разрушения. При разработке методики ускоренного определения показателей сохраняемости изделий при воздействии агрессивных сред сочетание относительной влажности с температурой воздуха относят к основным разрушающим испытательным факторам при их воздействии совместно с агрессивной средой и к дополнительным (диагностическим) факторам — при необходимости оценить степень произошедших разрушений.

7.3.2 Температура в диапазоне 300—600 °С не является разрушающим фактором для электроизоляционных систем из высоконагревостойких электроизоляционных неорганических материалов для электрических машин: не наблюдается зависимости ресурса системы от значения температуры. Температура в сочетании с приложенным электрическим напряжением является разрушающим фактором: наблюдается зависимость ресурса системы как от значения температуры, так и от значения напряжения. При разработке методик ускоренного определения долговечности изделий с указанной изоляцией воздействие температуры необходимо относить к основным (разрушающим) испытательным факторам при ее действии совместно с испытательным напряжением и к дополнительным (диагностическим) факторам при необходимости оценить степень произошедших разрушений.

7.4 В нормативных документах на методы испытаний должны быть указаны виды и последовательность приложения испытательных факторов. Например, для полимерных систем (в том числе систем электрической изоляции), предназначенных для эксплуатации при воздействии динамических механических ВВФ в воздушной среде, содержащей агрессивные газы, предпочтительна последовательность: приложение основных разрушающих факторов (температуры, агрессивной среды, относительной влажности), механические воздействия, увлажнение как диагностический фактор, контроль критериев отказа (для электроизоляционных систем — приложение испытательного напряжения).

7.5 При выборе основных испытательных воздействий выделяют следующие существенные для оценки влияния ВВФ на долговечность и сохраняемость особенности, общие для большинства технических изделий.

7.5.1 Долговечность и сохраняемость многих технических изделий определяются влиянием ВВФ на:

- полимерные, в том числе электроизоляционные системы и материалы;
- детали из металлов, сплавов, металлических покрытий (в том числе электрические контакты и контактные соединения, крепежные детали);
- подшипниковые узлы (в том числе смазки).

7.5.2 При оценке влияния климатических ВВФ первоочередным является учет их влияния на:

- старение полимерных материалов, в том числе электроизоляционных, систем, смазок (основные влияющие факторы — температура, влажность воздуха, агрессивная среда);
- увлажнение полимерных, в том числе электроизоляционных, систем и материалов (основные влияющие факторы — относительная влажность воздуха в сочетании с температурой);
- коррозию металлов и сплавов (основные влияющие факторы — агрессивные среды, влажность воздуха, температура).

7.5.3 При оценке влияния механических ВВФ первоочередным является учет их влияния на:

- механическую прочность металлических частей, в том числе сварных узлов;
- механическую прочность полимерных (в том числе электроизоляционных) систем, в том числе в процессе старения, а также учет взаимного влияния климатических и механических ВВФ;
- механическую прочность подшипниковых узлов, в том числе изменения их параметров;
- прочностные свойства крепежных соединений;
- изменение резонансных характеристик изделий или их деталей.

7.5.4 Для греющихся изделий, содержащих полимерные материалы и системы (например, системы электрической изоляции), при учете влияния ВВФ на процессы теплового старения принимают во внимание следующие особенности:

- на этапе работы под нагрузкой учитывают длительное воздействие температуры (сумму температуры от нагрева изделия и температуры воздуха) при пренебрежимом воздействии газообразных агрессивных сред и влажности воздуха;
- на этапе перерывов в работе (этапе эксплуатационного хранения) учитывают воздействие влажности воздуха и газообразных агрессивных сред при пренебрежимом (по сравнению с этапом работы под нагрузкой) влиянии воздействия температуры (теплового старения).

8 Определение способов ускорения испытаний

8.1 Выбор математической модели

8.1.1 Общие положения

Способы ускорения испытаний должны быть основаны на математической модели, выражающей зависимость между показателями долговечности и сохраняемости изделий и значениями ВВФ и отвечающей, в частности, на вопрос: «как экстраполировать результаты ускоренных испытаний в область рабочих значений ВВФ или парамстров изделий?».

Модель может быть разработана теоретически и (или) экспериментально определена при разработке данной методики или же заранее известна. При разработке математической модели учитывают, что ускорение испытаний на долговечность и сохраняемость изделий может быть достигнуто с помощью следующих способов:

Способ А. Ужесточение ВВФ, испытание при нескольких значениях этих ужесточенных ВВФ до отказа всех образцов и экстраполяция значения ресурса (срока службы, срока сохраняемости — далее срок L) по значению ВВФ до эксплуатационных значений ВВФ.

Способ Б. Выявление зависимости изменения значений критериев отказа от продолжительности воздействия ВВФ (обычно при эксплуатационных значениях ВВФ) и экстраполяция по начальной части этой зависимости до значения критерия, принятого за отказ.

Способ В. Выявление вида параметров статистического распределения отказов и экстраполяция по начальной части статистического распределения до отказа всех образцов.

Способ Г. Сокращение эксплуатационных циклов за счет уменьшения или исключения продолжительности воздействия несущественных для отказов факторов (например, уменьшение интервалов между включениями-выключениями контактного аппарата при определении износостойкости электрических контактов, увеличение частоты переменного тока при испытании высоковольтной изоляции на электрический износ).

Способ Д. Выявление зависимости срока L от размеров образца, определяющих прочность конструкции (выбор критериев подобия), испытание более слабых конструкций и прогнозирование срока L для более прочных конструкций.

Способ Е. Сочетание способа А со всеми или несколькими способами Б — Д.

8.1.2 При выборе способа ускорения учитывают указанное ниже:

Опыт исследования влияния агрессивных сред, климатических и (в ряде случаев) механических ВВФ на срок L показывает, что при применении способов А и Г результаты получаются более достоверными, чем при использовании способов Б и В. Так, при использовании способа Б необходимо в деталях знать физико-химические механизмы отказа, влияющие на изменение

критерия отказа, а также иметь доказательство того, что эти механизмы не изменяются со временем; здесь может быть сильное влияние вида или даже партии материала, или применяемой технологии. При использовании способа В очень трудно по начальной части выделить и определить параметры закона статистического распределения отказов, так как особенно в начальной части возможно смешение нескольких статистических законов распределения. Использование способа Б дает во многих случаях удовлетворительную достоверность, но может вносить искажение в результаты (см. способ Б по 8.1.1, 8.1.4).

При использовании способа Б достаточно знать самые общие закономерности механизмов отказа и эмпирически получить возможность прогнозирования сроков службы (что особенно важно при изучении комбинированных материалов или реальных изделий с разнородными материалами). В этом случае можно учесть также влияние переменных значений эксплуатационных факторов.

В то же время часто (например, во многих случаях, когда изменение критерия отказа связано с прочностными свойствами, в том числе с электрической прочностью материала) зависимость функции критерия отказа от времени старения в агрессивных средах может быть аппроксимирована прямой линией и может быть применена в способе Б, например для ряда образцов электроизоляционных материалов. Однако при исследовании наблюдали и непрогнозируемые резкие ухудшения измеряемых электрических параметров и параметров проницаемости материалов на заключительных стадиях их старения.

8.1.3 В соответствии с 8.1.2 наиболее предпочтительным способом ускорения испытаний при определении влияния климатических и механических ВВФ на долговечность и сохраняемость изделий является способ А.

8.1.4 Способы Б и В можно применять в следующих случаях:

- если заранее известно, что математическая функция зависимости значения критерия отказа от продолжительности воздействия фактора представляет собой прямую линию, или если заранее известен статистический закон распределения отказов (который, следовательно, также может быть представлен в виде прямой), то в этих случаях вводят ограничения по диапазонам экстраполяции. Пример таких ограничений для воздействия температуры, влажности и агрессивной среды приведен в приложении Б ГОСТ Р 51372; рекомендуется принять этот пример для других испытательных воздействий;

- если невозможно проводить испытания по методу А, экспериментальным путем находят приближенную математическую функцию зависимости критерия отказа от продолжительности испытательных воздействий и представляют ее в виде прямой линии, после чего применяют требования, установленные в предыдущем абзаце.

8.1.5 Способ Е рекомендуется для сокращения общей продолжительности испытаний в тех случаях, когда ожидают, но окончательно не подтверждают, что зависимости $[f(П)]$ по 8.2.2—8.2.5 могут быть представлены в виде прямой линии. Испытания проводят следующим образом:

8.1.5.1 В наиболее жестких режимах (не менее чем при двух значениях испытательных воздействий в каждой серии испытаний) испытания проводят по способу А.

8.1.5.2 В наименее жестких режимах каждой серии испытания проводят в следующем порядке:

а) для испытаний по соответствующему режиму используют удвоенное число образцов;

б) через 15 %—20 % ожидаемого срока L определяют значения $f(П)$ у половины испытуемых образцов (или отдельно элементов конструкции) и вычисляют средние этих значений (например, среднее логарифмов значений пробивных электрических напряжений);

в) если у оставшихся образцов не наступили отказы, то спустя 40 %—60 % ожидаемого срока L определяют значения $f(П)$ у половины испытуемых образцов и вычисляют средние этих значений;

г) по полученным данным в координатах $f(П)$ — продолжительность (τ) проводят экстраполяцию по продолжительности до критического значения критерия отказа (при испытаниях по способу Б) или до отказа 100 % образцов (при испытаниях по способу В) и прогнозируют средний срок L в этом режиме, при этом на график наносят среднее значение $f(П)$;

д) определяют средний срок L в данном режиме по результатам двух других режимов каждой серии испытаний путем линейной экстраполяции соответственно в координатах $\lg L - F(ф)$;

е) сравнивают средние сроки L, определенные по перечислениям г) и д);

ж) если между сроками [(по перечислению е)] различия несущественны, определяют значение $f(П)$ оставшихся образцов и по этим данным уточняют средний прогнозируемый срок в данном режиме. Этот срок принимают для расчетов при статистической обработке результатов;

и) если между сроками [(по перечислению е)] различия существенны, то испытания оставших-

ся образцов продолжают до наступления отказа в режиме испытания. Полученные при этом сроки L принимают для расчетов;

к) линейную экстраполяцию по перечислениям г) и д) проводят с помощью метода наименьших квадратов с определением дисперсии по срокам L.

Сравнение сроков по перечислению е) проводят с помощью дисперсионного анализа с использованием критерия Фишера.

Примечание — f (П) — функции критерия отказа (например, $\lg U$, где U — значение пробивного напряжения) или закона статистического распределения; τ — суммарная продолжительность испытательного фактора во всех проведенных циклах испытаний; F(ф) — функция испытательного фактора согласно принятой математической модели.

8.1.6 При установлении способа ускорения испытаний необходимо учитывать целесообразность координации способов ускорения, выбранных для деталей (узлов) и изделия в целом, а также для встроенных элементов и комплектного изделия. Эти способы должны быть (по возможности) одинаковыми, чтобы обеспечить преемственность результатов, полученных на образцах разной степени разукрупнения.

8.1.7 При установлении математической модели, отражающей воздействие климатических ВВФ, учитывают следующее:

8.1.7.1 Влияние на срок L температуры, влажности воздуха (и концентрации агрессивной среды, если требуется ее учет в методе испытаний) определяется математической моделью по ГОСТ Р 51372 (влияние только температуры на системы электрической изоляции — по ГОСТ 10518).

8.1.7.2 Влияние солнечного излучения на срок L для систем материалов из тонких полимерных материалов (в частности, лакокрасочных покрытий) может быть определено математической моделью по ГОСТ 9.045. Эта модель может быть применена также для систем материалов с большими толщинами полимерных материалов, если изменение критерия отказа определяется изменением поверхностных свойств.

8.1.8 При установлении математической модели, отражающей воздействие механических ВВФ, учитывают следующее:

8.1.8.1 Математическая модель, отражающая влияние механических ВВФ на показатели долговечности и сохраняемости (транспортабельности) изделий, в настоящее время проработана менее подробно, чем математическая модель, относящаяся к влиянию климатических ВВФ и агрессивных сред.

8.1.8.2 В некоторых случаях удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными наблюдают при использовании математических моделей, базирующихся на закономерностях Вейбулла—Одинга или Журкова:

- при совместном воздействии температуры и испытательных нагрузок на подшипниковые узлы изделий

$$L = L_c e^{((E - \gamma x_1)/RT)}; \quad (1)$$

- при воздействии вибрационных нагрузок:

$$L = k_2 (g_{вб} - g_{пр})^{-m} (1/f) \quad (2)$$

или

$$L = A e^{((E - \gamma g_{вб})/RT)} (1/f); \quad (3)$$

где L — ресурс;

E — эффективная энергия активации процесса возникновения отказа;

L_c, k_2, A, γ, $g_{пр}$, m — эмпирические постоянные;

R — универсальная газовая постоянная;

T — температура узла[1)];

x_1 — статическая нагрузка;

$g_{вб}$ — амплитудное значение ускорения вибрационных воздействий;

f — частота вибрации.

[1)] Температура — в кельвинах (К).

8.1.8.3 При включении в испытательные циклы вибрационных и ударных механических ВВФ следует учитывать, что в области резонансных частот изделий математические модели имеют более сложный характер, поэтому необходимы специальные исследования долговечности изделий в области резонансных частот, если эти частоты входят в диапазон эксплуатационных воздействий.

8.1.9 Предпочтительно, чтобы математическая модель позволяла проводить линеаризацию функции $\varphi(L) = f(\text{ф})$,

где ф — значение ВВФ.

8.2 Определение эмпирических коэффициентов математической модели и планирование эксперимента

8.2.1 Эмпирические коэффициенты математической модели определяют путем экспериментального установления зависимости между сроками L и значениями ВВФ. Необходимо учитывать, что для каждой системы материалов (как и для материала, покрытия) может быть получено более одной зависимости срока L от основных воздействующих факторов (более одного значения коэффициентов математической модели); при этом каждая зависимость определяется выбранными критериями, их уровнями, а также видами и уровнями дополнительных испытательных воздействий.

8.2.2 Эмпирические коэффициенты определяют при многофакторном (предпочтительно) или однофакторном эксперименте (далее — факторный эксперимент) путем испытаний при нескольких значениях каждого основного испытательного воздействия, ужесточенных по сравнению с рабочими или эффективными значениями.

Рекомендуется указанный ниже план эксперимента.

По каждому из основных видов воздействующих факторов следует провести не менее трех экспериментальных режимов, причем один режим может быть общим для нескольких видов воздействующих факторов. Для этого проводят три или более серии испытаний. В каждой серии испытаний один из воздействующих факторов при каждом испытании изменяют, остальные сохраняют неизменными, что позволяет определить зависимости ресурсов от значения каждого из факторов:

$$L_1 = f(\text{ф}_1) \text{ при } \text{ф}_2, \text{ф}_3, \ldots, \text{ф}_n = \text{const}$$
$$L_2 = f(\text{ф}_2) \text{ при } \text{ф}_1, \text{ф}_3, \ldots, \text{ф}_n = \text{const}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$L_n = f(\text{ф}_n) \text{ при } \text{ф}_1, \text{ф}_2, \ldots, \text{ф}_{(n-1)} = \text{const}.$$

Допускается при испытаниях не изменять значения одного или двух ВВФ по сравнению с рабочим или эффективным значением в зависимости от особенностей механизма отказа конкретных материалов, покрытий, конструкций или изделий.

8.2.3 При определении коэффициентов математической модели, отражающей влияние ВВФ на показатели долговечности и сохраняемости изделий, не рекомендуется применение факторного эксперимента методами составления ортогональных планов в экстремальных экспериментах. Основные причины:

а) указанные методы предназначены для интерполяции и (или) для поиска оптимума какого-либо процесса, а не для экстраполяции;

б) используемый при планировании и обработке результатов в качестве математической модели полином является сугубо формальным математическим описанием результатов данной конкретной работы, в то время как для изучения зависимостей показателей долговечности от внешних факторов требуются математические модели, основанные на физико-химических описаниях возникновения отказа. При этом результаты исследований должны быть использованы не только для математического описания отказов данных конкретных испытуемых изделий, но и для проверки физико-химических гипотез возникновения отказов, с тем чтобы результаты испытаний образцов-представителей могли быть использованы для прогнозов долговечности других изделий. Математический аппарат, применяемый при планировании факторного эксперимента, для этих целей непригоден;

в) при ортогональном планировании проблемы, связанные с неадекватностью принятой математической модели, решают по времени последовательно, что затягивает эксперимент и может ликвидировать преимущества ускоренных испытаний.

8.2.4 После принятия математической модели одним из важнейших требований является определение границ применимости данной модели и возможных случаев отступления от нее. Необходимо учитывать, что в диапазоне испытательных значений один доминирующий механизм отказа может быть заменен на другой, в этом случае возможно изменение значения коэффициентов

математической модели при переходе через определенное значение какого-либо из воздействующих факторов (функциональная зависимость теряет непрерывность).

Однако модель может быть применена раздельно в каждом из диапазонов значений, в которых сохраняется непрерывность функциональной зависимости.

Методики испытаний должны содержать приемы и планы эксперимента, предусматривающие оценку возможных точек потери непрерывности и ограничения диапазона испытательных воздействий и (или) уменьшение неблагоприятных последствий этих обстоятельств.

Примеры таких приемов и планов эксперимента приведены в ГОСТ 10518 (для одного фактора — температуры) и ГОСТ Р 51372 [(в основной части стандарта и в приложении А) — для трех факторов], при этом приемы по ГОСТ Р 51372 целесообразно использовать также при двух- или трехфакторном эксперименте с включением механических ВВФ.

8.2.5 Для отдельных ВВФ и систем материалов допускается (при ограниченных возможностях эксперимента) использование в качестве априорной информации:

- о влиянии температуры на ресурс системы электрической изоляции электрических машин и аппаратов — приложение 3 ГОСТ 10518;
- о воздействии влажности воздуха (совместное влияние относительной влажности и температуры на системы электрической изоляции) — раздел 6 и приложение 10 ГОСТ 15150;
- о воздействии агрессивных сред — приложение В ГОСТ Р 51802.

8.3 Режимы испытаний

8.3.1 Рекомендуется, чтобы в режиме испытаний было предусмотрено одновременное воздействие основных испытательных воздействий (комбинированные испытания). Однако при этом следует учитывать, что в условиях ускоренных испытаний указанная рекомендация может быть трудноосуществимой из-за различных способов (или степеней) ускорения для разных воздействий или же из-за сложностей в создании испытательных установок. В этом случае применяют циклические и (или) комплексные испытания.

8.3.2 При циклических испытаниях образцы подвергают воздействию нескольких циклов испытаний. В состав каждого цикла входит поочередное воздействие нескольких факторов, причем интенсивность и длительность воздействия основных (разрушающих) факторов выбирают такими, чтобы доли уменьшения срока L в результате воздействия каждого из них были одинаковыми. После воздействия основных испытательных факторов образцы подвергают воздействию дополнительных испытательных факторов. Циклы повторяют до отказа всех образцов. Для разработки состава цикла нужно предварительно знать коэффициенты математической модели для каждого из факторов.

Если ожидаемый срок L можно установить на основе априорной информации (например, по 8.2.5), то продолжительности основных испытательных воздействий выбирают в каждом цикле так, чтобы среднее число циклов до наступления отказа составляло 7—10. Если предполагаемый срок L установить нельзя, продолжительность воздействия факторов в каждом цикле выбирают исходя из требования получить достаточную информацию в результате измерения параметров образцов после каждого цикла. При этом продолжительность циклов предпочтительно устанавливать различной: меньшую на первых циклах и большую — на последующих.

Среднее число циклов для каждого образца вычисляют как среднее арифметическое до наступления отказов, включая цикл, в котором произошел отказ.

Поскольку число циклов может влиять на долговечность и сохраняемость образцов в условиях испытаний, достоверными следует считать испытания, при которых средние числа циклов при каждом режиме испытаний не отличаются друг от друга более чем в два раза. При этом среднее число циклов при любом испытательном режиме должно быть не менее семи.

Если при испытаниях при одном испытательном режиме наблюдался отказ у 100 % образцов, а при других испытательных режимах за такое же время наблюдался отказ у менее 50 % образцов, время выдержки увеличивают в 2—3 раза без изменения параметров испытательного режима. Если среднее число циклов будет меньше семи, испытания повторяют (если требуются более достоверные результаты для данного материала, покрытия, системы материалов), но при этом уменьшают продолжительность цикла без изменения параметров испытательного режима.

8.3.3 В нормативных документах на методы испытаний должна быть установлена стадия цикла, при которой измеряют критерии отказа или прилагают диагностические воздействия. В частности, если измерение критериев отказа или приложение диагностических воздействий проводят после таких разрушающих воздействий, влияние которых продолжается после окончания их приложения, то должен быть указан интервал времени, в течение которого после приложения разрушающего воздействия должно быть проведено измерение или приложено диагностическое воздействие.

Предпочтительно, чтобы указанные измерения были проведены в одинаковых условиях, а уровень диагностических воздействий был одинаков во всех экспериментальных режимах независимо от уровня разрушающих воздействий в данном режиме.

При нециклических испытаниях через определенные интервалы времени, установленные в программе испытаний в зависимости от скорости процесса разрушения образца и предполагаемой общей продолжительности испытаний, из испытательной камеры извлекают образцы (в количестве, необходимом для принятой доверительной вероятности) для измерения критерия отказа. Если скорость процесса разрушения неизвестна, критерий отказа измеряют с интервалами времени по таблице 1. В технически возможных случаях вместо указанного порядка измерения рекомендуется непрерывное измерение критерия отказа.

Таблица 1

Продолжительность испытаний	Периодичность измерения критерия отказа
До 0,5 сут включ.	0,5 ч
Св. 0,5 до 1 сут »	1,0 ч
» 1 » 2 сут »	2,0 ч
» 2 » 4 сут »	4,0 ч
» 4 » 7 сут »	8,0 ч
» 1 » 2 недель »	12,0 ч
» 2 » 4 недель »	24,0 ч
» 4 » 7 недель »	2 сут
» 7 » 14 недель »	4 сут
» 14 » 25 недель »	7 сут
» 25 » 50 недель »	14 сут
» 50 недель	30 сут

8.3.4 При включении в состав цикла воздействия влажности как диагностического фактора образцы подвергают увлажнению в соответствии с 6.5 (таблица 1) ГОСТ Р 51372, если при определении коэффициентов математической модели воздействия влажности по ГОСТ Р 51372 и по разделу 10 настоящего стандарта не установлены другие режимы.

8.3.5 При комплексных испытаниях несколько партий образцов подвергают предварительному старению на разные доли срока L под действием факторов, для которых известны коэффициенты математической модели, а затем для каждой партии определяют коэффициенты модели для того фактора, для которого они неизвестны. Например, для изучения долговечности в агрессивных средах электроизоляционных материалов и конструкций различных классов нагревостойкости ГОСТ Р 51372 устанавливает определение коэффициента модели по формуле (2) не только на образцах, не подвергнутых старению и износу, но и на подвергнутых термостарению на 50 % и 80 % ресурса.

8.3.6 Выбор способа приложения воздействий — в соответствии с требованиями ГОСТ 10518, ГОСТ 30630.1.2, ГОСТ Р 51372, ГОСТ Р 51368—ГОСТ Р 51371, ГОСТ Р 51684, ГОСТ Р 51802, стандартов типа общих технических условий на продукцию (изделия) или стандартов на методы испытаний групп изделий.

8.3.7 Выбор последовательности приложения воздействий — в соответствии с ГОСТ 30630.0.0.

8.3.8 Если в указанных в 8.3.6 стандартах имеются требования, относящиеся к связи режимов испытаний со сроками службы или сохраняемости изделий, эти требования могут быть использованы для определения режимов диагностических испытаний.

9 Обработка результатов ускоренных испытаний

9.1 Результаты ускоренных испытаний выражают в виде математической зависимости срока L от основных воздействующих факторов.

Допускается представлять графические зависимости.

9.2 Проводят экстраполяцию результатов ускоренных испытаний в области эффективных значений испытательных факторов. Эффективные значения климатических ВВФ (и, если требуется, концентрации агрессивной среды) определяют по разделу 6 ГОСТ 15150 и по В.2 ГОСТ Р 51372. Эффективные значения механических ВВФ определяют аналогично климатическим или проводят экстраполяцию до рабочих значений этих факторов по ГОСТ 30631.

Диапазоны допустимой экстраполяции определяют в соответствии с 8.2.4. В частности,

экстраполяцию следует проводить не более чем на 50 % разности логарифмов максимального и минимального из воздействующих значений относительной влажности и концентрации коррозионно-агрессивного агента и на 50 % разности между обратными значениями максимальной и минимальной испытательных температур.

Допускается расширить пределы экстраполяции, если при изучении механизма отказа было выявлено, что в расширенных пределах не должно происходить изменение значений коэффициентов математической модели.

9.3 Для получения аналитической зависимости срока L образцов от основных испытательных факторов экспериментальные данные обрабатывают по методу наименьших квадратов с вычислением среднего арифметического срока L, коэффициентов зависимостей (см. 9.1) и, при необходимости, нижних доверительных границ для среднего, а также математических ожиданий требуемых вероятностей безотказного хранения или безотказной работы (гамма-процентных сроков L) и нижних доверительных (толерантных) границ для этих показателей. Возможно также определять вероятность безотказной работы (или безотказного хранения) при заданных значениях ресурса (или срока сохраняемости), значениях основных воздействующих факторов и выбранной доверительной вероятности.

Для двух- и трехфакторных экспериментов, проводимых в соответствии со способом А по 8.1.1, рекомендуется использовать способы обработки по приложению А ГОСТ Р 51372; для экспериментов в соответствии со способом Б (или способом В) по 8.1.1 — по приложению Б ГОСТ Р 51372, заменяя, при необходимости, значение воздействующего фактора и математическую модель долговечности на требуемые.

9.4 В методах обработки следует предусматривать проверку гипотезы линейности функции в соответствии с требованиями 8.1.9 и 8.2.4. Рекомендуется проводить проверку гипотезы линейности по приложению Д ГОСТ Р 51372.

9.5 Если зависимость среднего логарифмического срока L (или логарифма средней скорости b_2) от какого-либо из воздействующих факторов, определенная по 8.1.9, существенно отлична от линейной (что проверено по 9.4), то после испытания экспериментальные данные обрабатывают по линейной части зависимости логарифма срока L от какого-либо из воздействующих факторов, причем не менее чем по трем значениям логарифма L, полученным в каждом экспериментальном режиме (см. 8.2.2), исключая из рассмотрения значения факторов более жесткие, чем значения при точке перегиба.

10 Установление режима ускоренных контрольных испытаний

10.1 Ускоренные контрольные испытания проводят при одном значении каждого испытательного фактора с целью подтвердить установленные в нормативных документах на изделия требования по срокам службы, срокам сохраняемости и ресурсу изделий.

10.2 При выборе режима ускоренных контрольных испытаний должны быть выполнены требования разделов 5—7.

10.3 Если для конкретных изделий и групп изделий при разработке ускоренных испытаний были выполнены все требования раздела 8, то выбор режима ускоренных контрольных испытаний является продолжением исследований, проведенных по разделу 8. Режим ускоренных контрольных испытаний устанавливают по результатам определения коэффициентов математической модели в соответствии с разделом 8 и данным, полученным в соответствии с разделом 9.

10.4 Определение коэффициента ускорения и режима ускоренных контрольных испытаний рекомендуется проводить в соответствии с разделом 9 ГОСТ Р 51372, заменяя, при необходимости, при расчетах значения параметров агрессивной среды на значения параметров других основных испытательных ВВФ.

10.5 Для большинства видов технических изделий при невозможности проводить эксперимент согласно всем требованиям раздела 8 режим ускоренных контрольных испытаний устанавливают по 10.6—10.8.

10.6 Испытания являются циклическими.

10.7 В соответствии с установленными в разделе 7 видами испытательных воздействий в состав цикла включают виды и методы испытаний в соответствии с ГОСТ 10518, ГОСТ 30630.1.2, ГОСТ Р 51372, ГОСТ Р 51368 — ГОСТ Р 51371, ГОСТ Р 51684, ГОСТ Р 51802, ГОСТ Р 51804.

10.8 Параметры и продолжительность режима испытаний выбирают такими, чтобы жесткость испытательного воздействия каждого фактора в каждом цикле составляла одинаковую долю (рекомендуется одна десятая) жесткости испытательного воздействия, нормированного в указанных в 10.7

стандартах для всего срока службы или срока сохраняемости, или ресурса изделий. При этом при установлении продолжительности испытаний в каждом цикле для воздействия вибрации и многократных ударов принимают следующее:

а) установленная в ГОСТ 30630.1.2 и ГОСТ Р 51371 продолжительность испытаний обеспечивает стойкость изделий каждой группы механического исполнения по ГОСТ 30631 к указанным ВВФ за весь срок службы изделия;

б) должно быть предусмотрено воздействие как вибрационных, так и ударных нагрузок, если такие нагрузки установлены для соответствующей группы механического исполнения по ГОСТ 30631. При этом могут быть учтены требования ГОСТ Р 51371.

10.9 Режимы ускоренных контрольных испытаний могут быть использованы для определения срока службы или срока сохраняемости, или ресурса изделий (определительные испытания). В этом случае ускоренные контрольные испытания проводят до отказа образцов. Обработка результатов определительных испытаний — в соответствии с разделом 9.

10.10 Пример разработанных в соответствии с настоящим стандартом контрольных испытаний приведен в приложении А, пример расчета — в приложении Б.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

Испытания электрических контакторов на гамма-процентный срок службы

А.1 Электрические контакторы (далее — контакторы) могут быть предназначены для работы практически при всех условиях эксплуатации: они могут иметь большинство видов климатических исполнений (включая группы пониженного давления), большинство групп механических исполнений. Некоторые виды контакторов могут быть изготовлены в химостойких исполнениях.

В эксплуатации контакторы могут находиться в режиме наработки и в режиме эксплуатационного хранения (при перерывах в работе). Наработка может проходить в двух основных режимах: в режиме коммутации и в режиме нагруженного ожидания (при замкнутых контактах, по которым проходит электрический ток, и при включенных втягивающих электрических катушках).

Основными критичными узлами контактора, влияющими на наступление отказа, являются:

- электрические контакты и подвижная система;
- электрические катушки, содержащие электрическую изоляцию.

Основными приводящими к отказам процессами разрушения критичных узлов являются:

- электрический и механический износ электрических контактов и механический износ подвижной системы, которые могут происходить в процессе коммутации;
- старение электрической изоляции катушек, которое может происходить в режиме нагруженного ожидания;
- коррозия контактов и подвижной системы, а также увлажнение электрической изоляции или ее разрушение химически агрессивными средами, которые могут происходить при перерывах в работе.

Таким образом, основными видами воздействий, которые должны быть включены в испытательный цикл, являются:

- воздействие верхнего и (или) эффективного значения температуры среды при испытании в режиме нагруженного ожидания и в режиме коммутации;
- воздействие ударов многократного и одиночного действия, а также вибрации;
- воздействие пониженного давления воздуха, которое является разрушающим фактором для изделий, предназначенных для летательных аппаратов, или диагностическим фактором для изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях высокогорья;
- воздействие химически агрессивных сред (только для изделий в каком-либо химостойком исполнении, так как согласно ГОСТ Р 51802 контакторы в нехимостойких исполнениях, как правило, не подвергают испытаниям на воздействие агрессивных сред;
- воздействие влажности воздуха;
- воздействие нижнего значения температуры и изменения значений температуры.

А.2 Обозначения

$L_{\text{нγ}}$ — гамма-процентная наработка до отказа;

$L_{\text{нагγ}}$ — гамма-процентная наработка в режиме нагруженного ожидания;

$L_{\text{нагγΣ}}$ — суммарная гамма-процентная наработка в режиме нагруженного ожидания;

L_{γ} — гамма-процентный срок службы;

$L_{\gamma} - L_{\text{нγ}} = L_{\text{сэγ}}$ — гамма-процентный срок сохраняемости в эксплуатации;

N_{γ} — гамма-процентное число циклов коммутации, в частности

$N_{\text{пт}}$ — число циклов коммутации при повышенной температуре;

$n_{\text{у}}$ — количество ударов по ГОСТ Р 51371;

$n_{\text{ум}}$ — полное количество ударов при испытании на ударную прочность при воздействии многократных ударов по ГОСТ Р 51371;

$n_{\text{уод}}$ — полное количество ударов при испытании на воздействие одиночных ударов по ГОСТ Р 51371;

$L_{\text{В}}$ — продолжительность испытаний на вибропрочность по ГОСТ 30630.1.2;

$L_{\text{ИВЛ}}$ — продолжительность испытаний на воздействие влажности воздуха в длительном режиме по ГОСТ Р 51369, определяемая для вида климатического исполнения контактора в соответствии с Б.1 (эквивалентна одному году пребывания в условиях воздействия влажности при эксплуатации без включения или подсушки);

$L_{\text{УВЛ}}$ — то же, что и $L_{\text{ИВЛ}}$, но в ускоренном режиме;

$T_{\text{э}}$ — эффективная температура среды при эксплуатации;

ΔT — превышение температуры внутри комплектного изделия над температурой окружающей среды;

$T_{\text{ио}}$ — температура окружающей среды при испытании контактора в режиме нагруженного ожидания;

$T_{\text{рв}}$ — верхнее рабочее значение температуры воздуха для вида климатического исполнения контактора, предназначенного для эксплуатации в нормальных климатических условиях;

$T_{\text{рв}**}$ — верхнее рабочее значение температуры воздуха для такого же климатического исполнения, но для контактора, предназначенного для эксплуатации при более высокой, чем нормальная, температуре, например для эксплуатации греющегося комплектного изделия (обозначение вида климатического исполнения такого контактора согласно 2.8 ГОСТ 15150 включает в себя знак «**»);

$\Delta T_{\text{э}}$ — превышение эффективной температуры внутри греющегося комплектного изделия над эффективной температурой снаружи этого комплектного изделия: $\Delta T_{\text{э}} = T_{\text{рв}**} - T_{\text{рв}}$ (например, для контактора вида климатического исполнения В2.1 по таблице 3 ГОСТ 15150 $T_{\text{рв}} = 50$ °С; для контактора вида климатического исполнения В2.1в** по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543.1 $T_{\text{рв}**} = 85$ °С; $\Delta T_{\text{э}}$ принимают равным: $\Delta T_{\text{э}} = 85$ °С — 50 °С = = 35 °С).

Таким образом, для видов климатического исполнения без знака**

$$T_{\text{ио}} = T_{\text{э}};$$

для видов климатического исполнения со знаком**

$$T_{\text{ио}} = T_{\text{э}} + \Delta T_{\text{э}} = T_{\text{э}**}.$$

Обозначение вида климатического исполнения контактора, установленного в технических условиях на контактор, — в соответствии с ГОСТ 15150.

Обозначение группы механического исполнения контактора, установленной в технических условиях на контактор, — в соответствии с ГОСТ 30631.

Обозначение химостойкого исполнения контактора, если оно установлено в технических условиях на контактор, — в соответствии с ГОСТ Р 51801.

А.3 Проведение испытаний

А.3.1 Испытания являются циклическими, циклы повторяются.

Состав цикла приведен в таблице А.1.

А.3.2 Состав цикла в таблице А.1 установлен исходя из типового режима эксплуатации, основные положения которого приведены ниже в перечислениях а), б), в). При других типовых режимах эксплуатации соотношение между воздействиями в цикле соответственно изменяют.

а) Этап наработки в эксплуатации происходит равномерно в течение срока службы и составляет половину последнего.

б) Механические воздействия происходят равномерно в течение всего срока службы.

в) На этапе наработки в эксплуатации часть циклов коммутации, установленных в технических условиях на контактор, происходит при верхнем значении температуры окружающей среды и при номинальном токе.

г) Для контакторов, для которых в соответствии с приложением 7 ГОСТ 15150 установлена одна из групп (г—п) пониженного давления, число циклов коммутации при пониженном давлении составляет $0{,}8(N_{\gamma} - N_{\text{пт}})$.

Один цикл составляет $^{1}/_{10}$ гамма-процентного срока службы.

Таблица А.1

Номер этапа испытаний	Вид испытаний	Продолжительность испытаний, цикл	Условия испытаний
1	Режим нагруженного ожидания	$L_{\text{нагγ}\Sigma}/10$	T, °С = $T_{\text{ио}}$
2	Коммутация при эффективной температуре среды и при номинальном токе, а также при нормальном давлении среды по ГОСТ 15150	$(N_{\gamma} - N_{\text{пт}})/10$ [1] $[(N_{\gamma} - N_{\text{пт}})/10]0{,}2$ [2]	T, °С = $T_{\text{э}}$ или $T_{\text{э}}$**
3	Коммутация при повышенной температуре среды и при токе по А.3.2, перечисление в), а также при нормальном давлении среды по ГОСТ 15150 [1], [3]	$N_{\text{пт}}$	T, °С = $T_{\text{рв}}$ или $T_{\text{рв}}$**
4	Коммутация при эффективной температуре среды и при номинальном токе, а также при пониженном давлении среды по ГОСТ 15150 [4]	$[(N_{\gamma} - N_{\text{пт}})/10]0{,}8$ [2]	T, °С = $T_{\text{э}}$ или $T_{\text{э}}$** Испытания на воздействие пониженного давления по ГОСТ Р 51684, испытание 209
5	Коммутация при повышенной температуре среды и при токе по А.3.2, перечисление в), а также при пониженном давлении среды по ГОСТ 15150 [1], [3], [4]	$N_{\text{пт}}$	T, °С = $T_{\text{рв}}$ или $T_{\text{рв}}$** Испытания на воздействие пониженного давления по ГОСТ Р 51684, испытание 209
6	Воздействие вибрации в соответствии с ГОСТ 30630.1.2, испытание 103 для группы механического исполнения контактора в соответствии с А.2 [5]	$L_{\text{В}}/10$	Нормальные условия испытаний по ГОСТ 15150
7	Воздействие ударов многократного действия в соответствии с ГОСТ Р 51371, испытание 104 для группы механического исполнения контактора в соответствии с А.2 [5]	$n_{\text{у}}/10$	Нормальные условия испытаний по ГОСТ 15150
8	Воздействие ударов одиночного действия в соответствии с ГОСТ Р 51371, испытание 106 для группы механического исполнения контактора в соответствии с А.2	$n_{\text{уод}}$ [6]	Нормальные условия испытаний по ГОСТ 15150
9	Воздействие агрессивной среды в соответствии с ГОСТ Р 51802 для вида химостойкого исполнения контактора в соответствии с А.2 [7]	Удвоенная продолжительность испытаний по таблице 1 ГОСТ Р 51802	В каждом четном цикле по ГОСТ Р 51802
10	Воздействие влажности в соответствии с ГОСТ Р 51369, метод 207-1 для вида климатического исполнения контактора в соответствии с А.2	$(L_{\gamma} - L_{\text{нγ}})/10L_{\text{ИВЛ}}$	По ГОСТ Р 51369
11	Воздействие изменения температуры среды в соответствии с методом 205-4 ГОСТ Р 51368 для вида климатического исполнения контактора в соответствии с А.2 [8]	В шестом цикле — как для этапа испытаний 10; в десятом цикле — полная, в соответствии с методом 205-4 ГОСТ Р 51368	По ГОСТ Р 51368, метод 205-4

[1] Кроме контакторов по А.3.2, перечисление г).

[2] Для контакторов по А.3.2., перечисление г).

[3] Для контакторов, для которых установлена одна из групп пониженного давления (а—в) по приложению 7 ГОСТ 15150.

[4] Для контакторов, для которых не установлена одна из групп пониженного давления (а—в) по приложению 7 ГОСТ 15150, испытания проводят только в шестом, восьмом и десятом циклах.

[5] При наличии испытательного оборудования рекомендуется проводить испытания по настоящему этапу методами 103/203 и 104/203 соответственно по ГОСТ Р 51804.

[6] Только в составе шестого цикла.

[7] Только для контакторов, для которых установлено химостойкое исполнение по А.2.

[8] Испытания проводят в шестом и десятом циклах вместо испытаний по этапу испытаний 10. При этом продолжительность воздействия влажности, входящую в этап испытаний 11, устанавливают как в этапе испытаний 10.

А.3.3 Допускается проводить испытания в ускоренном режиме. Ускоряются два этапа испытаний — режим нагруженного ожидания и режим воздействия влажности.

А.3.4 Ускорение режима нагруженного ожидания проводят путем повышения испытательной температуры. Температуру испытания выбирают из таблицы А.2. Продолжительность испытания в каждом цикле определяют путем деления на коэффициент ускорения по таблице А.2 значения продолжительности испытаний в режиме нагруженного ожидания, определенного по таблице А.1.

А.3.5 Ускоренный режим по температуре, составленный на основе ГОСТ 10518, выполняют по ГОСТ Р 51368.

При ускорении режима испытаний по влажности при определении продолжительности испытаний согласно таблице А.1 вместо значения $L_{ИВЛ}$ подставляют значение $L_{УВЛ}$. Последнее определяют в соответствии с ГОСТ Р 51369.

Таблица А.2

Превышение испытательной температуры в ускоренном режиме над температурой по таблице А.1 $\Delta T_{ио}$, °С	Коэффициент ускорения испытаний для классов нагревостойкости электрической изоляции по ГОСТ 10518								
	Y	A	E	B	F	H	200	220	250
10	2	2	2	1,5	2	2	2	1,5	2
20	4	4	3	3	4	4	4	3	4
30	7	7	5	5	6	7	6	5	6
40	13	10	10	10	10	13	10	10	15
50	22	20	15	12	17	22	17	17	22
60	35	30	20	22	30	35	35	40	30
70	65	45	35	35	50	60	55	65	40
80	100	70	55	50	70	10	90	100	70

А.3.6 Установленные в А.3.1—А.3.5 испытания, проводимые для подтверждения требований по показателям надежности, могут быть продолжены для определения фактических значений показателей. В этом случае испытания продолжают в тех же режимах до отказа всех контакторов, тем самым определяя срок службы L каждого контактора (образца).

Обработка результатов испытаний — в соответствии с приложением Б.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(рекомендуемое)

Методика обработки результатов испытаний на гамма-процентный срок службы

Б.1 Результаты испытаний начинают обрабатывать с вычисления срока L, полученного при испытаниях каждого образца, где срок L — срок службы.

Срок L образцов, отказ которых определяют путем измерения параметров через определенные периоды испытаний, вычисляют как суммарное время за вычетом половины длительности последнего периода между испытаниями. Половину длительности не вычисляют, если методика определения параметров образца позволяет определить момент наступления отказа в процессе воздействия испытательных факторов.

Б.2 Определяют вид статистического распределения экспериментальных данных (логарифмически-нормальное распределение, распределение Вейбулла или нормальное распределение) по статистическим справочникам.

Если данные могут быть описаны двумя или тремя видами распределений или вид распределения не установлен, дальнейшую обработку проводят как для логарифмически-нормального распределения.

В Б.2—Б.7 приведен порядок вычисления необходимых параметров для статистических распределений логарифмически-нормального и Вейбулла. Порядок вычисления для нормального распределения приведен в Б.8.

Б.3 После определения вида статистического распределения экспериментальных данных вычисляют логарифмы каждого срока L и среднелогарифмический срок L (среднеарифметическое логарифмов сроков L) $\overline{U}_{ic}$

$$\overline{U}_{ic} = (1/n_{ic}) \sum_{n_{ic}} U_i, \qquad (Б.1)$$

где n_{ic} — число испытуемых образцов;

$U_i = \lg L$.

Б.4 При необходимости результаты испытаний корректируют, исключая из рассмотрения образцы с резко выделяющимися значениями логарифмов сроков L согласно приложению 5 ГОСТ 10518.

Вычисляют среднелогарифмический корректированный срок L (среднеарифметическое логарифмов сроков L всех оставшихся для рассмотрения образцов) $\overline{U}_i$.

Б.5 Определяют дисперсию S_i^2 логарифмов сроков L по формуле

$$S_i^2 = \Big[\sum_{n_i} (U_i - \overline{U}_i)^2 \Big] / [n_i - 1], \qquad (Б.2)$$

где n_i — число образцов, оставленных для рассмотрения.

Если в случае измерения критериев отказа в конце заданного интервала времени между измерениями все отказы произошли только в одном или двух интервалах времени между измерениями, то дисперсию S_i^2 вычисляют по формуле

$$S_i^2 = \Big(\frac{\Delta U(1{,}5 - n_ц/n_i)}{z_p} \Big)^2, \qquad (Б.3)$$

где ΔU — логарифм длительности заданного интервала времени между измерениями;

n_i — то же, что и в формуле (Б.1);

$n_ц$ — большее число отказов, обнаруженное после одного или двух интервалов времени между измерениями (если после каждого из двух указанных интервалов времени обнаружено одинаковое число отказов, $n_ц = 0{,}5n_i$; если все отказы обнаружены после одного интервала времени между измерениями, $n_ц = n_i$);

z_p — квантиль удвоенной нормированной функции Лапласа, определяемый по таблице Б.1 для требуемой вероятности $P = 1 - 1/n_i$.

Б.6 Определяют U_γ — среднее значение (математическое ожидание) логарифма гамма-процентного срока L (U_γ выборки) по формуле

$$U_\gamma = \overline{U}_{ic} - S_i u_\gamma, \qquad (Б.4)$$

где u_γ — квантиль нормированного нормального распределения по таблице Б.1 для требуемой вероятности P (для требуемого значения γ);

$P = 1 - \gamma$.

Таблица Б.1

Доверительная вероятность P^* или вероятность безотказной работы или хранения P	Квантили нормального распределения		Доверительная вероятность P* или вероятность безотказной работы или хранения P	Квантили нормального распределения	
	u_γ	z_p		u_γ	z_p
0,50	0	0,674	0,82	0,915	1,341
0,51	0,025	0,690	0,83	0,954	1,372
0,52	0,050	0,706	0,84	0,994	1,405
0,53	0,075	0,722	0,85	1,036	1,440
0,54	0,100	0,739	0,86	1,080	1,476
0,55	0,126	0,755	0,87	1,126	1,514
0,56	0,151	0,772	0,88	1,75	1,555
0,57	0,176	0,789	0,89	1,227	1,598
0,58	0,202	0,806	0,90	1,282	1,645
0,59	0,228	0,824	0,91	1,341	1,695
0,60	0,253	0,842	0,92	1,405	1,751
0,61	0,279	0,860	0,925	1,440	1,780
0,62	0,305	0,878	0,93	1,476	1,812
0,63	0,332	0,896	0,94	1,555	1,881
0,64	0,358	0,915	0,95	1,645	1,960
0,65	0,385	0,935	0,96	1,751	2,054
0,66	0,412	0,954	0,97	1,881	2,170
0,67	0,440	0,974	0,975	1,960	2,241
0,68	0,468	0,994	0,900	2,054	2,326
0,69	0,496	1,015	0,990	2,326	2,576
0,70	0,524	1,036	0,991	2,366	2,612
0,71	0,553	1,058	0,992	2,400	2,652
0,72	0,583	1,080	0,993	2,475	2,697
0,73	0,613	1,103	0,994	2,512	2,748
0,74	0,643	1,126	0,995	1,570	2,807
0,75	0,674	1,150	0,996	2,652	2,878
0,76	0,706	1,175	0,997	2,748	2,968
0,77	0,739	1,200	0,9975	2,807	3,024
0,78	0,772	1,227	0,9980	2,878	3,090
0,79	0,806	1,254	0,9990	3,090	3,291
0,80	0,842	1,282	0,9995	3,291	3,480
0,81	0,878	1,311	0,9999	3,719	3,885

Б.7 Определяют нижние доверительные границы для сроков L.

Б.7.1 Определяют нижнюю доверительную среднелогарифмическую границу значений сроков L при заданной доверительной вероятности P^* (или уровне значимости $\alpha = 1 - P^*$) по формуле

$$U_{P^*} = \overline{U}_{ic} - tS_i, \qquad (Б.5)$$

где U_{P^*} — нижняя доверительная граница среднелогарифмического срока L при заданной доверительной вероятности P^*;

t — распределение доверительных отклонений в малой выборке (распределение Стьюдента), определяемое по статистическим таблицам для заданного уровня доверительной вероятности P^* и числа степеней свободы $f_s = n_i - 1$.

Примечание — Вероятности P и P^* являются различными понятиями, их значения также могут различаться, однако рекомендуется устанавливать значение P^* таким же, как и значение P.

Б.7.2 Для логарифмически-нормального распределения вычисляют U_p — логарифм срока L, соответствующий требуемой вероятности P при заданной доверительной вероятности P^* (нижнюю логарифмическую доверительную границу для срока L при заданной доверительной вероятности P^* и требуемой вероятности P) по формуле

$$U_p = U_{p^*} - S_i u_\alpha [1 + z_p / (\sqrt{2(n_i - 1)})], \qquad (Б.6)$$

где u_α — квантиль нормированного нормального распределения для требуемой вероятности P;

z_p — квантиль удвоенной нормированной функции Лапласа для заданной доверительной вероятности P^*.

В формуле (Б.6) второй член в скобках определяет дисперсию для случая, когда число образцов $n_i \geq 30$. Если при испытаниях число образцов $n_i < 30$, второй член в скобках формулы (В.6) заменяют на

$[\sqrt{(n_i - 1)}/\sqrt{\chi^2}]$, где χ^2 — полученное из статистических таблиц значение функции χ^2, взятое для вероятности $[(1 - P^*)/2]$ и числа степеней свободы ($f_s = n_i - 1$).

С учетом формулы (Б.5) формула (Б.6) может быть заменена на следующую:

$$U_p = \overline{U}_{ic} - S_i z_p[1 + u_\alpha/(\sqrt{2(n_i - 1)})]. \quad (Б.7)$$

Б.7.3 Для логарифмически-нормального распределения находят нижнюю логарифмическую доверительную границу $L_{p\gamma\,лн}$ гамма-процентного срока L при заданной доверительной вероятности P^*

$$L_{p\gamma\,лн} = 10^{(U_p + 1{,}1513S_i^2)} \quad (Б.8)$$

Б.7.4 Для распределения Вейбулла определяют нижнюю границу $L_{p\gamma\,в}$ гамма-процентного срока L при заданной доверительной вероятности P^*

$$L_{p\gamma\,в} = 10^{(U_p + 1{,}1513S_i^2)}\, 10^{1{,}1592/в}\, [\ln(1/\gamma)]^{1/в}, \quad (Б.9)$$

где $в$ — параметр формы распределения Вейбулла по таблице Б.2 для коэффициента вариации $V_в$, определяемого по формуле

$$V_в = \sqrt{\exp(5{,}3018S_i^2) - 1}. \quad (Б.10)$$

Таблица Б.2

$V_в$	$в$	$V_в$	$в$	$V_в$	$в$
15,84	0,20	0,399	2,70	0,221	5,20
5,408	0,30	0,387	2,80	0,217	5,30
3,141	0,40	0,375	2,90	0,213	5,40
2,236	0,50	0,363	3,00	0,210	5,50
1,758	0,60	0,353	3,10	0,206	5,60
1,462	0,70	0,343	3,20	0,203	5,70
1,260	0,80	0,333	3,30	0,200	5,80
1,113	0,90	0,325	3,40	0,197	5,90
1,000	1,00	0,316	3,50	0,194	6,00
0,910	1,10	0,308	3,60	0,191	6,10
0,837	1,20	0,301	3,70	0,188	6,20
0,776	1,30	0,294	3,80	0,185	6,30
0,724	1,40	0,287	3,90	0,183	6,40
0,679	1,50	0,280	4,00	0,180	6,50
0,640	1,60	0,274	4,10	0,177	6,60
0,605	1,70	0,268	4,20	0,175	6,70
0,575	1,80	0,263	4,30	0,173	6,80
0,547	1,90	0,257	4,40	0,170	6,90
0,523	2,00	0,252	4,50	0,168	7,00
0,500	2,10	0,247	4,60	0,158	7,50
0,480	2,20	0,242	4,70	0,148	8,00
0,461	2,30	0,238	4,80	0,140	8,50
0,444	2,40	0,233	4,90	0,133	9,00
0,428	2,50	0,229	5,00	0,126	9,50
0,413	2,60	0,225	5,10	0,120	10,00

Б.8 Для нормального распределения указанные выше расчеты видоизменяют, как указано ниже.

Б.8.1 Определяют срок L в соответствии с Б.1.

Б.8.2 Вычисляют средний срок (среднеарифметическое сроков L) $\overline{L}$

$$\overline{L}_{ic} = (1/n_{ic}) \sum_{n_{ic}} L_i, \quad (Б.11)$$

где n_{ic} — число испытуемых образцов.

Б.8.3 Результаты испытаний при необходимости корректируют в соответствии Б.3. Но при этом вычисляют среднеарифметический корректированный срок $\overline{L}_i$ вместо среднелогарифмического срока $\overline{U}_i$.

Б.8.4 Определяют дисперсию S^2_i сроков L в соответствии с Б.4, заменяя при вычислениях U на L с теми же индексами.

Б.8.5 Далее выполняют требования Б.5, Б.6, Б.7.1 и Б.7.2, заменяя при вычислениях значения показателей логарифмов сроков службы U на показатели сроков службы L с теми же индексами.

В этом случае при вычислениях по Б.7.2 получают нижнюю доверительную границу гамма-процентного срока L при заданной доверительной вероятности P^*.

Б.9 При нормальных (неускоренных) испытаниях определенное по Б.7.3, Б.7.4 значение доверительной границы срока L адекватно соответствующему значению при номинальных условиях эксплуатации или хранения.

При ускоренных испытаниях для определения нижней доверительной границы срока L при номинальных условиях эксплуатации или хранения $L_{p\gamma\,э}$ применяют формулы:

$$L_{p\gamma\,э} = L_{p\gamma\,лн} K; \quad (Б.12)$$

$$L_{p\gamma\,э} = L_{p\gamma\,в} K, \quad (Б.13)$$

где K — коэффициент ускорения испытаний по таблице А.2.

УДК 002:006.1.05:006.354 ОКС 01.120 19.040 Т51 ОКСТУ 0001

Ключевые слова: машины, приборы и другие технические изделия, надежность, долговечность, сохраняемость, ускоренные испытания, влияние внешних воздействующих факторов на надежность

Редактор *Л.В. Афанасенко*
Технический редактор *Л.А. Гусева*
Корректор *Т.И. Кононенко*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Изд. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 30.07.2002. Подписано в печать 23.08.2002. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,40. Тираж 504 экз. С 7110. Зак. 709.

ИПК Издательство стандартов, 107076 Москва, Колодезный пер., 14.
gost.e-ecolog.ru e-mail: gost.e-ecolog.ru
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. «Московский печатник», 103062 Москва, Лялин пер., 6.
Плр № 080102

gost.e-ecolog.ru