

2

СПРАВОЧНИК

ПО НАДЕЖНОСТИ

Эта книга — вторая часть американского справочника по надежности, который в русском издании выходит в трех томах. Справочник составлен компетентными специалистами в области надежности и контроля качества.

В предлагаемом вниманию читателя втором томе справочника изложена методика приближенной оценки надежности. Рассмотрены методы сбора, классификации и обработки данных по надежности, а также вопросы, связанные с анализом неисправностей и отказов. Описаны методы планирования конструкторских и приемочных испытаний.

Справочник предназначен для инженеров, разрабатывающих аппаратуру и изделия в различных областях народного хозяйства, для специалистов, связанных с производством, эксплуатацией и управлением, а также для научных работников, аспирантов, преподавателей и студентов технических вузов.

Редакция литературы по новой технике

RELIABILITY

HANDBOOK

W. GRANT IRESON,
EDITOR-IN-CHIEF

EXECUTIVE HEAD
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
STANFORD UNIVERSITY

McGRAW-HILL BOOK
COMPANY

NEW YORK SAN FRANCISCO
TORONTO LONDON SYDNEY
1966

СПРАВОЧНИК ПО НАДЕЖНОСТИ

Т О М

II

Перевод с английского

П. К. ГОРОХОВА

Под редакцией

Б. Е. БЕРДИЧЕВСКОГО

ИЗДАТЕЛЬСТВО · МИР ·

МОСКВА

1970

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ВТОРОГО ТОМА РУССКОГО ИЗДАНИЯ СПРАВОЧНИКА

Обеспечение надежности является одной из ключевых проблем при разработке, производстве и эксплуатации технических устройств самого различного типа и назначения. В последние годы эта проблема стала предметом очень интенсивного обсуждения, к ней привлечено внимание широких масс специалистов. Это совершенно естественно. Неуклонно идет процесс глубокого внедрения техники во все отрасли деятельности человека. Отказ технических устройств влечет за собой ряд трудностей и неудобств, нарушает привычный ритм жизни и деятельности. В некоторых случаях он может привести и к чрезвычайным происшествиям, ставящим под угрозу целостность крупных сооружений, выполнение важных и ответственных задач и даже безопасность людей. В связи с этим надежность обычно рассматривается как одна из основных характеристик современных технических устройств, а в некоторых случаях даже как главная техническая характеристика.

В последнее десятилетие сделано очень много в области изучения проблемы надежности, формулирования критериев количественной и качественной оценки надежности, определения наиболее эффективных средств обеспечения высокой надежности технических устройств. Существенные успехи достигнуты и в решении задачи повышения надежности ряда конкретных технических устройств, в частности радиоэлектронной аппаратуры, элементов и систем автоматики, различных машин и механизмов.

В настоящее время не вызывает сомнений то обстоятельство, что проблема обеспечения надежности носит комплексный многоплановый характер. Надежность обеспечивается в результате объединенных усилий ученых, конструкторов, производственников, работников, занятых эксплуатацией технических устройств, на всех этапах разработки, производства, эксплуатации. При этом ошибки или небрежности, допущенные на каком-либо одном этапе работ, могут свести на нет силы, время и средства, потраченные на обеспечение надежности на всех других этапах.

Отлично задуманная, имеющая весьма удачную структурную схему система может обладать совершенно недостаточной надежностью, если она собрана из элементов плохого качества, сделана из некондиционных материалов, изготовлена с нарушениями задан-

ного технологического процесса производства, если сборка хотя бы одного из ее узлов велась неаккуратно или если она не была должным образом отрегулирована хотя бы по одному из важных параметров.

Аппаратура с очень высокой потенциальной надежностью может быть приведена в негодность, т. е. в состояние, когда она не сможет выполнять заданные функции, неквалифицированной эксплуатацией, например несоблюдением необходимого режима охлаждения или подачей повышенного напряжения питания.

В проблеме обеспечения надежности одинаково важны и выбор оптимальной структурной схемы, обеспечивающей нормальное функционирование системы даже при неблагоприятных ситуациях, и создание конструкции, реализующей все потенциальные возможности структурной схемы и обеспечивающей поддержание требуемых показателей в реальных условиях эксплуатации, и разработка четких эксплуатационных инструкций, и организация системы эксплуатации, обеспечивающей выполнение этих инструкций, а также другие этапы работ.

Начало работ по обеспечению надежности совпадает с начальными этапами разработки устройств, но эти работы не заканчиваются и с окончанием срока их службы.

Чтобы создать надежно работающее техническое устройство, нужно знать, какими параметрами и характеристиками оно должно обладать, какие функции должно выполнять в различных режимах и на разных фазах эксплуатации. Нужно отчетливо представлять и учесть при разработке условия, в которых будет эксплуатироваться устройство, знать, как оно будет транспортироваться, храниться, работать, либо задать эти условия, если это допустимо.

Следует проанализировать возможные варианты структурных и принципиальных схем устройства и выбрать тот из них, который при условии выполнения требований в отношении стоимости, веса, габаритов, сроков изготовления обеспечивает наилучшие технические характеристики, в том числе и надежность.

Нужно знать и правильно выбрать свойства материалов и комплектующих элементов, из которых будет изготовлено устройство, определить оптимальные — в достаточной степени «щадящие», но не чрезмерно «разгруженные» — режимы работы отдельных деталей, узлов и элементов. В тех случаях, когда заведомо известно, что условия и режимы работы отдельных узлов или элементов будут тяжелыми, неоптимальными, следует выбрать схемы, наиболее стабильно работающие в таких условиях, или принять меры для обеспечения надежности устройств, например предусмотреть возможность профилактической замены элементов, их резервирование и т. п.

Должны быть разработаны не только наиболее целесообразные для данных конкретных условий технологические процессы изготов-

ления, сборки, регулировки, контроля, но и средства для контроля качества материалов и комплектующих элементов, качества реализации технологического процесса, для проверки полноты и правильности выполнения отдельных технологических операций. Эти проверки, как правило, должны быть неразрушающими, в этих случаях может быть реализована система стопроцентной проверки.

Разработкой конструкторской и технологической документации, выпуском опытных образцов не ограничиваются работы по обеспечению надежности. Сложные машины, системы, аппараты, как правило, нуждаются в отработке, причем конструкторскую и технологическую документацию приходится уточнять и корректировать, чтобы учесть замечания, накапливаемые в процессе изготовления, регулировки, испытаний, а иногда и пробной эксплуатации опытных образцов. Очень редко удается построить окончательный вариант сложной машины или системы «с листа», без доводки, разработать сложный технологический процесс без дополнительных поисков, опытов, опробования вариантов, внесения коррекций.

Необходимым условием обеспечения надежности являются тщательные и всесторонние испытания макетных, опытных и головных серийных образцов в различных условиях, в том числе и в наиболее неблагоприятных из возможных в реальной эксплуатации, детальный анализ и учет результатов этих испытаний. Нередко весьма полезными бывают специальные испытания в особо тяжелых условиях, проводимые при отработке вновь разработанных конструкций для выявления их «слабых мест».

Очень важно создать четкую систему отчетности о ходе и результатах отработки, не слишком громоздкую для производителя и испытателя, но в то же время и не дающую возможности упустить какое-либо важное для дальнейшего совершенствования устройств обстоятельство. Эта система должна обеспечить учет всех отклонений параметров и характеристик от расчетных значений, отказов и недостатков разрабатываемых устройств, выявленных при всех видах и этапах отработки непосредственно и по косвенным признакам.

Информацию о надежности могут содержать не только результаты официальных испытаний, но и результаты анализа обстоятельств случайной поломки детали. Если, например, при монтаже прибора случайно упало с верстака на пол и деформировалось кольцо подшипника, крайне важно знать, с какой высоты оно упало, из какого материала сделан пол и т. д. Очень существенна для обеспечения надежности разработка системы, методик, а в ряде случаев и аппаратуры для исследований физики отказов, позволяющих объективно установить обстоятельства, сопровождавшие отказ, выяснить истинные причины отказов и разработать меры для их предупреждения в дальнейшем. Для многих современных систем, машин и аппаратов сделать это далеко не просто.

Для обеспечения надежности необходима четкая система обратных связей от потребителя к разработчикам и производителям. Должна быть установлена система отчетности об отказах в эксплуатации, о замечаниях потребителей, о расходовании запасных частей и вспомогательных материалов с детальным выявлением причин, вызвавших рекламации или замечания. Подобная система повышает ответственность разработчиков, производителей и эксплуатационного персонала за выполнение порученных им обязанностей, кроме того, она дает возможность накапливать опыт, необходимый для улучшения ранее разработанных устройств и создания новых, более совершенных. Для обеспечения надежности нужно, чтобы вся эта работа велась планомерно и систематично.

В вопросах обеспечения надежности нет «мелочей». Более того, задача обеспечения надежности требует особо тщательного, скрупулезного, пожалуй даже педантичного, внимания к «мелочам», не потому, конечно, что крупные, принципиальные вопросы не сказываются на надежности, а потому, что принципиальные проблемы проектирования, технологии производства, эксплуатации и т. д. обычно видны всем. Они «лежат на поверхности» и, как правило, решаются обязательно, а мелочи нередко не принимаются во внимание. Например, неудачная кинематическая схема выпуска шасси самолета, которая может не сработать при малых деформациях деталей, будет обязательно замечена, если не при просмотре схемы руководителем бригады или главным конструктором, то при первой же экспертизе или при испытаниях. Неудачное же расположение масленки, смазывающей замок, который фиксирует выпущенную стойку шасси, может при невнимательном отношении к «мелочам» остаться незамеченным, хотя результаты нечеткой работы замка могут быть не менее пагубны, чем последствия, вызываемые неудачной кинематической схемой.

Статистика показывает, что большая часть отказов и даже аварий происходит из-за «досадных мелочей»: небольшой ошибки конструктора или несогласованности действий конструкторов, разрабатывавших смежные устройства, неаккуратности монтажника, небрежности или недостаточной подготовки обслуживающего персонала и т. д. Аварии из-за пренебрежения «крупными» вопросами, например неверного расчета основных деталей на прочность, неучета заданных в техническом задании ветровых нагрузок, неправильного заглубления фундаментов и т. д., бывают обычно реже, чем аварии из-за неучтенных «мелочей».

Проблема внимания к «мелочам» в значительной степени является проблемой организации — организации проектирования, организации производства, организации эксплуатации, т. е. такой организации работ и системы контроля за их результатами, при которой «мелочи» не могут остаться незамеченными, непредусмотренными, нерешенными. Это делает необходимым включение в круг проблем,

решение которых обеспечивает высокую надежность технических устройств, также проблем планирования и организации.

Таким образом, обеспечение надежности предполагает решение ряда разнообразных задач. Естественно, что создание справочника, в котором были бы рассмотрены все аспекты проблемы, к тому же в таком объеме и с такой степенью детализации, чтобы он был полезен лицам, работающим над обеспечением надежности технических устройств различного типа и назначения, крайне трудно, если вообще возможно.

Это относится и к выпущенному в США справочнику по надежности, перевод которого предлагается вниманию читателя. Структура справочника не похожа на привычную и общепринятую структуру справочников. Это скорее сборник статей, посвященных отдельным аспектам проблемы обеспечения надежности, что отмечалось уже в предисловии к первому тому справочника, но мы считаем целесообразным подчеркнуть это еще раз.

Авторы справочника, как правило, являются высококомпетентными специалистами с многолетним опытом практической деятельности, которые хорошо известны по докладом на различных симпозиумах, статьям в периодической печати и монографиям.

При изложении материала авторы используют опыт конкретных фирм, предприятий, не полностью совпадающий с описанным в литературе опытом других организаций. Это иногда вызывает сомнение в оптимальности отдельных предложений и рекомендаций, но зато использование опыта отдельных фирм придает предложениям и рекомендациям весьма конкретный характер.

По некоторым вопросам различные авторы придерживаются разных точек зрения. Учитывая опыт и квалификацию авторов справочника, мы оставили неприкосновенными высказывания авторов, даже если они и противоречат друг другу.

Некоторые материалы чисто ведомственного характера, например перечень сокращенных названий организаций военного ведомства США с указанием их специализации, таблицы кодов деталей, используемые межведомственными организациями США при сборе данных о надежности и др., мы старались по возможности либо совсем опустить, либо существенно сократить.

Предлагаемый вниманию читателя второй том справочника содержит пять глав.

В относительно небольшой по объему первой главе кратко и популярно излагается методика приближенной оценки ненадежности, обусловленной изменениями параметров элементов схемы, описывается метод оценки надежности, известный как метод «наихудшего случая», а также приводится составленная для ЦВМ схема программ исследования надежности при вариации параметров элементов. Излагаются приемы, которые могут быть использованы практиками при приближенных сравнительных оценках надежности схем.

Во второй главе подробно рассматриваются методы сбора, классификации и первичной обработки различных данных, необходимых для работ по обеспечению и оценке надежности, системы хранения информации, позволяющие быстро отыскивать необходимую информацию по заранее заданным признакам. Описанные в этой главе методы широко применяются в практике ряда организаций США.

Третья глава посвящена детальному рассмотрению конкретной системы информации COFEC (Cause of Failure, Effect and Corrective Action, причина отказа, его влияние и корректировочные меры). Эта система предназначена для сбора информации, которая должна использоваться разработчиками ракет и комплектующих их систем в процессе доводок. В главе приведено большое количество детально разработанных примеров. Специалист может почерпнуть в ней много полезных сведений.

В четвертой главе дается подробная классификация испытаний. Приводятся рекомендации о целесообразной системе испытаний, описываются методы планирования конструкторских и приемочных испытаний, даются общие рекомендации по выбору и эксплуатации испытательного оборудования. Рассматриваются также вопросы организации испытаний и анализа их результатов. Автор этой главы длительное время работал военным приемщиком на крупных фирмах, разрабатывающих и выпускающих ракеты. Это наложило отпечаток на изложение материала. Вопросы приемочных и оценочных испытаний освещены несколько более детально, чем вопросы конструкторских испытаний. Весьма интересна регламентация требований к организации, программам, методикам проведения и отчетности испытаний различного типа. Приведено много практических советов, рекомендаций.

Последняя глава посвящена методам обработки и анализа данных об отказах. Наряду с обсуждением целесообразной системы учета отказов, рассмотрением форм бланков сообщений об отказах, бланков анализа причин отказов и других документов значительное внимание уделено вопросам организации лабораторий анализа причин отказов, методам организации работ по выработке корректирующих мер на базе анализа причин неисправностей и отказов.

Даже из этого краткого изложения содержания второго тома справочника видно, что в нем приведено много сведений, интересных и полезных для специалистов, занимающихся обеспечением надежности технических устройств различного назначения. Следует оговориться, что далеко не все методики, организационные формы, рекомендации, приведенные в справочнике, могут быть без изменений использованы в различных отечественных предприятиях и организациях. Ознакомление с опытом, накопленным в США, несомненно принесет пользу специалистам.

Б. Бердичевский

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ

*П. Х. Зоргер**Paul H. Zorger*

Vitro Laboratories, Inc., Silver Springs, Maryland

1.1. ВВЕДЕНИЕ

В этой главе рассматриваются инженерные методы, применение которых помогает достичь максимальной надежности изделий в конкретной системе. Эти методы должны применяться в первую очередь инженерами-разработчиками. Однако знание их будет полезно для всех звеньев организации, участвующих в разработке и производстве изделий с высокой надежностью. Все звенья управления, включая работников, связанных с производством, контролем качества, заключением контрактов, поставками и материальным снабжением, должны понимать основные положения, которыми руководствовался инженер-разработчик, чтобы лучше выполнять свои функции в процессе изготовления разработанной системы.

Большинство специфических методов, позволяющих повысить надежность, использовалось вначале применительно к радиоэлектронной аппаратуре. Методики, относящиеся к области радиоэлектроники, не всегда применимы к механическим устройствам или элементам. Это видно из приведенных ниже материалов. Основные принципы обеспечения надежности, представленные в этой главе, рассмотрены на примерах радиоэлектронных схем. Необходимо собирать и накапливать данные по надежности механических элементов, аналогичные данным, относящимся к радиоэлектронным элементам.

Техника обеспечения надежности развивается вместе с накоплением знаний об элементах и материалах. Существенные результаты были достигнуты в немногих случаях. Необходимо широкое применение накопленных знаний о способах обеспечения надежности для достижения более значительных результатов.

В данной главе содержатся сведения о методах оценки надежности, пользуясь которыми инженер-разработчик может обеспечить потенциальную надежность изделия при разработке и тем самым сделать вклад в производство надежных изделий.

1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНА «НАДЕЖНОСТЬ»

Для инженера-разработчика надежность определяется как «вероятность выполнения системой заданных функций в определенных условиях, для которых она рассчитана, в течение определенного периода времени». Следует подчеркнуть, что надежность при такой

формулировке измеряется вероятностью, выраженной через определенные количественные значения, и оценивается с помощью статистических методов ¹⁾.

Надежность часто выражается вероятностью, равной 0,999, или 0,95, или какому-нибудь другому положительному числу, меньшему 1. Такое количественное выражение надежности не является полным. На практике не требуется, чтобы все функции удовлетворительно выполнялись прибором в течение одного и того же времени, но каждая отдельная функция должна выполняться в строго определенное время для обеспечения выполнения прибором поставленной задачи. Таким образом, время входит в определение надежности как существенный фактор, поэтому во многих случаях оно должно указываться при задании надежности.

Другой составной частью определения надежности являются «определенные условия», в которых должна работать система. Система, способная удовлетворительно работать при предельных значениях температуры, влажности, вибрации, высоты полета и т. д., была бы идеальной. Однако практически такая система не осуществима, поэтому все системы рассчитываются для работы в определенных окружающих условиях. Эти условия обычно задаются техническими требованиями к системе. Вычислительную машину, рассчитанную на работу в помещении с кондиционированным воздухом и имеющую высокую интенсивность отказов только из-за того, что это условие не выполняется, т. е. когда кондиционирование воздуха не обеспечивается, нельзя считать ненадежной.

1.3. НАДЕЖНОСТЬ, ПОТЕНЦИАЛЬНО СВОЙСТВЕННАЯ ИЗДЕЛИЮ

Программа обеспечения надежности изделия охватывает две фазы: разработку и производство. В этой главе будет рассматриваться только первая фаза. Достигаемая при разработке потенциально свойственная изделию надежность охватывает три области: конструкцию, элементы и процессы. Производство значений надежности, определенных для этих трех областей, характеризует общую, или потенциально свойственную данному изделию, надежность. Оно представляет собой наибольшее количественное значение надежности, которое при данной схеме, конструкции, качестве элементов и т. д. может быть достигнуто для данного изделия. Неудачная реализация проекта в производстве, ухудшение конструкции, вызванное субъективными ошибками конструктора, ошибки при испытаниях, изменение параметров материалов и т. д. приводят к снижению значения общей надежности. Это равносильно умноже-

¹ В ГОСТ 13377—67 «Надежность в технике. Термины» принято иное определение термина «надежность» — «свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки». — *Прим. ред.*

нию потенциального значения надежности на некоторый коэффициент, меньший 1.

Общий подход к определению потенциальной надежности изделия P_I при разработке состоит в оценке значений потенциальной надежности конструкции P_d , комплектующих элементов P_c , процессов P_p и вычислении P_I , пользуясь выражением $P_I = P_d P_c P_p$.

Надежность P_d , потенциально свойственная конструкции, определяется (на примере электрической схемы) как вероятность того, что требуемый выходной сигнал будет оставаться в пределах заданных допусков, если не произойдет внезапного отказа. Вероятность внезапных отказов комплектующих элементов включается в P_c . Такие факторы, как ухудшение параметров элементов со временем, взаимодействие цепей и переходные процессы, вызывают изменения выходного сигнала. Когда под влиянием этих факторов сигнал выходит за установленные пределы, нормальное функционирование системы нарушается. Оценка этих факторов позволяет определить численное значение P_d . Фактическая оценка P_d связана с определением факторов, влияющих на работу схемы, и выражением их через изменения параметров ее элементов.

Надежность P_c , свойственную элементам, можно определить как вероятность того, что элементы схемы будут работать нормально в течение определенного периода времени без внезапных отказов при определенных окружающих условиях и электрических режимах в процессе испытаний или эксплуатации. Значение P_c обычно приближенно вычисляется из выражения

$$P_c = GF_r K_A K_{op},$$

где GF_r — интенсивность отказов элементов данного типа за заданный промежуток времени;

K_A — коэффициент, учитывающий условия применения (внешние условия, электрические режимы);

K_{op} — коэффициент, характеризующий тип аппаратуры (наземная, самолетная и т. д.).

Надежность процессов P_p определяется как вероятность того, что элементарные процессы, применяемые при производстве аппаратуры, завершаются, не вызывая недопустимых дефектов. Оценка P_p связана с определением уровня качества технологических процессов при выполнении отдельных операций, каждая из которых вносит некоторую долю в увеличение вероятности отказов. Величина этой доли зависит от жесткости контроля за технологическими процессами.

1.4. ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ

Все возрастающая жесткость требований к надежности аппаратуры военного назначения приводит к необходимости нового подхода к применению аналитических методов расчета. При анализе

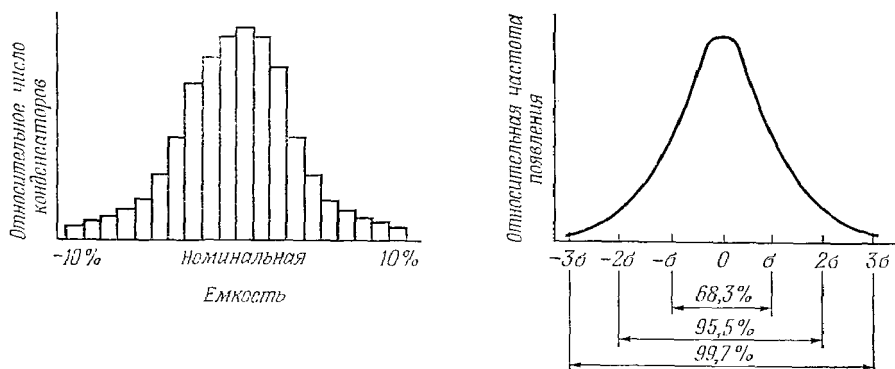
надежности инженер-разработчик должен учитывать многие факторы, если требуется, чтобы количественная оценка надежности конструкции была достаточно точной и строгой. Высокие требования к надежности и другие жесткие требования, например к быстродействию, скорости и т. д., нередко являются противоречивыми. В этих условиях анализ сложных систем может потребовать применения быстродействующих цифровых вычислительных машин для того, чтобы убедиться, что оптимальная надежность сочетается с обеспечением таких функциональных характеристик, как небольшой вес, минимальный объем и низкая стоимость. Выходные данные этих вычислительных машин дают объективный и подробный анализ изделия с учетом возможности улучшения конструкции, а также информацию о параметрах элементов (рассеивание номинальных значений, стабильность во времени и т. д.), требуемых для нормальной работы изделия в заданных условиях. Можно использовать графики, показывающие взаимозависимость параметров элементов и характеристик схем, а также данные о нагрузках элементов по напряжению и мощности, возникающих при изменении напряжения питания и параметров элементов. Можно также провести проверку зависимости размеров и веса от напряжения и мощности для различных элементов с целью выявления любых отклонений от заданных технических условий. Дальнейшее развитие этих методов позволит определить надежность конструкции P_d и оптимизировать номинальные значения параметров элементов для конкретных вариантов схем.

1.5. СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ

Проблемы, возникающие при разработке аппаратуры массового производства, отличаются от проблем, связанных с разработкой единственного образца, из-за допусков на величины параметров элементов. Инженер может добиться повышения надежности единичных образцов аппаратуры, выбирая оптимальные параметры каждого элемента для обеспечения заданных характеристик. Но аппаратура, предназначенная для массового производства, должна обладать заданными характеристиками несмотря на то, что в ней применены элементы, параметры которых изменяются в условиях эксплуатации в пределах определенных допусков.

Для достижения максимальной воспроизводимости и надежности инженер-разработчик должен проектировать аппаратуру так, чтобы она правильно функционировала даже в том случае, когда параметры всех ее элементов одновременно будут лежать вблизи пределов допусков. Чаще всего такие попытки кончаются неудачей. Проблема обычно может быть решена, если усложнить схему, однако при этом ее общая надежность (вследствие возросшей суммарной вероятности отказов элементов) часто будет ниже надеж-

ности аппаратуры с меньшим числом элементов, которая не может удовлетворительно функционировать при предельных значениях параметров элементов. Вероятность того, что все элементы одновременно будут иметь параметры, близкие к пределам допусков, очень мала. Характер влияния допусков отдельных элементов на общий допуск дает основание для применения статистического подхода к расчету схем.



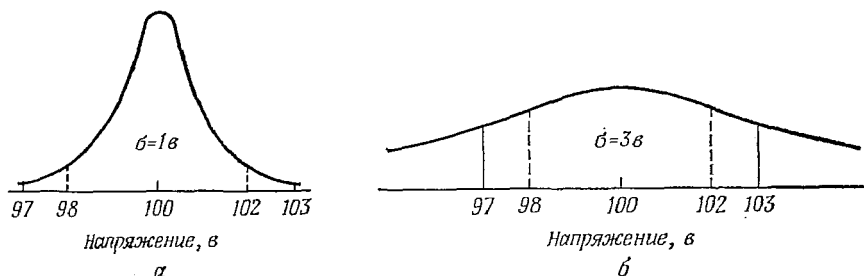
Ф и г 1.1. Распределение величин емкости.

Большинство применяемых в изделиях элементов имеет нормальное распределение отклонений параметров от номинала. Например, приведенная на фиг. 1.1 гистограмма является графическим изображением распределения величины емкости конденсаторов из одной промышленной партии.

При увеличении количества конденсаторов и уменьшении интервала емкостей огибающая гистограммы принимает вид кривой нормального распределения, симметричной относительно среднего значения.

Как видно из фиг. 1.1, 68,3% всех конденсаторов имеют емкость в пределах $\pm 1 \sigma$, 95,5% в пределах $\pm 2 \sigma$ и 99,7% в пределах $\pm 3 \sigma$. Установленный производственный допуск обычно соответствует $\pm 3 \sigma$ или меньше в зависимости от степени желаемой гарантии. Если приняты пределы, точно равные $\pm 3 \sigma$, то только 0,3% элементов из данной партии, или меньше, будут выходить за пределы допусков с дополнительными отклонениями, зависящими от рабочих и окружающих условий. Хотя величины отклонений параметров остальных элементов от номинала могут быть распределены и не по нормальному закону, связанные с ними флуктуации выходного сигнала схемы можно считать почти нормально распределенными вследствие их совместного действия.

Очень многие схемы должны рассчитываться на соответствие установленным допускам, чтобы обеспечивалась возможность изготовления приборов в серийном производстве и вместе с тем — надежность. Рассмотрим, например, схему, выходное напряжение которой из условий надежности должно находиться в пределах от 97 до 103 в. Если при производстве можно выдержать это требование в пределах 3σ для нормального распределения (фиг. 1.2, а), т. е. обеспечить $\sigma = 1$ в, то только для 3 из 1000 схем потребуется замена



Фиг. 1.2. Распределения выходного напряжения.

элементов. Однако если расчет показывает, что следует допустить производство схем со стандартным отклонением $\sigma = 3$ в (фиг. 1.2, б), то более чем в 100 раз возрастает количество схем (31,7%), требующих дорогостоящей замены элементов, связанной с их специальным отбором. В этом случае большее количество схем имеют параметры, близкие к заданным пределам (фиг. 1.2, б), и требуются значительно большие затраты для выполнения поставленного требования. Этот пример подтверждает необходимость такого проектирования схем, чтобы пределы допуска укладывались по крайней мере в $\pm 3\sigma$. Выполнение этого требования необходимо как с производственной точки зрения, так и в отношении надежности.

Большинство схем можно описать аналитически для выявления зависимости функциональной переменной (например, выходного сигнала) от величин параметров различных элементов с помощью простых линейных соотношений. Функциональная переменная и величины параметров элементов, входящие в аналитическое выражение, являются непрерывными переменными. Когда величины параметров элементов имеют нормальное распределение и элементы при производстве схем выбираются случайным образом, функциональная переменная будет распределена по нормальному закону. Применение статистических методов оценки допусков к аналитическому выражению позволяет определить фактический допуск для функциональной переменной в реальных условиях эксплуатации.

Если аналитическое выражение для функциональной переменной имеет вид

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

и ее дисперсия определяется из выражения

$$\sigma_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2,$$

то номинальное значение функциональной переменной получается при подстановке в аналитическое выражение номинальных величин элементов, а ее дисперсия — при подстановке дисперсий элементов.

Этот метод основан на допущениях, которые обычно выполняются. Если даже они выполняются неполностью, то результаты, получаемые по данному методу, оказываются более близкими к реальным, чем результаты, полученные по методу суммирования допусков элементов, в том случае, когда эти допуски малы по сравнению с номинальными величинами элементов, а сами элементы независимы и выбраны случайным образом. Статистические методы можно использовать для аналитического определения отклонения от принятых допущений. Эти методы развиты достаточно широко; при применении их к большинству инженерных задач радиоэлектроники можно получить удовлетворительную точность, если придерживаться приведенной ниже последовательности.

Метод определения допусков сумм (или разностей) сразу дает наиболее известные и полезные основные уравнения. Рассмотрим аналитическое выражение для простой суммы:

$$y = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n.$$

Хорошо известное основное выражение для дисперсии суммы получится, если применить общий метод вычисления дисперсии функциональной переменной. Этот метод дает

$$\sigma_y^2 = \sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 + \dots + \sigma_{x_n}^2,$$

так как

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = \frac{\partial y}{\partial x_2} = \dots = \frac{\partial y}{\partial x_n} = 1.$$

Допуски слагаемых можно объединить, если отдельные допуски выбраны равными одинаковому числу сигм. Это значит, что если

$$t_y = A\sigma_{y_1}, \quad t_{x_1} = A\sigma_{x_1}, \dots, t_{x_n} = A\sigma_{x_n},$$

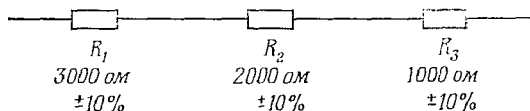
где A — постоянная, равная, например, ± 3 , а t — допуски, равные одинаковому числу сигм, то

$$t_y^2 = t_{x_1}^2 + t_{x_2}^2 + \dots + t_{x_n}^2.$$

Когда допуски объединяются в последовательный ряд, то выражение «квадратный корень из суммы квадратов» относится к фактиче-

ским величинам, а не к процентным значениям от номинальных величин.

Допуски разностей или комбинации сумм и разностей объединяются подобным же образом. Типичным примером нахождения допусков сумм или разностей является последовательное соединение резисторов R_1 , R_2 и R_3 (фиг. 1.3). Величины сопротивлений резисто-



Ф и г. 1.3. Последовательная цепь.

ров имеют нормальное распределение и допуски находятся в пределах $\pm 3 \sigma$. Следовательно, сумма номинальных сопротивлений равна

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 = 3000 + 2000 + 1000 = 6000 \text{ ом},$$

а предельное отклонение суммы

$$t^2_{R_t} = t^2_{R_1} + t^2_{R_2} + t^2_{R_3} = 300^2 + 200^2 + 100^2, \\ t_{R_t} = 374 \text{ ом}.$$

Номинальная величина и допуск в пределах 3σ для суммы равны $6000 \pm 374 \text{ ом}$, или $6000 \text{ ом} \pm 6,2\%$. Этот пример показывает, что при последовательном соединении элементов, подчиняющихся нормальному распределению, результирующий допуск суммы несколько меньше, чем сумма допусков на отдельные элементы. Например, при соединении трех резисторов с допуском $\pm 10\%$ в цепь суммарный допуск равен $\pm 6,2\%$.

Допуски комбинируются для достижения определенных целей. Например, если три резистора (с сопротивлениями 3000, 2000 и 1000 ом) соединяются последовательно, то общее сопротивление цепи (если считать, что допуск каждого резистора равен $\pm 10\%$ в 99,9% случаев) равно

$$R_s = 6000 \pm \sqrt{300^2 + 200^2 + 100^2} = 6000 \pm 374 \text{ ом} = \\ = 6000 \text{ ом} \pm 6,2\%.$$

Общий допуск будет уменьшаться при соединении большего числа резисторов. Общий допуск равен

$$t_s = \sqrt{t_1^2 + t_2^2 + t_3^2 + \dots + t_n^2},$$

где $t_1, t_2, \dots$ — допуски для отдельных резисторов, каждый из которых должен равняться одинаковому числу сигм. В результате если

$$t_1 = A\sigma_1, \quad t_2 = A\sigma_2, \dots, t_n = A\sigma_n,$$

то

$$t_s = A\sigma_s.$$

Уравнение для общего допуска выводится из основного уравнения

$$\sigma_s^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2.$$

Общий метод вычисления дисперсии функциональной переменной можно использовать для вычисления допуска произведения (или частного). Если дано аналитическое выражение

$$y = x_1 x_2 \dots x_n,$$

то применение общего метода дает

$$\sigma_y^2 = (x_2 x_3 \dots x_n)^2 \sigma_{x_1}^2 + (x_1 x_3 \dots x_n)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + (x_1 x_2 \dots x_{n-1})^2 \sigma_{x_n}^2.$$

Разделив это выражение на y^2 и произведя сокращения, получим

$$\left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_{x_1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{x_2}}{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\sigma_{x_n}}{x_n}\right)^2.$$

Допуски для произведения можно объединять непосредственно, если отдельные допуски содержат одинаковое число сигм и выражены в процентах. Следовательно, если

$$T_y = A \frac{\sigma_y}{y} 100, \quad T_{x_1} = A \frac{\sigma_{x_1}}{x_1} 100, \dots, \quad T_{x_n} = A \frac{\sigma_{x_n}}{x_n} 100,$$

где A — постоянная, означающая число сигм $y, x_1, \dots, x_n$ — номинальные величины, а T — допуски, равные одинаковому числу сигм, выраженные в процентах от номинальных величин, то основное уравнение для рассматриваемого частного случая имеет вид

$$T_y^2 = T_{x_1}^2 + T_{x_2}^2 + \dots + T_{x_n}^2.$$

Для произведений известное выражение «квадратный корень из суммы квадратов» относится к допускам, выраженным в процентах.

Допуски для частного или для комбинации произведений и частных объединяются аналогичным способом. В качестве примера, иллюстрирующего применение этого метода, рассмотрим определение допуска на выходное напряжение идеализированного трансформатора (фиг. 1.4). Допуски взяты в пределах $\pm 3 \sigma$. Номинальное выходное напряжение равно

$$E_0 = NE_i = 4 \cdot 110 = 440 \text{ в}$$

и допуск на его величину

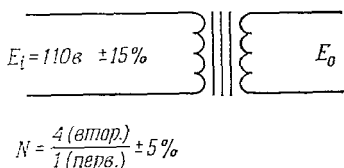
$$T_{E_0}^2 = T_N^2 + T_{E_i}^2 = 5^2 + 15^2,$$

$$T_{E_0} = 15,8\%.$$

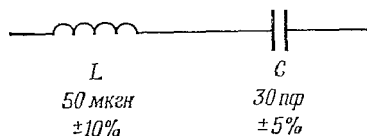
Пределы изменения выходного напряжения равны $440 \pm 69,5$ в, или $440 \text{ в} \pm 15,8\%$.

Для зависимости функциональной переменной от величин различных элементов можно написать общее выражение в следующем виде:

$$\sigma_y^2 = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2.$$



Фиг. 1.4. Схема трансформатора.



Фиг. 1.5. Цепь LC.

Его следует использовать для оценки пределов изменения функциональной переменной. Например, резонансная частота контура равна

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{LC}.$$

Номинальные величины и допуски в пределах $\pm 3\sigma$ указаны на фиг. 1.5. Номинальная резонансная частота равна

$$f = \frac{1}{6,28} \sqrt{50 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot 10^{-12}} = 4,12 \cdot 10^6 \text{ гц}.$$

Для определения допуска на частоту следует воспользоваться общим выражением:

$$\begin{aligned} \sigma_f^2 &= \left(\frac{\partial f}{\partial C}\right)^2 \sigma_C^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial L}\right)^2 \sigma_L^2, \\ (3\sigma_f)^2 &= \left(\frac{1}{4\pi} \sqrt{L/C}\right)^2 (3\sigma_C)^2 + \left(\frac{1}{4\pi} \sqrt{C/L}\right)^2 (3\sigma_L)^2, \\ 3\sigma_f &= 23 \cdot 10^4 \text{ гц}. \end{aligned}$$

Номинальная величина и допуск в пределах $\pm 3\sigma$ для резонансной частоты равны $4,12 \cdot 10^6 \pm 0,23 \cdot 10^6$ гц, или $4,12 \cdot 10^6$ гц $\pm 5,6\%$.

До сих пор были рассмотрены только начальные изменения, обусловленные наличием допусков. В типичных и более реальных условиях изменения номинальных величин параметров элементов будут происходить как под действием случайных внешних возмущающих факторов в процессе эксплуатации, так и вследствие рассеивания начальных допусков. Наименьшие и наибольшие изменения, обусловленные воздействием возмущающих факторов, рассмат-

риваются отдельно и распределения вычисляются для каждого случая.

В качестве второго примера рассмотрим усиление семикаскадного усилителя промежуточной частоты, в каждом каскаде которого используются лампы одного типа с оптимальной крутизной характеристики и нагрузочные композиционные резисторы с сопротивлением от 5000 до 1000 Ω , представляющие очень небольшую нагрузку. Возможные изменения параметров лампы и резистора приведены в табл. 1.1. Величины со знаками « $\pm$ » представляют пределы 3σ для нормального распределения. Их значения, возведенные в квадрат, суммируются под квадратным корнем.

Таблица 1.1

Изменения параметров лампы и резистора

	Композиционный резистор, Ω		Крутизна характеристики лампы	
	наименьшее	наибольшее	наименьшее	наибольшее
Производственный допуск	± 5	± 5	-8 ± 10	$+8 \pm 10$
Изменение при $+85^\circ\text{C}$	± 4			
Изменение при -54°C		± 12		
Изменение вследствие старения за 100 час	-5 ± 2		-6 ± 5	
Изменение при пайке	-21	-21		
Изменение напряжения накала			-5 ± 3	$+5 \pm 3$
Случайные изменения при первом включении			± 10	± 10
Суммарные изменения	$-7 \pm 6,7$	$+10 \pm 5$	-19 ± 15	$+13 \pm 15$

¹ Постоянное отклонение, влияющее на наименьшие и наибольшие изменения.

Влияние условий эксплуатации нужно рассмотреть для комбинаций наименьших и наибольших изменений номинальных значений и допусков. Для рассматриваемого семикаскадного усилителя номинальный коэффициент усиления каскада $G_m R_1$, номинальная крутизна характеристики лампы $G_m = 5000$ $\mu\text{кмо}$, номинальное сопротивление резистора $R_1 = 1000$ Ω .

Минимальное ожидаемое значение коэффициента усиления

Влияние лампы: G_m уменьшается на $19 \pm 15\%$, т. е.

$$G_m = 5000(0,81 \pm 0,15) = 4050 \pm 750 \text{ мкмо.}$$

Влияние резистора: R_1 уменьшается на $7 \pm 6,7\%$, т. е.

$$R_1 = 1000(0,93 \pm 0,067) = 930 \pm 67 \text{ ом.}$$

Номинальный коэффициент усиления каскада

$$A = G_m R_1 (4050 \cdot 10^{-6}) 930 = 3,77.$$

Номинальный коэффициент усиления семи каскадов

$$A^7 = 3,77^7 = 10\,800.$$

Изменение коэффициента усиления каскада

$$T = \sqrt{T_{G_m}^2 + T_{R_1}^2} = \sqrt{\left(\frac{750}{4050} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{67}{930} \cdot 100\right)^2} = 19,9\%.$$

Изменение коэффициента усиления семи каскадов

$$T = \sqrt{7(19,9)^2} = 52,6\%.$$

Номинальный коэффициент усиления и допуск в пределах $\pm 3 \sigma$ при неблагоприятном сочетании изменений параметров элементов равны 10800 ± 5680 , или $10800 \pm 52,6\%$. Выраженные другим способом пределы коэффициента усиления усилителя промежуточной частоты равны 74,2 и 84,3 дб.

Тогда как пределы изменения коэффициента усиления усилителя могут быть вычислены, дисперсию коэффициента усиления нельзя вычислить по выражению для номинального коэффициента усиления семи каскадов

$$A^7 = (G_m R_1)^7, \quad \sigma_{A^7}^2 = \left(\frac{\partial A}{\partial G_m}\right)^2 \sigma_{G_m}^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial R_1}\right)^2 \sigma_{R_1}^2,$$

так как

$$G_{m_1} \neq G_{m_2} \neq \dots \neq G_{m_7} \quad \text{и} \quad R_{1_1} \neq R_{1_2} \neq \dots \neq R_{1_7}.$$

Дисперсия общего коэффициента усиления вычисляется следующим образом:

$$A = G_{m_1} R_{1_1} \times G_{m_2} R_{1_2} \times \dots \times G_{m_7} R_{1_7},$$

$$\sigma_{A^7}^2 = \left(\frac{\partial A}{\partial G_{m_1}}\right)^2 \sigma_{G_{m_1}}^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial R_{1_1}}\right)^2 \sigma_{R_{1_1}}^2 + \dots + \left(\frac{\partial A}{\partial G_{m_7}}\right)^2 \sigma_{G_{m_7}}^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial R_{1_7}}\right)^2 \sigma_{R_{1_7}}^2,$$

так как крутизна каждой лампы и сопротивление каждого нагрузочного резистора являются независимыми переменными.

Максимальное ожидаемое значение коэффициента усиления

Влияние лампы: G_m увеличивается на $13 \pm 15\%$, т. е.

$$G_m = 5000(1,13 \pm 0,15) = 5650 \pm 750 \text{ мкмо.}$$

Влияние резистора: R_1 увеличивается на $10 \pm 5\%$, т. е.

$$R_1 = 1000(1,10 \pm 0,05) = 1100 \pm 50 \text{ ом.}$$

Номинальный коэффициент усиления каскада.

$$A = G_m R_1 = (5650 \cdot 10^{-6}) 6100 = 6,22.$$

Номинальный коэффициент усиления семи каскадов

$$A^7 = 6,22^7 = 360\,000.$$

Изменение коэффициента усиления каскада

$$T = \sqrt{T^2_{G_m} + T^2_{R_1}} = \sqrt{\left(\frac{750}{5650} \cdot 100\right)^2 + \left(\frac{50}{1100} \cdot 100\right)^2} = 14\%.$$

Изменение коэффициента усиления семи каскадов

$$T = \sqrt{7(14)^2} = 37\%.$$

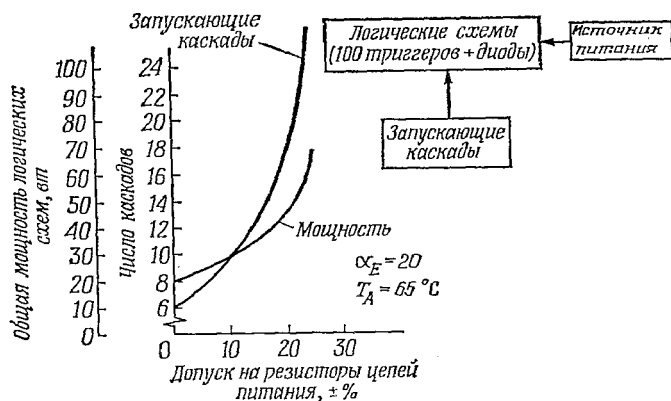
Номинальный коэффициент усиления и допуск в пределах $\pm 3 \sigma$ при неблагоприятном сочетании изменений параметров элементов равны $360\,000 \pm 133\,000$, или $360\,000 \pm 37\%$. В другом выражении пределы коэффициента усиления усилителя промежуточной частоты равны 107 и 114 дб. Таким образом, коэффициент усиления этого усилителя в типичных условиях эксплуатации будет заключен в пределах от 74,2 до 114 дб.

1.6. ТИПЫ ОТКАЗОВ

Если исключить конструкторские ошибки, то возможны два типа отказов: постепенные и внезапные (катастрофические). Постепенный отказ, являющийся функцией времени, вызывается изменениями параметров элементов (например, вследствие внутренних напряжений или молекулярных изменений), приводящими к выходу рабочих характеристик схемы за расчетные пределы. Например, сопротивление резистора в усилителе может измениться относительно номинальной величины из-за пиковых нагрузок, возникающих в некоторый момент времени, и выйти за допустимые пределы. Вследствие этого в усилителе могут возникнуть паразитные колебания. В этом примере элемент выполняет номинальную полезную функцию, но отказ схемы возникает из-за того, что параметры данного элемента выходят за установленные расчетные пределы. Внезапные отказы вызываются такими изменениями параметров элемента, при которых его следует считать неработоспособным. Отказ этого типа возникает, например, когда вследствие сгорания резистора сопротивление между его зажимами становится бесконечно большим. Этот резистор уже не выполняет своей функции.

При расчете схем с учетом постепенных и внезапных отказов можно применять три основных принципа: 1) постепенные отказы

могут быть всегда исключены, если учитывать возможные изменения параметров за определенное время; 2) внезапные отказы нельзя ни точно предсказать, ни полностью исключить; 3) постепенные изменения параметров и внезапные отказы не обязательно являются независимыми событиями. На основании этих принципов можно найти компромиссное решение и определить надежность схемы в довольно точных пределах и, если это допустимо, применить для повышения надежности резервирование. Если не применяется резерви-



Фиг. 1.6. Зависимость числа запускающих каскадов и мощности от допусков на элементы логической схемы.

рование, то один внезапный отказ элемента может привести к отказу всей системы.

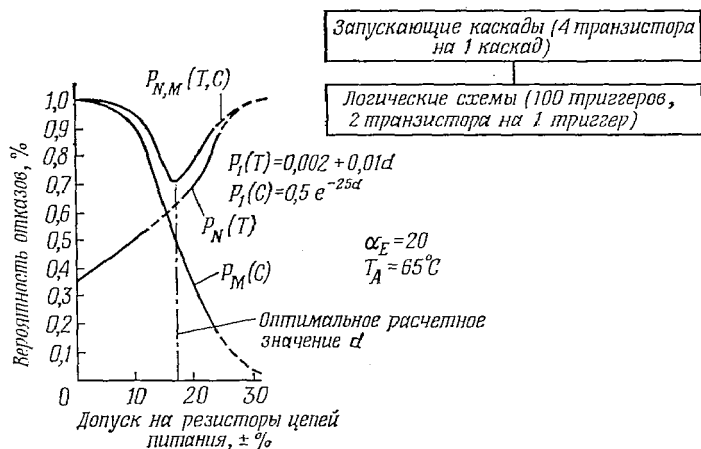
Интенсивность внезапных отказов чаще всего существенно зависит от электрических напряжений и нагрузок, обусловленных воздействием внешних условий на элементы. Хотя некоторая вероятность внезапных отказов всегда остается, уменьшение неконтролируемых факторов в производственном процессе путем улучшения качества материалов и технологических операций приводит к снижению их интенсивности. Кроме того, вероятность отказов, вызываемых влиянием перегрузок, может быть уменьшена применением щадящих режимов.

Если система усложняется, т. е. количество элементов в ней возрастает, то вследствие постоянства интенсивности внезапных отказов каждого из элементов вероятность отказа схемы за определенный период времени возрастает. Так, если P_C — вероятность отказа одного элемента за определенный период, то вероятность отказа за этот же период нерезервированной системы, содержащей n таких элементов, равна

$$P_T = 1 - (1 - P_C)^n.$$

Таким образом, с увеличением n вероятность отказа системы возрастает.

Хотя проектирование схем в расчете на худший случай снижает вероятность постепенных отказов, оно может привести к увеличению вероятности отказа вследствие увеличения числа элементов n , следовательно, возрастания вероятности отдельного внезапного отказа. Кроме того, повышение уровня мощности схемы уве-



Фиг. 1.7. Зависимость вероятностей отказов от допусков на параметры элементов логической схемы.

личивает тепловую нагрузку на отдельные элементы, вследствие чего возрастает вероятность внезапных отказов элементов, так как некоторые элементы (например, транзисторы) нельзя заменить на более мощные для сохранения щадящего режима. Пример зависимости интенсивности внезапных отказов от вероятности постепенных отказов можно получить из показанных на фиг. 1.6 соотношений между сложностью системы и допусками на параметры элементов.

Для запуска логического триггера запускающий каскад должен содержать четыре транзистора (два транзистора в схеме однотактного мультивибратора и два транзистора в дополнительном эмиттерном повторителе). Если принять, что гипотетическая интенсивность внезапных отказов транзисторов равна 0,002 для заданного периода времени и возрастает на 0,01 на каждый процент увеличения допусков на резисторы и напряжение питания (таким образом учитывается возрастание тепловых нагрузок на транзисторы при увеличении уровня допусков схемы), то можно показать, что вероятность отказа каждого транзистора будет равна

$$P_1(T) = 0,002 + 0,01d^2,$$

где d — изменение допусков на резисторы и напряжение питания.

Примем, что вероятность постепенных отказов при увеличении допусков убывает экспоненциально. Если при расчете схемы приняты нулевые допуски, то вероятность постепенных отказов равна 50%, но если допуск равен 10%, вероятность постепенных отказов уменьшается на порядок. Вероятность отказов логической схемы, вызванных постепенным изменением параметров элементов, может быть принята равной

$$P_1(C) = 0,5 \exp(-25d).$$

Рассмотрение внезапных отказов транзисторов и отказов, вызываемых постепенным изменением параметров элементов, позволяет вычислить суммарную вероятность отказов системы. Для этого нужно воспользоваться кривыми, приведенными на фиг. 1.7, где $P_N(T)$ — вероятность внезапных отказов одного транзистора в системе, состоящей из логических схем и запускающих каскадов, а $P_M(C)$ — вероятность постепенного отказа из-за изменения параметров только логических схем. Эти кривые показывают, что при увеличении допусков на параметры элементов вероятность $P_N(T)$ возрастает вследствие влияния дополнительных транзисторов и увеличения тепловых нагрузок при повышении уровня мощности схемы, а вероятность $P_M(C)$ уменьшается из-за расширения пределов допусков на элементы логических схем.

Вероятность неисправности системы из-за внезапных отказов транзисторов или постепенных отказов элементов цепей равна

$$P_{N,M}(T, C) = 1 - [1 - P_N(T)][1 - P_M(C)].$$

Это выражение указывает на существование расчетной точки с оптимальным в отношении надежности значением допусков ($d = \pm 18\%$) при внезапных и постепенных отказах. Расчет схемы для худшего случая за этой точкой приведет к понижению надежности, несмотря на увеличение допусков на отдельные схемы.

1.7. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХУДШЕГО СЛУЧАЯ

Критерий худшего случая в общем виде состоит в том, что схема должна выполнять свои функции, если параметры ее элементов (с учетом уровня сигналов, уровня мощности, окружающих условий) имеют предельные значения; предполагается, что параметры элементов влияют на функциональный параметр схемы наиболее неблагоприятным образом. Допуски можно устанавливать при определенных условиях с учетом известной интенсивности отказов и влияния, оказываемого критическими параметрами на конкретную выходную функцию. Критерий худшего случая предполагает, что ни

один элемент не будет подвержен воздействию нагрузок, превышающих те, при которых выполняются требования по надежности, учитывающие влияние электрических нагрузок и окружающих условий.

Хотя жесткость условий, принимаемых при анализе по методу худшего случая, с точки зрения соответствия их реальным условиям иногда подвергается сомнению, многочисленные практические примеры, соответствующие различным условиям, показывают высокую степень корреляции между критичностью параметров элементов схемы и возможностью успешной ее работы, особенно на границах заданной рабочей области. Например, если линейный многокаскадный усилитель питается от источника, работающего при нижнем пределе допуска (усиление каждого каскада чувствительно к изменениям напряжения, поэтому все каскады одновременно будут иметь минимальное усиление), то при низких окружающих температурах все коэффициенты усиления β транзисторов в каждом каскаде приблизятся к нижнему пределу и в результате получится ситуация, соответствующая худшему случаю.

Анализ методом худшего случая характеризуется следующими положительными особенностями: 1) позволяет быстро оценить качество работы конкретной схемы; 2) является исключительно ценным при проектировании схем и оптимизации номинальных величин элементов; 3) упрощает расчеты и редко дает неверные результаты в отношении нагрузок; 4) учитывает допуски и номинальные величины в конце срока службы элементов; 5) является необходимым средством определения минимальной надежности элементов на основе использования статистически верных и доступных данных об их надежности; 6) облегчает расчет рабочих пределов элементов. При использовании метода худшего случая сокращается общее время на разработку и испытания и снижается их стоимость, а дорогостоящие перерасчеты исключаются, так как для проверки результатов требуется проведение меньшего количества запланированных и статистически связанных испытаний, а возможные изменения параметров элементов учтены в расчете.

Схему можно рассчитать на худший случай различными способами. Вследствие того что параметры элементов имеют определенный разброс относительно номинального значения, конструктор никогда не может выбрать идеальные элементы. Необходимость учета изменений величин параметров (а это не всегда простая процедура) приводит к тому, что многие схемы, рассчитанные с номинальными значениями элементов, должны быть проверены экспериментально для определения их рабочих пределов. Экспериментально полученные области приемлемых значений параметров, определяющие пределы удовлетворительного функционирования схем как функции изменения номинальных величин элементов, обычно используются для установления допусков на изменения параметров элементов схемы и напряжения питания. После повторного расчета схемы,

в результате которого ее рабочие характеристики при номинальных значениях величин элементов попадают в центральную часть экспериментальной диаграммы, условия худшего случая определяются эмпирически.

По другому варианту влияние изменения параметров элементов на работу схемы можно определить аналитически, если принять такие знаки отклонений этих параметров, которые согласованно ухудшают работу схемы, и произвести синтез схемы так, чтобы и при наихудших параметрах элементов она еще удовлетворяла предъявляемым к ней требованиям. Таким образом, схема может быть рассчитана на худший случай эмпирическим или аналитическим методом. Основные данные об изменении ее характеристик определяют максимальные ожидаемые отклонения параметров элементов, которые могут быть выражены в процентах x от некоторого номинального значения σ , например в виде $x\sigma$.

Отклонения параметров элементов могут быть следствием колебаний характеристик производственных процессов, а также естественного старения. Производственный разброс параметров можно определить путем испытания больших выборок элементов (отобранных в месте их изготовления или в месте применения) на соответствие заданным пределам допусков (например, указанным в табл. 1.1). Определить отклонения, обусловленные старением, более трудно, но это можно сделать путем проведения ускоренных испытаний на долговечность и анализа результатов испытаний, а также использования накапливаемых данных о результатах эксплуатации. При правильной интерпретации имеющихся данных (гарантированные изготовителем допуски и получаемые в результате испытаний на долговечность статистические кривые, показывающие зависимость изменения номинальных величин элементов от нагрузок, обусловленных окружающими условиями, и естественного старения) конструктор может определить отклонения параметров, которые следует использовать при расчетах по методу худшего случая, если заданы допуски на элементы. При расчете по критериям худшего случая автоматически вводятся достаточно большие коэффициенты запаса, в связи с чем методики расчета с учетом худшего случая часто подвергаются справедливой критике.

Если критерии худшего случая удовлетворяются, то следует перейти к определению надежности элементов. Три указанные ниже категории данных (одна или более из которых обычно отсутствует) могут быть объединены для получения точных значений вероятности отказов элементов. (Число интегралов равно числу установленных параметров системы, а кратность каждого интеграла равна числу независимых переменных, определяющих рассматриваемый параметр системы.) Эти категории данных следующие:

1) функции, описывающие зависимость параметров узла от параметров всех элементов, условий работы и входных сигналов;

- 2) требуемые допуски для всех параметров элементов;
- 3) статистические распределения для всех параметров элементов, условий работы и входных сигналов.

Если известна интенсивность отказов для каждого элемента за время работы системы, то в качестве упрощающего варианта можно применить преобразование этих интенсивностей в интенсивность отказов системы, если она удовлетворяет критериям худшего случая. При этом интенсивности отказов всех элементов можно сложить для получения интенсивности отказов системы, которая будет больше или равна действительной интенсивности отказов. (Слово «больше» приведено здесь потому, что часто параметры элементов или входные параметры могут слегка выходить за установленные пределы допусков, не вызывая отказа системы.) Заметим, что сужение пределов допусков приводит к уменьшению разности между потенциальной интенсивностью отказов схемы, определенной как сумма интенсивностей отдельных элементов, и действительными интенсивностями отказов, которые можно ожидать.

Расчет по критериям худшего случая не обязательно приводит к чрезмерному усложнению схемы. Схемы, рассчитанные методом анализа номинальных значений параметров, макетирования и последующего испытания, которые способны выполнять заданные им функции при номинальных условиях, могут быть легко модифицированы для удовлетворения критерию худшего случая путем видоизменения их конфигурации или замены элементов. Можно удалить лишние элементы, хотя в схемах, в которых наблюдается повышение интенсивности отказов из-за перегрузки элементов, иногда требуется введение дополнительных элементов для разгрузки всех элементов схемы, ограничения избыточных напряжений или перегрузки по мощности.

Применение критериев худшего случая дает определенные преимущества инженерам, занимающимся выбором элементов и схем и разработкой всей системы, а также отражается на организации инженерно-технических служб и производства. Для инженеров, проектирующих элементы и схемы, имеют значение следующие особенности этого метода: 1) критерии худшего случая устанавливают минимальный приемлемый стандарт на стабильность параметров элементов, который четко определяется в техническом задании; 2) использование плохих схем, непроверенных или некондиционных приборов и неправильных методов разработки исключается, так как при этом критерии худшего случая не могут быть удовлетворены; 3) расчеты по критериям худшего случая сравнительно просты, так как на их последнем этапе не требуется применения статистической или нелинейной теории; 4) программирование для вычислительных машин, которые могут быть применены при расчетах различных вариантов худшего случая путем последовательного введения соответствующих пределов допусков, не вызывает особых

трудностей (подробнее этот вопрос будет рассмотрен ниже). Инженерам, разрабатывающим систему, метод худшего случая дает более точные данные о работе отдельных узлов, что позволяет обосновать принятые расчетные решения, основанные на необходимых компромиссах, и облегчает определение точности и характеристик системы.

В организации инженерных служб применение расчетов на худший случай (в котором контроль инженерных методов и процедур имеет важное значение) позволяет: 1) использовать типовые схемы и конструкции; 2) уменьшить зависимость результатов расчетов от индивидуальных способностей инженеров; 3) более эффективно использовать квалифицированных инженеров; 4) использовать малоопытных инженеров для анализа схем и конструкций отдельных узлов; 5) производить более точную оценку способностей инженеров, выполняющих анализ; 6) более точно записывать все детали расчетного анализа; 7) упростить оценку стоимости разработки новых элементов, обслуживания и потребности в обслуживающем персонале.

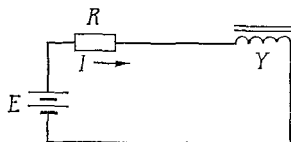
Для изготовителей аппаратуры важно, что применение расчетов на худший случай обеспечивает: 1) более тщательный анализ характеристик инженерами-разработчиками (которые будут также требовать от изготовителей больше данных о параметрах элементов) и снижение стоимости эксплуатационных испытаний и испытаний на надежность; 2) большую гарантию того, что потребители будут правильно применять приобретаемые элементы, а это приведет к совместимости условий применения элементов и требований к надежности; 3) выработку более точных и оптимальных технических условий и методов производственного контроля при участии заинтересованных служб (контроля качества, снабжения). Четко фиксируются крайние пределы допусков для параметров элементов, соответствующие худшему случаю, и, следовательно, упрощается контроль и анализ поведения системы.

Расширение пределов допусков на параметры элементов при расчете схемы равносильно допущению большей случайности в выборе этих элементов. С точки зрения термодинамики это означает увеличение энтропии схемы. Следовательно, в соответствии со вторым законом термодинамики необходимо допустить некоторое увеличение расхода энергии в схеме, так как конструктор не может примириться с тем, чтобы случайность в выборе элементов схемы отразилась на ее работе. Этот принцип иллюстрируется на фиг. 1.8, где показана обмотка реле Y , соединенная последовательно с батареей E и токоограничивающим резистором R . Для срабатывания реле ток I должен превышать пороговую величину I_T . Напряжение батареи может изменяться на $\pm d_E\%$; если считать резистор идеальным и принять, что номинальная величина его сопротивления может изменяться на $\pm d_R\%$, то сопротивление R для условий худшего слу-

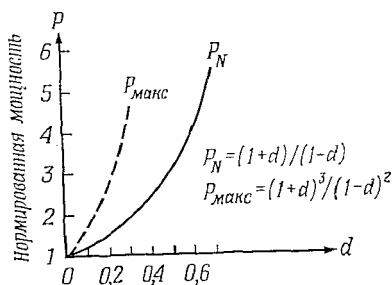
чая должно выбираться на основе следующего соотношения:

$$R < \frac{E}{I_T} \frac{1 - d_E}{1 - d_R}.$$

При максимальной эффективности номинальная величина R равна правой части этого соотношения. Если принять, что все остальные



Ф и г. 1.8. Применение принципа термодинамики.



Ф и г. 1.9. Возрастание мощности в зависимости от увеличения допусков на параметры элементов.

элементы схемы имеют номинальную величину и что реле работает при минимальном напряжении батареи и максимальном сопротивлении резистора, то рассеяние мощности в обмотке реле при установившемся режиме будет равно

$$P_N = EI_T \frac{1 - d_R}{1 - d_E}.$$

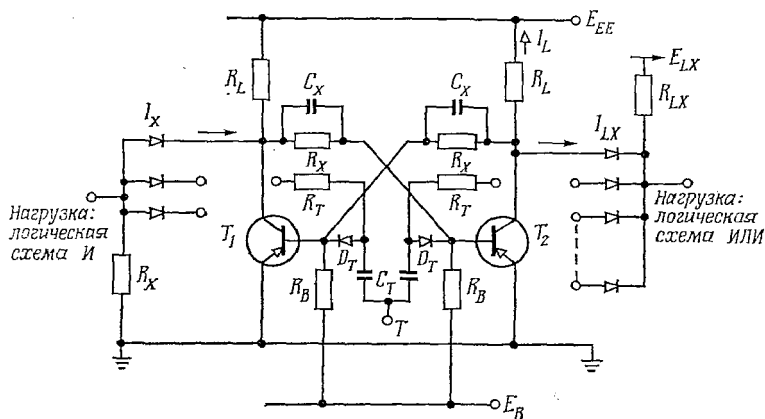
Напряжение батареи может повышаться, а сопротивление резистора — одновременно уменьшаться.

Схема должна быть рассчитана для работы при максимальном потреблении, как показано в приведенном ниже уравнении и на фиг. 1.9, где средняя мощность $P = EI_T$ представлена как функция расчетных допусков, принятых равными $d_E = d_R = d$. Максимальная мощность равна

$$P_{\text{макс}} = EI_T \frac{(1 + d_E)^2 (1 + d_R)}{(1 - d_E)(1 - d_R)}.$$

Таким образом, схема, представленная на фиг. 1.8, при расчетном допуске на изменение номинальных величин элементов, равном $\pm 20\%$, будет рассеивать на 50% большую мощность, чем при применении идеальных элементов (с нулевым допуском).

С расширением пределов допусков элементов при расчете схемы на работу с максимальной рассеиваемой мощностью быстро возра-

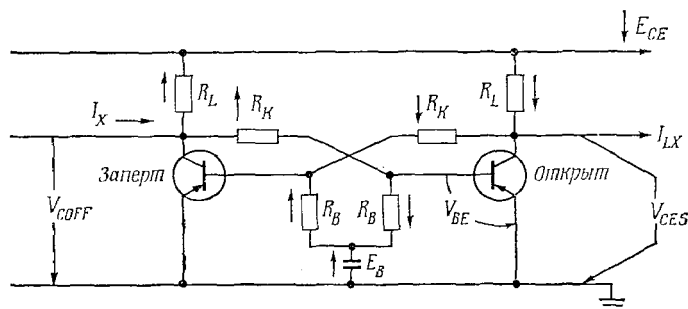


Ф и г. 1.10. Триггер для возбуждения логических схем.

стает нагрузка на источник питания. Это иллюстрируется, например, тем, что максимальная рассеиваемая мощность в условиях худшего случая при допустимом изменении величин элементов на $\pm 20\%$ может достигать 270% от ее значения при номинальных величинах элементов.

Из рассмотренного примера видно, что для предотвращения постепенных отказов в схеме требуется рассчитывать элементы на повышенную мощность. Поэтому здесь необходимы компромиссные решения. Кроме того, если мощность источников питания с неограниченной надежностью не ограничена, то в расчете могут быть приняты любые допуски элементов и постепенные отказы можно исключить полностью. Это значит, что задача обеспечения надежности при расчете на худший случай переносится с самой схемы на ее источники питания. В более сложных схемах повышение уровня мощности вследствие расширения пределов расчетных допусков приводит к увеличению числа элементов, требующихся для выполнения схемами заданных функций. Сложность самих элементов схемы не возрастает, так как принималось, что резистор R может быть выбран любой мощности. (Если номинальная мощность резистора ограничена некоторой сравнительно небольшой величиной, то необходимо взять несколько параллельно соединенных резисторов.)

На фиг. 1.10 приведена схема триггера (который должен возбуждать логические схемы ИЛИ и И вместе с тем сам запускаться при подаче на среднюю точку импульса от импульсного ключа). Это типичная схема, используемая в регистрах сдвига или в счетчиках, где каскады нагружены диодными матрицами или же диодными логическими схемами. Мощность в состоянии покоя (мощность, рассеиваемая в схеме без учета мощности нагрузки) является функцией допуска на сопротивление резисторов для различных значений коэф-



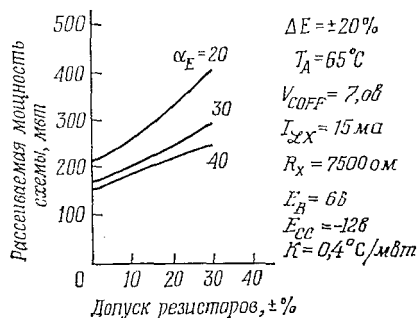
Ф и г. 1.11. Схема триггера в установившемся состоянии.

фициента усиления тока транзистора. При применении метода худшего случая к расчету триггера сначала на основе требований в отношении нагрузочной способности устанавливаются выходные напряжения и токи, а затем определяются отклонения величин элементов, при которых эти напряжения и токи уменьшаются наиболее неблагоприятно с точки зрения выполнения требований в отношении обеспечения надежного функционирования нагрузки.

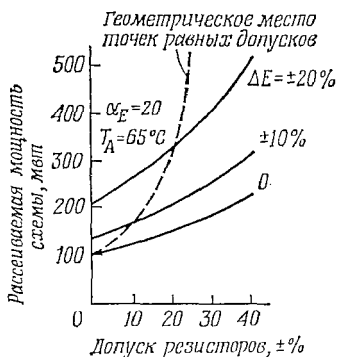
На фиг. 1.11 приведена схема замещения для установившегося состояния по постоянному току, на которой отклонения параметров каждого элемента, соответствующие худшему случаю, показаны стрелками, стоящими около резисторов и источников питания. Условия нагрузки заданы минимальным током I_{LX} для нагрузки в виде схемы ИЛИ и минимальным напряжением V_{COFF} , если нагрузкой служит схема И. Кроме того, требования в отношении стабильности связаны с допусками на сопротивление резисторов R_i , напряжение питания E_i и диапазон окружающей температуры T_A . Нужно учитывать следующие параметры транзисторов и их изменения: коэффициент усиления по току I_E , коллекторное напряжение насыщения V_{CES} , напряжение между базой и эмиттером насыщенного транзистора V_{BE} , температура перехода (в частности, максимальная допустимая температура $T_{j \text{ max}}$), коэффициент рассеяния тепла K и обратный ток коллектора I_{CBO} . Задача статического расчета состоит в определении номинальных величин сопротивлений ре-

зисторов R_L , R_B и R_E , удовлетворяющих условиям нагрузки при отклонениях параметров, соответствующих худшему случаю.

На фиг. 1.12 приведены графики изменения рассеиваемой в схеме мощности и числа элементов в зависимости от допусков на параметры элементов для конкретной схемы фиг. 1.11. На фиг. 1.13 показана зависимость между рассеиваемой мощностью и допусками на сопротивление резисторов при различных допусках на



Фиг. 1.12. Зависимость мощности в установившемся состоянии от допуска на сопротивление резисторов.



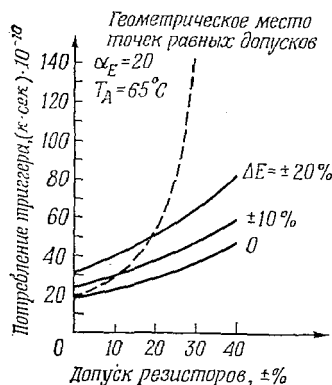
Фиг. 1.13. Зависимость мощности в установившемся состоянии от допуска на сопротивление резисторов.

напряжение питания. Пунктирная кривая представляет собой «геометрическое место точек равных допусков» и дает значения мощности, рассеиваемой в схеме при равных допусках на сопротивление резисторов и напряжение питания.

На фиг. 1.14 представлено потребление запускаемого триггера (кулон · сек) в зависимости от допуска на сопротивление резисторов для рассматриваемой схемы. Кривые показывают, какая дополнительная энергия требуется для запуска триггера вследствие повышения уровня мощности при расширении допусков на параметры. Если обратиться к кривой равных допусков на сопротивление резисторов и напряжение питания, то можно видеть, что при допуске $\pm 15\%$ нагрузка запускаемого триггера будет в два раза больше, чем при нулевом допуске. Таким образом, при расширении пределов допусков схема потребляет повышенную энергию как в статическом, так и в динамическом режиме.

Так как мощность схем, применяемых для запуска триггеров (например, мультивибратора или блокинг-генератора), ограничивается допустимой мощностью рассеяния транзисторов, то в сложных системах, очевидно, могут использоваться дополнительные запускающие схемы при расширении пределов допусков. Рассмотр-

рим, например, систему, содержащую 100 триггеров такого же типа, как на фиг. 1.10, для параллельного запуска которых требуется определенное число импульсных регенеративных схем. Триггеры образуют регистр сдвига или параллельный счетчик (с учетом допусков на сопротивление резисторов и напряжение питания). Можно видеть, что число элементов в системе может значительно возрасти при расчете на худший случай по наибольшим допускам на параметры элементов, если запускающие и логи-



Фиг. 1.14. Зависимость максимального потребления триггера от допуска на сопротивление резисторов.

ческие схемы рассматривать как единую систему. Следовательно, сложность системы (характеризующаяся количеством элементов и выбранными приемлемыми допусками на их параметры) не является независимым понятием; в значительной мере она может зависеть от того, какая степень уменьшения вероятности постепенных отказов была задана при расчете схем. Поэтому при расчете системы должны быть рассмотрены компромиссные решения. Критерии худшего случая включают следующие условия:

1. Элемент должен соответствовать всем требованиям в пределах допусков, когда все основные параметры, необходимые и достаточные для правильной работы системы (параметры элементов), а также сигнал, мощность, другие входные параметры и окружающие условия имеют величины, соответствующие худшему случаю. Эти величины не обязательно лежат на границах допусков, но влияют на рабочие параметры схемы наиболее неблагоприятно.

2. Ни один из элементов не должен подвергаться нагрузкам, большим чем предельно допускаемые для идеальных или неидеальных рабочих условий.

Метод худшего случая является аналитическим инструментом, помогающим осуществлять проектирование схем, удовлетворяющих критериям худшего случая. Он требует:

1. Установления допусков на характеристики всех основных функций, которые должна выполнять схема, на ее выходные параметры.

2. Определения условий (в первую очередь допусков, нагрузок, уровня помех и условий обслуживания), которые препятствуют выполнению схемой каждой функции в соответствии с требованиями.

3. Количественной проверки того, что схема будет удовлетворительно выполнять все функции, даже в том случае, когда все тенденции, вызывающие отказы, действуют одновременно с максимальной силой. (Если некоторые из этих тенденций будут взаимоисключающими, то каждая группа тенденций, вызывающих отказ, должна рассматриваться отдельно.)

Эффективность этого анализа зависит от точности, полноты и обоснованности, с которыми установлены допуски на характеристики и определены виды отказов. При определении основных функций должны учитываться все возможные состояния схемы. Состояние схемы определяется совокупностью напряжений и токов, для которой можно написать только одну систему матричных уравнений или составить только один сигнальный граф. Так как эта система уравнений применима только к одному состоянию схемы, то все обратные смещенные диоды должны оставаться обратнo-смещенными, реле и механические выключатели — в требуемом положении «включено» или «выключено», а транзисторы, используемые в режиме насыщения, — в режиме насыщения и т. д. для того, чтобы схема оставалась в данном состоянии. Если один или несколько элементов схемы изменят свое состояние так, что для описания схемы потребуется другая система уравнений или графов, то схема изменит свое состояние.

Схема может переходить в различные состояния, характеризующиеся определенными соотношениями сигналов на входе и выходе, которые изменяются при нарушениях работоспособности схемы. Должен быть составлен перечень всех требуемых состояний (функций) и необходимо показать, что схема будет оставаться работоспособной, несмотря на то, что значения параметров ее элементов, входной сигнал, напряжение питания и т. д. выбираются с наиболее неблагоприятными для данного состояния допусками.

Каждый расчет методом худшего случая должен быть сделан для предельных допусков на параметры элементов, схемы и окружающих условий. Следует брать верхний предел допусков, когда требуются максимальные величины параметров, и нижний предел, когда определяются их минимальные величины, за исключением тех

случаев, когда необходимо учитывать эффекты высших порядков и рассеяние мощности активными элементами схемы. В этих случаях выбирают такие величины параметров и условия в допустимых пределах, которые максимизируют расчет на максимальную величину и минимизируют расчет на минимальную величину. Во всех расчетах должны быть составлены и проверены контрольными испытаниями точные эквивалентные схемы. Если при расчете методом худшего случая окажется, что принятые значения допусков на изменение параметров являются непосредственной причиной недопустимого повышения рассеиваемой мощности или сложности схемы, следует рассмотреть вопрос об изменении (сужении) пределов допусков на величины параметров элементов.

Анализ системы часто можно упростить, если рассматривать отдельно входящие в нее подсистемы и для каждой из них определить конкретные требования к соотношению сигналов на входе и выходе и эквивалентные схемы. (Например, супергетеродинный приемник можно разделить на высокочастотный блок, блок промежуточной частоты, второй детектор, блок звуковой частоты и источники питания.) Анализ в этом случае сводится к следующему:

1. Рассмотреть технические условия на элементы в отношении их обоснованности и полноты.

2. Рассмотреть требования на функциональные испытания в реальных условиях эксплуатации или близких к ним и проверить полноту измерений соответствующих параметров.

3. Определить допуски на все параметры элементов, входные величины и окружающие условия в процессе эксплуатации, после старения и т. д. и установить допустимые нагрузки на все элементы.

4. Определить все состояния схемы в каждом из эксплуатационных режимов и состояние каждого элемента в схеме.

5. Проверить, что каждый элемент схемы будет в требуемом состоянии, и определить рабочие точки всех активных элементов для каждого состояния в условиях, соответствующих худшему случаю.

6. Определить величины и допуски для всех таких функциональных параметров, как: усиление; фазовый сдвиг; запас по фазе; устойчивость с обратной связью; контурное усиление в переходном состоянии; частота; полное сопротивление нагрузки; входное и выходное полное сопротивление; напряжение; ток; мощность; время нарастания сигнала; форма сигнала; смещение по постоянному току; баланс; шум, генерируемый в одном или нескольких элементах; пределы регулирования; устойчивость всех регулировок в зависимости от допусков, температуры, окружающих условий, старения и т. д.; уровень детектирования для порогового детектора; синхронизация; специальные логические и защитные схемы.

7. Показать, что каждый функциональный параметр в условиях худшего случая будет находиться в требуемых пределах допусков.

8. Определить эффекты, вызываемые шумами в системе, наводимыми в различных входных линиях, цепях, контурах.

9. Вычислить максимальные возможные нагрузки для каждого элемента при нормальных условиях эксплуатации или при таких ненормальных рабочих условиях, как обрыв или короткое замыкание внешней цепи, обратная связь с реактивной нагрузкой, переходные процессы при включении и выключении, ненормальная величина сигнала, повышенное напряжение питания.

10. Проверить расчет на помехоустойчивость и отсутствие взаимных связей.

11. Исследовать, какими будут нагрузки на плохо смонтированные элементы с целью выявления случаев, когда имеет место плохое рассеяние ими тепла, недостаточная изоляция их от элементов, выделяющих тепло, снижение способности выдерживать вибрации, усиление влияния внешних условий и т. п. (Рассмотреть составляющую P_p определения надежности.)

Если критерии худшего случая удовлетворяются не полностью, то сумма потенциальных интенсивностей отказов всех элементов будет меньше, равна или больше фактической интенсивности отказов системы и, следовательно, окажется неопределенной и бесполезной для характеристики фактической интенсивности отказов.

При удовлетворении критериям худшего случая возникает граничная ситуация, при которой вероятность увеличения или уменьшения интенсивности отказов одних элементов должна определяться с учетом применения усложненных схем для ограничения нагрузки других элементов. (Потенциальная вероятность отказов повышается при увеличении числа элементов.) Заключение в таких случаях основывается на учете влияния нагрузок на статистическое распределение параметров элементов, определенное в результате проведения серии статистически обоснованных испытаний.

Величины и допуски параметров всех элементов и входных сигналов в конечном счете оказывают влияние на определение величин и допусков параметров всей системы. Кроме того, каждый параметр элемента, а также сигнал, мощность и внешние входные сигналы для конкретного элемента могут быть описаны в любой момент времени статистическим распределением, по которому можно установить пределы допусков параметра. Таким образом, вероятность отказа (условие, при котором величина одного или нескольких параметров выходит за пределы допусков) уменьшается при расширении пределов допусков на параметры каждого элемента и входные сигналы, определяющие правильное функционирование схемы.

После того как установлены пределы допусков на параметры каждого элемента и входные сигналы с учетом заданной вероятности отказа системы (или подсистемы), зависимость интенсивности отказов системы от значения конкретного параметра элемента и

статистические распределения параметров элементов по периоду долговечности системы, схема должна работать в соответствии с техническими условиями при всех возможных комбинациях параметров элементов и входных сигналов в пределах допусков, иначе вероятность отказа системы будет больше заданной.

Сужение пределов допусков в расчете на худший случай является методом, который сохраняет простоту, свойственную анализу худшего случая, и вместе с тем не вызывает увеличения установленной вероятности отказов элементов. Этот метод может быть использован для определения пределов допусков параметров элементов и входных сигналов и оптимизации этих допусков.

Например, пусть допуск на параметр y , зависящий от n параметров $X_1, X_2, \dots, X_n$, представлен в форме матричных уравнений. С величинами X_i , распределение которых не обязательно нормальное, связаны стандартные отклонения $(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$, обусловленные случайным характером процесса выбора элементов из партии, а не изменением данного элемента. Если все величины X являются случайными и статистически независимыми, то стандартное отклонение σ_y параметра y может быть выражено как

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial X_i} \sigma_i \right)^2.$$

Это выражение показывает, что подстановка среднего значения $\partial y / \partial X_i$ даст точное решение. Однако для определения средних значений нужно найти ряд частных производных, каждая из которых определена при номинальных значениях X . Их вычисление оказывается очень трудоемким и сложным даже при использовании вычислительной машины.

Этот метод основан на выводе параметра p , который определяется так, чтобы удовлетворялось равенство

$$K_{\sigma_y} = \left| \frac{\partial y}{\partial X_1} \right| p K_{\sigma_1} + \left| \frac{\partial y}{\partial X_2} \right| p K_{\sigma_2} + \dots + \left| \frac{\partial y}{\partial X_n} \right| p K_{\sigma_n}.$$

Здесь K — постоянная, зависящая от вероятности отказов, обусловленных изменением допусков, и подлежащая определению. Она характеризует допустимую вероятность отказов из-за изменения допусков одного рабочего параметра в ту или другую сторону. Так, если подставить в матричные уравнения $\bar{X}_i \pm p K \sigma_i$ вместо X_i (знак « $\pm$ » выбирается в соответствии со знаком $\partial y / \partial X_i$), то вычисленное значение y будет равно его верхнему или нижнему предельному значению $\bar{y} \pm K \sigma_y$. Если эти значения допуска находятся в заданных пределах для всей схемы, то схема считается приемлемой по допускам на элементы. Вероятность того, что y выйдет за установленные пределы, при этом также удовлетворяет поставленным требованиям.

Определенный в соответствии с вышесказанным параметр p равен

$$p = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial X_i} \sigma_i \right)^2} / \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial y}{\partial X_i} \right| \sigma_i$$

и всегда находится в пределах $0 < p \leq 1$. Частные производные могут быть определены из матричных уравнений при номинальных значениях X_i . Величины σ_i могут быть определены или непосредственно, или косвенным образом из имеющихся данных об элементах. Следовательно, можно определить и числовое значение p .

Если число членов возрастает и относительный вклад каждого члена в суммарное отклонение уменьшается, то распределение y будет приближаться к нормальному независимо от распределения S_i . В этом случае вероятность P_f того, что y будет лежать вне предельных значений допусков $y \pm K\sigma_y$, получается путем интегрирования уравнения распределения:

$$P_f = \int_K^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx.$$

Зная вероятность P_f отказа из-за приближения одного из параметров к предельному значению, можно определить величину K .

Таким образом, статистическое распределение каждого параметра элемента, определяемое обычно путем испытания партии элементов при известной нагрузке в течение определенного времени и измерения изменений параметров, в общем случае зависит от предыстории элемента, от того, каким нагрузкам он подвергался ранее, особенно если использовался при предельных нагрузках, близких к усталостным или вызывающим разрушение. Воздействие на элемент нагрузки, превышающей установленный уровень, приведет к повышению вероятности отказа данного элемента. Это значит, что схемы должны быть рассчитаны так, чтобы удовлетворялись критерии худшего случая.

Можно сконструировать единичный образец, позволяющий получить необходимые рабочие характеристики аппаратуры, путем выбора оптимальных величин параметров для каждого элемента. Однако надежная аппаратура массового производства должна быть рассчитана на нормальную работу с элементами, величины параметров которых изменяются в условиях эксплуатации в установленных пределах допусков. Во многих случаях попытки рассчитать аппаратуру на работу при условии одновременного достижения параметрами всех элементов предельных допусков в направлении наибольшего отклонения от номинальных характеристик кончаются неудачей, так как даже самые лучшие и прецизионные элементы не будут иметь достаточно узких пределов допусков для обеспечения

надежной работы рассматриваемых схем. В других случаях проблема допусков может быть решена за счет такого усложнения схем, при котором общая надежность аппаратуры существенно уменьшится.

1.8. АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ

При оценке надежности конструкции, кроме интенсивностей отказов элементов, следует рассмотреть флуктуации начальных величин параметров элементов и уровней входных сигналов, чтобы обеспечить действительно надежные уровни функциональных узлов подсистем и систем. Схемы, «вполне надежные» с точки зрения отказов элементов, могут давать нежелательные выходные сигналы вследствие того, что их входные сигналы изменяются в широких пределах из-за рассеивания начальных величин параметров элементов или вследствие изменения функционального взаимодействия элементов. Эти нежелательные выходные сигналы оказывают такое же влияние на отказы системы, как и отказы отдельных схем или элементов. При оценке надежности выход уровней сигналов схем за установленные пределы рассматривается как отказ схем.

Один из методов оценки сигналов с точки зрения вероятности выхода их за установленные пределы состоит в сборке макета схемы и измерении ее выходных сигналов при отклонении величин параметров отдельных элементов в ту или другую сторону от номинального расчетного значения. Если выходной сигнал схемы достигает установленных пределов, то верхнее и нижнее значения параметров элементов фиксируются и принимаются за предельные. При номинальных значениях параметров всех элементов можно таким способом определить допустимые пределы изменения входного сигнала схемы и использовать их для нормирования выходного сигнала предшествующего каскада. Этот метод очень трудоемкий и дорогостоящий, и, кроме того, он не учитывает: 1) влияние одновременного изменения параметров двух и более элементов; 2) влияние одновременных изменений уровней входных сигналов и параметров элементов.

1.9. ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ

Эмпирический метод анализа схем, основанный на использовании статистических способов решения уравнения регрессии, описывающего выходные флуктуации как функции изменений входных сигналов и параметров, позволяет определить рабочие характеристики схемы, если известны характеристики ее элементов. При этом могут также учитываться время нарастания и спада сигнала в транзисторе, распределенная емкость, шум и другие переходные эффекты, поддающиеся измерению. Ограничивающее усло-

вие этого метода анализа состоит в том, что параметры элементов схемы должны быть линейно связаны с ее выходом. Однако это условие не является слишком строгим.

Уравнение эмпирического метода имеет следующую общую форму:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k + e,$$

где Y — исследуемая выходная характеристика;

k — число независимых переменных;

e — случайная переменная, представляющая такие факторы, как экспериментальные ошибки;

x — некоторая функция независимых переменных;

a — коэффициент, связывающий параметры элементов с Y .

Коэффициенты a в приведенном уравнении должны быть определены эмпирически. Необходимые данные для вычисления этих коэффициентов могут быть получены путем анализа схемы и многократного измерения исследуемой характеристики. Измерения параметров элементов должны производиться в совершенно другой схеме с заменой элементов перед каждым измерением. Элементы в макете схемы должны быть такого же типа, как используемые в производстве (т. е. элементы, качество которых проверено, а изменения параметров известны).

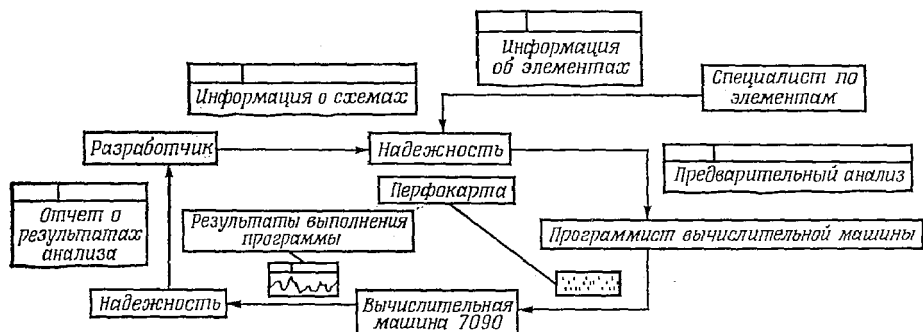
Когда коэффициенты уравнения определены, то решения уравнения при значениях входных параметров схемы, взятых в установленных для них пределах, покажут ожидаемые изменения выходного параметра. Этот метод анализа схем очень кропотливый, трудоемкий и не исключает возможности субъективных ошибок. Для устранения этих нежелательных особенностей были разработаны пять методов анализа схем с помощью цифровых вычислительных машин.

Все эти методы основаны на математическом моделировании схемы на цифровой вычислительной машине с целью определения поведения схемы при изменении параметров ее элементов за время функционирования. Анализ осуществляется путем решения уравнений схемы на вычислительной машине при методическом изменении величин параметров элементов схемы. При этом не требуется значительных объемов данных, получаемых обычно в результате испытаний больших партий электронных элементов; вполне достаточно информации, получаемой при ускоренных испытаниях небольших партий элементов. Этот аналитический прием запрограммирован в общем виде так, что он может быть применен ко многим схемам с незначительными модификациями программы. Уравнения схемы выражаются в матричной форме и используются общие подпрограммы решения матричных уравнений.

1.10. МЕТОДЫ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СХЕМ

Использование метода эквивалентных схем предполагает последовательное выполнение следующих операций (фиг. 1.15):

- 1) вычерчивание точной эквивалентной схемы;
- 2) запись уравнений схемы и выражение требований к схеме через параметры элементов;
- 3) ввод уравнений и требований к схеме, а также желаемых пределов изменений параметров элементов в общую программу для вычислительной машины;



Фиг. 1.15. Цикл анализа схем.

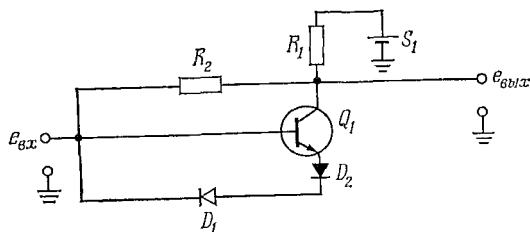
4) отладку и выполнение программы на вычислительной машине;
 5) графическое представление и анализ результатов вычислений.

Разработчик схем обычно бывает в состоянии провести весь анализ с помощью программиста и специалиста по радиоэлектронным элементам. Перечисленные операции могут изменяться в зависимости от состава группы, выполняющей расчеты. В настоящее время анализ выполняется в основном для установившегося режима (фиг. 1.16). Этот анализ не позволяет оценить поведение схемы при включении и выключении, в переходных режимах, при воздействии шума и т. п., так как соответствующие данные не могут быть представлены линейными уравнениями схемы. В дальнейшем можно учесть влияние этих факторов при экспериментальной проверке схемы.

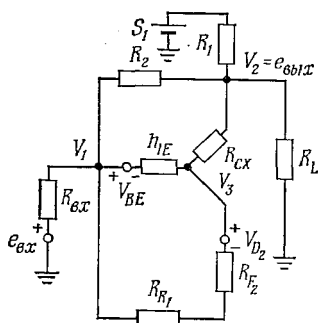
Взятая для примера схема представляет собой гипотетический однотранзисторный ключ, являющийся типичным элементом импульсных и логических схем. При положительном входном сигнале выходное напряжение схемы должно быть около 1 в. При отрицательном входном сигнале выходное напряжение будет равно S_1 вольт. В зависимости от состояния схемы транзистор Q_1 работает в насыщенном или запертом режимах. Эквивалентные схемы, приведенные на фиг. 1.17 и 1.18, представляют два возможных состоя-

ния ключа: замкнутое (при положительном входном сигнале) и разомкнутое (при отрицательном входном сигнале).

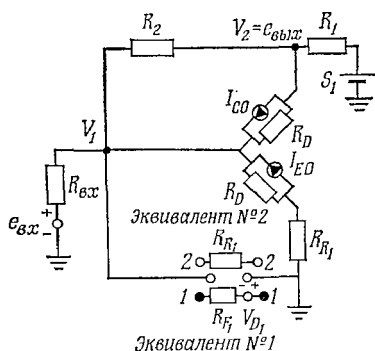
Изображенные на фиг. 1.17 и 1.18 эквивалентные схемы являются линейным представлением физических схем. Эквиваленты, использованные для Q_1 , отражают рабочий режим транзистора в



Фиг. 1.16. Логическая схема.



Фиг. 1.17. Схема ключа в замкнутом состоянии.



Фиг. 1.18. Схема ключа в разомкнутом состоянии.

конкретном состоянии схемы, т. е. положительному входному сигналу соответствует насыщение транзистора, низкое сопротивление коллектор — эмиттер и т. д.

Заметим, что диод D_1 имеет два возможных состояния: проводящее и непроводящее. Состояние, в котором он находится в любой конкретный момент времени, зависит от напряжения базы V_1 транзистора. Для учета этого обстоятельства должна использоваться специальная логика вычислительной машины. Рассмотрим сначала случай, когда диод работает на участке характеристики, лежащем выше ее «колена». Динамическое полное сопротивление в этой точке относительно невелико по сравнению с полным сопротивлением, соответствующим рабочей точке, лежащей ниже «колена» характеристики. Очевидно, что одна и та же линейная эквивалентная

схема не может соответствовать обоим случаям. Поэтому необходимо провести проверку напряжения на диоде, чтобы определить, правильный ли эквивалент диода был принят. Если проверка показывает, что величина напряжения правильная, то выполнение программы может продолжаться; если же напряжение неправильное, то следует принять новый эквивалент, изменяющий матрицу и приводящий к необходимости решения этой новой матрицы. Этот метод может быть применен к любому элементу схемы. Последовательность процедур для специальной диодной логики должна быть следующей:

- 1) Использовать эквивалент № 1 (фиг. 1.18) и решить матричные уравнения.
- 2) Проверить напряжение на диоде для определения правильности использования данного эквивалента (№ 1).
- 3) Если использован правильный эквивалент, то следует продолжить выполнение программы. В противном случае нужно использовать эквивалент № 2 (фиг. 1.18) и решить матричные уравнения.
- 4) Проверить напряжение на диоде для определения правильности использования эквивалента № 2.
- 5) Если эквивалент № 2 применен правильно, то следует продолжать выполнение программы. В противном случае нужно приостановить выполнение программы и пересмотреть выбранную эквивалентную схему.

Эквивалентная схема должна включать характеристики входов и выходов схемы и учитывать сопротивление нагрузки, входной сигнал и полное сопротивление входного генератора. После того как вычерчена эквивалентная схема, должны быть написаны и приведены к матричной форме уравнения схемы. Уравнения в матричной форме для эквивалентных схем, изображенных на фиг. 1.17 и 1.18, представлены в табл. 1.2 и 1.3.

В этом примере для записи уравнений схемы принят метод узловых напряжений, но в равной мере можно было бы использовать и метод контурных токов. Метод, позволяющий описать схему мень-

Таблица 1.2

Проводящее состояние

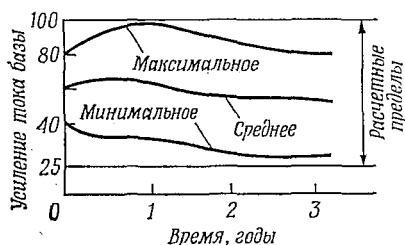
V_1	V_2	V_3	Вектор
$1/R_{BX} + 1/R_2 + 1/h_{IE} + 1/R_{RI}$	$-1/R_2$	$-1/h_{IE}$	$e_{BX} \cdot R_{BX} + V_{BE} \cdot h_{IE}$
$-1/R_2$	$1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_{CX} + 1/R_L$	$-1/R_{CX}$	S_1/R_1
$-1/h_{IE}$	$-1/R_{CX}$	$1/h_{IE} + 1/R_{CX} + 1/R_{F_2}$	$V_{D_2} \cdot R_{F_2}$

Таблица 1.3

Непроводящее состояние

V_1	V_2	Вектор
$1/R_{\text{вх}} + 1/R_2 + 1/R_D + 1/R_D + R_{R_2} +$ $+ 1/R_{F_1} \text{ (или } 1/R_{R_1})$ $- 1/R_D 1/R_2$	$-1/R_2 - 1/R_D$ $1/R_2 + 1/R_1 + 1/R_D$	$I_{EO} + I_{CO} - e_{\text{вх}}/R_{\text{вх}} -$ $-V_{D_1}/R_{F_1} \text{ (или } 0)$ $S_1/R_1 - I_{CO}$

шим числом уравнений, даст значительную экономию машинного времени при выполнении анализа. Решения уравнений схемы должны быть проверены по экспериментальным данным, полученным при испытании лабораторного макета схемы (при условии, что были проведены правильные измерения). Если при сравнении результа-



Фиг. 1.19. Пределы изменения параметров.

Примечание. Расчетные пределы должны учитывать изменения параметров.

тов измерений и решений уравнений схемы обнаруживается расхождение, то может оказаться необходимым изменение эквивалентной схемы для более точного представления физики процессов в схеме.

Для того чтобы определить, правильно ли функционирует схема, нужно выразить критерии ее отказа через параметры элементов эквивалентной схемы и результаты решения уравнений схемы. Эти критерии описывают условия, которым должна удовлетворять схема для того, чтобы уровень выходного напряжения не был ниже минимального или выше максимального допустимого уровня. Критерии отказа должны быть определены с большой тщательностью, так как они играют важную роль в логике изменения параметров, принятой для программы вычислительной машины (т. е. более строгие критерии, чем это требуется, приведут к более жестким, чем необходимо, пределам допусков, и наоборот).

Критерии отказа можно установить для любого элемента схемы, который может успешно работать только в одном из двух или большем числе устойчивых состояний (т. е. если принять, что схема

будет функционировать нормально только в том случае, когда конкретный транзистор будет работать в режиме насыщения, то можно установить критерий для тока базы или напряжения база — эмиттер данного транзистора). Если схема работает успешно в любом состоянии, в программу вычислительной машины должна быть включена специальная логика, которая изменяет матрицу. Кроме того, должны быть пересмотрены критерии отказов.

После того как определены критерии отказов схемы, в соответствии с программой вариации параметров требуется установить пределы изменения и число контрольных точек в этих пределах для каждого параметра элемента (фиг. 1.19). Хотя выбранные пределы должны быть шире допустимых пределов ухудшения для обеспечения достаточной информации для перерасчета, вместе с тем они не должны быть слишком широкими, чтобы не тратилось излишнее машинное время. Кроме того, число контрольных точек должно быть достаточным для того, чтобы можно было полно описать характеристику распределения отказов. Например, если объемный резистор в схеме (R_1 или R_2 на фиг. 1.16) имеет допустимые пределы изменения $+5\%$, -8% , а для данного анализа взяты пределы $\pm 20\%$, то при 40 точках получится шаг, равный 1% , и, следовательно, достаточная разрешающая способность (1%). Но диод в непроводящем состоянии будет иметь очень большое сопротивление (R_R на фиг. 1.17), поэтому дальнейшее увеличение этого сопротивления в процессе анализа не даст ничего нового и пределы изменений параметра этого элемента, возможно, должны быть $+0\%$, -99% .

Основным объектом анализа является исследование нагрузок, которым подвергаются элементы схемы во время работы. Уравнения изменений нагрузок, выраженные через параметры элементов и решения матриц, вводятся в вычислительную машину и решаются ею. Максимальные значения каждой нагрузки (запоминаемые машиной и выводимые на печать после завершения программы вычислений, а также в каждом случае отказа в процессе анализа) анализируются после выполнения программы, чтобы определить, не будут ли перегружаться элементы во время работы при изменении различных параметров. Например, перегрузка транзистора может быть определена при анализе мощности рассеяния на его коллекторе (фиг. 1.17)

$$P_C = (V_3 - V_2)^2 / R_{CX}$$

и тока эмиттера

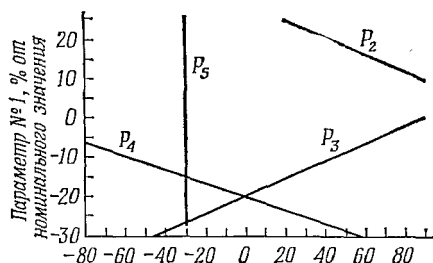
$$I_C = (V_3 - V_{D2}) / R_{F2}.$$

Когда программа вычислений выполнена, производится анализ графиков областей безотказной работы, построенных по отмеченным точкам отказов. Этот анализ выявляет следующее:

1) какие параметры являются взаимозависимыми и степень зависимости,

2) независимые допустимые пределы изменения каждого параметра.

Типичный комбинированный график областей безотказной работы, показанный на фиг. 1.20, построен по данным, полученным вычислительной машиной. Каждая линия на нем представляет отказ



Фиг. 1.20. Типичный график областей безотказной работы.

схемы, обусловленный изменением группы параметров и любого конкретного параметра. Из фиг. 1.20 следует:

- 1) параметры 2 и 4 взаимосвязаны с параметром 1;
- 2) параметр 5 не зависит от параметра 1 и вызовет отказ схемы при уменьшении его номинального значения на 30%;
- 3) параметр 1 вызовет отказ схемы (если все остальные параметры имеют номинальные значения) при уменьшении на 20%;
- 4) параметр 5 вызовет отказ схемы (при условии, что все остальные параметры имеют номинальные значения) после увеличения на 90%.

Допустимый уход параметра должен быть выбран оптимальным, зависящим от особенностей элементов и от того, как они будут вести себя в течение срока службы с учетом их взаимозависимости. Например, если для параметра 1 допускается изменение на -19% относительно номинального значения, то параметр 3 мог бы изменяться на $+70\%$, а для параметра 4 допустимое изменение составляло бы только -4% . Если же для параметра 1 допускается изменение на -17% , а для параметра 3 на $+15\%$, то допустимый предел изменения для параметра 4 будет -18% . Оптимальными точками для параметров 1 и 2 могут быть $+24\%$ и $+25\%$ соответственно.

Таблицы, подготовленные для таких графиков и содержащие пределы изменения параметров (примером является табл. 1.4), сравниваются между собой и на основе этого сравнения определяется наиболее жесткий предел для каждого параметра. Если производятся некоторые изменения для ослабления очень жестких пределов в случае взаимозависимых параметров, то потребуются пересмотр

всех графиков, чтобы убедиться в том, что эти изменения не затрагивают других пределов.

Изучение величин нагрузок вдоль линий отказов с учетом выбранных пределов изменения параметров дает возможность эффективно оценить расчет схемы. Если пределы окажутся очень узкими, может потребоваться перерасчет схемы или применение лучших элементов. В тех случаях, когда пределы несимметричны по отношению к номиналам, можно рекомендовать изменение номинальной величины параметров элементов.

Таблица 1.4

**Пределы изменения параметров
для построения графика областей
безотказной работы**

Параметр	Пределы изменения, %	
	верхний	нижний
P_1	+24	—17
P_2	+25	
P_3	+15	
P_4	...	—18
P_5	...	—30

Данные для построения графиков областей безотказной работы получаются следующим образом. Задается значение параметра 1 (зависимая переменная), а параметру 2 (независимая переменная) даются дискретные приращения. Величина этих приращений зависит от диапазона изменений и числа шагов, установленных ранее для данного параметра. Затем решается матрица и проверяются критерии отказов после каждого приращения до тех пор, пока не будет пройден весь диапазон изменения независимого параметра. Если обнаружится точка отказа схемы, то предшествующая ей точка нормального функционирования фиксируется как точка, не лежащая на линии отказов; зависимой переменной дается следующее приращение и процедура продолжается как и прежде, пока не будет охвачен весь диапазон изменения данного параметра. После этого оцениваются области возможных изменений следующего параметра, для чего вся процедура повторяется. После проверки каждого параметра таким способом относительно независимой переменной в качестве зависимой переменной берется следующий параметр с большим значением и весь процесс изменений продолжается до тех пор, пока каждый параметр не будет проверен относительно всех других параметров.

Хотя этот способ анализа схем основан на использовании комбинации хорошо известных методов, он не является исчерпывающим, так как производится одновременное изменение только двух пара-

метров. (Это является компромиссом между возможностью получения дополнительной информации и стоимостью, так как исследования показали, что одновременное изменение более чем двух параметров требует очень больших затрат времени и средств, а взаимосвязь трех и более параметров может быть определена по результатам одновременного изменения двух параметров.) Преимущество этого способа состоит в том, что он может быть применен на ранней стадии расчета, до того как будут получены статистические данные об элементах (например, распределения вероятностей отклонения параметров). Он дает проектировщику данные о допустимых пределах изменений параметров элементов схем и объективный анализ схемы, основанный на сравнении этих пределов с оценками пределов изменений параметров элементов. Однако разработаны другие методы, основанные на логике изменения параметров. В этих методах используются статистические приемы объединения данных и уравнений схемы для прогнозирования распределения функциональных параметров схемы.

1.11. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММ АНАЛИЗА СХЕМ

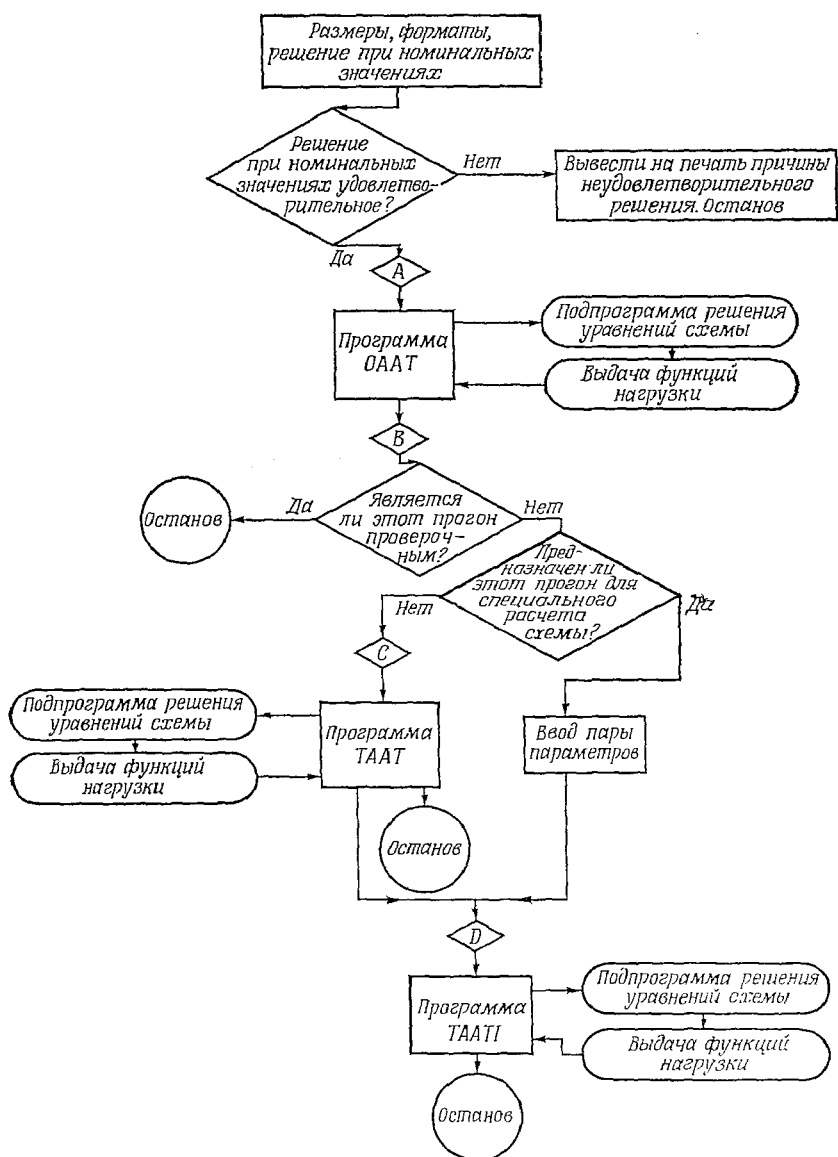
Программы анализа схем, разработанные для вычислительной машины IBM-709, подразделяются на следующие:

- 1) программа вариации одного параметра (ОААТ),
- 2) программа одновременной вариации двух параметров по предельным точкам (ТААТ),
- 3) программа одновременной вариации двух взаимозависимых параметров (ТААТИ).

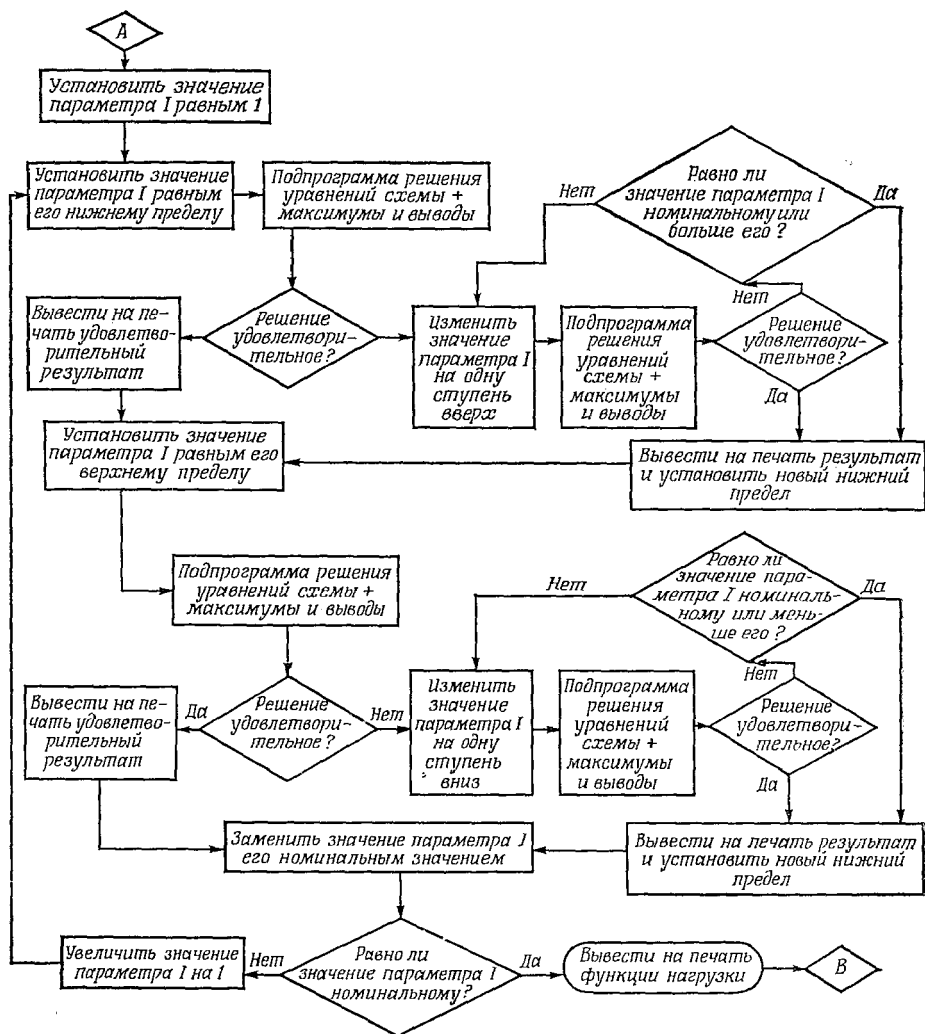
Цель программ ОААТ и ТААТ состоит в исключении всех не являющихся необходимыми изменений параметров (что дает экономию машинного времени). Программа ТААТИ определяет линии отказов для всех комбинаций параметров, не исключенных программами ОААТ и ТААТ. Каждая программа состоит из двух частей:

- 1) логика вариации параметров;
- 2) подпрограмма решения уравнений конкретной схемы.

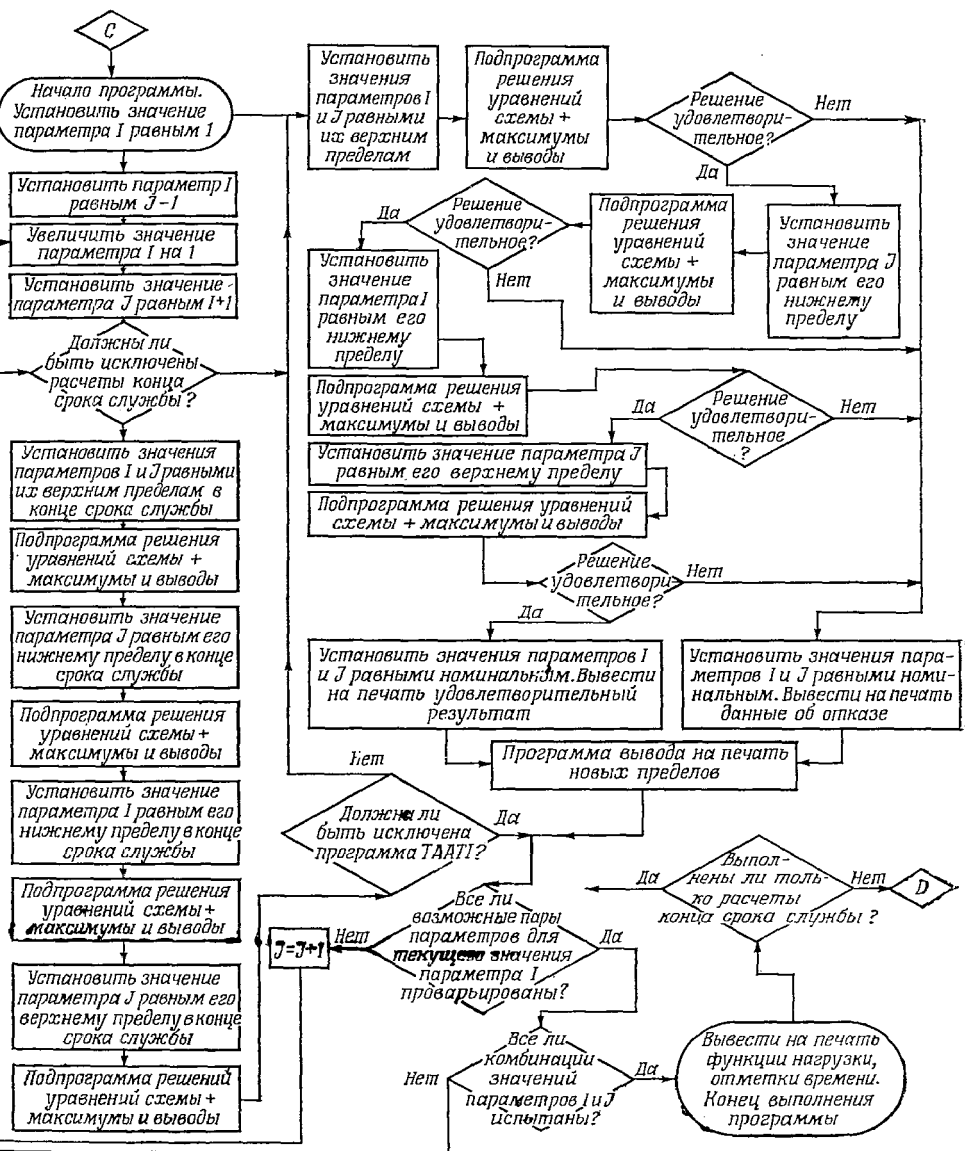
Логика вариации параметров представлена в форме стандартных подпрограмм, которые никогда не переписываются. Она систематически задает и изменяет значения одного или двух параметров одновременно, так что в любой момент не более двух параметров имеют значения, отличающиеся от номинальных. Для каждого такого набора значений параметров подпрограмма (используемая во всех трех программах) решает уравнения и оценивает полученные результаты относительно установленных критериев отказов схемы. Кроме того, вычисляются такие величины, как нагрузки по напряжению и рассеиваемая мощность, для определения комбинаций значений параметров, дающих максимальные величины этих нагрузок.



Ф и г. 1.21. Общая блок-схема программы.



Ф и г. 1.22. Программа ОААТ.



Ф и г. 1.23. Программа ТААТ.

Общая блок-схема программы (фиг. 1.21) показывает относительное положение блоков при вариации трех параметров и соединяющие их команды. (Блоки «Выдача функции нагрузки» представляют группу команд, используемых во всех трех программах.)

1.11а. Программа ОААТ (фиг. 1.22). Эта программа с логикой вариации одного параметра при номинальных значениях всех остальных параметров выполняется следующим образом:

1. Значение параметра устанавливается равным нижнему пределу. Если на печать выдается удовлетворительный результат, то совершается переход к п. 3 программы. В случае отказа выполняется п. 2.

2. Параметр изменяется ступенями от нижнего предела до номинального значения, пока не будет достигнута первая удовлетворительная точка, в которой вычислительная машина выдает на печать значение параметра.

3. Значение параметра устанавливается равным верхнему пределу. Если на печать выдается удовлетворительный результат, то совершается переход к п. 5. В случае отказа схемы выполняется п. 4 программы.

4. Значение параметра, соответствующее первой удовлетворительной точке при его изменении ступенями от верхнего предела до номинального значения, выводится на печать.

5. Эта процедура повторяется при следующем большем значении параметра, если все другие параметры не были изменены. Выполнение программы останавливается после последовательного изменения всех параметров, если это был проверочный прогон. Если же проводятся завершающие испытания разработанной схемы, то может быть начато выполнение программ ТААТ или ТААТІ.

Кроме того, при выполнении программы ОААТ печатаются новые пределы допусков; эти пределы вводятся в запоминающее устройство машины для использования в следующих программах. Таким образом формируется новый набор пределов допусков каждого параметра. Некоторые из этих пределов будут такими же, как заданные программой вариации параметров.

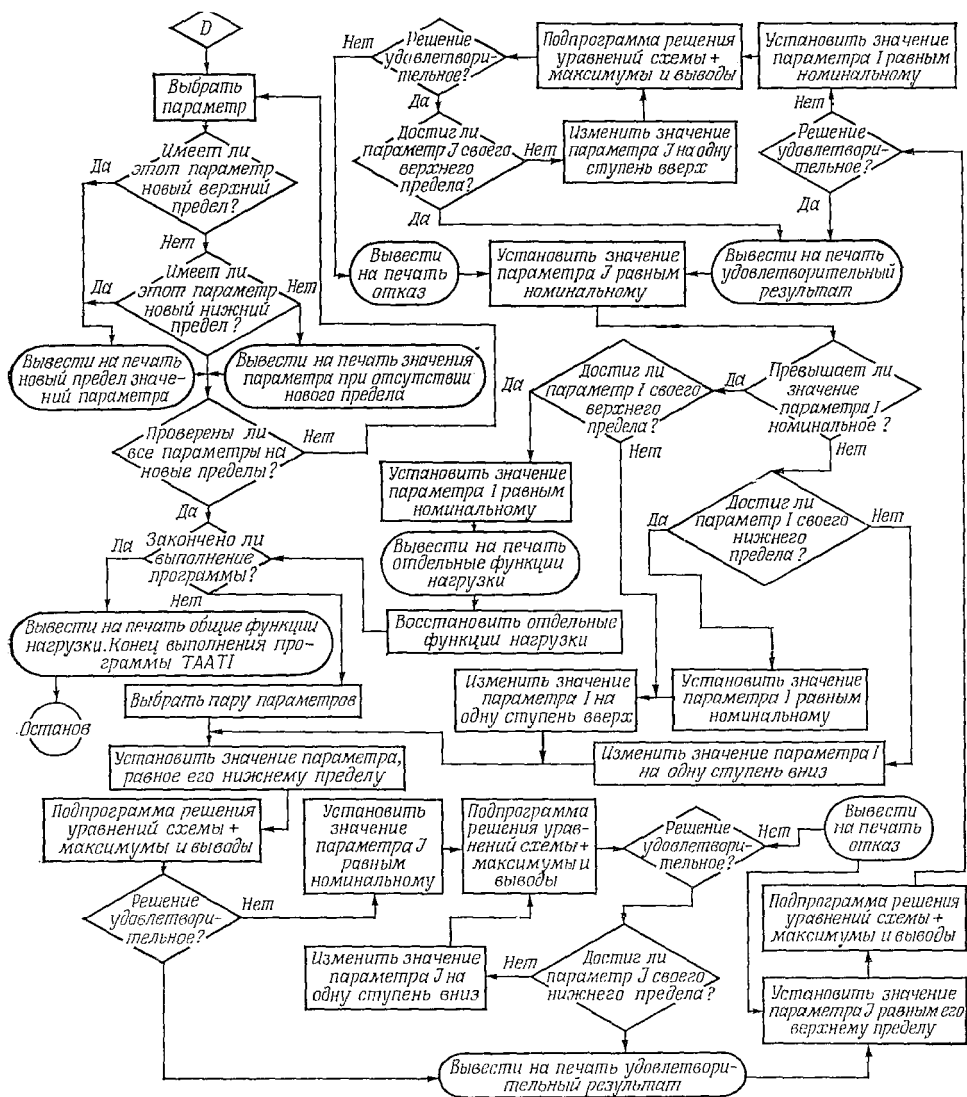
1.11б. Программа ТААТ (фиг. 1.23). Программа ТААТ с логикой одновременной вариации двух параметров предназначена для вычисления предельных функций нагрузки в конце срока службы для каждой пары параметров, выдаваемых непосредственно для программы ТААТІ (фиг. 1.24). Используя при необходимости новые пределы, определенные по программе ОААТ, программа ТААТ проверяет каждую пару параметров в четырех предельных точках. При отказе в одной или более из этих точек параметр отмечается как взаимозависимый. (Нормальное состояние или отказ, а также тип отказа будут указаны в выводимых на печать результатах.) Хотя при использовании этого метода вариации параметров вычисляются также функции нагрузки в конце срока службы, точки, которые бу-

дуг использованы, определяются по данным о верхнем значении ухода параметров элементов в конце срока службы. Вычисления для конца срока службы или проверка параметров в четырех точках могут быть исключены.

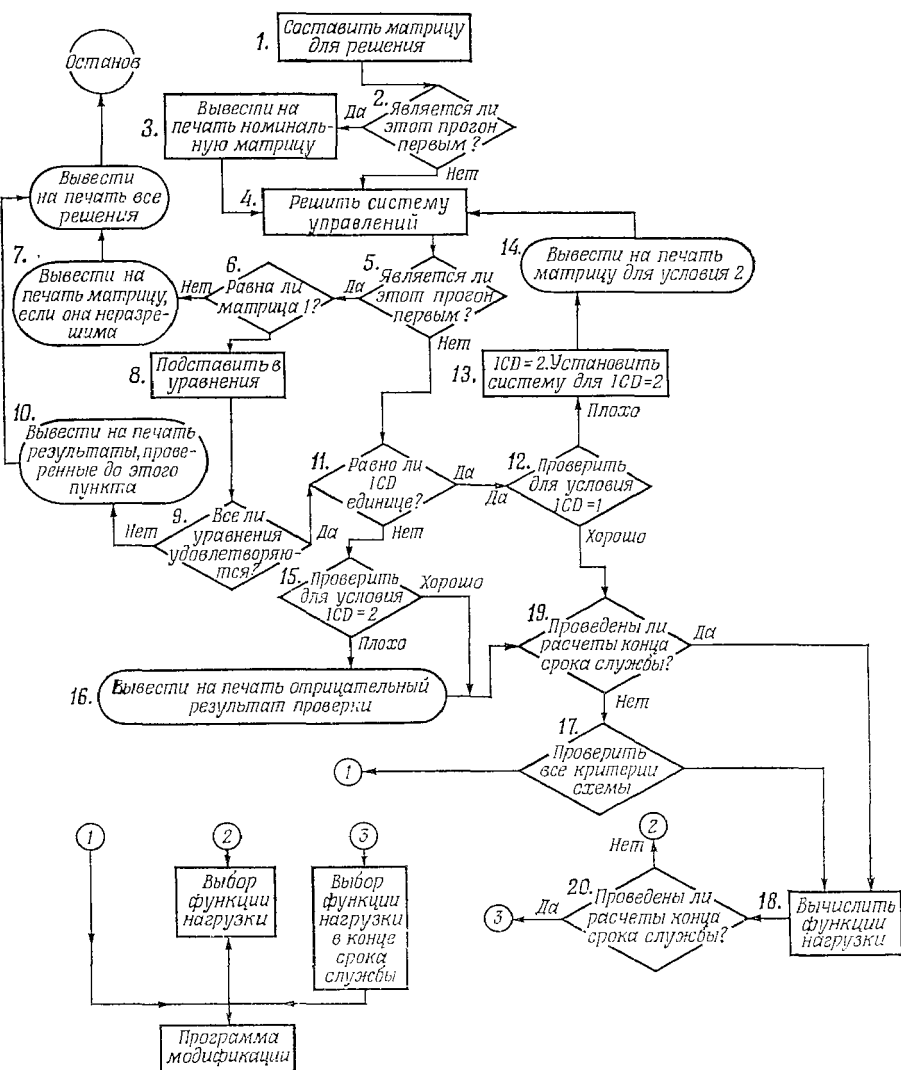
1.11в. Программа ТААТИ. Эта программа (фиг. 1.24) предусматривает одновременную вариацию двух из всех независимых параметров, определенных программой ТААТ. По программе ТААТ схема проверяется для каждой пары параметров (I и J), причем параметру J придаются минимальное и максимальное значения, а параметр I имеет номинальное значение. (Эти значения устанавливаются по входным данным или по программе ОААТ.) В программе ТААТИ логика изменяет параметр J , как и ранее, и уменьшает значение параметра I на одну ступень, пока он не достигнет своего минимального значения. В этой точке параметру I придается значение на одну ступень выше номинального и начинается процесс изменения параметра J . Если при этом изменении возникает отказ, логика возвращает параметр J к его номинальному значению и затем изменяет ступенями до предела, при котором была достигнута точка отказа. При этом вычислительная машина выдает на печать значения обоих параметров, выраженные в процентах от номинального, и информацию о типе отказа. Если во время этой проверки отказов не обнаружено, на печать выводятся координаты точек, успешно прошедших испытания. После того как проварьированы все пары параметров, вычислительная машина печатает максимальные функции нагрузки, полученные при вариации параметров.

Подпрограмма решения уравнений схемы, использующая уравнения, записанные в матричной форме, представляет собой замкнутую подпрограмму (с фиксированными входом и выходом). Она решает линейную систему уравнений, представляющих эквивалентную схему, проверяет полученные решения по критериям, заданным для данной схемы, и оценивает функции нагрузки. Хотя установлено, что стандартная программа обработки имеет преимущества в смысле затрат машинного времени, все же каждая подпрограмма решения уравнений схемы обладает определенными особенностями, которые должны быть учтены. Ниже подробно описана блок-схема подпрограммы решения уравнений (фиг. 1.25).

1. Если система уравнений должна быть решена для данной области A неоднократно, т. е. если матрица содержит более одного условия, то должны быть оценены коэффициенты матрицы и элементы векторов-столбцов. Это приводит к необходимости поместить вновь созданную матрицу в зону временной памяти и принять $ICD=I$. Полученные решения и функции нагрузки нужно подставить в предыдущие решения и функции нагрузки по мощности и поместить в зону памяти.



Ф и г. 1.24. Программа ТААТИ.



Фиг. 1.25. Типичная подпрограмма решения уравнений схемы.

2. Если это первый прогон подпрограммы, перейти к блоку 3 (блок 1 не даст нулевого результата). Перейти к блоку 4, если это не первый прогон.

3. Осуществляется выбор максимумов и минимумов; номинальная матрица и векторы-столбцы выводятся на печать.

4. Производится решение системы уравнений.

5. Проводится следующая проверка, чтобы определить, является ли данный прогон подпрограммы первым.

6. Если это первый прогон подпрограммы, то проводится проверка с целью определения, является ли программа обработки единственной, перегруженной или решение было выполнено правильно.

7. Машина печатает «матрица не разрешима».

8, 9. Решения подставляются в уравнения для проверки, удовлетворяется ли условие допуска $\pm 0,01$.

10. Если любое из уравнений не удовлетворяется, машина печатает «решения не выдержали проверки при подстановке», а также правильное решение.

11. Блоки с 11 до 15 составлены для двух условий. Если имеется более двух условий, блок-схема подпрограммы должна быть расширена. Если же система уравнений содержит только одно условие, эти блоки исключаются.

12. Если проверка показала, что условие 1 удовлетворяется, осуществляется переход из области проверки выполнения условий (блоки 11—15):

13. Если условие 1 не удовлетворяется, составляется матрица для условия 2.

14. Машина печатает, что условие 1 не выполняется.

15. Проверкой определяется, удовлетворяется ли условие 2.

16. Когда отпечатанные выходные данные показывают, что условия 1 и 2 не удовлетворяются, продолжается проверка схемы.

17. Если во время одной из проверок схемы (каждая из которых обозначена определенным номером) получается отказ, он отмечается соответствующим номером и осуществляется переход к программе вывода.

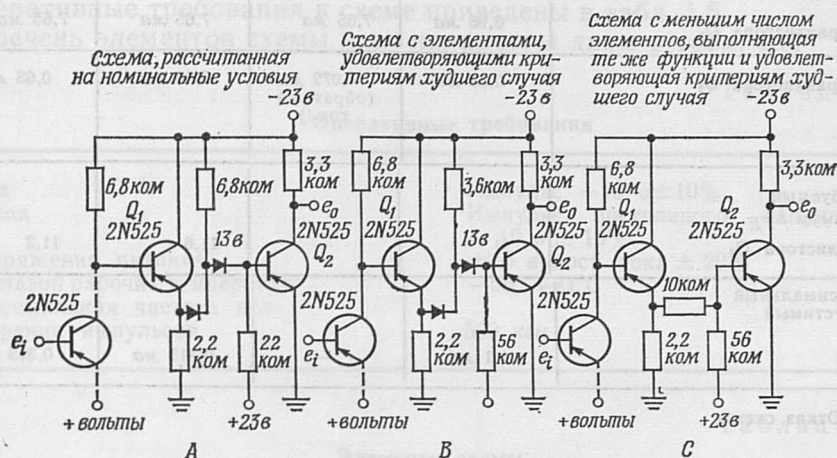
18. Если все проверки прошли удовлетворительно, вычисляются функции нагрузок.

19. Если должны быть произведены расчеты конца срока службы, то критерии отказа схемы не принимаются во внимание.

20. Направление вывода окончательных данных зависит от того, производились или нет расчеты срока службы.

На фиг. 1.26 представлены три варианта схемы усилителя, обычно применяемого для преобразования синусоидальных входных колебаний в выходные колебания прямоугольной формы, а также принятые пределы изменения параметров (типичные для элементов, применяемых в настоящее время в военной аппаратуре, а также в

аппаратуре, рассчитанной на длительное хранение) и полученные результаты расчета. Схема А рассчитана только на номинальные условия и не удовлетворяет критериям худшего случая; схема В



Ф и г. 1.26. Схема усилителя.

Пределы допусков на параметры элементов (к фиг. 1.26)

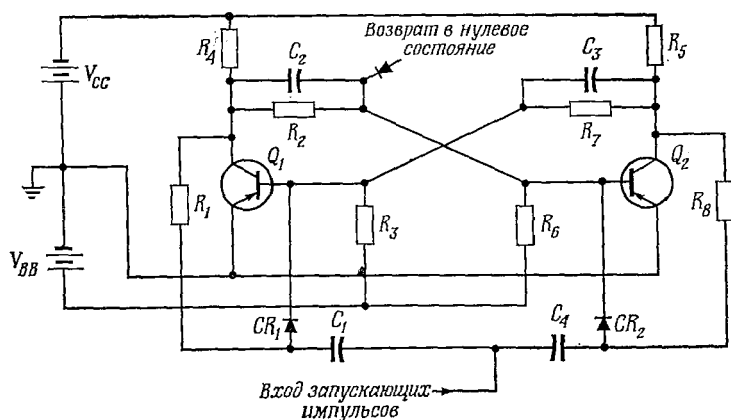
Параметры	Минимум	Максимум
Источники питания $\pm 23 \text{ в} \pm 1\%$	22,77 в	23,23 в
Резисторы	— 20% от номинальной величины	+ 20% от номинальной величины
Стабилитрон 13 в	12 в	14 в
Прямое падение напряжения на диоде	0	1 в
Транзисторы 2N525		
h_{FE}	17	
I_{CO}	0	300 мка
V_{BE}	0	1 в

Вычисленные параметры схемы (к фиг. 1.26)

Параметр	Схема А (номинальный вариант)	Схема А (худший случай)	Схема В (худший случай)	Схема С (худший случай)
I_C транзистора Q_2	6,96 <i>ма</i>	7,65 <i>ма</i>	7,65 <i>ма</i>	7,65 <i>ма</i>
I_B транзистора Q_2	0,33 <i>ма</i>	0,072 <i>ма</i> (обратный ток ¹)	0,66 <i>ма</i>	0,68 <i>ма</i>
Требуемый минимум h_{FE} транзистора Q_2	21	—	11,6	11,2
Максимальный допустимый ток I_{CO}	1,1 <i>ма</i>	—	0,313 <i>ма</i>	0,313 <i>ма</i>

¹ Отказ схемы.

имеет такую же конфигурацию, что и схема А, но величины параметров ее элементов выбраны по критериям худшего случая (заметьте, что в схему не введено ни одного дополнительного элемента); в варианте С схемы использовано меньшее число элементов, и тем не менее она удовлетворяет критериям худшего случая. Применение варианта А схемы приводит к большому числу отказов вследствие того, что элементы работают в граничных условиях, варианты В и С схемы устраняют эту проблему.



Фиг. 1.27. Мультивибратор с двумя устойчивыми состояниями.

1.12. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ

В данном разделе определяется надежность схемы стандартного мультивибратора с двумя устойчивыми состояниями (фиг. 1.27). Оперативные требования к схеме приведены в табл. 1.5. Перечень элементов схемы и их параметры даны в табл. 1.6.

Таблица 1.5

Оперативные требования

Вход	Импульс $+10 \text{ в} \pm 10\%$
Выход	Импульс постоянного напряжения $-10 \text{ в} \pm 10\%$
Напряжения питания	$\pm 10 \text{ в}$ пост. тока $\pm 20\%$
Диапазон рабочих температур	$-55, +71^\circ\text{C}$
Максимальная частота повторения импульсов	500 кГц

Таблица 1.6

Элементы схемы

Q_1, Q_2 — германиевые транзисторы типа 2N396
C_1, C_4 — конденсаторы емкостью 1000 пф
C_2, C_3 — конденсаторы емкостью 330 пф
CR_1, CR_2 — диоды типа 1N626
R_1, R_8 — композиционные резисторы на 0,5 Вт сопротивлением 10 ком $\pm 5\%$
R_2, R_7 — композиционные резисторы на 0,5 Вт сопротивлением 12 ком $\pm 5\%$
R_3, R_6 — композиционные резисторы на 0,5 Вт сопротивлением 47 ком $\pm 5\%$
R_4, R_5 — композиционные резисторы на 0,5 Вт сопротивлением 22 ком $\pm 5\%$

Чтобы работать в соответствии с заданными требованиями, мультивибратор должен удовлетворять нескольким условиям.

1. Один транзистор находится в проводящем состоянии (режим насыщения), а второй заперт (P_1).

2. Задан выходной уровень (P_2).

3. Запускающий сигнал вызывает переход схемы из одного устойчивого состояния в другое (проводящий транзистор запирается, а запертый переходит в режим насыщения) (P_3).

4. Мультивибратор работает с заданной частотой (P_4).

Схема работает в соответствии с заданными требованиями только тогда, когда выполняются все перечисленные выше условия. Если принять, что эти условия не зависят одно от другого, то на-

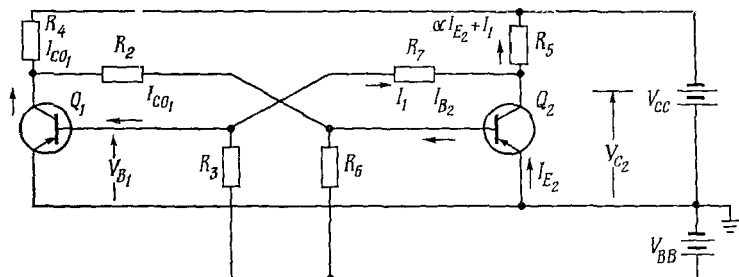
дежность схемы P_D будет равна произведению вероятностей выполнения каждого условия

$$P_D = P_1 P_2 P_3 P_4. \quad (1.1)$$

Сделаем следующие допущения:

1. Изменения параметров элементов, вызванные изменениями температуры, не являются постоянными.

2. Изменениями параметров элементов, вызываемыми старением, можно пренебречь.



Фиг. 1.28. Схема мультивибратора в статическом состоянии.

3. Заданные допуски на параметры элементов заключены в пределах 3σ при нормальном распределении.

4. Допуск, выраженный в процентах, должен быть постоянным, т. е. не зависимым от влияния температуры на величину параметра.

1.12а. Уравнения, соответствующие реализации отдельных рабочих условий. На фиг. 1.28 представлена схема мультивибратора в статическом состоянии. Для этой схемы можно написать следующие соотношения между параметрами:

$$I_{E_1} = \alpha I_{E_2} + I_{B_1}, \quad (1.2)$$

$$(I_1 + I_{CQ1})R_3 + I_1 R_7 + (I_1 + \alpha I_{E_2})R_5 = V_{BB} + V_{CC}, \quad (1.3)$$

$$I_{B_2} R_2 + (I_{B_2} + I_{CQ1})R_4 = V_{CC}. \quad (1.4)$$

Как можно видеть, было сделано допущение, что транзистор Q_2 находится в состоянии насыщения, а транзистор Q_1 заперт током базы транзистора Q_2 . Из формулы (1.4)

$$I_{B_2} = (V_{CC} - R_4 I_{CQ1}) / (R_2 + R_4). \quad (1.5)$$

Из соотношения (1.2)

$$I_{E_2} = \frac{I_{B_2}}{1 - \alpha}.$$

Подстановка I_{B_2} из формулы (1.5) дает

$$I_{E_2} = (V_{CC} - R_4 I_{CO_1}) / (1 - \alpha)(R_2 + R_4). \quad (1.6)$$

Подставляя выражение (1.6) для I_{E_2} в (1.3) и решая относительно I_1 , получаем

$$(R_3 + R_5 + R_7)I_1 + R_3 I_{CO_1} + \frac{\alpha R_5}{1 - \alpha} \frac{V_{CC} - R_4 I_{CO_1}}{R_2 + R_4} = V_{BB} + V_{CC},$$

$$I_1 = \frac{V_{BB} + V_{CC} \left[1 - \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_5}{R_2 + R_4} \right] \left[R_3 - \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_4 R_5}{R_2 + R_4} \right] I_{CO_1}}{R_3 + R_5 + R_7}. \quad (1.7)$$

Условие 1. Для того чтобы был обеспечен режим насыщения транзистора Q_2 , напряжение на его коллекторе должно быть равно напряжению на эмиттере или положительно относительно него. Таким образом, $V_{C_2} \geq 0$, так как эмиттер транзистора Q_2 находится под потенциалом земли и

$$V_{C_2} = (\alpha I_{E_2} + I_1)R_5 - V_{CC}. \quad (1.8)$$

Подставим вместо I_{E_2} и I_1 их значения из формул (1.6) и (1.7) соответственно:

$$V_{C_2} = \frac{\alpha R_5}{1 - \alpha} \frac{V_{CC} - R_4 I_{CO_1}}{R_2 + R_4} +$$

$$+ R_5 \frac{\left\{ V_{BB} + V_{CC} \left[1 - \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_5}{R_2 + R_4} \right] - \left[R_3 - \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_4 R_5}{R_2 + R_4} \right] I_{CO_1} \right\}}{R_3 + R_5 + R_7} - V_{CC},$$

$$V_{C_2} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \left[\frac{R_5(R_3 + R_7)}{(R_2 + R_4)(R_3 + R_5 + R_7)} \right] (V_{CC} - R_4 I_{CO_1}) +$$

$$+ \frac{R_5}{R_3 + R_5 + R_7} V_{BB} - \frac{R_3 + R_7}{R_3 + R_5 + R_7} V_{CC} - \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5 + R_7} I_{CO_1} \geq 0.$$

Из приведенных ранее соотношений следует

$$\frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta \geq \frac{R_2 + R_4}{R_5} \frac{V_{CC} - \frac{R_5}{R_3 + R_7} V_{BB} + \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_7} I_{CO_1}}{V_{CC} - R_4 I_{CO_1}}. \quad (1.9)$$

Чтобы транзистор Q_1 был заперт, его база должна иметь положительный потенциал относительно его эмиттера.

Следовательно,

$$V_{B_1} > 0, \quad (1.10)$$

так как эмиттер транзистора Q_1 имеет потенциал земли.
Но

$$V_{B_1} = V_{BB} - (I_1 + I_{CO_1})R_3. \quad (1.11)$$

Подстановка значения I_1 из (1.7) дает

$$V_{B_1} = V_{BB} - I_{CO_1} R_3 - \\ - R_3 \frac{V_{BB} + V_{CC} \left[1 - \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_5}{R_2 + R_4} \right] - \left[R_3 - \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_4 R_5}{R_2 + R_4} \right] I_{CO_1}}{R_3 + R_5 + R_7}, \quad (1.12)$$

$$V_{B_1} = \frac{R_5 + R_7}{R_3 + R_5 + R_7} V_{BB} - \frac{(R_5 + R_7) R_3}{R_3 + R_5 + R_7} I_{CO_1} - \\ - \frac{R_3}{R_3 + R_5 + R_7} V_{CC} + \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{R_5 R_3}{R_2 + R_4} \frac{V_{CC} - R_4 I_{CO_1}}{R_3 + R_5 + R_7} > 0. \quad (1.13)$$

Отсюда получаем

$$\frac{\alpha}{1 - \alpha} = \beta > \frac{R_2 + R_4}{R_5} \frac{V_{CC} - \frac{R_5 + R_7}{R_3} V_{BB} + (R_5 + R_7) I_{CO_1}}{V_{CC} - R_4 I_{CO_1}}. \quad (1.14)$$

Сравнивая выражения (1.9) и (1.14), можно видеть, что правая часть (1.9) больше, чем правая часть (1.14); следовательно, для выполнения условия 1 должно удовлетворяться соотношение (1.9).

Условие 2. Для выполнения этого условия выходное напряжение должно находиться в установленных пределах

$$E_{\text{вых. макс}} > V_{CC} - R_5 (I_{B_1} + I_{CO_2}) > E_{\text{вых. мин}}, \quad (1.15)$$

когда транзистор Q_2 заперт. Так как

$$I_{B_1} = (V_{CC} - R_5 I_{CO_2}) / (R_5 + R_7),$$

когда транзистор Q_1 в режиме насыщения, а транзистор Q_2 заперт, то

$$E_{\text{вых. макс}} > V_{CC} - R_5 V_{CC} / (R_5 + R_7) + R_5^2 / (R_5 + R_7) - R_5 I_{CO_2} > E_{\text{вых. мин}}. \quad (1.16)$$

Для выполнения условия 2 должно удовлетворяться неравенство (1.16).

Условие 3. Требования к входному импульсу состоят в четком изменении состояния насыщенного транзистора. Эти изменения создает конденсатор запуска, который должен перезарядиться входным импульсом в течение оставшегося времени цикла.

Заряд, который должен быть снят, приблизительно равен

$$Q \simeq \frac{i_{CM}}{W_{ab}}, \quad (1.17)$$

где i_{CM} — максимальный коллекторный ток насыщенного транзистора, W_{ab} — угловая частота отсечки транзистора.

Конденсатор запуска получает заряд

$$q_C = C_4 V_{C_4} = C_4 E_T (1 - e^{-t_i / C_4 R_s}), \quad (1.18)$$

где E_T — амплитуда пускового импульса, t — длительность пускового импульса, а $1/2T$ принято равным 1 мксек. Следовательно, для выполнения условия 3 должно удовлетворяться неравенство

$$i_{CM}/W_{ab} < C_4 E_T (1 - e^{-T/2C_4 R_4}). \quad (1.19)$$

Условие 4. Максимальная рабочая частота мультивибратора на транзисторах равна приблизительно

$$f_{\max} \approx f_{ab}/\beta^{1/2}, \quad (1.20)$$

где f_{ab} — частота отсечки схемы с общей базой, β — коэффициент усиления тока в схеме с общим эмиттером (на низкой частоте). Этим определяется требование к внешней схеме. Так как C_2 и C_4 должны разряжаться за половину периода при установленной частоте повторения импульсов, то

$$C_2 R_2 \text{ и } C_3 R_7 < \frac{1}{2} T = 1 \text{ мксек}. \quad (1.21)$$

Таким образом, для выполнения условия 4 должны удовлетворяться соотношения (1.20) и (1.21).

1.126. Вычисления. Условие 1. Подстановка номинальных значений параметров в (1.9) дает

$$\beta \geq \frac{12\,000 + 22\,000}{22\,000} \frac{10 - \frac{22\,000}{12\,000 + 47\,000} \cdot 10 + \frac{47 \cdot 22 \cdot 10^6}{10^3(12 + 47)} 2,5 \cdot 10^{-6}}{10 - 22\,000 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}},$$

$$\beta \geq \frac{34}{22} \frac{10 - \frac{220}{59} + \frac{2,5 \cdot 22 \cdot 47}{59 \cdot 10^3}}{10 - 0,22 \cdot 0,25} \geq 1,55 \frac{10 - 3,73 + 0,044}{10 - 0,055}, \quad (1.22)$$

$$\beta > 0,9.$$

Так как минимальное значение β , даваемое изготовителем, равно 15 (т. е. значительно больше 0,9), то нужно сделать расчет для худшего случая. Если и при этом неравенство удовлетворяется, то вероятность P_1 будет приблизительно равна 1.

Для худшего случая при комнатной температуре должно выполняться следующее условие:

$$\beta > \frac{10^3 \cdot 1,05 \cdot 34}{10^3 \cdot 0,95 \cdot 22} \frac{10 \cdot 1,2 - \frac{22 \cdot 10^3 \cdot 0,95}{59 \cdot 10^3 \cdot 1,05} \cdot 10 \cdot 0,8 + \frac{47 \cdot 22 \cdot 1,05^2 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{10^3(12 \cdot 0,95 + 47 \cdot 1,05)}}{10 \cdot 1,2 - 22 \cdot 1,05 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3} >$$

$$> 1,55 \cdot 1,11 \frac{12 - 3,73 \cdot 0,9 \cdot 0,8 + \frac{1 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 30}{61 \cdot 1000} \cdot 6}{12 - 0,132 \cdot 1,05} = 1,37. \quad (1.23)$$

Таким образом, $\beta = 15$ ($> 1,37$) удовлетворяет поставленному условию при комнатной температуре в худшем случае.

Следующее условие определяет β при $+71^\circ\text{C}$:

$$I_{CO} = 120 \text{ мкА},$$

$$\beta_{71^\circ\text{C}} \approx 15 \cdot 1,1 \approx 16,5. \quad (1.24)$$

Пределы изменения сопротивлений резисторов равны $+24\%$, -15% .

$$\beta > 1,55 \cdot 1,11 \cdot 1,24 \frac{12 - 3,73 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot \frac{0,85}{1,24} + \frac{1,11 \cdot 10,30 \cdot 1,24 \cdot 10^6}{10^3(12 \cdot 0,8 + 47 \cdot 1,29)} \cdot 120 \cdot 10^{-6}}{12 - 22 \cdot 1,29 \cdot 120 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}}$$

$$\beta > 2,13 \cdot \frac{12 - 1,84 + 2,44}{12 - 3,4} = 3,4. \quad (1.25)$$

Следовательно, $\beta_{71^\circ\text{C}} = 16,5 (> 3,4)$ удовлетворяет худшему случаю при высокой температуре.

Худшему случаю при температуре -55°C соответствуют следующие условия:

$$I_{CO} = 0; \quad \beta_{-55^\circ\text{C}} = 15 \cdot 0,165 = 9,7; \quad \beta = 2,13 \cdot \frac{12 - 1,84}{12} = 1,8.$$

Таким образом, если $\beta_{-55^\circ\text{C}} = 9,7 (> 1,8)$, то выполняется условие худшего случая при -55°C . Следовательно, для условия 1 неравенство удовлетворяется при изменениях параметров в худшем случае и надежность для этого случая равна $P_4 \approx 1$.

Условие 2. Подставляем номинальные значения параметров в соотношение (1.16):

$$E_{\text{вых. макс}} > \left(\frac{12\,000}{22\,000} + 12\,000 \right) (10 - 22 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}) > E_{\text{вых. мин}},$$

$$E_{\text{вых. макс}} > 3,53(10 - 0,055) > E_{\text{вых. мин}},$$

$$E_{\text{вых. макс}} > 3,5 > E_{\text{вых. мин}}. \quad (1.26)$$

Условие 3. Для выполнения условия 3 должно удовлетворяться соотношение (1.19). Подстановка номинальных значений величин, входящих в это соотношение, дает

$$\frac{10/22\,000}{2\pi \cdot 8 \cdot 10^6} < 1000 \cdot 10^{-12} \cdot 10(1 - e^{-10^{-3} \cdot 10^3 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}),$$

$$\frac{10^{-9}}{110} = 9 \cdot 10^{-12} < 10^{-8}(1 - 0,9),$$

$$9 < 1000. \quad (1.27)$$

Это неравенство заведомо удовлетворяется и, следовательно, справедливо для худшего случая изменения параметров. Таким образом, $P_3 \approx 1$.

Условие 4. В этом случае должны удовлетворяться соотношения (1.20) и (1.21). Подстановка номинальных значений параметров дает

$$f_{\text{ном}} < 8 \cdot \frac{10^6}{95^{1/2}} = 0,822 \text{ МГц.} \quad (1.28)$$

Подставляя значения для худшего случая, получаем

$$f_{\text{ном}} < \frac{5 \text{ МГц}}{(150 \cdot 1,2)^2} = 0,373 \text{ МГц.} \quad (1.29)$$

Частота мультивибратора $f_{\text{ном}}$ должна равняться 0,5 МГц, следовательно, условие худшего случая не удовлетворяется и нужно рассчитать, при каком отклонении оно будет удовлетворяться.

$$f_{ab} = 8 \pm 3 \text{ МГц,} \quad \tau_{fab} = 1 \text{ МГц,} \\ \beta = 95 \pm 85, \quad \tau_\beta = 85/3 = 28,3,$$

$$\sigma_{f_{\text{макс}}} = \sqrt{\left(\frac{\partial f_{\text{макс}}}{\partial f_{ab}}\right)^2 \sigma_{fab}^2 + \left(\frac{\partial f_{\text{макс}}}{\partial \beta}\right)^2 \sigma_\beta^2} = \sqrt{\frac{1}{95} + \frac{8^2}{4 \cdot 95^3 \cdot 28,3^2}} = \\ = \sqrt{0,0105 + 0,015} = \sqrt{0,0255} = 0,16 \text{ МГц,} \quad (1.30)$$

$$\frac{f_{\text{макс}} - f_{\text{ном}}}{\sigma_{f_{\text{макс}}}} = \frac{0,822 - 0,5}{0,16} = 2. \quad (1.31)$$

Следовательно, при отклонении от номинального значения, равном 2 σ , неравенство будет удовлетворяться. Надежность будет равняться площади, ограниченной кривой нормального распределения справа от предела — 2 σ :

$$P_{41} = A_{n_{2\sigma}} + \frac{1 - A_{n_{2\sigma}}}{2} = 0,9545 + \frac{0,0455}{2} = 0,9545 + 0,02275 = 0,9772. \quad (1.32)$$

Величины $C_2 R_2$ и $C_3 R_7$ также должны быть меньше $1/2 T$ (1 мксек). Подстановка номинальных значений дает

$$330 \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 10^{-12} = 3,95 \text{ мксек.}$$

Следовательно, неравенство не удовлетворяется. Поэтому

$$P_{42} = 0 \text{ и } P_4 = P_{41} \cdot P_{42} = 0,9768 \cdot 0 = 0. \quad (1.33)$$

Расчетная надежность данного мультивибратора равна

$$P_1 = P_1 P_2 P_3 P_4 = 1 \cdot 0 \cdot 1 \cdot 0 = 0. \quad (1.34)$$

1.13. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше было показано, что постепенные отказы могут быть практически исключены при расчете схем на худший случай, но это достигается ценой усложнения системы, повышения нагрузок элементов и увеличения потребляемой мощности. Уменьшение вероятности постепенных отказов схемы (вследствие расширения поля допусков) приводит к увеличению вероятности внезапных отказов элементов. Следовательно, существует оптимальная точка допусков элементов, дающая максимальную расчетную надежность. Оптимальное поле допусков зависит от конкретной системы и в общем случае изменяется обратно пропорционально количеству элементов, входящих в систему. Таким образом, для поддержания заданной надежности при возросшей сложности системы необходимо принять меньший разброс параметров элементов (более жесткие допуски) и меньшую интенсивность внезапных отказов. Оба эти требования могут быть облегчены, если ввести некоторую избыточность для преодоления неизбежных внезапных отказов.

Потенциально свойственная схеме надежность достигается, когда ее отказ вызывается только случайными внезапными отказами элементов. Изменения параметров элементов неизбежны и должны быть правильно учтены. Это значит, что каждая схема должна давать приемлемый выходной сигнал, если ни один параметр элементов схемы не выходит резко за пределы значений, которые он может принимать в течение срока службы при определенных окружающих условиях. Анализ схем проводится с целью обеспечения того, чтобы каждая схема обладала этим существенным свойством. Отказы, обусловленные несовместимостью параметров, не будут наблюдаться при использовании данного метода.

Все возрастающая жесткость требований к современным схемам военного применения приводит к необходимости использования таких новых средств расчета и анализа схем, как быстродействующие цифровые вычислительные машины, чтобы получить в интегральной форме количественную оценку надежности при обеспечении высоких функциональных требований, малого веса и минимального объема. Выходные данные этих вычислительных машин содержат информацию, позволяющую улучшить проект и содержащую требования к параметрам элементов, их уходу и стабильности за единицу времени, при которых схема будет работать удовлетворительно в установленных пределах. Кроме того, машины строят графики, отражающие взаимозависимость параметров элементов и рабочих характеристик схемы, данные о нагрузках элементов по напряжению и мощности, возникающих при изменениях напряжения и значений параметров элементов в схеме.

Чтобы исключить любое отклонение от заданных требований, можно провести проверку на совместимость требуемых расчетных

параметров схемы с другими параметрами, например проверить зависимость размеров и веса от напряжения и мощности различных элементов. Дальнейшее развитие этого метода позволит определить надежность конструкции P_d и оптимизировать номинальные величины элементов для конкретных конфигураций схем.

Л и т е р а т у р а

1. ARINC, Evaluation and Prediction of Circuit Performance by Statistical Techniques, ARINC Monograph 5, ARINC Research Corporation, February 1958.
2. Connor J. A., Prediction of Reliability, Proc. Sixth Natl. Symp. Reliability Quality Control, 1960, p. 134.
3. Dreste F., Circuit Design Concept for High Reliability, Proc. Sixth Natl. Symp. Reliability Quality Control, 1960.
4. Earles D. R., Reliability Growth Prediction during the Initial Design Analysis, Proc. Seventh Natl. Symp. Reliability Quality Control, 1961.
5. Feyerherm M. P., Basic Reliability Considerations in Electronics, Proc. Fifth Natl. Symp. Reliability Quality Control, 1959, p. 119.
6. Hellerman L., Rocite M. P., Reliability Techniques for Electronic Circuit Design, IRE Trans. Reliability Quality Control, vol. PGROQC — 14, September 1958.
7. Kaufman M. I., Kaufman R. A., Predicting Reliability, Machine Design, August 1960, p. 178.
8. Reliability Engineering Group, Circuit Analysis Techniques and System Analysis Techniques, vol. 1, North American Aviation, Inc., Los Angeles, 1963.
9. Reliability Engineering Group, Computer Analysis Techniques, North American Aviation, Inc., Los Angeles, 1963.
10. Stevens M., Statistical Aspects of System Analysis, Proc. Seventh Natl. Symp. Reliability Quality Control, 1961.

НАКОПЛЕНИЕ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ

М. Барбе
Martin Barbe

Idep Office, Reliability Department, Aerospace Corporation
El Segundo, California

2.1. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ И ОБЪЕМ

Рассмотрение проблем надежности связано с огромным и быстро увеличивающимся объемом информации, имеющей прямое или косвенное отношение к этим проблемам. Значительная часть данного справочника посвящена вопросам обработки, интерпретации, оценки и использования этой информации. Однако выполнение всех этих операций очень затруднено или даже невозможно, если нельзя быстро найти ключевые факты в большой массе материалов разнообразного характера, от необработанных данных до полных отчетов. Традиционная система накопления нужной информации в ящике письменного стола, часто применяемая инженерами, быстро становится громоздкой, и поиск в ней нужных данных требует особой проницательности, опыта и памяти. В этой главе приводятся некоторые правила, которые помогут инженерно-техническим работникам в разработке и внедрении систем хранения и поиска информации. При наличии такой системы инженер может сосредоточить свое внимание на *интерпретации* данных, а поиск может выполняться вспомогательными работниками или быть частично автоматизирован.

2.1.1. Материалы, которые можно рассматривать как данные о надежности. Ввиду необходимости определенной систематизации довольно аморфной массы материалов по рассматриваемому вопросу все данные о надежности, которые будут обсуждаться в этой главе, можно отнести к одной из категорий, указанных на стр. 71.

Категория А обычно включает документы, составленные на основе устных сообщений; содержащаяся в них информация используется как единое целое и не подлежит нормализации и сокращению для автоматизированной обработки, сравнения или поиска, как данные категорий Б и В. В категорию В часто включаются недостаточно надежные данные, соответствующие предельным условиям.

2.1.2. Данные, специально не рассматриваемые в этой главе. Подразделение надежности может использовать данные из многих источников. Так как общая организационная структура получения данных изменяется, то в связи с этим необходимо решить, что должно входить в данные, получаемые подразделением надежности. Так, например, данные отдела приемочных испытаний и сводки

<i>Категория данных</i>	<i>Подразделы</i>
А. Документы, разрабатываемые инженерами	Программы работ по надежности. Требования к защищенности системы, подсистем и т. д. от воздействия окружающих условий. Требования к рабочим характеристикам аппаратуры и планы испытаний. Математические методы.
Б. Результаты испытаний в моделированных регулируемых условиях	Исследовательская и испытательная аппаратура, описания, принципы действия. Частичные, начальные и квалификационные испытания (включая повторные квалификационные испытания). Сравнительная оценка типов источников. Приемочные испытания (включая испытания в производственных окружающих условиях).
В. Результаты испытаний в действительных эксплуатационных (частично регулируемых) условиях	Испытания на надежность. Данные об отказах и безотказной работе в полевых условиях. Данные об отказах во время летных испытаний. Данные о безотказной работе во время летных испытаний.

об отбраковке в процессе производства обычно сводятся в таблицы и рассматриваются подразделением контроля качества, поэтому эти данные здесь не будут обсуждаться. Принципы использования сводок об отказах в полевых условиях можно применять с некоторыми изменениями. Получение и обновление данных об интенсивностях отказов на основе сведений об эксплуатации также представляет особую проблему; она рассматривается в гл. 3.

При анализе надежности часто принимаются во внимание данные о стоимости и эффективности производства. Использование таких данных имеет специфические особенности, поэтому они также исключаются здесь из рассмотрения. Большое количество телеметрических данных, получаемых во время летных испытаний и дающих возможность сделать заключения о рабочих характеристиках и точности системы, обычно рассматривается как данные о надежности только после представления их в виде сводки о безотказной работе и отказах.

Так как в гл. 5 обсуждаются формы сообщений об отказах, в данной главе речь будет идти только об использовании таких

материалов, подвергающихся машинной обработке в общем потоке данных о надежности.

2.2. ТЕРМИНОЛОГИЯ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ И ТЕОРИЯ ИНДЕКСИРОВАНИЯ

Специалисты, разрабатывающие информационно-поисковые системы, ввели много новых терминов, а также придали новые, специальные значения уже знакомым терминам. Эти термины будут часто повторяться в данной главе, образуя нечто вроде комбинации краткого изложения теории и словаря, что необходимо на начальной стадии изучения вопроса.

Здесь будут кратко освещены некоторые методы, практически редко применяемые к данным о надежности. Теория классификации будет рассмотрена только применительно к известным информационно-поисковым системам, находящимся в эксплуатации. Много интересных идей в этой области в настоящее время носит еще слишком абстрактный характер, и поэтому они не могут быть включены в справочник.

2.2.1. Основные методы индексирования. Термин «информационный поиск» предполагает, что документы расположены или обозначены тем или иным способом, позволяющим сравнительно быстро найти требующиеся данные. Все методы систематизации документов могут быть отнесены к одному из следующих типов индексирования:

А. Прямое — традиционный метод, применяемый в библиотечной практике, когда на каждый документ заводится отдельная карточка (или одна зона на магнитной ленте и т. д.). Карточки можно располагать (в алфавитном порядке) по заглавиям, фамилиям и т. д.

Иногда при индексировании пользуются специальными системами рубрик, к которым может быть отнесено содержание документа, например Универсальной десятичной классификацией (УДК), системой, принятой в библиотеке конгресса США, и др. Этот тип индексирования является также прямым, так как на одну карточку заносится только один документ.

Б. Инверсное. Это новый метод, который считается более подходящим для ручного поиска и может в некоторой степени заменить сложные системы машинного поиска. В системе индексирования по этому методу для каждого признака, по которым должны производиться классификация или поиск, используется одна карточка (или зона магнитной ленты); затем на одну карточку в определенной последовательности или по определенной схеме заносится перечень всех документов (или номеров документов), к которым применим данный признак.

В системах с инверсным индексированием почти обязательно применение для классификации документов специально составленного словаря терминов. В картотеки, составленные по принципу инверсного индексирования, сложнее вносить дополнения и изменения.

2.2.2. Терминология информационного поиска. *А. Словарь* — упорядоченный список всех рубрик или терминов (ключевые слова, дескрипторы), которым может пользоваться каждый, кто занимается каталогизацией документов в конкретной информационно-поисковой системе. Он охватывает и определяет «построенную по определенной структуре область знаний», но вместе с тем должен позволять вносить дополнения и изменения. (Таблицы 2.1 и 2.2 представляют собой «словари», составленные применительно к информации по надежности.)

Б. Последовательный поиск. Этот термин применяется к любому простому алфавитному или числовому поиску. Если материалы тщательно каталогизированы, такой поиск может быть эффективным без применения дополнительного оборудования.

В. Принципы координатного поиска. Система координатного индексирования рассчитана на определение «адресов» документов с конкретным номером в требуемом списке свойств. Эти свойства выбираются из списка источников дескрипторов, которым пользуется каталогизатор. «Координата» включает в себя документы, расположенные на воображаемом пересечении гипотетических «дескрипторных осей». Для запроса любого документа в системе координатного поиска требуется некоторый набор признаков, выраженных определенным (или условным) числом слов или фраз из «словаря».

Пример 1. Информация об элементах

Резисторы

Переменные

Герметизированные

Соответствующие военному стандарту XYZ

Установленная надежность

Пример 2. Информация о материалах

Гренландия

Изготавливаемые после 1960 г.

Космические лучи

Северное полушарие

Четырехфтористое соединение

Трение, подшипники

Испытание на долговечность, пластмасса

Воздействие радиации, пластмасса

Система может быть рассчитана на выдачу данных о пределах, например «успешная работа на высоте 75 000 м и более», или о диапазонах, например «номинальная нагрузка в пределах от 0,90 до 1,2 вт». Можно вводить различные вариации, но это связано с усложнением программы вычислительной машины.

Г. Координатный поиск по дескрипторам. В системе координатного поиска каждая карточка представляет один конкретный документ и все относящиеся к нему дескрипторы (или их коды), выбранные из словаря, наносятся на карточку кодовой пробивкой отверстий. Размеры используемой площади перфокарты ограничивают количество терминов в словаре для этой системы.

Д. Координатный поиск по ключевым словам (унитермам). В координатной системе по ключевым словам используется инверсная картотека, т. е. каждому признаку соответствует одна карточка и каждый документ фонда, содержащий этот признак, заносится на эту карточку в виде отверстия, метки и т. д. Количество документов, записанных на карточках, ограничивается полем перфорации. Оно может достигать 40 000 при использовании больших карт «Termatrex». Емкость системы может быть увеличена за счет дополнительных массивов перфокарт или специальных вариантов кодирования. Принцип координатного поиска механизирован в системах COMAC, TERMATREX, MATREX и др. (рассматриваемых в разд. 2.8).

Е. Пермутационное индексирование. Это индексирование (обычно применяемое в каталогах или указателях) основано на расположении признаков, содержащихся в заголовке документа, в алфавитном порядке. В пермутационной системе ключевых слов в контексте последовательно индексируются все *значащие* слова, содержащиеся в заголовке документа. Так, например, заголовок документа «Ухудшение тонкостенных нейлоновых деталей под действием гамма-излучения» будет повторяться в пермутационном указателе пять раз в алфавитном порядке и начинаться с букв Г, И, Н, Т, У. На стр. 75 приведен пример пермутационного индексирования по ключевым словам.

Ж. Перестановка (колонок) состоит в изменении начальной последовательности признаков путем назначения первоочередного (высшего) приоритета различным признакам. Так как при первоначальном индексировании признаков наиболее важный из них располагается в левой колонке, то любое изменение приводит к перестановке колонок или полей и расположению их в новом порядке. Например, издания могут индексироваться первоначально: а) по фамилиям авторов в алфавитном порядке; б) по названиям фирм, в которых работают авторы; в) по первому значащему слову заголовка. Перестановка первых двух признаков приведет к группированию в одном месте всех документов, выпущенных данной фирмой, а фамилии авторов будут стоять на втором месте,

ТИЧЕСКИХ ДВУХЧАСТОТНЫХ	ВОЛН *	УПРАВЛЕНИЕ ЛАЗЕРОМ ПОСРЕДСТВОМ АКУС	17	11329
ВОЗБУЖДЕНИЕ УПРУГИХ	ВОЛН В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ *		49	04193
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕГУЩИХ	ВОЛН ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОДНОРОДНОЙ ШИРИНЫ ЛИНИИ *		18	04113
СЕЛЕКЦИЯ ДЛИН	ВОЛН ЛАЗЕРА *		17	11226
УСИЛЕНИЕ	ВОЛН ЛЭМБА В СУЛЬФИДЕ КАДМИЯ *		08	11463
ГЕНЕРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ	ВОЛН СВЧ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ КРИСТАЛЛАХ *		49	04229
ЛЕКТРОМАГНИТНАЯ УДАРНАЯ	ВОЛНА В НЕЛИНЕЙНОЙ ЖИДКОСТИ КЕРРА *	Э	51	09519
О ДРЕЙФОВЫХ	ВОЛНАХ КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ В НЕУСТОЙЧИВОЙ ПЛАЗМЕ		02	05947
ЗЕРКАЛАМИ *	ВОЛНОМЕР НА ОТКРЫТОМ РЕЗОНАТОРЕ СО СФЕРИЧЕСКИМИ		03	09937
АРЦА ПРИ СЖАТИИ УДАРНОЙ	ВОЛНЫ *	ПРОБОН И ВОССТАНОЗЛЕНИЕ КВ	55	11077
ННОГО УСИЛИТЕЛЯ БЕГУЩЕЙ	ВОЛНЫ *	ОТРАЖЕНИИ НА ПАРАМЕТРЫ СТРОФОТРО	03	09943
ЕКТ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ	ВОЛНЫ В КРИСТАЛЛАХ *	МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФ	08	11592

*—конец заглавия.

ШИФР
ИНДЕКСИ-
РУЕМОЙ
СТАТЬИ

тогда как при первоначальном порядке оказываются сгруппированными все работы данного автора. Физическое положение колонок может либо изменяться, либо оставаться неизменным; важное значение имеет приоритет (иерархия), назначаемый каждой колонке при индексировании.

2.2.3. Термины, определяющие физические различия технических средств, используемых при индексировании. Любая система индексирования, в которой для поиска требуется или допускается применение технических средств, отличающихся от простого перелистывания страниц или ручного перебора перфокарт, называется «манипуляционной» системой индексирования. Манипуляционные системы по своей природе могут быть очень сложными.

Автоматизированные системы будут рассмотрены в разделах 2.7 и 2.8. Однако в ряде успешно действующих систем настольного типа может быть применена некоторая механизация при определенном объеме и однородности массива сведений. Такие системы могут быть подразделены на следующие типы.

А. Система на суперпозиционных (визуальных, просветных) картах. Эта система облегчает поиск в инверсной картотеке, где каждая карта содержит один признак, характеристику, или дескриптор, или какой-нибудь другой показатель. В различных системах на одной карте может быть от 500 до 10 000 положений пробиваемых отверстий, каждое из которых означает документ, элемент и т. д.

Карты, содержащие признаки, характеристики и дескрипторы, относящиеся к конкретному запросу, вынимаются из общей картотеки. Свет, проходящий через все карты в любом положении отверстия, указывает на то, что эти документы (или их части) содержат искомые характеристики. Для нахождения самого документа в такой системе необходимо иметь список соответствия положений отверстий номерам документов или указатель документов с индексами заглавий.

Б. Система на картах с краевой перфорацией. В этой системе используются карты с рядом отверстий по внешнему контуру (отстоящих от края на 2—3 диаметра), пробиваемых для обозначения параметров, размеров или других дескрипторов. Это позволяет вручную осуществлять отбор нужных карт с помощью металлических спиц, пронизывающих весь массив карт. Карты, имеющие краевые отверстия, относящиеся к искомому признаку, выпадают из массива при поднятии спиц. Комбинация таких карт с суперпозиционными картами позволяет осуществлять поиск по комплексному набору признаков с помощью сравнительно простого оборудования.

2.2.4. Термины, определяющие функции системы. Основные функции ручной или автоматизированной системы описываются некоторой комбинацией терминов, относящихся к сбору, накопле-

нию и поиску информации. Определения этих терминов даны в подразделе 2.8.1.

2.2.5. Термины, относящиеся к номерам документов. *Номер* документа играет важную роль в описании рассмотренных выше функций поисковых систем. Эти номера могут иметь следующие различия:

А. Номер адреса (или адрес) — номер или код, позволяющий машине или системе быстро определять местонахождение физического документа. В некоторых библиотеках такими адресами являются номера стеллажей или полок. В отдельных автоматизированных системах адреса документов используются внутри машины и потребителю нет необходимости знать их.

Б. Поисковый (последовательный, серийный) номер — обозначение документа, не имеющее кодового значения, относящегося к местоположению или содержанию документа. Этот номер обычно назначается в соответствии с получением или каталогизацией документа.

В. Мнемонический номер — условное обозначение или классификация конкретного документа, содержащее символы или буквы, связанные с его темой (например, ВРД — воздушно-реактивный двигатель).

Г. Многоаспектное обозначение — обозначение, в котором каждая цифра является кодом, представляющим параметр или характеристику; часто используется в стандартных номерах частей документа.

2.3. ВНУТРЕННИЕ ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ

Подразделение надежности должно осуществлять эффективный контроль за поступлением информации, чтобы обеспечить пополнение картотек всеми представляющими интерес данными. Периодические проверки персоналом этого подразделения оказываются малоэффективными. Необходимо установление определенного порядка поступления информационных материалов в подразделение надежности; возможно, что для этого могут потребоваться такие меры, как обязательное визирование подразделением надежности отчетных материалов.

Ниже приводится перечень подразделений, в которых часто собирается информация, имеющая важное значение для управления надежностью.

А. Отдел снабжения и субконтрактов. Здесь следует обратить внимание на все субконтракты, содержащие требования к испытаниям, а также на отдельные испытания, включенные в субконтракты непосредственно по просьбе разработчиков.

Б. Библиотеки и технические архивы. Большие фирмы имеют много ценных данных, содержащихся в «разовых» источниках. Биб-

блиотеки могут явиться контрольными пунктами, куда часто попадают такие случайные источники.

В. Отдел контрактов. Планы, предложения, отчеты, относящиеся к надежности, часто направляются заказчику без уведомления об этом подразделения надежности. Отбор или получение всех документов не предусмотрены. Только контроль в самом отделе контрактов может обеспечить передачу нужных данных.

Г. Полевая инженерная служба. Это подразделение очень часто физически изолировано от инженеров, занимающихся надежностью в конструкторских подразделениях. Оно проводит самостоятельно анализ отказов и быстро отлаживает аппаратуру для сдачи заказчику. Полные копии составляемых этой службой документов должны поступать в подразделение надежности.

Д. Лаборатория испытаний на воздействие окружающих условий. Лаборатории обычно составляют программы и планы испытаний, отчеты, сводки и т. д. в установленном порядке. Необходимость использования этих документов подразделением надежности определяется степенью централизации управления испытаниями и местом испытаний в общей организации надежности.

2.3.1. Получение информации об испытаниях. Подразделение надежности обычно не в состоянии обработать и использовать все отчеты о всех испытаниях, начиная от проверки резисторов до введения в эксплуатацию сложных систем. Но оно должно знать о существовании этих отчетов и иметь возможность быстро получить их для нахождения нужных сведений и подробных данных по интересующему вопросу. По заданию подразделения надежности эти материалы могут быть детально проработаны, а содержащиеся в них данные по интересующему вопросу представлены в удобной для использования стандартной форме. Обычно имеется ряд пунктов, по которым испытательная работа может быть выполнена подразделением надежности. Однако очень часто проведение таких работ не получает должного одобрения и поддержки у руководства проектами.

Дополнительная копия всех утвержденных решений по испытаниям перед окончательным планированием работ должна направляться в некоторый контрольный пункт, который условно можно назвать «центром управления испытаниями». Если такого центра нет, то выполнение функций учета данных испытаний будет сложнее. (Для правильного учета экспериментальных данных в постоянном центре управления испытаниями необходимо, чтобы были установлены максимальные пределы для недокументируемых лабораторных проверок, например такие, как «не более 4 часов», «не более одного человеко-дня», «не более 100 долларов».)

2.3.2. Испытания, проводимые в независимых лабораториях. Некоторые фирмы, применяющие изделия других фирм, пользуются внешними испытаниями, которые не контролируются внутрен-

ними органами. Необходимо, чтобы копии таких материалов, подобные перечисленным в подразделе 2.3.1, поступали в подразделение надежности во всех случаях.

2.3.3. Испытания элементов в субконтрактных организациях. Вероятно, контроль этих испытаний вызывает наибольшие трудности. Инженерные подразделения генерального подрядчика часто придерживаются такого мнения, что поскольку контракт заключается на выполнение определенной работы в целом, то они не вправе вмешиваться в решение субподрядчиками таких вопросов, как выбор элементов или узлов схем. В других случаях инженеры генерального подрядчика и хотели бы быть в курсе таких вопросов, но условиями контракта не всегда предусматривается представление субподрядчиками подробного перечня и обоснования применения нестандартных элементов. Особенно это относится к предварительному согласованию планов проведения испытаний элементов и связанных с этим затрат.

Когда же планы испытаний элементов представляются, они могут задерживаться в подразделении, контролирующем работу субподрядчиков. При всех обстоятельствах подразделение надежности должно добиваться того, чтобы в контракты включались требования представления интересующей его информации. Все отмеченные выше пункты относятся и к субподрядчикам, если этого потребует генеральный подрядчик. Но широкое распространение этой системы связано с серьезными трудностями.

2.3.4. Контроль данных об испытаниях элементов. Упомянутые в подразделах 2.3.1—2.3.3 действия устанавливают структуру потока данных, которые могут быть использованы для прогнозирования событий. Но все эти данные после завершения испытаний необходимо подвергнуть перекрестной проверке и получить окончательный документ (или извещение о существовании такого документа, если полный текст его не требуется). Установление такого потока документов или извещений необходимо для проверки эффективности системы *прогнозирования* надежности, а таблицы прогнозов позволяют осуществить проверку комплектности и полноты представленного материала.

2.4. СТРУКТУРА ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ

Табулирование, накопление и анализ данных могут быть затруднены или даже совсем невозможны, если эти данные не будут приведены к определенной структуре (т. е. если они не будут составлены по стандартному формату, закодированы, описаны соответствующими дескрипторами и т. д.), отвечающей требованиям принятой системы поиска. Типичные унифицированные системы классификации и кодирования описаны в разд. 2.6 и 2.7.

Сводка сообщений об испытаниях

1. Кодовое название элемента/узла		2. Программа или система оружия		3.		Число	Месяц	Год
4. Название подразделения, составившего сообщение		5. Номер сообщения		Дата окончания испытания				
				Дата составления сообщения				
		6. Тип испытаний и т. д.						
7. Это сообщение (заменяет) дополняет сообщение №								
8. Номер изделия	8А. Тип элемента, размеры, номинальные параметры и т. д.	9. Поставщик	10. Номер элемента по каталогу поставщика	11. Номер государственного или промышленного стандарта	12. Всего испытано образцов			
1								
2								
3								
4								
13. Внутренние технические условия, учитываемые при испытаниях		Отметка о приложении	Посланы с сообщением №	14. Военные технические условия или стандарты, на которые даны ссылки в графе 15С				
A				D				
B				E				
C				F				
15А. Испытание на воздействие внешних условий	С. По техническим условиям	DTY: параграф, метод, условие	Е. Уровни испытаний, продолжительность и др. сведения	Г. Число испытанных образцов	Г. Число отказавших			
8. Номер изделия								
16. Текст, причины отказов, корректировочные меры								
17. Испытано с превышением технических условий поставщика		18. Поставщик информирован о результатах испытаний письмом, по телефону, устно		19. Подпись	20. Подрядчик	21. Субподрядчик	22. Отдел №	
Да ☐		☐ ☐ ☐						

Ф и г. 2.1. Форма краткого отчета об испытаниях по стандарту MIL-STD-831 (лицевая сторона).

2.4.1. Сообщения об отказах. Контроль за сообщениями об отказах описан в следующих главах. Вполне естественно, что степень обязательной стандартизации будет изменяться в зависимости от объема сообщений, подлежащих обработке. Небольшое количество данных может быть сведено в таблицы, а анализ и изучение тенденций можно выполнить, используя ручные методы и первичные описания. При увеличении количества сообщений возрастает необходимость удобного кодирования и применения определенных терминов, если обработка информации должна производиться по всему массиву сообщений. Машинный поиск возможен только в том случае, когда в каждой части или блоке сообщения (являющихся объектом поиска) будут применяться только строго обусловленные термины или цифры. Выявленные таким образом тенденции, конечно, требуют дальнейшей квалифицированной инженерной оценки.

В некоторых системах сообщений об отказах содержится свыше 60 таких структурных блоков, позволяющих осуществлять поиск при любой комбинации сообщений. Обычно в сообщения включается и «неконтролируемое» повествовательное описание, но если в таких описаниях не используются ключевые слова, взятые из принятого словаря, то применение машинного поиска оказывается бесполезным и сравнение или сопоставление невозможно.

2.4.2. Сообщения об испытаниях. Форма краткого отчета, представленная на фиг. 2.1, в основном предназначена для сообщения об испытаниях элементов, но она может быть применена и для блоков и узлов больших размеров и большей сложности. Соответствующие изменения могут быть легко сделаны, если испытаниям подвергаются изделия определенного типа. Однако принципы применения стандартного формата для облегчения кодирования, поиска и интерпретации данных остаются в силе. Строгие требования к данным, точное обозначение элементов, таблицы результатов испытаний и краткое заключение или выводы определяют правила, которыми нужно руководствоваться при составлении сообщений о любых плановых испытаниях.

2.4.3. Формат и содержание сообщения об испытаниях. Военный стандарт США MIL-SID-832 (от 28 августа 1963 г.) устанавливает требования к формату сообщения и расположению в нем необходимых данных при представлении сведений об испытаниях в военные организации. Принципы, изложенные в этом стандарте, могут быть применены и к сообщениям об испытаниях изделий и элементов гражданского назначения.

2.4.4. Когда нужно требовать сообщения об испытаниях. Единого общепринятого критерия, определяющего порядок и сроки представления сообщений, не существует, так как это зависит от срочности, сложности, общего плана и финансирования каждого проекта. Важно заранее установить основные правила, определяю-

шие, после какого минимального количества израсходованных человеко-часов или средств должно обязательно представляться сообщение, если другие соображения не являются основанием для его задержки. Могут быть исключения, когда сообщение требуется раньше или позже, но порядок утверждения и применения этих исключений должен быть установлен заранее в письменной форме. Должны быть установлены также адреса и графики представления полных сообщений, так как информация обладает свойством терять со временем свою ценность.

2.5. ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ ОТ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ И ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ

2.5.1. Существующая система и источники получения данных. Вследствие большого количества информационных центров в США и постоянных изменений системы обмена информацией не представляется возможным дать здесь перечень всех организаций, которые можно рассматривать как источники данных по надежности. Читатели, интересующиеся этими источниками, а также организацией обмена информацией по надежности в США, могут найти подробные сведения в работах [4—7].

2.6. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ РУЧНОГО ПОИСКА

Универсальные классификации, приведенные в этом разделе в качестве примеров, предназначены для применения в информационных системах с ручным поиском. Эти простые системы менее критичны в отношении строгого соответствия определенным требованиям.

2.6.1. Требования к классификации при ручном и автоматическом поиске. В большинстве систем ручного поиска в принципе может быть применена автоматизация, но вследствие простоты, к которой стремятся в ручных системах, редко оказывается возможным эффективно использовать машинное оборудование, предназначенное для более сложного поиска. Однако если при начальном проектировании систем ручного поиска предусматривать возможность их автоматизации, то при последующих изменениях можно добиться лучшей эффективности. Рекомендуется изучить преимущества и ограничения автоматических систем и их технических средств. Вместе с тем желательно, чтобы любая разрабатываемая система ручного поиска была рассмотрена специалистом в области автоматизации. Это позволит исключить многие переделки, если в будущем окажется желательной автоматизация системы.

2.6.2. Категории классификации информации по надежности и контролю качества. Классификация, приведенная в табл. 2.1, в

первую очередь предназначена для индексирования информационных материалов общего характера по надежности и контролю качества, а не для обработки массивов данных по конкретным темам. Например, под индексом 874 «ремонтпригодность, сообщения, анализ и оценка» можно найти материалы, относящиеся к общей теории, планы, корреспонденции и, возможно, сводные периодические сообщения, а не массивы входных данных и подробные ежедневные сводки (исключение может быть только в случае небольшого количества документов, содержащих эти данные). Описательная табл. 2.1, охватывающая широкую область тем, устанавливает схему классификации для систем ручного хранения и поиска (допускающих применение технических средств), а не для автоматических систем обработки данных и информационно-поисковых систем, хотя многие термины этой таблицы могут быть использованы в информационно-поисковом словаре.

2.6.3. Термины, используемые для классификации технической информации. Строгие ограничения, накладываемые на специфическую терминологию, могут быть несколько смягчены для ручных систем, в которых при поиске возможно использование некоторых суждений и решений человека. Однако наблюдается тенденция к разработке всех систем с учетом потенциальной возможности их автоматизации. Эта тенденция иллюстрируется стремлением создать единый «Технический словарь».

Таблица, составленная Объединенным инженерным советом [«Engineers Joint Council» (New York)], рекомендует для предпочтительного употребления свыше 13 000 технических слов. В ней даны пометки «использовать...» во всех случаях, когда имеется возможность предпочтительного выбора того или иного термина. Введены также пометки «термин широкого применения», «термин узкого применения» и «родственный термин» для определения иерархического положения каждого слова в группе связанных слов, относящихся к конкретной области, и для облегчения работы сотрудников библиотек и справочных фондов, производящих поиск. Таблица была опубликована в 1964 г., но так как она охватывает все фазы инженерной деятельности, то необходимо, чтобы каждое подразделение надежности дополняло ее специализированными или новыми терминами и понятиями. Однако включенные в нее термины должны составлять основу индексирования статей при их публикации или данных во время их ввода в систему хранения. Они могут также служить основой более строгой системы классификации при машинном поиске.

2.6.4. Выбор характеристических индексов. Приведенные в этом подразделе примеры относятся главным образом к аппаратуре. Они дают наглядное представление о методах индексации, а также конкретизируют данные по надежности. Эти принципы индексации можно распространить и на другие объекты, относящиеся к конт-

Система классификации литературы ASQC

Полный классификационный номер документа в этой системе имеет форму 000:00:000; здесь первые три цифры относятся к методологической классификации, следующие две цифры описывают функции, а три последние цифры обозначают область промышленности.

Методологическая классификация

- | | |
|---|---|
| 000: Общие вопросы | 323: Программы обучения |
| 010: Определения и символы, относящиеся к контролю качества | 324: Аттестация и выдача свидетельств |
| 090: Библиография | 330: Организация контроля качества |
| 100: Статистический контроль процессов | 331: Личный состав подразделений контроля качества |
| 110: Контрольные карты | 340: Административные функции в организации контроля качества |
| 111: Контрольные карты для переменных величин | 341: Записи и сообщения по качеству |
| 112: Контрольные карты для характерных свойств | 342: Стандарты и методы контроля |
| 120: Требования к контролю процессов | 343: Планы поощрений |
| 121: Технические условия | 344: Показатели качества |
| 122: Допуски | 345: Системы проверки качества |
| 123: Возможности процесса | 346: Контроль изменений в чертежах |
| 130: Распределения результатов контроля процесса | 350: Экономика контроля качества |
| 200: Принципы и планы отбора образцов | 351: Отношения между потребителями и поставщиками |
| 210: Принципы отбора | 352: Стандарты качества |
| 211: Исходные материалы | 353: Стоимость контроля качества |
| 212: Дискретные элементы | 400: Математическая статистика и теория вероятностей |
| 213: Классификация характеристик | 410: Теория оценки и статистических выводов |
| 214: Выбор образцов | 411: Точечная оценка |
| 220: Планы отбора образцов | 412: Доверительные интервалы |
| 221: Выбор и сравнение планов | 413: Проверка гипотез |
| 222: Планы, относящиеся к характерным свойствам | 414: Теория решений |
| 223: Планы, относящиеся к переменным величинам | 420: Свойства функций распределения |
| 224: Непрерывные планы | 421: Нормальное распределение |
| 230: Отчеты об обследованиях и обзоры | 422: Распределение Пуассона |
| 300: Руководство контролем качества | 423: Биномиальное распределение |
| 310: Основы контроля качества | 424: Сложное (многомерное) распределение |
| 320: Обучение контролю качества | 425: Сглаживающие функции распределения |
| 321: Теоретические руководства и учебники | 430: Теория вероятностей |
| 322: Инструкции и пособия для обучения | 431: Случайные процессы |

- 432: Теория массового обслуживания
- 433: Байесовские методы
- 440: Преобразования
- 500: Эксперименты и корреляция
- 510: Испытание значимости и доверительные интервалы
- 511: Испытания значимости
- 512: Доверительные интервалы
- 513: Статистический анализ
- 520: Планирование экспериментов и обработка экспериментальных данных
- 521: Планирование экспериментов
- 522: Экспериментальные данные
- 523: Специальные методы анализа данных
- 524: Дисперсионный анализ
- 530: Корреляция
- 531: Простая корреляция
- 532: Множественная корреляция
- 533: Ранговая корреляция
- 534: Ковариационный анализ
- 540: Сглаживание кривых
- 541: Линейная регрессия
- 542: Нелинейная регрессия
- 543: Множественная регрессия
- 544: Ортогональные полиномы
- 545: Временные ряды
- 546: Проверка по критериям согласия
- 550: Методы сокращенного анализа
- 551: Непараметрические испытания
- 552: Графический анализ данных
- 553: Таблицы
- 554: Карты
- 555: Помограммы
- 600: Контроль качества
- 610: Методы исследования операций
- 611: Сбор данных
- 612: Специальные методы и их применение
- 613: Анализ систем управления
- 614: Линейное программирование
- 615: Нелинейное программирование

- 764: Заключительная инспекция
- 765: Инспекция при транспортировке
- 766: Полевая инспекция
- 767: Хишбровка и стандарты
- 770: Техника испытаний
- 771: Планирование испытаний
- 772: Сообщения об испытаниях
- 773: Испытательное оборудование
- 774: Методы испытаний с разрушением образцов
- 775: Методы испытаний без разрушения образцов
- 780: Окружающая среда
- 781: Окружающие условия
- 782: Влияния внешней среды
- 783: Измерение внешних факторов
- 784: Оборудование для испытаний на воздействие внешних факторов
- 800: Надежность
- 801: Определения и семантика
- 802: Учебники, руководства и справочники
- 810: Управление надежностью
- 811: Организация
- 812: Учебные и инструктивные программы
- 813: Оценка и выполнение программ
- 814: Стоимостный анализ
- 815: Технические условия. Контракты. Требования
- 816: Вопросы управления
- 817: Компромиссные оценки
- 820: Математическая теория надежности
- 821: Теория вероятностей и прогнозирования
- 822: Функции распределения надежности
- 823: Теория испытаний на долговечность
- 824: Вычисления и оценки
- 825: Пропорциональное распределение
- 830: Конструирование (надежностные аспекты)
- 831: Структурный анализ и оценка надежности
- 832: Инженерная психология
- 833: Выбор элементов, анализа и стандартизация, предлагаемые режимы
- 834: Техника обслуживания

- 620: Технические промышленные методы
- 621: Упаковка и транспортировка
- 622: Распределение продукции
- 623: Промышленные измерения
- 624: Управление запасами
- 625: Перемещения технических средств
- 630: Экономические методы
- 631: Измерения и анализ
- 632: Прогнозирование/оценка
- 633: Финансовая политика
- 634: Управление сбытом
- 635: Индексы
- 640: Измерение рабочих характеристик и сообщения о них
- 700: Измерения и проверки при контроле качества
- 710: Измерение характеристик качества
- 711: Физические свойства
- 712: Динамические свойства
- 713: Структурные свойства
- 714: Химические свойства
- 716: Старение и ухудшение качества
- 717: Погрешности измерения
- 720: Управление процессами
- 730: Обработка данных
- 731: Сбор данных
- 732: Преобразование данных
- 733: Интерпретация данных
- 734: Хранение данных
- 735: Поиск данных
- 740: Автоматизация
- 750: Измерения
- 751: Визуальные
- 752: Вкус
- 753: Обоняние
- 754: Осязание
- 755: Звуковые
- 760: Инспекция
- 761: Входной контроль
- 762: Инспекция во время процесса
- 763: Инспекция на этапе сборки

- 835: Стандартизация упаковки
- 836: Анализ проектов
- 837: Анализ допусков, коэффициенты запаса прочности
- 838: Конструктивная избыточность
- 840: Методы анализа надежности
- 841: Сбор данных
- 842: Преобразование данных
- 843: Обработка данных
- 844: Виды отказов. Механизм возникновения отказов
- 845: Системы обмена данными
- 846: Занесение частей (прогнозирование потребности, экономика и т. д.)
- 850: Демонстрация и измерение надежности
- 851: Методы испытаний
- 852: Применение
- 853: Сообщения, анализ и оценка
- 860: Полевая служба и деятельность потребителей
- 861: Обучение и работа
- 862: Обслуживание
- 863: Организация снабжения
- 864: Сообщения. Обратная связь
- 870: Ремонтопригодность
- 871: Управление
- 872: Теория
- 873: Расчеты
- 874: Сообщения, анализ и оценка
- 875: Демонстрация
- 876: Выводы
- 880: Готовность
- 881: Управление
- 882: Теория
- 883: Расчеты
- 884: Сообщения, анализ и оценка
- 885: Демонстрация

Функциональная классификация

- 00: Общие вопросы
- 10: Управление. Направление деятельности организации

- :20: Производство. Функции, относящиеся к сбытовой продукции
- :30: Финансы. Функции, относящиеся к финансированию организации
- :40: Снабжение. Функции, относящиеся к получению материалов для организации
- :50: Сбыт. Функции, относящиеся к продаже продукции и обслуживанию или к обслуживанию организации
- :60: Инженерная служба. Функции, относящиеся к определению специфических требований и стандартов на выпускаемую или подготавливаемую к выпуску продукцию
- :70: Качество. Функции, обеспечивающие соответствие продукции или обслуживания требованиям и стандартам
- :80: Промышленные связи. Правила, определяющие взаимоотношения персонала и коллективов в организации
- :90: Служба управления. Положения, относящиеся к системам и службам, входящим в организационный комплекс

Промышленная и коммерческая классификация

- :000 Общие или не попадающие под классификацию учреждения
- :000 Общие
- :099 Не попадающие под классификацию
- :100 Сельское хозяйство. Лесное хозяйство. Рыболовство
 - :101 Коммерческие фермы
 - :102 Некоммерческие фермы
 - :107 Сельскохозяйственные службы. Охота
 - :108 Лесное хозяйство
 - :109 Рыбный промысел
- :200 Горное дело
 - :210 Добыча металлов
 - :211 Добыча антрацита
 - :212 Добыча каменного и бурого угля
 - :213 Добыча сырой нефти и природного газа
 - :214 Добыча неметаллических минералов (за исключением топлива)
- :300 Заключение контрактов

- :400 Производство
 - :419 Артиллерийское вооружение и снаряды
 - :420 Пищевые продукты
 - :421 Табак и табачные изделия
 - :422 Текстильные товары
 - :423 Одежда и другие готовые изделия из тканей
 - :424 Лигнотермальные и изделия из дерева (кроме мебели)
 - :425 Мебель
 - :426 Бумага и бумажные изделия
 - :427 Книжная и другая печатная продукция
 - :428 Химические товары
 - :429 Очищенные нефтяные продукты
 - :430 Резина и различные изделия из пластика
 - :431 Кожа и изделия из кожи
 - :432 Изделия из камня, глины и стекла
 - :433 Черная металлургия
 - :434 Металлические изделия (за исключением артиллерийского вооружения, станков и транспортного оборудования)
 - :435 Машины (за исключением электрических)
 - :436 Электрические машины, оборудование, установочные материалы
 - :437 Транспортное оборудование
 - :438 Промышленные, научные и контрольные приборы; фотоаппараты и оптические приборы; часы
 - :439 Продукция других отраслей промышленности
- :500 Транспорт, связь, электро- и газоснабжение, санитарная служба
 - :540 Железнодорожный транспорт
 - :541 Местный, пригородный и междугородный пассажирский транспорт
 - :542 Грузовые автотранспортные перевозки
 - :544 Водный транспорт
 - :545 Воздушный транспорт
 - :546 Трубопроводный транспорт
 - :547 Транспортные службы
 - :548 Связь
 - :549 Электро- и газоснабжение. Санитарная служба

- :600 Оптовая и розничная торговля
 - :650 Оптовая торговля
 - :652 Розничная торговля: строительные материалы, металлические изделия, сельскохозяйственные машины
 - :653 Розничная торговля: товары общего потребления
 - :654 Розничная торговля: пищевые продукты
 - :655 Торговля автомашинами. Бензозаправочные станции
 - :656 Розничная торговля: одежда
 - :657 Розничная торговля: мебель и предметы домашнего обихода
 - :658 Розничная торговля: столовые, рестораны, кафе, бары
 - :659 Розничная торговля: различные розничные магазины
- :700: Финансы. Страхование и недвижимое имущество
 - :760 Банки
 - :761 Кредитные агентства (кроме банков)
 - :762 Торговля предметами потребления. Торговля в кредит. Торговые организации. Биржи
 - :763 Страхование
 - :764 Страховые агентства и агенты
 - :765 Недвижимое имущество

- :766 Сделки по недвижимому имуществу. Страхование. Займы. Юридические конторы
- :767 Акционерные общества
- :800: Обслуживание
 - :870 Отели, меблированные комнаты, дачи
 - :872 Служба быта
 - :873 Разные коммерческие службы
 - :875 Обслуживание и ремонт автомашин. Платные гаражи
 - :876 Разные ремонтные службы
 - :878 Кинотеатры
 - :879 Места развлечения и отдыха (кроме кинотеатров)
 - :880 Медицинское и санитарное обслуживание
 - :881 Юридическое обслуживание
 - :882 Служба образования
 - :884 Музеи и галереи. Ботанические и зоологические сады
 - :888 Частные домовладения
 - :889 Различные службы
- :900: Правительство
 - :991 Федеральное правительство
 - :992 Административные органы штатов
 - :993 Местные органы управления
 - :994 Международные органы управления

ролю качества и надежности, включенные в табл. 2.2, или группы терминов, содержащихся в «Техническом словаре», которые не обязательно снабжаются цифровым индексом.

А. Основные классы. Выбор основного класса индексов редко является проблемой в системе поиска информации. В табл. 2.2 приведены наименования типов элементов, например реле, или резисторы. Для отбора информации не требуется большого количества дополнительных сведений из перечня документов.

Б. Подгруппы, определяющие специфические свойства. Каждый элемент обладает многими свойствами, которые могут быть описаны определенной группой терминов. Примером наиболее специфических рубрик могут служить «Расположение контактов» или «Номинальная нагрузка в ваттах». Эти специфические типы рубрик обычно определяют взаимно исключающие физические различия; элемент не может одновременно иметь длину 25 и 37,5 мм.

В. Примеры правильной классификации.

Основной класс	Конструкция	Номинальная нагрузка
651	.20 = Углеродистые плечные	.06 = менее .1 вт
Резисторы	.40 = Композиционные	.08 = .10 → .125 вт*)
	.75 = Термочувствительные	.12 = .125 → .25 вт*)

*) Если в таблице показаны пределы, то возникает проблема, куда относить элементы с граничным значением (0,125 вт). Один из методов состоит в применении такого символа, как .10 → | .125, обозначающего «включая 0,10 и до 0,125, но исключая 0,125», или .10 | → .125, обозначающего «включая все значения, превышающие нижний предел, а также и верхнее предельное значение».

Г. Расположение по алфавиту. Всегда, когда это возможно, термины должны располагаться в алфавитном порядке и даже в случаях применения цифровых кодов. Преимущества этой системы могут быть использованы там, где возможно применение мнемонических кодов.

Д. Подгруппы, определяющие общие свойства. Может оказаться более удобным выбирать широкие рубрики, такие, как «Физические характеристики», «Тип», «Применение», но они более подвержены взаимному перекрытию.

Широкая и более общая классификация связана с проблемой использования понятий *функции* и *применения*. Таких терминов следует избегать, где это возможно, так как применение их часто приводит к произвольным решениям при классификации взаимно перекрывающихся данных. Когда употребление таких рубрик, допускающих неоднозначную классификацию, неизбежно, следует использовать более предпочтительную рубрику и применять перекрестные ссылки («см. ...» или «см. также ...») на другие возможные рубрики. Можно привести следующий пример неправильного употребления общей групповой рубрики.

Например, под рубрикой «Вентили — тип» могут быть ошибочно помещены такие термины, как «топливный», «контрольный», «клапанный». Эти термины относятся к трем разным группам: «топливный» характеризует вентиль в отношении среды, для которой он применяется; «контрольный» указывает на выполняемые вентилем функции; «клапанный» характеризует конструкцию вентиля. Контрольный вентиль может быть клапанным, но может иметь и другую конструкцию. Слово «тип» с точки зрения классификации является слишком неопределенным, и использование его может привести к неоднозначности.

Хорошая осведомленность в вопросах разговорного употребления терминов может привести к созданию терминов, которые трудно понимать лицам со средней подготовкой. Так как разработчику системы классификации трудно контролировать собственную работу, рекомендуется проводить пробные проверки работниками со средней подготовкой.

Общий подход к составлению карточек допускает неизбежность перекрытия и неоднозначность выбора родственных рубрик. При классификации данных, относящихся к аппаратуре, это реже имеет место.

2.6.5. Классификация документов по элементам и узлам аппаратуры. Табл. 2.2 предназначена для использования при классификации данных *по элементам*. Но существует возможность включения картотеки и данных, относящихся к более крупным сборкам. Однако поскольку подразделение системы на составные элементы может быть совершенно различным в каждом конкретном случае, а нумерация чертежей часто образует более удобную и более специфическую структуру, то во многих случаях эту нумерацию кладут в основу строгой классификации данных, относящихся к определенной программе. Никакой связи между общими рубриками табл. 2.2 и такой нумерацией чертежей не существует, хотя эти рубрики должны быть вполне совместимыми со стандартным разделением системы на элементы.

Табл. 2.2 была разработана применительно к ракетным и космическим системам, поэтому в ней значительное место занимают рубрики, относящиеся к радиоэлектронике. Но так как под каждым трехзначным номером рубрики может быть до 99³ подразделов, то можно очень просто использовать общие принципы и путем расширения таблицы охватить любую отрасль промышленности.

Материалы и процессы кодируются достаточно детально для того, чтобы показать возможности применения системы классификации к разделам, входящим в общую схему классификации данных по элементам. Таблица может быть значительно расширена в соответствии с потребностями специалистов по материалам и процессам.

Десятичная Система кодирования данных по элементам IDEP

Все основные термины в таблице (в английском тексте) располагаются по алфавиту. Таблица может быть расширена путем включения в нее новых терминов.

Основные классы системы

- 081 Антенны
- 101 Батареи, не перезаряжаемые
- 121 Батареи, перезаряжаемые
- 152 Вентиляторы
- 161 Конденсаторы переменной емкости
- 241 Кристаллы (кварцевые резонаторы)
- 301 Лампы, электронные
- 428 Приборы
- 545 Приборы оптические, системы и устройства
- 595 Регуляторы электрические
- 651 Резисторы постоянные
- 652 Резисторы регулируемые (потенциометры или реостаты)
- 742 Транзисторы
- 761 Экраны и экранирование

Полный код системы классификации

081 Антенны

081.00 Функции

- .10 Радиолокационные, автоматического сопровождения, сканирующие
- .20 Радиолокационные, неподвижные
- .30 Радиолокационные ручного управления
- .40 Радио, телеметрия, управление, с автоматическим сканированием
- .50 » » » , неподвижные

¹) Таблица приводится в сокращенном виде. — Прим. перев.

.60 Радио, телеметрия, управление, ручного управления

0.81.00.00 Частотный диапазон (общ.)

101 Батареи, не перезаряжаемые

101.00 Тип

- .10 Сухие элементы (жидкостные элементы, использовать .80)
- .20 Газовые
- .30 Ядерные
- .40 Эталонные элементы
- .50 Топливные
- 101.00.00 Материал электродов
 - .65 Свинец
 - .70 Магний — хлористое серебро
 - .73 Ртуть
 - .75 Никель — кадмий
 - .80 Серебро — кадмий
 - .85 Серебро — цинк
 - .87 Цинк — хлористое серебро
 - .90 Цинк — перекись серебра

101.00.00 Число элементов. Предварительная активация

- .20 Многоэлементная батарея, предварительно активированная
- .60 Одиночный элемент, предварительно активированный
- .80 Одиночный элемент, резерв

102 Батареи, перезаряжаемые

102.00 Тип

- .20 Газовые
- .50 Тепловые топливные

102. Батареи перезаряжаемые (продолжение)

- .60 Солнечные
- .80 Жидкостные элементы
- 102.00.00 Материал электродов
 - .65 Свинец
 - .70 Магний — хлористое серебро
 - .73 Ртуть
 - .75 Никель — кадмий
 - .80 Серебро — кадмий
 - .85 Серебро — цинк
 - .87 Цинк — хлористое серебро
 - .90 Цинк — перекись серебра
- 102.00.00 Число элементов. Предварительная активация
 - .20 Многоэлементная батарея, предварительно активированная
 - .40 » » , резервная
 - .60 Одиночный элемент, предварительно активированный
 - .80 » » , резервный

121. Вентиляторы

121.00 Тип

- .05 Осевые
- .65 Радиальные
- 121.00.00 Потребляемая мощность
 - .05 Переменный ток
 - .10 Постоянный ток
 - .15 Пневматические

152. Конденсаторы постоянной емкости

152.00 Тип

- .05 С воздушным (или газовым) диэлектриком
- .10 Алюминиевые (MIL-C-62)
- .20 Керамические (MIL-C-20)
- .25 Пленочные (бумага и пластическая пленка) (MIL-C-25, 14157, 26244, 27287)
- .30 С металлизированной пленкой (MIL-C-18312)
- .35 Стеклянные и стеклоэмалевые (MIL-C-11272)
- .45 Слоистые (MIL-C-5, 10950, 10959)

152. Конденсаторы постоянной емкости (продолжение)

- .75 Танталовые, сухие (MIL-C-26655)
- .76 Танталовые, жидкостные (MIL-C-3965)
- .77 » , фольга (MIL-C-3965)
- .85 Вакуумные
- 152.00.00 Корпус
 - .30 Бесповный
 - .40 Герметически запапанный
- 152.00.00 Монтаж
 - .20 Крепление на шасси
 - .40 Монтаж на выводах
 - .60 Со штепсельными контактами
- 161. Конденсаторы переменной емкости
- 161.00 Описание
 - .05 Плоские пластины, воздушный диэлектрик
 - .20 Керамический подстроечный с одним оборотом
 - .25 Трубочатый подстроечный поршневого типа, керамический диэлектрик
 - .35 Трубочатый подстроечный поршневого типа, стеклянный диэлектрик
 - .45 Со сплошным диэлектриком
 - .72 Трубочатый подстроечный поршневого типа, кварцевый диэлектрик
 - .75 С емкостью, зависящей от напряжения
- 241. Кристаллы (кварцевые резонаторы)
- 241.00 Функции
 - .10 Полосовые фильтры
 - .30 Стабилизация частоты
 - .60 Звукоусилители
 - .70 Временная задержка сигналов
- 241.00.00 Материал
 - .20 Титанат бария
 - .50 Германий
 - .60 Кварц
 - .80 Серпентина соль
 - .90 Турмалин

301. Лампы, электронные

301.00 Тип

- .01 Электронно-лучевые индикаторные трубки
- .02 Управляемые тиратроны
- .08 Индикаторы
- .10 Мощные электрические
- .22 Фотоэлементы
- .55 Специального назначения
- .59 Электронно-лучевые коммутаторы
- .60 Сверхвысокочастотные
- .61 ЛБВ и ЛОВ
- .66 Счетчики Гейгера — Мюллера
- .70 С управлением магнитным полем

301.00.00 Конструкция

- .10 Одиночный диод
- .20 Двойной диод
- .30 Одиночный триод
- .40 Двойной триод
- .50 Тетрод
- .70 Пентод
- .80 Комбинированная
- .90 С 6 или более сетками

301.00.00.00 Общие функции

- .10 Прямая
- .30 Выпрямительная
- .40 Специального назначения
- .50 Генераторная
- .70 Стабилизатор напряжения

428 Приборы

428.00 Измеряемая величина

- .01 Ускорение (линейное или угловое, но не вибрации)
- .03 Высота
- .05 Барометрическое давление
- .07 Емкость
- .09 Ток (MIL-M-3823, 1725, 10304, 16034)
- .12 Глубина
- .14 Размеры, линейные (толщина, диаметр, длина)
- .15 Направление

545 Приборы оптические, системы и устройства (продолжение)

- .07 Приборы для обработки пленки
- .10 Компараторы
- .20 Микроскопы
- .30 Перископы
- .50 Дальномеры
- .60 Секстанты
- .70 Телескопы
- .80 Телевизионные камеры

545.00.00 Элементы оптических приборов

- .10 Кристаллы
- .20 Линзы
- .30 Призмы
- .40 Зеркала

595 Регуляторы электрические

595.00 Регулируемая величина

- .10 Переменное напряжение
- .20 Постоянное напряжение
- .30 Ток

595.00.00 Принцип действия

- .10 С угольным столбиком
- .20 Электромеханический
- .30 Электронный
- .50 Феррорезонансный
- .70 С вибрирующими контактами

651 Резисторы постоянные

651.00 Материал или тип

- .20 Углеродистая пленка (MIL-R-10509)
- .40 Композиционные (MIL-R-11)
- .50 Металлическая пленка, на большую мощность
 - » , прецизионные (MIL-R-10509)
- .65 Проволочные (MIL-R-93, 9444)
- .66 » , на большую мощность (JAN-R-184, MIL-R-26, 18346)
- .75 Термочувствительные
- .80 С сопротивлением, зависящим от напряжения

- .18 Дальность
- .20 Вязкость
- .24 Упругость
- .27 Частота
- .28 Твердость
- .33 Влажность, абсолютная
- .36 Влажность, относительная
- .39 Полное сопротивление
- .40 Сила света
- .43 Уровень жидкости
- .45 Фазовый угол
- .48 Электрическая мощность
- .50 Давление газа
- .55 Радиоактивность
- .60 Скорость течения жидкости
- .65 Сопротивление
- .73 Сила звука
- .74 Температура
- .75 Вращающий момент
- .77 Вакуум
- .85 Напряжение (MIL-M-3823, 17275, 10304, 16034)
- .87 Объем
- .90 Форма сигнала

428.00.00 Действие

- .30 Регулирующий
- .40 Индикаторный и измерительный
- .50 Измерительный только
- .80 Испытательный

428.00.00.00 Отсчет

- .10 Звуковой
- .20 По шкале
- .30 Цифровой (печать)
- .40 Построение графика
- .70 Визуальный

545.1 Приборы оптические, системы и устройства

545.00 Тип

- .05 Фотоаппараты и кинокамеры
- .06 Проекторы

651 Резисторы постоянные (продолжение)

651.00.00 Корпус

- .03 Керамический
- .05 Стеклитный
- .07 Металлический
- .08 Бесшовный
- .09 Стеклоэмалевый

651.00.00.00 Номинальная мощность (общ.)

661 Резисторы регулируемые (потенциометры или реостаты)

661.00 Материал

- .20 Углеродистая пленка
- .40 Композиционный
- .45 Металлическая пленка
- .60 Проводящая пластическая пленка
- .70 Проволочные
- .75 » , точность $\leq 1\%$

661.00.00 Внешняя регулировка

- .30 Многооборотные
- .50 Однооборотные

661.00.00 Характер изменения сопротивления

- .1 Линейный
- .2 Нелинейный, не тригонометрический
- .3 Тригонометрический
- .4 Логарифмический

661.00.00.00 Номинальная мощность (общ.)

742 Транзисторы

742.00 Функции

- .10 Общего назначения (менее 1 ат)
- .20 Мощные (более 1 ат)
- .30 Высокочастотные
- .50 Полые
- .60 Переключающие
- .70 Генераторные

742.00.00 Материал и полярность

- .10 Германий, $n-p-n$
- .20 » , $p-n-p$

742 Транзисторы

- .30 Кремний, $n - p - n$
- .40 » , $p - n - p$

761 Экраны и экранирование

761.00 Излучение, от которого производится экранирование

- .10 Электромагнитное
- .20 Магнитный поток
- .30 Ядерная радиация
- .40 Свет
- .50 Тепло

761.00.00 Экранируемые элементы

- .10 Катушки
- .30 Электронные лампы
- .80 Трансформаторы
- .90 Провода и кабели

Общие категории классификации

Среда

- .10 Криогенные жидкости
- .20 Топливо
- .40 Газ
- .60 Жидкости
- .70 Окислители
- .80 Сжатый воздух
- .90 Нефть

Диапазон давлений

- .10 0—25 мм рт. ст.
- .20 25—35 мм рт. ст.
- .30 35—225 мм рт. ст. (на высоте 9—20 тыс. м)
- .40 225—760 мм рт. ст. (9 тыс. м — уровень моря)
- .50 Только на уровне моря
- .60 0—7 кг/см²
- .70 7—70 кг/см²
- .80 70—350 кг/см²
- .90 Более 350 кг/см²

Примечание.

Диапазон охватывает величины, большие нижнего предела, и включает в себя верхний предел. Например: «Диапазон напряжений 1—10 мв». В этот диапазон входят напряжения выше 1 мв, включая и 10 мв.

Номинальная мощность

- .06 Менее 0,1 вт
- .08 0,10—0,125 вт
- .12 0,125—0,25 вт
- .14 0,25—0,50 вт
- .16 0,50—1,0 вт
- .20 1—2 вт
- .30 2—10 вт
- .40 10—100 вт
- .50 100—1000 вт
- .60 1—10 квт
- .70 10—100 квт
- .80 100—1000 квт
- .90 Более 1 Мвт

Номинальное напряжение

- .10 Ниже 1 мв
- .20 1—10 мв
- .30 10 мв — 1 в
- .40 1—30 в
- .50 30—109 в
- .60 109—240 в
- .80 1—10 кв
- .90 Более 10 кв

Диапазон частот

- .02 Постоянный ток
- .05 60 гц
- .06 400 гц
- .07 0—3 кгц, звуковые частоты
- .10 3—30 кгц, звуковые частоты
- .20 30—300 кгц, низкие частоты
- .30 300—3000 кгц, средние частоты
- .40 3—30 Мгц, высокие частоты
- .50 30—300 Мгц, очень высокие частоты
- .60 300—3000 Мгц, ультравысокие частоты
- .70 3—30 Ггц, сверхвысокие частоты
- .80 Более 30 Ггц, крайне высокие частоты

Документы и данные общего характера (или многотемные). Если к документу не применим ни один из подразделов рубрики, то нужно пользоваться категорией .00 «Общие вопросы». Эта же категория используется и в том случае, когда документ может быть отнесен более чем к одному подразделу данной рубрики. Это компромиссный способ, когда за счет некоторого отклонения от «идеальной» точности классификации достигается исключение излишних перекрестных ссылок. Например, код отчета, содержащего данные о постоянных проволочных резисторах на номинальную мощность 0,25, 0,5 и 1 Вт в металлическом корпусе, должен иметь для обозначения номинальной мощности категорию 00 (общ.). Полный код этого документа будет иметь вид 651.65.07.00. Однако на документ должны быть даны ссылки в различных подразделах рубрик, если эти подразделы определяют совершенно другие свойства, а также в тех случаях, когда документ может затеряться в разделе «Общие вопросы». После того как записаны основные числа кода, всегда нужно поставить необходимое количество нулей для получения девятизначного числа.

Кодирование идентичных повторяющихся параметров. Некоторые параметры, такие, как давление, частота, номинальная мощность, могут относиться к большому числу элементов. В этих случаях нужно пользоваться общими категориями классификации, данными в конце таблицы, и давать ссылку на эти категории (общ.). При этом всегда нужно использовать низшую применимую категорию.

Ссылки на военные стандарты. Номера военных стандартов (MIL), указанные в некоторых подразделах рубрик, приводятся только для ссылок. Они показывают, что свойства элементов удовлетворяют требованиям стандартов.

Пример классификации.

Код 152.20.40.20

	Основная рубрика	Тип	Корпус	Монтаж
	152	.20	.40	.20
Конденсатор постоян- ной емкости				
Керамический				
Герметически запаян- ный				
Крепление на шасси				

2.6.6. Важное значение иерархической структуры в системах с ручным поиском. Последовательность терминов, принятая в табл. 2.2, предусматривает включение каждой рубрики в определенное положение в соответствии с решением лиц, составлявших таблицу. Когда их решение *совпадает* с оптимальным, ручной поиск оказывается простым и эффективным. Однако если выбор терминов потребителем или образование последовательности терминов соста-

вителем таблицы сделаны без достаточного учета критериев поиска, то ручной поиск становится затруднительным. Поэтому при проектировании ручной системы следует обращать большое внимание на *относительные* положения рубрик в картотеке и запросе. Например, если под рубрикой «Реле» термин «Нагрузка на контакты» помещен раньше термина «Тип» и поиск производится по признаку «Реле на x ампер», то такое расположение оказывается хорошим. Но если большинство запросов на поиск содержит признак «Реле типа *хуз*», последовательность рубрик должна быть изменена.

2.7. СТРУКТУРА И ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ПОИСКОМ

Как упоминалось в разд. 2.6, системы с автоматическим и ручным поиском отличаются лишь степенью сложности. Вычислительная машина или машина для сортировки перфокарт, действующие по определенным правилам, осуществляют более строгий контроль за неоднозначными выражениями, почти идентичной пунктуацией, вариантами написания одних и тех же слов, случайным выбором синонимов и т. д. Для вычислительной машины выражение «В. В. С. США» не имеет ничего общего с выражением «ВВС США» или «Военно-воздушные силы США», если ей заранее не дана команда воспринимать эти выражения как идентичные. Точно так же шифры P2V-2 и P2V2 означают для машины совершенно различные проекты.

Ввиду этого в системах с автоматическим поиском документам должны присваиваться развернутые *цифровые коды*, хотя иногда эти коды могут быть известны только операторам, готовящим перфокарты или магнитную ленту, и только ими используются.

Цифровые коды, устанавливающие унифицированное цифровое представление документов, способствуют разъяснению и стандартизации специального инженерного смысла, заложенного в них. Часто сведение общей терминологии к ряду тождественных цифровых кодов раскрывает сложность мышления и интерпретации значений, заключающихся в словах. Например, выражения «температурный удар», «термический удар», «температурный цикл» или «воздействие высокой и низкой температур» можно использовать свободно, если они сопровождаются пояснительным описательным текстом. Однако если требуется выбрать единственный цифровой код для каждого из этих понятий, то необходимо дать строгое определение каждому выражению. Специалист по программированию для систем с автоматическим поиском не сможет правильно выполнять свою работу, если специалист по надежности не представит ему хорошо организованных входных данных с уточненными значениями. Кроме того, единообразие в употреблении терминов оказывается очень полезным при ручном поиске документов по

одной теме или при выработке инженерного решения на основе данных из нескольких источников.

Рискуя вступить в разногласия с потребителями более сложных систем поиска данных, следует подчеркнуть, что система может находить (или обрабатывать) данные только по вводимым в нее критериям. Хотя, применяя очень сложную, как правило, практически неудобную машинную логику, можно заставить машину выполнять более сложные операции над входными выражениями, целесообразнее планировать и применять точную входную терминологию и кодирование.

2.7.1. Словарь терминов, относящихся к воздействию внешних условий. Рассматриваемые здесь и приведенные в табл. 2.3 термины описывают внешние факторы, оказывающие воздействие на элементы до, во время или после измерений, или дают оценки выходных параметров, о которых речь пойдет в подразделе 2.7.3. Эти внешние факторы обусловлены тепловыми, бактериологическими, химическими, электрическими, механическими, ядерными и электромагнитными воздействиями.

Приведенный в табл. 2.3 перечень терминов может служить основой для кодирования, которое можно расширить до любой степени подробности под любой рубрикой путем добавления буквенных приставок, хотя в большинстве случаев данная в таблице детализация оказывается более чем достаточной. На фиг. 2.2 приведен бланк, содержащий наиболее часто употребляемые термины, относящиеся к воздействию внешних условий. Каждая графа имеет достаточно места для записи цифрами фактических значений уровней или интенсивностей внешних факторов.

Можно предложить много вариантов «кодирования» этих уровней в различных диапазонах или пределах. Однако если представляемые количественные значения являются действительно числовыми и имеется достаточно места, чтобы выразить их без обращения к таблицам, то лучше использовать кодирование лишь в минимальном объеме, необходимом для обозначения соответствующих областей и обеспечения однозначного толкования.

В тех случаях, когда изменение внешних факторов *нельзя* выразить в цифровой форме простым способом, практически более целесообразно использовать кодовые символы и в дополнение к ним отдельные таблицы. Хотя соленые брызги можно представить некоторым рядом величин интенсивностей и длительностей, удобнее пользоваться предварительно составленной комбинацией уровней и условий, определяемой военными стандартами США. Таблица 2.4 представляет собой код, охватывающий наиболее общие военные стандарты, кроме того, она иллюстрирует принцип, который может быть распространен на другие подобные ситуации.

Отметим, что эти стандарты в общем устанавливают только уровни внешних факторов при испытаниях и в меньшей мере за-

Конденсатор постоянной емкости, танталовый, твердый, герметизированный, монтаж на шасси																		
№	1 А	1 В	2 А	2 В	3 А	4 А	4 В	5 А	6 А	7 А	7 В	8 А	8 В	8 С	9 А	9 В	10 А	10 В
Обоз- начение строчек	Температура				высота, $\text{м} \times 10^3$	Вибрации				Линей- ное уско- рение		Удары		Излуче- ние		Условия ве		
	рабо- чая	хране- ния	цикл	удар		механиче- ские		синусо- идаль- ные	случай- ные									акустические
						макс. частота, гц	интенсив- ность											
										г среднеквад- ратич.	$\frac{\text{г}^2}{\text{гц}}$	дб						
низкая, $^{\circ}\text{C}$	высокая, $^{\circ}\text{C}$	низкая, $^{\circ}\text{C}$	высокая, $^{\circ}\text{C}$	макс. частота, гц	г среднеквад- ратич.	$\frac{\text{г}^2}{\text{гц}}$	дб	макс. г	длительность воздействия, сек	макс. г	длительность воздействия, мсек	общее число ударов	общая поглощенная доза, рад	вид—см. примечания	продолжительность работы одного элемента, час/цикл	число элементов в партии		
A			54	74	10,5	2000	30										500	23
B			18	70													2000	57
C	55	125																
D	55	125																
E	55	125																
F	55	125																
G			54	37														
H	55	125			80					50	60	5	0,11	48			2000	12
I						2000	60											
J	55	125																
K	55					2000	15										100	10
L	65		25	85														

Фиг. 2.2. Бланк для регистрации результатов

														Ссылка на военные стандарты A MIL-C-3965B D B MIL-STD-202B E C F G		Анализ №		
														дата				
														число месяц год				
10 C	10 D	10 E	10 F	10 G	10 H	10 I	11 A	12 A	13 A	14 A	15 A	16 A	17 A	18				
испытаний на долговечность															Код для колонки 9В			
															Виды излучения			
															Ядерное Электро-магнитное Заряженные частицы			
															A—быстрое D—гамма F—протоны			
															B—медленное E—рентгеновское G—электроны			
															C—тепловое H—смешанное			
внешняя температура, °C															Примечания относятся к колонке №			
давление																		
ток																		
частота																		
мощность																		
напряжение																		
Соленые брызги																		
Влажность																		
Песок—пыль																		
Погружение/утечка																		
Радиопомехи																		
Погружение/утечка																		
Общее число испытываемых элементов																		
+85															8C	Случайное падение с высоты 2 м		
															57	101	50% + 75% от номинального напряжения	
															15	12A	Утечка на постоянном токе меньше чем 150% от начальной	
															15			
															24	12A		
															24	12A		
															17	2A2B	8 циклов при высокой температуре с приращением 15°C	
+125															15	12A		
															3	4B	Вибрации по двум осям 35 g и 50 g	
															15			
+65															25	1A	MIL-C-3965 B	
															10	1A	24-часовые циклические испытания при влажности 95%	

испытаний на воздействие внешних факторов.

трагивают методы испытаний, порядок их проведения, последовательность, измерительную аппаратуру и т. д. Только в отдельных случаях они устанавливают критерии отказов и безотказной работы. Эти критерии обычно формулируются в технических условиях, и поэтому их очень трудно включить в рассматриваемую таблицу, имеющую общее назначение. Указанные в табл. 2.4 стандарты могут быть использованы для уточнения *всех* внешних факторов, перечисленных на фиг. 2.2. В тех случаях, когда числовые значения являются более выразительными, они указаны в бланке. При желании можно изменить формат таблицы и расширить ее для включения стандартов на все внешние факторы. Для этого можно использовать две строчки бланка на каждый стандарт, изменить выбранные внешние факторы и т. д. Дальнейшее расширение позволит включить в эту таблицу *результаты* испытаний и т. п.

Таблица 2.5 приведена здесь для того, чтобы облегчить выбор кратких и однородных ссылок на источники данных, когда это требуется. Ее можно расширить, введя различные категории дополнительных документов. Она является прототипом, который может быть использован применительно к конкретной, специальной программе автоматического поиска данных по определенному типу испытаний.

2.7.2. Односимвольное кодирование данных о воздействии внешних условий. Таблица 2.3А предназначена для использования в тех случаях, когда нужны только общие указания о существующих данных или нет возможности дать более подробные сведения. В ней используются те же слова, что и в табл. 2.3, но между расположением их нет связи. Мнемонический выбор терминов и алфавитное расположение символов в табл. 2.3А (стр. 109) дают возможность лицам, часто пользующимся ею, легко запомнить большую ее часть, тогда как значительное количество деталей в табл. 2.3 делает такое запоминание относительно менее важным.

Таблица 2.3

Определения терминов, относящихся к воздействию внешних условий

Многие термины, например вибрации, могут быть также применены к наблюдаемым выходным данным. Это целесообразно, так как для сравнения и поиска данных требуются нормализация данных посредством их аналогичного описания и применение идентичных единиц измерения. Это требование относится в равной мере как к регулируемым, так и нерегулируемым факторам.

Общие замечания

1. Знаком «+» отмечены внешние условия, входящие в действующий указатель NASA MSFC.

2. Знаком «*» отмечены внешние условия, которые могут быть выбраны как наиболее важные для включения в отчет об испытаниях элементов на воздействие внешних условий. Названия граф в отчетном бланке печатаются заранее; уровни внешних факторов обозначаются цифрами или номерами стандартов; дол-

жно быть указано совместное воздействие внешних факторов; следует использовать бланк, содержащий 132 графы и по одной строке на каждый фактор.

3. Для всех периодически изменяющихся во времени величин, таких, как число g , напряжение переменного тока и т. п., должны указываться среднеквадратичные значения. Величины, приведенные в отчетах в виде максимальных или средних значений, должны быть преобразованы в среднеквадратичные значения перед занесением их в таблицы, на карты, ленту и т. д.

4. Для всех испытаний на воздействие направленных величин (ускорение, удары и т. д.) принимается, что входные величины одинаковы по всем осям, по которым проводятся испытания. Если эти величины по различным осям должны изменяться (обычно это имеет место только при испытаниях больших элементов), нужно применять индекс оси и указывать новые значения величин для осей u и z или для одной из этих осей.

5. Кодовые номера и буквы присваиваются терминам только с целью стабилизации их значений; можно также применить другие коды и системы кодирования без изменения приведенных ниже определений.

6. «Рабочие» и «нерабочие» условия отмечаются только в немногих случаях, когда в этом возникает необходимость. Для этих терминов можно предложить кодовые обозначения «Р» и «НР» соответственно.

7. «Фиксированные» окружающие условия (п. 10—17) можно или отмечать словами «да» и «нет», или использовать для более детального обозначения коды и символы, аналогичные предложенным в подразд. 2.7.1.

Комбинированные или основные внеш- ние условия	Условия, измеряемые величины или кон- кретные внешние факторы	Единицы измере- ния
1. Условия экс- плуатации в в течение срока службы	*А Время работы отдельных элементов при заданных температуре, нагрузке и т. д.	час
	*В Циклы срабатывания при заданной нагрузке (для электронных ламп, пе- рекючателей, соленоидов, реле и т. д.)	цикл
	С Температура, внешняя, регулируемая (высокая)	°C
	D Температура, внешняя, регулиру- емая (низкая)	°C
	*Е Давление: заданная величина прило- женного внутреннего или внешнего регулируемого давления	% от номиналь- ного
	*F Ток: заданная электрическая нагруз- ка	% от номиналь- ного
	*G Частота: заданная входная частота	% от номиналь- ной
	*H Мощность: заданная входная мощ- ность (ватты, лошадиные силы и т. д.)	% от номиналь- ной
	*I Напряжение: заданное входное на- пряжение	% от номиналь- ного
	J Поток	% от номиналь- ного
	K Механические факторы: приложенные усилия (растяжение или сжатие)	кг
	L Механические напряжения: прило- женная нагрузка (скручивание или изгиб)	г · см

Продолжение

Комбинированные или основные внешние условия	Условия, измеряемые величины или конкретные внешние факторы	Единицы измерения
	М Механические напряжения: приложенная нагрузка (скручивание или изгиб)	кг · м
	N Перегрузка: работа при выходной мощности, превышающей номинальную (например, электрических генераторов, генераторов высокой частоты, усилителей и т. д.)	% от номинального

Примечание к группе 1. Ускоренные испытания на долговечность (со ступенчатым повышением нагрузки) не отличаются резко от рабочих испытаний на воздействие любых указанных внешних условий, превышающих нормальный уровень. Однако в тех случаях, когда основной целью является определение времени износа (или количества циклов, при котором наступает износ) при *нормальном* механизме отказов и *номинальном* режиме, — но это требуется провести быстрее при повышенных нагрузках, — такие испытания рассматриваются как варианты испытаний на долговечность.

Когда внешняя температура, излучение и т. п. увеличиваются с целью проверки возможности появления при этом нового механизма или вида отказов, такие испытания относятся к испытаниям при определенных внешних условиях, а не к «испытаниям на долговечность при нагрузке, равной $N\%$ от номинальной».

Испытания на воздействие других окружающих условий, для которых обычной является проверка при нагрузках, *превышающих нормальные*, не повторяются как испытания на долговечность, несмотря на то, что возможно добавление некоторых других перегрузок известного типа.

2. Механические вибрации, синусоидальные	*А	Максимальная частота	гц
	*В	Интенсивность	г
	С	Минимальная частота	гц
	D	Общая продолжительность испытаний «низкая—высокая—низкая частота»	мин
	E	Продолжительность цикла «низкая—высокая частота»	мин
	F	Продолжительность цикла «высокая—низкая частота»	мин
	G	Продолжительность цикла «низкая—высокая—низкая частота». (Если задано это испытание, то пункты E и F не применяются)	мин
	H	Пребывание в условиях резонанса 1: время частота выходной уровень	мин гц г
	I	пребывание в условиях резонанса 2: время частота выходной уровень	мин гц г
	J	Другие резонансные точки	да/нет
	K	Максимальный размах при переходах (двойная амплитуда)	см

Продолжение

Комбинированные или основные внешние условия	Условия, измеряемые величины или конкретные внешние факторы	Единицы измерения
3. Механические вибрации, случайные	L Ось (оси), по которым прикладываются нагрузки (см. замечание 5)	x, y или z
	*A Максимальная частота	$гц$
	B Минимальная частота	$гц$
	C Общая продолжительность испытания	$мин$
	D Средняя спектральная плотность мощности	$г^2/гц$
	E Максимальный уровень	$г^2/гц$
	F Частота при максимальном уровне	$гц$
4. Акустическое воздействие	G Ось (оси), по которым прикладываются нагрузки	x, y или z
	A Максимальная частота	$гц$
	B Минимальная частота	$гц$
	C Максимальный уровень звукового давления	$дб$
	D Ширина октавы, в которой наблюдается максимальный уровень звукового давления	$гц$
	E Общий уровень максимального звукового давления	$дб$
	F Спад звукового давления	$дб/октава$
5. Удары	A Импульсной формы: а) пилообразные; б) полусинусоидальные; в) квадратные; г) другие	
	*B Максимальный уровень ускорения во время удара	$г$
	*C Длительность действия максимального уровня ускорения	$мсек$
	D Время нарастания: интервал времени нарастания ускорения от нуля до максимума	$мсек$
	E Время спада: интервал времени спада ускорения от максимума до нуля	$мсек$
	*F Число ударов	число
	G Высота падения	$см$
	H Ось (оси), по которым действует ударное ускорение	x, y или z
	A Максимум	$г$
	B Длительность при максимуме g	$сек$
6. Ускорение, линейное	C Метод приложения силы: ускорение принимается центробежным, если не указывается, что оно линейное (источник на салазках)	линейное/нелинейное
	A Ускорение при заданном числе оборотов в минуту или в секунду	$рад/сек^2$
7. Ускорение, угловое	A Ускорение при заданном числе оборотов в минуту или в секунду	$рад/сек^2$

Следующие группы охватывают температуру, удары, циклические испытания, проникание влаги, хранение и т. д. и полностью определяют условия независимые от того, к какому внешнему фактору они относятся.

Продолжение

Комбинированные или основные внешние условия	Условия, измеряемые величины или конкретные внешние факторы	Единицы измерения
8. Температура (регулируемая, внешняя)	*А Высокая	+°C
	В Время пребывания при высокой температуре	мин
	С Продолжительность охлаждения до окружающей температуры	мин
$N = C + D + E$	D Время пребывания при окружающей температуре (25°C, если не указана другая температура)	мин
	E Время охлаждения до низкой температуры	мин
	*F Низкая	-°C
	G Время пребывания при низкой температуре	мин
	H Время нарастания до окружающей температуры	мин
	I Время пребывания при окружающей температуре (25°C, если не указана другая температура)	мин
$P = H + I + J$	J Время нарастания до высокой температуры	мин
	K Часть цикла, в течение которой работал элемент (А, В, С, D, E, F, G, H, I, J)	
	L Число повторений полного цикла	число
	M Рабочее состояние: принимается, что элемент находится в рабочем состоянии, если нет других указаний	число

Примечания к группе 8

1. Если испытаниям при высокой и низкой температурах подвергаются различные партии образцов, то для соответствующих партий по пунктам С, D, E или H, I, J указываются в необходимых пунктах значения, равные 0. Если цикл не регулируется по интервалам времени, то делаются прочерки.

2. Если одна партия образцов подвергается длительным испытаниям при повышенной влажности, а другая — циклическим испытаниям, то сначала указываются окружающие условия для партии, испытываемой при постоянной температуре. Данные по другой партии указываются во второй части группы 8, имеющей обозначение 8*. Данные по третьей партии приводятся в группе 8** и т. д.

3. Испытания на воздействие температуры определяются как испытания при температуре существенно более высокой или более низкой, чем нормальная рабочая температура окружающей среды, имеющие целью вызвать отказ или определить способность элемента работать при высоких и низких температурах. Поэтому такие испытания не входят в испытания на долговечность, даже если элемент будет работать при ненормальных температурах до отказа.

9. Высота	*А Высота, барометрическое давление, выраженное как высота над уровнем моря	км
	В Вакуум, конкретное барометрическое давление (используется при характеристике окружающих условий в космическом пространстве)	мм рт. ст.

Комбинированные или основные внешние условия	Условия, измеряемые величины или конкретные внешние факторы	Единицы измерения
10. Коррозия (соленые брызги)	+А Испытание на воздействие окисления и других вредных эффектов в атмосфере, вызывающей коррозию	В зависимости от вида испытания (см. примечания к группе 8) час
11. Влажность, сырость	+В +А Время воздействия Непрерывное пребывание в условиях высокой относительной влажности при температуре 65—70°C	В зависимости от вида испытания (см. примечания к группе 8)
12. Песок и пыль	+А Испытание на воздействие струй песка или пыли при нормальном давлении и температурах до 71°C	То же
13. Плесень	Испытание на воздействие спор плесени	» »
14. Взрывоопасная атмосфера	+А Работа во взрывоопасной смеси с целью установления, может ли элемент или аппаратура вызывать зажигание этой смеси, а также определения свойств аппаратуры задерживать распространение пламени или предотвращать взрыв. (Это не означает определения способности элемента противостоять внешнему взрыву)	» »
15. Герметичность	+А Погружение в жидкость для определения цельности конструкции и подверженности проникновению жидкости извне В Утечка жидкости изнутри под действием внутреннего давления С Приложенное давление (А или В, но не оба одновременно)	» » кг/см ²
16. Радиопомехи *	Чувствительность к воздействию электромагнитных помех, иногда называемых радиопомехами: высокочастотных помех, хаотического шума, организованных помех и т. д. (Это не означает испытания для определения способности элемента создавать помехи работе другой аппаратуры) А Чувствительность к воздействию наводимых высокочастотных (организованных) помех В Чувствительность к воздействию излучаемых высокочастотных помех А Создание недопустимых высокочастотных радиопомех другой аппаратуре, распространяющихся по проводам В Создание недопустимых высокочастотных радиопомех другой аппаратуре в виде излучения	В зависимости от вида испытания (см. примечания к группе 8) То же » » » » » »
17. Излучение радиопомех	А Создание недопустимых высокочастотных радиопомех другой аппаратуре, распространяющихся по проводам В Создание недопустимых высокочастотных радиопомех другой аппаратуре в виде излучения	» » » »

Продолжение

Комбинированные или основные внешние условия	Условия, измеряемые величины или конкретные внешние факторы	Единицы измерения
18. Давление	⁺A Испытание на воздействие внутреннего давления (в баках, аккумуляторах или цилиндрах) для определения целостности и прочности конструкции B Типы испытаний, определяемые как: а) рабочие б) испытание на соответствие максимальным требованиям (без разрушения) в) взрыв (испытание с разрушением до отказа) г) другие испытания C Испытание под определенным давлением	В зависимости от вида испытания ⁺ кг/см²
19. Радиационные воздействия	A Ядерное, быстрые нейтроны B Ядерное, медленные нейтроны C Термоядерное D Гамма-излучение E Рентгеновское F Протонное G Электронное *H Суммарная доза облучения (поток) I Суммарная доза поглощенная J Продолжительность облучения K Энергия частицы	нейтрон/ /см² · сек » » эрг/г/час » число частиц/см² · 10¹² рад · 10⁴ мин эв (Мэв · 10⁴)
20. Высоковольтные испытания	A Электрическая прочность (пробивное напряжение диэлектрика). Испытание постепенно повышающимся напряжением до пробоя изоляции B Сопротивление изоляции: измерение тока утечки через изоляцию при заданном напряжении и выражение результата измерений в омах C Ток утечки: измерение при заданном напряжении	кВ Мом мкА

Примечание к группе 19. Пункты А—G относятся ко всем типам испытаний; в бланках для быстрых справок следует указывать только наиболее важные, проставляя соответствующую букву. Интенсивность облучения (H) дается только для этого испытания двумя цифрами и степенью *h*. Для небольших элементов предпочтительнее использовать в качестве единицы количество частиц на 1 см², для больших узлов или живых объектов можно использовать единицу поглощенной дозы — рад.

Вполне возможно требование проведения испытаний отдельных элементов на воздействие различных видов излучения при разных длительностях и интенсивностях. Приведенный выше перечень не охватывает полностью такие случаи, но его можно соответственно расширить.

Комбинированные или основные внешние условия	Условия: измеряемые величины или конкретные внешние факторы	Единицы измерения
21. Механические испытания выводов	D Работа при повышенном напряжении (значительно превышающем номинальное) в течение длительного времени (более 5 мин)	% от номинального
	E Импульсное напряжение или мгновенное перенапряжение	% от номинального
	F Импульсное напряжение: число циклов приложения напряжения	цикл
	G Импульсное напряжение: длительность каждого воздействия	сек
	H Температура, при которой проводится испытание	°C
	A Отрыв выводов: испытание под действием силы, приложенной к выводам или соединительным проводам. (Указывать силу в килограммах вместо ссылки на стандарт)	кг
	B Изгиб выводов (напряжение на изгиб, приложенное при испытании)	
	C Число изгибов под углом 90°	число

Таблица 23А

Односимвольный код измерений, испытаний и воздействия окружающих условий

Для правильного выбора символа в каждом конкретном случае требуется определенный опыт. Естественно, что можно внести изменения в таблицу, пользуясь цифрами от 3 до 9.

Символ	Измерения, испытания или воздействия внешних факторов, обозначенные этим символом
A	Ускорение: угловое (центробежное) или линейное
B	Изгиб выводов, отрыв выводов; напряжения/нагрузки
C	Коррозия (воздействия соленых брызг)
D	Пыль и песок
E	Взрывоопасная атмосфера: способность работать в этой атмосфере; способность противостоять внешнему взрыву
F	Испытания на воздействие плесени
G	Испытание на воздействие солнечного света
H	Высота (над уровнем моря)
I	Погружение в жидкость: утечка жидкости наружу или проникновение жидкости извне (испытание на герметичность)
J	Испытание на воздействие магнитного поля
K	Воспламеняемость
L	Испытание на долговечность: при нормальной нагрузке или перегрузках

<i>Символ</i>	<i>Измерения, испытания или воз действия внешних факторов, обозначенные этим символом</i>
M	Влагостойкость: воздействие влажности и/или осадков (дождя); паровая баня
N	Шум (акустический)
O	Рабочее состояние (для указания того, что элемент находится в рабочем состоянии во время предшествующего испытания на воздействие внешних условий)
P	Давление (внутреннее или внешнее, превышающее атмосферное)
Q	Высоковольтные испытания: электрическая прочность диэлектрика, сопротивление изоляции, ток утечки, импульсное напряжение, воздействие высокого потенциала, перенапряжение
R	Радиопомехи: излучение электромагнитных высокочастотных помех; чувствительность к помехам
S	Удары (механические)
T	Температура: высокая, непрерывное воздействие Символ T/U означает испытание температурным циклом или тепловым ударом
U	Температура: низкая, непрерывное воздействие. Символ T/U означает испытание температурным циклом или тепловым ударом
V	Вибрации: синусоидальные, случайные, смешанные
X	Рентгеновское излучение или другое радиационное воздействие
Y	Начальные параметры, измеренные или визуально проверенные перед испытанием
Z	Параметры, измеренные или визуально проверенные после испытания
\$	Спаиваемость и/или влияние пайки
*	(Звездочка.) Анализ отказов
.	(Точка.) «Конец кодирования окружающих условий. Далее следует дополнительная информация»
SS	(После точки.) Обозначает размеры пробы
&	(«и»). Используется в конце таблиц, когда место не позволяет включить данные о других испытаниях
/	(Косая черта.) Комбинированное или совместное воздействие окружающих условий обозначается с помощью этой черты (например X/Y или иногда X/Y/Z) (Пунктир.) Данные об окружающих условиях не приводятся или не применяются.

2.7.3. Словарь терминов, относящихся к характеристикам элементов. *А. Термины, представляющие выходные параметры.* В этом разделе рассматриваются термины (из табл. 2.6), описывающие *результаты измерений*, проведенных при условиях, отличающихся от перечисленных в табл. 2.3. Это отличие не всегда ясно из формально назначенного кода, так как код не всегда однозначно показывает, о каком свойстве идет речь. Например, не всегда можно четко судить о том, какое содержание вкладывается в термин «спаиваемость»: понимать ли под этим действие на элемент рас-

плавленного припоя или эксплуатационные характеристики полученного паянного соединения.

Так как выходные параметры крупных узлов выражаются большим количеством различных основных и кратных единиц, то практически более удобно иллюстрировать принципы хранения и поиска информации с помощью параметров, характеризующих работу элементов. Примеры таких параметров, приведенные в табл. 2.б, показывают, какие требования необходимы для описания *характеристик элементов*. Предполагается, что можно расширить эту таблицу либо составить нужное количество новых таблиц с тем, чтобы включить в них все применяемые критерии испытаний, в том числе результаты физических измерений и визуального осмотра, а также электрические, механические или химические выходные величины или параметры.

Первое требование к любой информационно-поисковой системе состоит в назначении конкретного кодового номера каждой измеренной выходной величине и обеспечении точного понимания термина инженерами (а также машинами), осуществляющими поиск, и потребителями, т. е. такого толкования его смысла, какое было вложено инженером, проводившим испытание. Кодовый номер должен также исключать неоднозначное понимание термина в сомнительных случаях.

Группирование терминов *по типам испытываемых элементов* оказывается в большинстве случаев непрактичным, так как большинство терминов применимо в равной мере ко многим различным элементам. Например, «сопротивление» в омах может быть отнесено к резисторам, обмоткам реле, нагревательным элементам и т. д. «Полное сопротивление» может характеризовать антенны, громкоговорители, коаксиальные кабели и усилители.

Имеются исключения, когда один и тот же термин в применении к различным элементам приобретает *разный смысл*. В этих случаях единицы измерения обычно отличаются, хотя основной термин может оставаться тем же самым. Такие термины должны быть строго определены и закодированы для сохранения этого различия. Примерами таких терминов являются:

полное сопротивление, электрическое; измеряется в омах;

полное сопротивление, акустическое; определяется как отношение звукового давления к объемной скорости распространения звука;

шум в радиозлектронных элементах; измеряется в микровольтах на метр ($\mu\text{В/м}$);

шум, акустический; измеряется в децибелах (дБ).

Такое же различие следует проводить и тогда, когда термины изменяются в зависимости от характера измерений или уровня измеряемых величин, например:

напряжение, эффективное значение;

напряжение постоянного тока;
 скорость вращения, обороты в секунду;
 скорость вращения, обороты в час (барабан регистрирующего прибора).

Для обозначения величин можно применить умножение основных единиц на степень числа 10 или использовать запятую для образования десятичных дробей.

Б. Описательные термины, не кодируемые как выходные параметры. Иногда с целью облегчения опознания элементов их описание снабжается дополнительными характеристиками, которые относятся к применению элементов, так что их можно рассматривать как выходные параметры. Однако когда эти термины используются как постоянные физические характеристики, определяющие тип элемента, они не всегда относятся к выходным параметрам.

Примерами таких описательных терминов могут служить диаметр, длина, обмоточные данные, рассеиваемая и номинальная мощность (не фактически измеренная выходная мощность), тип

Таблица 2.4

Двухсимвольный код для стандартов на испытания и уровней нагрузок

Второй символ кода означает условия, уровень нагрузки или тип испытания. Буква или цифра, следующая за номером стандарта, означает действительное условие.

Примеры: BC-MIL-STD-202, условие C; F3-MIL-E-5272, процедура 3.

Код	Стандарты и технические условия
A	FED-STD-151
B	MIL-STD-202
C	FED-STD-406
D	MIL-STD-750
E	MIL-E-4970
F	MIL-E-5272
G	MIL-E-5400
H	MIL-T-5422
J	MIL-I-6051
K	MIL-I-6181
L	MIL-E-8189
M	MIL-I-16400
N	MIL-I-16910
P	MIL-S-19500
Q	MIL-T-21200
R	MIL-I-26600
S	Испытания, проводимые по внутренним (изготовителя) стандартам или по специальной программе
T	Испытания, проводимые по методике, подробно изложенной в отчете об испытаниях; ссылки на стандарты не даются
U	Испытания, проводимые в соответствии с методикой, определенной в военных стандартах MIL (или в других стандартах общего употребления). Номера этих стандартов не включены в таблицу. Они указаны в примечаниях к картам
Y	(Yes) Испытания проведены, никаких других данных нет

Код источников стандартов и технических условий на испытания

Требования об обязательном применении таких кодов не существует, но так как большинство документов или технических данных содержат ссылки на определенные стандарты, полезно ввести некоторое однообразное кодирование при систематизации такой информации.

Агентство или тип документа	Сокращенное название	Код
Военные стандарты		
Стандарт авиационных материалов (Aeronautical Material Specification)	AMS	01
Стандарты Армии и Флота США (Army-Navy Standards)	AN STD	02
Справочник артиллерийских технических стандартов (Book of Ordnance Engineering Standards)	Bk of ORD ENG STD	03
Федеральный документ (Federal)	FED	04
Единый стандарт Армии и Флота США (Joint Army-Navy)	JAN	05
Единая система номенклатуры связи и электроники (Joint Communication-Electronic Nomenclature System)	JCENS	06
Военные технические условия (Military Specification)	MIL	07
Военный стандарт в форме книг (Military Standard (book form))	MIL-STD	08
Военный стандарт в форме листов (Military Standard (sheet form))	MS	09
Национальный авиационный стандарт (National Aircraft Standard)	NAS	10
Федеральные технические условия (Federal Specifications)	FED SPEC	11
Федеральные стандарты (Federal Standards)	FED SD	12
Военные справочники (Military Handbooks)	MIL HDBK	13
Гражданские стандарты		
Международная электротехническая комиссия (International Electrotechnical Commission)	IEC	49
Промышленные документы (Industry Documents-National Aircraft Stds)	NAS	50
Американское общество по испытаниям материалов (American Society for Testing Materials)	ASTM	53
Американская ассоциация по стандартизации (American Standards Association)	ASA	54
Объединенный инженерный комитет по электронным приборам (Joint Electron Device Engineering Council)	JEDEC	56

Таблица 2.6

Примеры кодирования выходных характеристик

Примечание. Данная подборка примеров приведена для иллюстрации метода кодирования выходных величин. Некоторые термины примыкают к группе «Окружающие условия», но ни один из них не дублирует терминов табл. 2.3.

Код	Термин	Определение	Условные обозначения	Обычно применяемые стандарты
615	Изменение сопротивления под действием влажности	Мера изменения сопротивления под действием влажности	$\pm \% \Delta R$	MIL-STD-202, MIL-R-10683
620	Изменение сопротивления при погружении	Мера изменения сопротивления при погружении в жидкость	$\pm \% \Delta R$	MIL-STD-202B
630	Изменение сопротивления при работе в условиях низких температур	Влияние рабочей нагрузки при низких окружающих температурах	$\pm \% \Delta R$	MIL-R-11D
645	Изменение сопротивления под действием механических ударов	Влияние ударов	$\pm \% \Delta R$	MIL-R-11D
650	Изменение сопротивления при кратковременной перегрузке	Изменение сопротивления при заданных кратковременных перегрузках по мощности (или по напряжению), не превышающих номинальную	$\pm \% \Delta R$	MIL-R-11D
655	Изменение сопротивления под действием соленых брызг	Мера изменения сопротивления под воздействием внешних условий, вызывающих коррозию (под действием соленых брызг)	$\pm \% \Delta R$	MIL-STD-202
660	Изменение сопротивления под действием температуры	Влияние серии постепенных изменений температуры	$\pm \% \Delta R$	MIL-R-11D

корпуса. Выражение «резистор на 0,5 Вт» означает номинальную мощность для резистора определенного типа и конкретных размеров, а не измеренную выходную мощность.

К этой же категории терминов относятся произвольно установленные критерии на условия испытания или приемки, не являю-

щиеся измеряемыми параметрами. Примеры: «диапазон температуры окружающей среды, в пределах которого получается номинальная мощность» и «допуск на величину сопротивления» (часто используемый для физического описания резисторов).

2.7.4. Кодирование цифровых величин для машинных операций. В предыдущих разделах обсуждалась структура кодов, позволяющая быстро извлекать из массива информации требующиеся точные величины или данные о воздействии внешних условий. Однако иногда бывает желательно получить информацию о минимальном, максимальном и среднем значениях, о разбросе, процентных отношениях и числе элементов, выходящих за пределы 3σ по группе результатов в различных сообщениях. Если данные выражены в числовой форме в идентичных единицах и им присвоены кодовые символы, приведенные в таблицах 2.3 и 2.5, то программист вычислительной машины может легко составить программу для сравнения данных, содержащихся в различных сообщениях. Возможность возникновения таких требований нужно предвидеть заранее, так как они повлияют на строгость расчета, кодирование и выбор типов измерительных приборов. Изменение требований к обработке данных повлечет за собой изменение кодов таблиц 2.3 и 2.5, но основное требование к стандартизации кодирования остается.

Когда необходимо записать на карты или ленту любые величины (например, максимальные), отличающиеся от уже принятых стандартных и закодированных, то нужно выбрать новый код, точно определить, к каким изменениям величины или функции этот код применим, и присвоить каждой из этих величин соответствующее кодовое обозначение. Этим гарантируется то, что оператор может задать вычислительной машине однородные команды, а программист включит в программу задачу поиска нужных фактов или обработки данных в соответствии с новыми требованиями.

2.7.5. Обозначение с плавающей запятой. В случаях необходимости накопления величин, значения которых существенно меняются, удобным оказывается использование стандартных математических обозначений. Цифры, вводимые в вычислительную машину, выражаются в форме $5E\text{XXXX}...X$, что соответствует величине $(X, \text{XXX}...X) \cdot 10^{50+E}$.

Знаки «XXXX...X» представляют собой любое число значащих цифр, причем принимается, что запятая всегда стоит после *первой* цифры. $5E$ означает степень, в которую нужно возвести основание, чтобы оно стало равным действительной величине. Согласно удобному правилу, принимается, что нулевой степени соответствует число 50. Таким образом, степень 10^3 будет кодироваться как 53, а 10^{-3} — как 47 и т. д. Этим устраняется необходимость пользоваться знаками плюс и минус.

Примеры:

Величина	Сомножители	Кодовое число с плавающей запятой
13,6	$1,36 \cdot 10^1$	51136
0,136	$1,36 \cdot 10^{-1}$	49136
0,001367	$1,367 \cdot 10^{-3}$	471367
13600	$1,36 \cdot 10^4$	54136

2.8. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ

Так как информационно-поисковые системы находятся в стадии интенсивного развития, здесь будет дано описание только их основных элементов. Но в тех случаях, когда речь идет об оригинальных принципах, нельзя не описать некоторые конкретные машины, хотя бы без упоминания их изготовителей.

При описании за основу будет взята *запоминающая среда*, хотя в системах обработки данных часто применяются преобразования с использованием различных сред. Так же как и в вычислительных машинах, в информационно-поисковых системах имеются стандартные элементы и внешнее оборудование.

2.8.1. Классификация элементов информационно-поисковых систем. Хотя многие приборы могут обладать несколькими из перечисленных ниже признаков или не совсем точно соответствовать им, можно пользоваться следующими отличительными признаками основных классов оборудования информационно-поисковых систем:

1) *определение адреса документа* (в картотеке, массиве или машинной памяти), его номера, источника данных, содержащего (вероятно) запрашиваемые сведения. Многие электромеханические счетные машины или электронные системы обработки данных, приспособленные для использования в библиотеках или для поиска информации, выполняют только эту функцию;

2) *выдача факсимильной копии первичного документа*, выдержки из него или аннотации (по заданному адресу);

3) *выбор нужных данных* (а не документов) из хранимого массива, обработка этих данных и выдача в графической, печатной или другой форме.

2.8.2. Микрофильмирующие аппараты и практика их применения. *А. Вращающиеся.* Высокоскоростные аппараты с полуавтоматической или полностью автоматической подачей пленки применяются для массового фотографирования объектов одинаковых размеров, когда требование в отношении качества не является строго критическим (примерами таких объектов фотографирования могут служить сообщения об отказах, погашенные чеки). Производительность может достигать нескольких тысяч кадров в час при фотографировании обеих сторон документа одновременно.

Б. Планетарные. Аппараты, с меньшей скоростью воспроизводящие отдельные кадры с различными освещенностью, расположением и выдержкой. Применяются для фотографирования при плохой контрастности или недостаточно хорошем качестве оригинала. Производительность составляет несколько сот кадров в час. Обычно используются в случаях, когда качество должно удовлетворять военным техническим требованиям.

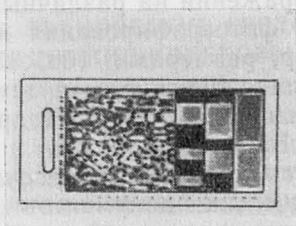
В. Фотоповторители — камеры специального применения. Фиксируют несколько изображений на различных участках куска пленки. Используются для фотографирования нескольких страниц на микроарту (например, размерами 100×150 мм). Могут также фотографировать большие оригиналы путем ряда последовательных экспозиций отдельных участков. (Подробнее о микрокартах см. в подразделе 2.8.4, Б).

Г. Технические условия на микрофильмирование. Микрофильмирование технических документов (на пленку шириной 35 мм) производится в соответствии с техническими условиями MIL-M-9868. Они устанавливают коэффициенты уменьшения 16X, 20X, 24X и 30X для принятых размеров чертежей. Для документов коэффициенты уменьшения составляют от 8X до 30X, а при использовании специального оборудования достигают 60X. При уменьшении более чем в 24 раза требуются очень четкие оригиналы, необходима особая тщательность работы и обычно это связано с большими затратами. При проектировании системы для микрофильмирования с заданным уменьшением нужно учитывать вид оригиналов, характеристики репродукционного оборудования, квалификацию работников. Технические условия и стандарты MIL-C-9878, MIL-STD-804, MIL-C-9877 устанавливают требования к микрофильмам, главным образом применительно к апертурным перфокартам.

2.8.3. Материалы для фиксирования изображений. *А. Галлоидные соединения серебра.* Слои эмульсии наносятся на пленку из ацетатцеллюлозы; обычная среда для получения изображений. Для микрофильмирования применяется высококонтрастный вариант пленки, используемой в нормальных фотокамерах. Изображение обращается при каждой операции репродуцирования, т. е. при переходе от негатива к позитиву, и наоборот.

Б. Диазопленка. Целлюлозно-триацетатная основа, на которую нанесена эмульсия, образующая поверхностный слой толщиной около 0,0125 мм. Эта эмульсия обладает большим сопротивлением царапанию, чем серебро. Проявляется за один сухой процесс в парах аммиака. По качеству несколько уступает пленкам с серебряной эмульсией, но очень широко применяется для получения копий. Репродукция без обращения (позитив — позитив). Выпускается в форме рулонов или листов толщиной 0,05—0,25 мм.

В. Термочувствительная светорассеивающая пленка (Kalvar). Светочувствительные зерна распределены в майларовой основе; экспонируется в ультрафиолетовых лучах и проявляется нагреванием; мелкозернистая; высокая контрастность; хорошая прочность пленки. Ввиду того что это новая пленка, техника ее обработки еще окончательно не установилась. Репродукция осуществляется с обращением.



Фиг. 2.3. Микрокарта с отрезком рулонного микрофильма.

2.8.4. Разновидности микрофильмов. А. Рулонный микрофильм — длинная пленка шириной обычно 16 или 35 мм (иногда 8, 70 или 105 мм), без перфорации, свернутая в рулон. Основные преимущества таких микрофильмов:

- 1) не нарушается порядок расположения документов;
- 2) быстрая и удобная подача пленки при автоматическом последовательном просмотре;
- 3) сравнительно невысокая стоимость тиражирования и дублирования всего рулона.

Некоторые недостатки:

- 1) трудности внесения новых данных и изменений;
- 2) при наличии одного рулона невозможно направлять отдельные части записанного документа заинтересованным потребителям информации;
- 3) использование всего микрофильма только одним потребителем информации в течение периода поиска и изучения документа;
- 4) поиск должен начинаться с самого начала рулона; произвольный выбор конкретного кадра практически невозможен.

Б. Микрокарты — отрезки рулонной фотопленки размерами 75×125 и 100×150 мм. Вверху карты обычно фотографически воспроизводится без уменьшения название документа или его поисковый номер. В отдельных случаях на микрокартах указывается микрофильм, содержащий реферат данного документа (как в системе IDEP).

Микрокарты могут изготавливаться с помощью фотоповторителей или путем подбора негативов из рулонного микрофильма. Недавно

появившаяся установка позволяет изготавливать образцы микрокарт с рулонного микрофильма с помощью машины, производящей автоматический выбор и подборку кадров. Внесение изменений при таком способе изготовления проще, чем изготовление нового оригинала фотоповторителем.

В. Отрезки микрофильма — разновидность микрокарт, получаемых путем автоматического разрезания рулонного микрофильма с высокой точностью на отрезки заданных размеров. Это придает дополнительную гибкость массиву и ускоряет поиск (фиг. 2.3).



Фиг. 2.4. Карта с использованием микрофильма и магнитной пленки.

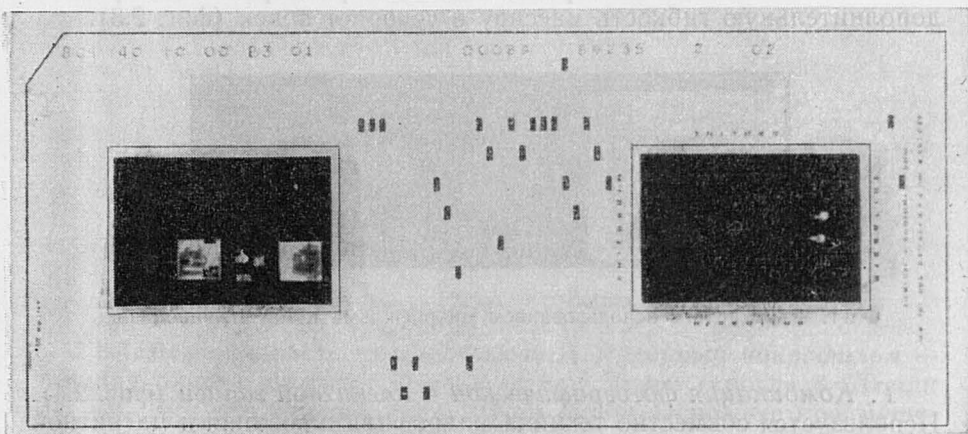
Г. Комбинация фотографической и магнитной записи (фиг. 2.4). Используется совместно техника микрофильмирования и магнитной записи на пленку. Применяются карты из полиэфирной пленки, покрытые слоем окиси железа. Около 70% площади карты занимает кодированная магнитная запись данных, а на остальном ее участке фиксируются фотоизображения. Метод объединяет сложную структуру хранения и поиска данных с выдачей факсимильных копий первичных документов, но в настоящее время он является более дорогим по сравнению с другими описанными методами.

Д. Апертурные перфокарты. Имеется много вариантов объединения перфокарты и микрофильма, но наибольшее распространение получили апертурные перфокарты (фиг. 2.5). Они представляют собой стандартные перфокарты для счетно-аналитических машин с одним (или более) окном (апертурой), в которое тем или иным способом вклеиваются отрезки микрофильма. Эти карты могут сортироваться машиной без повреждения, если в машину-сортировщик внести некоторые изменения. Широко применяются апертурные карты с одним окном D (35×44 мм) для инженерных чертежей. Существует уже много автоматических и полуавтоматических фотокамер, проявочных и репродукционных устройств для изготовления таких карт.

Е. Микрокарты с изображением на непрозрачной основе. Эти карты подобны обычным высококонтрастным глянцевым фотографиям. Они имеют прочную поверхность с большим сопротивлени-

ем царапанию. Карты дают непосредственно читаемые изображения. (Существуют также карты с наклеиваемыми указателями.) Недостатком этих карт является необходимость сильного освещения при их чтении или печатании.

2.8.5. Аппараты для чтения микрофильмов и машины для воспроизведения копий в натуральном масштабе. *А. Аппараты для чтения микрофильмов.* Существует много разновидностей таких ап-



Фиг. 2.5. Апертурная перфокарта.

паратов, от ручных с небольшим увеличением кадра (стоимостью 10—20 долл.) до устройств для проекции на большой экран (стоимостью несколько тысяч долларов). Некоторые аппараты рассчитаны только на чтение рулонных микрофильмов, поэтому они очень удобны и эффективны. В них используются защелкивающиеся кассеты или футляры. Поскольку подобные аппараты становятся все более универсальными, т. е. рассчитываются на чтение как рулонных микрофильмов, так и микрокарт разных размеров, удобство пользования ими естественно уменьшается.

Б. Аппараты для чтения и печати. Это сравнительно новые аппараты, выполненные в виде компактных машин настольного типа, допускающих обслуживание неквалифицированными операторами. Стоимость их превышает 700 долл. В аппаратах могут использоваться: 1) обычная фотографическая бумага с проявлением и закреплением в стабилизированных ваннах; 2) электролитическая проводящая бумага, проходящая после экспозиции поверх заряженной губки; 3) бумага или пластина для электрографической печати, покрытая слоем из смеси окиси цинка со смолой. При экспозиции этому слою сообщается электростатический заряд не-

посредственно или через селеновый барабан и он покрывается угольным порошком. Проявленное таким способом изображение закрепляется при последующем нагревании и может быть перенесено на бумагу. В последних вариантах устройств для электрографической печати вводится различная автоматизация, поэтому размеры их увеличиваются, и они уже не могут быть отнесены к настольным. В тех случаях, когда требуется простое и недорогое оборудование, можно ограничиться применением устройства для проявления с 1—2 ваннами и проекционного аппарата, аналогичных используемым при увеличении фотографий.

В. Аппараты для дублирования микрофильмов. Эти аппараты используются для дублирования апертурных перфокарт. Дублирование микрофильма с рулона на рулон является сложным процессом и требует более дорогого оборудования. Но там, где процесс микрофильмирования связан с сухим проявлением (Kalgat), копирование можно практически осуществлять проще.

Г. Аппараты с электронно-лучевыми трубками. Применение этих аппаратов связывает вычислительную технику и технику микрофильмирования. Записанная на магнитной ленте информация используется для воспроизведения требуемого документа на экране электронно-лучевой трубки. Это изображение не является точным дубликатом оригинала, а скорее это факсимильное изображение контуров букв, воспроизведенное на растре трубки.

Мгновенные изображения, появляющиеся на экране трубки, фотографируются или на микрофильм, или на бумагу в натуральном масштабе. На изображение можно также нанести предварительные выбранную форму, используя для этого разграфленный соответствующим образом диапозитив, проектируемый через полупрозрачную призму. Этот метод очень эффективен, когда при сложном поиске нужно быстро выбрать из большого массива одинаковых документов (например, сообщений об отказах) требуемую информацию и представить ее в стандартной форме, а не получить точное изображение оригинала.

2.8.6. Аппаратура для поиска информации, записанной на микрофильмах. *А. Операции с перфокартами и отрезками микрофильма.* Оборудование для работы с перфокартами довольно хорошо известно и не требует подробного описания. Но имеются еще некоторые вспомогательные механические устройства для карт с краевой перфорацией, облегчающие поиск информации в больших массивах. Устройства для точной перфорации с шаблонами позволяют наносить на карту в несколько раз больше информации, чем было ранее возможно. Специальные поисковые машины способны сортировать отрезки микрофильмов с очень большой скоростью путем считывания с помощью фотоэлемента кодовых обозначений, нанесенных на них во время микрофильмирования. Некоторые устройства выполняют операции с отрезками микрофильмов, за-

ключенными в патроны или кассеты; выбранный патрон подается на рабочее место с помощью пневматического барабана. В других устройствах используются отрезки фильма с несколькими изображениями: тысячи таких отрезков закладываются во вращающийся контейнер, выбор нужного отрезка и изображения осуществляется автоматически.

Б. Устройства для операций с лентами и микрофильмами. В накопительном устройстве в качестве носителя информации может использоваться рулонная пленка шириной 35 мм. Запись производится в двоичном коде в виде сочетаний черных и белых квадратов. Управление кодированием и считыванием осуществляется с помощью перфоленты. В более простых устройствах с рулонным микрофильмом используются перфокарты. На ручной клавиатуре набирается десятичное кодовое число, которое записывается на светящейся панели. Это число фотографируется вместе со страницей документа.

Двоичный код в виде черных и белых квадратов считывается с микрофильма миниатюрными фотоэлементами при его прогонке. Этот способ может быть расширен до любой желаемой степени детализации путем добавления нескольких кодовых страниц на каждую страницу информации. Имеются устройства, работающие с пленками шириной 35 и 16 мм.

В наиболее простом способе поиска информации, записанной на рулонном микрофильме, используется «штриховое» кодирование, при котором вертикальные штрихи, нанесенные на пленку, движутся при прогонке микрофильма относительно цифровых уровней, отмеченных на краях кадрового окна считывающего аппарата. Поиск осуществляется визуально.

2.8.7. Аппаратура передачи данных. В сочетании с информационно-поисковыми системами обычно используется факсимильная передача по проводам или радиолиниям, а также передача данных по телеметрическим линиям. Имеются также некоторые специализированные оконечные устройства, которые могут сканировать (через замкнутую телевизионную систему промышленного назначения) кадры микрофильма в центральном фонде и даже дистанционно управлять увеличением или выделять в поле зрения увеличенную часть кадра. Сканирование документов с помощью миниатюрной портативной телекамеры осуществляется для непосредственного микрофильмирования в пунктах, снабженных телевизионным приемником. В большой информационной системе около 50 удаленных потребителей могут запрашивать центральный справочно-информационный фонд, пользуясь установленными у них телетайпами.

Сканирующие устройства, способные считывать шрифты различных типов и преобразовывать буквы в стандартный код для записи на магнитную ленту, позволяют или увеличить скорость передачи данных, или использовать более узкую полосу частот. Та-

кая факсимильная передача проще и может быть более легко приспособлена для обслуживания многих приемных станций, расположенных в различных удаленных пунктах, чем прямая передача изображений. Однако преобразование текстов в месте передачи может быть связано с определенными трудностями.

2.8.8. Изготовление копий. Почти каждый аппарат для считывания и печати с микрофильмов может также изготавливать печатные формы, непосредственно используемые в печатных машинах для печатания от 50 до 300 копий документов. Однако при сравнении этого относительно дорогого способа печати с другими способами изготовления небольших тиражей страниц натуральных размеров на обычных множительных аппаратах или методом простого фотографирования на пластинках нужно учитывать определенную задержку, затраты, связанные с заменой бумаги, скорость печатания и т. д.

2.8.9. Отношение к использованию фонда микрофильмов. Краткое описание, приведенное здесь, может дать только общее представление об аппаратуре, используемой в сложной и все расширяющейся области поиска информации. Однако из сказанного ясно, что разработчик любой информационно-поисковой системы не может произвольно сконцентрировать репродукционные аппараты (а иногда и накопительные и поисковые устройства) только исходя из условия их эффективной работы. Новое оборудование — от компактных настольных приборов до больших дорогих и высокопроизводительных установок — становится все более специализированным. Поэтому в каждом случае его применения нужно тщательно рассмотреть, как установить аппараты, чтобы обеспечить удобство пользования ими.

2.9. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАКОПЛЕННЫХ ДАННЫХ

2.9.1. Организация центра накопления данных по надежности. В развитой службе надежности может быть оправдано создание справочного фонда данных по надежности, обслуживаемого квалифицированным и опытным персоналом. Организационное положение такого фонда в составе функциональных служб, заинтересованных в его повседневном использовании, обеспечивает поддержание его на уровне, соответствующем текущим техническим требованиям и номенклатуре изделий. Если же этот фонд будет находиться, например, в библиотеке, то в нем могут накапливаться данные, уже потерявшие свою ценность, и он не будет удовлетворять текущих нужд. Для размещения центра накопления данных по надежности необходима достаточная площадь с необходимой освещенностью.

2.9.2. Контроль за использованием данных. Эффективность действия центра зависит от того, как широко он используется. Если

предполагается, что часть фонда будет использоваться не только службой надежности, но и другими подразделениями, то следует провести в масштабах предприятия разъяснительную работу о необходимости пополнения фонда и о том, какую пользу можно извлечь из обращения к нему.

Контроль за использованием данных можно осуществлять с помощью стандартных бланков, которые будут заполняться с отметками о полезности информации. Можно также применить простые учетные листки на выдаваемые материалы; при этом следует просить дать подробный отзыв о полезности информации при возвращении материалов. Методы могут изменяться в зависимости от характера данных, содержащихся в каждой карточке, и от спроса на них. Но всегда следует проводить регистрацию с подробностью, необходимой как для планирования работ, так и обоснования затрат.

Литература

1. Vickery B. D., On Retrieval System Theory, Butterworth and Co. (Publishers), Ltd., London, 1961.
2. Vickery B. D., Classification and Indexing in Science, Academic Press Inc., New York, 1959.
3. Current Research and Development in Scientific Documentation, NSF-61-29, National Science Foundation, Washington, D. C., № 8, May 1961.
4. Non-Conventional Technical Information Systems in Current Use, National Science Foundation, Washington, D. C., № 2, March, 1950.
5. Directory of R and D Information Systems, OAR—1, DCS/Plans and Operations Research, USAF, Washington, 25, D. C., ASTIA cat. 262958.
6. Interagency Coordination of Information, Hearings of the Senate Government Operations Committee, Parts 1 and 2, Government Printing Office, Washington, D. C., 1963.
7. Science, Government and Information, A Report of the President's Advisory Council, The White House, Government Printing Office, Washington, D. C., 1963.
8. Guide to Microreproduction Equipment, National Microfilm Association, edited by Hubbard W. Ballou, issued 1959, Supplements issued annually.

Библиография

Руководства по классификации документов

- Hargrove C. E., Subject Headings Used by the U.S./AEC Technical Information Service, 3d ed., rev., Atomic Energy Commission, Washington, D. C., 1960.
- Perry, James, Allen Kent, Tools for Machine Literature Searching, Interscience Publishers, Inc., New York, 1958.
- Stratton F. E., Corporate Author Entries Used by the U.S./AEC Technical Information Service in Cataloguing Reports, 4th ed., Atomic Energy Commission, Washington, D. C., 1959.

Индексирование, теория и техника поиска

- Cleverdon, Cyril W., Report on the Testing and Analysis of an Investigation into the Comparative Efficiency of Indexing Systems, ASLIB Cranfield Research Project sponsored by the NFS, Cranfield, England, College of Aeronautics, 1962.

- Frank O., Modern Documentation and Information Practices, International Federation for Documentation, The Hague, Netherlands, 1961.
- Ranganathan S. R., Prolegomena to Library Classification, Chaucer House, London, 1957.
- Sneeley M., Holstrom J. E., Punch Card Methods in Research and Documentation, Interscience Publishers, Inc., New York, 1961.
- Shera J. H., Allen Kent, Perry J. W., Advances in Documentation and Library Science, vol. II, Information Systems in Documentation, Interscience Publishers, Inc., New York, 1961.
- Shera J. H., Allen Kent, Perry J. W., Information Retrieval and Machine Translation, vol. III, Information Systems in Documentation, Interscience Publishers, Inc., New York, 1961.

Труды симпозиумов и сборники

- Boaz M., Modern Trends in Documentation (Symposium at University of Southern California), Pergamon Press, New York, 1959.
- Hattery L. H., McCormick E. M., Information Retrieval Management, American Data Processing, Inc., Detroit, 1962.
- Hattery L. H., McCormick E. M., Machine Indexing, Progress and Problems, Center for Technology and Administration, The American University, Washington, D. C.
- Hattery L. H., McCormick E. M., Proc. Third Natl. Reliability Quality Control Symp., Washington, D. C., 1957, Proc. Sixth Natl. Reliability Quality Control Symp., Washington, D. C., 1960.

Составление аннотаций, списков источников, библиографии

- Fry B. M., Mohrhardt F. E., A Guide to Information Sources in Space Science and Technology, Wiley Inc., New York, 1963 (Library of Congress Card 63—19662).
- «A Guide to the World's Abstracting and Indexing Services in Science and Technology», Rept. 702, Natl. Field Sci., Abstracting and Indexing Services, Washington, D. C., 1963.

Правительственные обзоры и отчеты

- Committee on Government Operations, U.S. Senate, 87th Congress, Coordination of Information on Current Federal R&D Projects in the Field of Electronics, Government Printing Office, Washington, D. C., 1961 (69547).
- Little A. D., Inc., Organization and Documentation, report for the National Science Foundation, July 1963 (PB181548A).

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ ПО НАДЕЖНОСТИ COFEC¹⁾

Л. Фогел и А. Фогел

L. I. Fogel

President, Decision Science, Inc., San Diego, California

A. Fogel

Retired, Reliability Control Department General Dynamics/Astronautics
San Diego, California

3.1. ВВЕДЕНИЕ

Основной целью любой системы сбора данных по надежности является повышение надежности изделий. Такая система должна обеспечивать разработчика полными данными об истории отказов элементов в простой и легко интерпретируемой форме. Эти данные должны включать сведения о характерных проявлениях каждого отказа, вызвавшей его причине, а также точную и ясную запись эффективности всех предшествующих мер по устранению отказов. Именно эти последние данные позволяют изменить конструкцию изделия с гарантией, что его надежность будет повышена благодаря устранению возможности повторения отказов определенного вида. Система COFEC сбора данных по надежности выполняет эту задачу.

Система сбора данных по надежности должна оказывать помощь руководящему составу на всех уровнях управления. Она должна обеспечивать руководителя самыми последними данными о всех отклонениях в схемах, конструкции, технологии производства, так чтобы он был в состоянии сразу оценить положение и выявить основные причины недостатков и трудности. Таким образом, необходим доклад, содержащий количественные характеристики положения. В этом докладе должны быть приведены данные о количестве существенных отказов, происшедших в каждом устройстве, в каждом законченном изделии (окончательном объекте сборки) и в каждой системе за истекший период времени. Имея такую сводку, руководитель может сосредоточить свое внимание на наиболее важных вопросах; он может выяснить, устранены ли ранее выявленные причины и трудности. Для инстанций низшего уровня также требуются аналогичные количественные сводки, но они должны быть более подробными и содержать сведения о системах, подсистемах, устройствах, узлах и элементах систем.

¹ COFEC (Cause of Failure, Effect and Corrective Action) — причина отказа, его влияние и корректировочные меры.

В течение всего периода службы изделия усилия должны быть направлены на контроль за соблюдением оптимальных режимов, указанных поставщиком, условий эксплуатации и за рабочими характеристиками. Эта работа может высококачественно выполняться только в том случае, если система сбора данных по надежности будет своевременно выдавать сведения о количестве и типах отказов для изделий каждого поставщика. Очень важно разработать количественные показатели уровня сотрудничества с каждым поставщиком, которые характеризовали бы эффективность мер, принимаемых поставщиком для устранения причин отказов. Система СОFЕС дает необходимую информацию в удобной для этих целей форме. Попутно эта система выдает сведения об удалении и замене элементов, которые можно использовать для обоснования комплектования изделия запасными частями и планирования ремонта.

Из сказанного можно сделать вывод о необходимости создания системы сбора данных по надежности, представляющей разработчику полные данные об отказах, их причинах и эффективности ранее принятых корректировочных мер. Эта система должна также обеспечивать руководство на всех уровнях сведениями о всех мерах по устранению нарушений в системах, изделиях, устройствах и элементах, проводимых поставщиками, и т. д. Чтобы существование такой системы было оправдано, она должна работать экономично. Это значит, что система должна быть такой, чтобы ее можно было расширять или сокращать в зависимости от объема работы службы надежности по конкретному изделию; она должна допускать применение устройств автоматической обработки информации, если объем поступающих данных требует этого, давать возможность выполнения обобщений, которые могут охватить вопросы организации и быть распространены на различные проекты с целью использования выводов, полученных на основе анализа большого количества экспериментальных данных. Система должна быстро выдавать ответы на все запросы и в то же время постоянно сохранять способность непрерывно регистрировать все первичные данные о нарушениях работоспособности.

3.2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ-РАЗРАБОТЧИКОВ

В дальнейшем часто будет употребляться термин «нарушение работоспособности», под которым понимается любая причина, вызывающая необходимость замены элемента, в частности любое заметное отклонение от технических условий, уменьшение допустимого срока службы и т. п., или любое нарушение, которое может вызвать отказ элемента или узла изделия, даже если это нарушение может быть обнаружено до установки элемента на место. Нарушения работоспособности могут возникнуть в различных областях, например

они могут быть обнаружены при приемочных испытаниях, в процессе производства, при различных проверках, во время испытаний готовых изделий, а также в течение периода эксплуатации.

Все случаи нарушения работоспособности должны быть доведены до сведения центра сбора данных по надежности. Сбор такой информации облегчается благодаря использованию формы сообщения о нарушении, показанной на фиг. 3.1¹⁾. Эта форма должна включать следующую существенную информацию: номер сообще-

Сообщение о нарушении работоспособности № 41603			
Дата число месяц год	Служба, сообща- ющая о наруше- нии	Тип изделия, се- рийный №	Система
Номер элемента	Серийный №	Название элемен- та	Изготовитель
Номер узла, в ко- торый входит эле- мент	Серийный №	Название узла	Изготовитель
Номер заменяюще- го элемента	Серийный №	Рабочее время Дни, часы, мину- ты, циклы	Код системы
Описание нарушения работоспособности			
		Сообщение составил Телефон №	

Фиг. 3.1. Форма сообщения о нарушении работоспособности.

ния (печатается заранее); дату обнаружения нарушения, номер, присвоенный изделию; номер элемента, в котором обнаружена неисправность, и его название; серийный номер узла, в который входит элемент; указания об изготовителе дефектного элемента; номер этого элемента по номенклатуре изготовителя; число часов или циклов работы до удаления (при наличии таких сведений); номер

¹⁾ Данная форма и описанные далее процедуры являются ориентировочными, поэтому их не следует рассматривать как обязательные для применения.

заменяющего элемента и его серийный номер по номенклатуре изготовителя. Кроме того, в сообщении обязательно должны быть включены подробное описание признаков нарушения работоспособности, если оно привело к отказу, принятые меры по устранению нарушения, сведения о проведенных измерениях и испытаниях или ремонте ко времени составления сообщения, заключение или предположение о возможной причине отказа, если лицо, составляющее сообщение, может сделать такое заключение. Сообщение подписывается составившим его сотрудником, должен быть также указан его телефон на случай получения дополнительной информации, если она требуется. Если в сообщении указывается, что до возникновения отказа удален элемент, то должна быть сделана ссылка на инструкцию, согласно которой произведена замена элемента.

Штат центра по сбору данных системы COFEC комплектуется из инженеров, имеющих специальную подготовку по надежности и хорошо знакомых с функциями элементов и узлов в конкретной системе. Чтобы эффективно использовать эту специализацию, ответственность между ними за получение и анализ сообщений о нарушениях работоспособности должна распределяться по соответствующим системам (например, электрическая, гидравлическая, механическая или пневматическая), а в некоторых случаях по отдельным группам элементов, которые используются более чем в одной системе. Например, датчики могут использоваться как в телеметрических, так и в гидравлических системах. В конкретных случаях распределение ответственности должно производиться с учетом подготовки, опыта и круга интересов сотрудников. Конечно, чтобы специалисты могли сосредоточить свое внимание на технических вопросах и контроле за корректировочными мерами, в помощь им должен быть придан вспомогательный канцелярский персонал.

В центре сбора данных системы COFEC ведется картотека на каждый тип элемента, в которой отмечается его взаимодействие с другими элементами и узлами системы. Каждое получаемое сообщение о нарушениях работоспособности направляется инженеру по надежности, в компетенцию которого входят указанные в сообщении элементы. Он проверяет сообщение и, если устанавливает, что в нем нет ошибок и пропусков, вносит его в свой список. Если на элемент с данным индексом заведена папка, то новое сообщение добавляется к уже имеющимся в ней. Если же такой папки еще нет, то она заводится, и полученное сообщение положит начало истории элемента. Несмотря на то что таких сообщений может накопиться очень много, каждый отказ, оказывающий влияние на надежность изделия, требует тщательного изучения и принятия мер по его устранению. Стоимость такой работы всегда мала по сравнению с затратами, которые потребуются произвести в случае повторных возникновения отказов. В каждой папке содержится история элемента с данным индексом, представленная в двух формах: в форме списка

COFEC Запись кодов для обозначения видов отказов и корректировочных мер			
Номер элемента XXX		Название элемен- та Датчик	Система XX Приборное оборудова- ние
Дата	Вид и при- чина отказа	Вид и при- чина отка- за. Коррек- тировочные меры	Примечания
1963			
5.1	02 01		Статическая ошибка вышла за допус- тимые пределы +5,42%—0,92%
20.1		02 01 01	Сообщение об анализе отказа № XXX. Причина: шаровой наконечник привод- ной тяги вышел из подпятника контакт- ного рычага. Корректировочные меры: поставщику предложено провести иссле- дование
15.2		02 01 <u>01</u>	Ответ поставщика. Подпятник увеличен. Для усиления добавлена заливочная масса. Испытан на растяжение при уси- лии 150 г
12.1	02 00		+1,94%—1,64%
18.1		02 00 <u>01</u>	Сообщение об анализе отказа № XXX. Наличие отказа не подтвердилось. При исследовании обнаружена неправильная калибровка испытательного прибора. Корректировочные меры: проверить ис- пытательную процедуру № XXX
4.2	02 02		+0,00%—2,29%
20.2		02 02 01	Сообщение об анализе отказа № XXX. Причина: потеря опорного давления вследствие неплотного закрывания ша- риком отверстия для откачки. Коррек- тировочные меры: поставщику предло- жено проверить процесс обработки и рассмотреть возможность применения бронзового шарика вместо стального
12.3		02 00 <u>01</u>	Ответ поставщика. Хонингование отвер- стия улучшено. Будет применяться брон- зовый шарик. Серийный номер изделия XXX

Ф и г. 3.2. Типичная запись нарушений работоспособности.

COFEC Запись кодов для обозначения видов отказов и корректировочных мер

Номер элемента XXX			Название элемен- та Датчик	Система XX Приборное оборудова- ние
Дата	Вид и при- чина отказа	Вид и при- чина отка- за. Коррек- тировочные меры	Примечания	
15.2	02 03		+ 0,00% — 17,87%	
25.2		02 03 01	Сообщение об анализе отказа № XXX. Причина: утечка в трубке Бурдона в месте паяного соединения. При осмотре обнаружены раковины и плохая пайка. Корректировочные меры: поставщику предложено проверить процесс пайки	
10.3		02 03 <u>[01]</u>	Ответ поставщика. Процесс пайки изменен. Подробности см. в картотеке. Серийный номер изделия XXX	
12.4	02 03 <u>[01]</u>		+ 0,00% — 12,4% Изделие сер. № 144 изготовлено после корректировочных мер от 10.3	
19.4		02 03 02	Сообщение об анализе отказа № XXX. Причина: утечка в трубке Бурдона в месте паяного соединения. Это та же причина, что указана в сообщении № XXX от 25.2.63. Корректировочные меры: поставщику сообщено, что принятое им изменение пайки оказалось неэффективным: рекомендовано обратить серьезное внимание на процесс пайки	
12.5		02 03 <u>[02]</u>	Ответ поставщика. Паяная секция датчика переконструирована. Применяется новый припой. Серийный номер изделия XXX	
1.5	09 01		При частотах вибрации в пределах от 20 до 1200 гц возникало искрение	
15.5		09 01 01	Сообщение об анализе отказа № XXX. Причина: контактный рычаг вибрирует из-за пониженного натяга. Корректировочные меры: поставщику предложено выяснить возможность повышения натяга и последствия этой меры	

Фиг. 3.2. Типичная запись нарушений работоспособности (продолжение).

СОФЕС Запись кодов для обозначения видов отказов и корректировочных мер			
Номер элемента ХХХ			Система XX Приборное оборудова- ние
Дата	Вид и при- чина отказа	Вид и при- чина отка- за. Коррек- тировочные меры	Примечания
2.6		09 01 <u>01</u>	Ответ поставщика. Конструкция датчи- ка изменена. Предложение поставщика на изменение № ХХХ. Новое изделие бу- дет иметь в обозначении начальную букву А. Производство начнется 14.7.63
10.5	03 00		Датчик дает неустойчивый выходной сигнал на 6% ниже ожидаемого. Изме- рение НЗЗР
15.5		03 00 <u>01</u>	Сообщение об анализе отказа № ХХХ. Наличие отказа не подтвердилось. От- каз, о котором сообщалось, вызван внешней причиной — неправильным на- чальным зарядом гидроаккумулятора. Процедура № ХХХ изменена и требует давления 170 атм
28.6	03 01		Выходной сигнал датчика неустойчивый
5.7		03 01 01	Сообщение об анализе отказа № ХХХ. Причина: неустойчивость выходного си- нала вызвана попаданием под контакт- ный рычаг посторонних частиц. Коррек- тировочные меры: поставщику предло- жено проверить процесс очистки
12.7		03 01 <u>01</u>	Ответ поставщика. Применена новая процедура очистки и контроля. Подроб- ности см. в картотеке. Серийный номер изделия ХХХ
14.8	03 01 <u>01</u>		Выходной сигнал неустойчивый; колеба- ния до 0,008 атм
20.8		03 01 02	Сообщения об анализе отказа № ХХХ. Причина: волокна изоляции на обмотке вызывали нарушения контакта, когда контактный рычаг приближался к этой точке. Корректировочные меры: постав- щику предложено исследовать этот про- цесс с учетом неэффективности предше- ствующей меры

Фиг. 3.2. Типичная запись нарушений работоспособности (продолжение).

COFEC. Запись кодов для обозначения видов отказов и корректировочных мер			
Номер элемента XXX			Система XX Приборное оборудование
			Название элемента Датчик
Дата	Вид и причина отказа	Вид и причина отказа. Корректировочные меры	Примечания
25.10		03 01 [02]	Ответ поставщика. Применена ультразвуковая очистка. Серийный номер изделия XXX
12.11	12		Выходной сигнал нелинейный и превышает номинальный на 2%
14.11		12 03 00	Сообщение об анализе отказа № XXX. Причина: верхний подшипник оси акселерометра имел люфт из-за неправильной сборки. Корректировочные меры: никаких. Производство закончено; новые закупки не предполагаются

Фиг. 3.2. Типичная запись нарушений работоспособности (продолжение).

нарушений работоспособности (фиг. 3.2) и в форме контрольной регистрации (фиг. 3.3).

В системе COFEC применяется оригинальный метод кодирования. Для кодирования точного описания вида отказа, его причины, мер его устранения и эффективности ранее принятых корректировочных мероприятий используются шесть цифр. Этот код выработан на основе деления элементов на группы по функциональным системам, в которых они применяются, или по выполняемым ими функциям (это соответствует распределению ответственности между специалистами центра сбора данных по надежности). Был составлен перечень всех возможных видов отказов, по каждой группе элементов; этот перечень является результатом совместной работы инженеров-разработчиков и специалистов по надежности. В некоторых случаях использовались данные по уже выполненным разработкам, содержащие сведения о возможных видах отказов. Если таких сведений нет, а время не позволяет подготовить подробный перечень отказов, тогда виды отказов нумеруются в той последовательности, в какой поступали сообщения о них. Этот перечень видов отказов

COFEC Контрольная запись корректировочных мер													
Номер элемента XXX			Название элемента Датчик								Система XX Приборное оборудование		
Дата	Номер сообщения о нарушении работоспособности	Вид отказа	Сообщение об анализе отказа				Номер узла	Серийный номер узла	Корректировочные меры	Классификация отказа	Примечания	Время до отказа	Номер изделия
			номер	дата	код	серийный номер изделия							
5.1	XX	0201	XX	15.2	0201 [01]	XX	XX	X	X	X		XX	XX
12.1	XX	0200	XX	18.1	0200 [01]	XX	XX	X	X	X		XX	XX
4.2	XX	0202	XX	12.3	0202 [01]	XX	XX	X	X	X		XX	XX
15.2	XX	0203	XX	10.3	0203 [01]	XX	XX	X	X	X		XX	XX
12.4	144	0203[01]	XX	12.5	0203 [02]	XX	XX	X	X	X	Серийный номер изделия 144 после изделия 123, см. запись от 15.2	XX	XX
1.5	XX	0901	XX	2.6	0901 [01]	XX	XX	X	X	X		XX	XX
10.5	XX	0300	XX	15.5	0300 [01]	XX	XX	X	X	X		XX	XX
28.6	XX	0301	XX	12.7	0301 [01]	XX	XX	X	X	X		XX	XX
4.8	104 03	0301 [01]	XX	25.10	0301 [02]	XX	XX	X	X	X	Серийный номер изделия 184 после изделия 145, см. запись от 28.6	XX	XX
2.11	XX	12 03	XX	14.11	1203 00	XX	XX	X	X	X		XX	XX

Ф и г. 3.3. Пример контрольной записи.

называется основным листом кода. Каждому основному листу кода присваивается буква, означающая конкретную группу элементов, к которой он относится, например Д — датчики, Г — гидравлическая система и т. д. Конечно, число различных основных листов кода зависит от сложности изделия.

Могут встретиться определенные трудности в установлении и описании причин отказов. Для каждого отказа имеется причина на определенном уровне структуры системы, а каждая причина может быть прослежена, по крайней мере теоретически, до следующего, более низкого уровня. Основное внимание должно быть уделено причине отказа на том уровне, на котором могут быть приняты меры по ее устранению. Конечно, нет никаких возражений против того, чтобы указывались и причины более низкого уровня для увеличения объема доступной информации, но эти дополнительные данные должны оставаться на втором плане.

Шесть цифр кода COFEC имеют конкретное значение. Две первые цифры используются для обозначения вида отказа. Две последующие цифры обозначают причину отказа, а остальные две цифры — корректировочные меры по устранению причин отказов. Таким образом, код может охватывать 99 различных видов отказов, 99 причин, вызывающих каждый конкретный вид отказа, и 99 мероприятий по устранению каждой причины каждого вида отказа. Отметим, что такой метод кодирования имеет существенные преимущества по сравнению с обычными кодами, основанными на выборе дескрипторов из определенного словаря. Во многих случаях такие дескрипторные коды неоднозначны или слишком общие и применение их в качестве исходного пункта для выработки мер по устранению причин отказов оказывается малополезным. Даже если словарь дескрипторов достаточно полный, он может не содержать дескриптора, относящегося к виду отказа, являющегося специфическим для конкретного элемента. Например, описание отказа: «Частота вышла за нижний допустимый предел после прогрева» не может быть составлено по обычным словарям. Это особенно верно для кодирования причин отказов, так как они являются специфичными в каждом конкретном изделии.

В отличие от этого кодирование в системе COFEC допускает описание любой требуемой длины для вида отказа, его причин и корректировочных мер, так что специфические особенности элемента данного типа отражаются в числовых описаниях, которые «сообщают всю историю». Этот метод кодирования в принципе не ограничен по объему, что приводит в результате к существенному различию в процедуре кодирования. При обычной технике кодирования заранее составляются словари для справок и от персонала требуется подобрать для отказа соответствующие дескрипторы, тогда как при кодировании по системе COFEC составляется описание, точно соответствующее конкретному случаю. Для иллюстрации

Основной лист кода для		датчиков
Кодовое обозначение		Д
01	Физическое несоответствие	
02	Статическая ошибка превышает допустимую; приемочные и контрольные испытания	
03	Ненормальный выходной сигнал	
.		
.		
11	Измеренное сопротивление выходит за пределы допусков	
.		
.		
16	Утечка	
.		
.		

Ф и г. 3.4. Первая страница листа основного кода.

Основной лист кода (продолжение)	
02	Статическая ошибка превышает допустимую; приемочные и контрольные испытания
02 01	Шаровой наконечник приводной тяги вышел из подпятника контактного рычага
02 01 <u>01</u>	Поставщик XYZ. Подпятник увеличен; для усиления добавлена заливочная масса
.	
.	
02 03	Утечка в паяном соединении трубки Бурдона
02 03 <u>01</u>	Поставщик XYZ. Операторы обучаются пайке в школе Сообщение от 12.1.63 Серийный № XXX
02 03 <u>02</u>	Поставщик XYZ. Применяется улучшенный метод испытания на утечку. Сообщение от 3.3.63
02 03 <u>01</u>	Поставщик ABCD улучшил процесс пайки. Серийный № XXX
02 03 <u>02</u>	Поставщик ABCD переконструировал паяное соединение. Серийный № 152

Ф и г. 3.5. Вторая страница листа основного кода.

Сообщение об анализе отказа			
		Номер сообщения об анализе отказа XXX	Стр. 1 из X
Название элемента Датчик давления	Анализ выполнен внутри предприя- тия	Дата анализа 12 января 1963 г.	Сообщение о на- рушении работо- способности XXX
	Изготовитель или поставщик XYZ	Номер элемента XXX	
	Серийный № XXX	Номер узла XXX	
История 1. Этот датчик отказал согласно сообщению от 28 декабря 1962 г. в - Причина — обрыв цепи. Измерение № XXX 2. Этот датчик работает в программной системе регулирования давления и предназначен для индикации и записи 3. Датчик содержит биметаллические сильфоны, воздействующие на 4. Регистрация в системе СОФЕС показывает, что об отказе датчика дан-ного типа за последние 6 месяцев поступили три сообщения Анализ 1. Функциональное испытание подтвердило наличие отказа, о котором сообщалось 2. Кожух датчика был снят, как показано Заключение 1. Датчик давления отказал по причине 2. Причина связана со старением Корректировочные меры 1. По заявлению поставщика «нужно применить рекомендованные меры, относящиеся к»			

Фиг. 3.6. Сообщение об анализе отказа.

этого положения на фиг. 3.4 приведен основной лист кода отказов датчиков. Здесь показана только первая из нескольких страниц, содержащая коды для видов отказов. На каждый из перечисленных видов отказов имеется отдельная страница с кодами для причин отказов и мер по их устранению (фиг. 3.5). Дальнейшее использование метода кодирования СОФЕС для анализа и поиска сообщений будет описано ниже.

Когда получено сообщение о нарушении работоспособности, инженер по надежности сверяет его с имеющейся информацией по истории элемента. Сообщение о нарушении работоспособности содержит краткое описание вида отказа. Нужно проверить по основному листу кода, появлялся ли уже этот вид отказа. Если да, то в

COFEC — DESCRIPTIVE RECORD OF CODE TO IDENTIFY FAILURE MODE AND CORRECTIVE ACTION

PART NO		NAME		SYSTEM	
XXX		TRANSDUCER		XY INSTRUMENTATION	
DATE	FAILURE MODE & CAUSE	MODE, CAUSE & CORRECTIVE ACTION	REMARKS		
1963			(a) at 1-5-63		
1-5	02		Static error tolerance exceeded +5.41% - 0.92% to p1 L8		
			(b) at 1-12-63		
1-5	02		Static error tolerance exceeded +5.41% - 0.92% to p1 L8		
1-12	02		+1.94% - 1.64%		
			(c) at 1-18-63		
1-5	02		Static error tolerance exceeded +5.41% - 0.92% to p1 L8		
1-12	02 00		+1.94% - 1.64%		
1-18		→ 02 00 01	FAR No. xxx Failure not confirmed.		
			Investigation reveals incorrect test		
			instrument calibration. Corrective Action:		
			Test Procedure No. xxx Sec. xxx revised.		
			(d) at 1-20-63		
1-5	02 01		Static error tolerance exceeded +5.41% - 0.92% to p1 L8		
1-12	02 00		+1.94% - 1.64%		
1-18		02 00 01	FAR No. xxx Failure not confirmed.		
			Investigation reveals incorrect test.		
			instrument calibration. Corrective Action:		
			Test Procedure No. xxx Sec. xxx revised.		
1-20		→ 02 01 01	from p1 L2 FAR No. xxx Cause: Drive link ball		
			out of wiper arm ball socket. Corrective		
			Action: Vendor requested to		
			investigate. to p1 L13		
			(e) at 2-4-63		
			preceding entries as above		
2-4	02		0 +0.00% - 2.29% to p1 L10		
			(f) at 2-15-63		
			preceding entries as above		
2-15		→ 02 01 01	from p1 L11 Vendor response. Socket has		
			been enlarged and potting has been		
			added for strength. Pull test 150 grams.		
			Effective 5N xxx.		
2-15	02		+0.00% - 17.87% to p1 L24		

(arrows indicate new entries)

Фиг. 3.7. Типичная запись сообщений о нарушении работоспособности.

(g) at 2-20-63
preceding entries as above

2-4	02 02			+0.00% -2.27% to p1 l10	12
2-15		02 01	01	from p1 l11 Vendor response. Socket has been enlarged and potting has been added for strength. Pull test 150 grams. Effective 5/11 xxx.	13
					14
					15
					16
2-15	02			+0.00% -17.87% to p1 l24	17
2-20		→ 02 02 01		from p1 l12 FAR No xxx Cause: Loss of reference pressure due to rough evacuation hole seat and ball. Corrective Action: Vendor requested to examine machining process and to consider use of bronze ball instead of steel ball.	18
					19
					20
					21
					22
					23

(h) at 2-25-63
preceding entries as above

2-15	02 03			+0.00% -17.87% to p1 l24	17
2-20		02 02 01		from p1 l12 FAR No xxx Cause: Loss of reference pressure due to rough evacuation hole seat and ball. Corrective Action: Vendor requested to examine machining process and to consider use of bronze ball instead of steel ball.	18
					19
					20
					21
					22
					23
2-25		→ 02 03 01		from p1 l17 FAR No xxx Cause: Bourdon tube leaking at the braise joint. Examination revealed voids and insufficient bond. Corrective Action: Vendor requested to review brazing process.	24
					25
					26
					27
					28

(i) at 3-10-63
preceding entries as above

2-25		02 03 01		from p1 l17 FAR No xxx Cause: Bourdon tube leaking at the braise joint. Examination revealed voids and insufficient bond. Corrective Action: Vendor requested to review brazing process.	24
					25
					26
					27
					28
3-10		→ 02 03 01		Vendor response. Brazing process has been revised. see file for details. Effective 5/11 123.	29
					30
					31

Фиг. 3.7. Типичная запись сообщений о нарушении работоспособности (продолжение).

(j) at 3-12-63				
preceding entries as above				
3-12	→	02 02 01	from p.l. 23 Vendor response Honing p	32
			seal improved. Will use bronze ball	33
(k) at 4-12-63				
preceding entries as above				
4-12	↓		+1.00% -12.43%	35
			5/1144 Unit was made after corrective action 3-10-63 to p.l. 1	36
(l) at 4-19-63 (start of page 2)				
4-12	↓	02 03 01	+0.00% -12.43%	35
			5/1144 Unit was made after corrective action 3-10-63 to p.l. 1	36
4-19	→	02 03 02	from p.l. 36 FAR No xxx Cause: Bourdon tube	1
			leak at brace joint. This is the same failure	2
			mode as reported in FAR No xxx 2-25-63	3
			Corrective Action: Vendor advised that	4
			previous action has proven ineffective and	5
			therefore more effort must be devoted to the	6
			solution of the brazing problem to p.l. 15	7
(m) at 5-1-63				
4-19		02 03 02	from p.l. 36 FAR No xxx Cause: Bourdon tube	1
			leak at brace joint. This is the same failure	2
			mode as reported in FAR No xxx 2-25-63	3
			Corrective Action: Vendor advised that	4
			previous action has proven ineffective and	5
			therefore more effort must be devoted to the	6
			solution of the brazing problem to p.l. 15	7
5-1	09 ←		Spiking was exhibited at vibration frequencies	8
			between 20 and 1200 cps to p.l. 17	9
(n) at 5-10-63				
preceding entries as above				
5-10	↓	03	Transducer was found to have unsteady	10
			output about 6% below what was expected.	11
			Measurement H 33 P	12
(o) at 5-12-63				
preceding entries as above				
5-12	→	02 03 02	from p.l. 17 Vendor response. Brazed section	13
			of transducer has been redesigned. New	14
			brazing alloy now used.	15
			Effective 5/11. xxx.	16

Фиг. 3.7. Типичная запись сообщений о нарушении работоспособности (продолжение).

графу 2 формы фиг. 3.7 записывается дата, время, наименование оборудования, наименование лица, сообщившего о нарушении работоспособности.

(p) at 5-15-63
preceding entries as above

5-1	09 01		Spiking was exhibited at vibration frequencies between 20 and 1200 cps to p2 L17	8
5-10	03 00		Transducer was found to have unsteady output about 6% below what was expected.	9
			Measurement H 33 P	10
5-12	02 03	02	from p2 L7 Vendor response. Brazed section of transducer has been redesigned. New brazing alloy now used.	11
			Effective S/N xxx.	12
5-15	→ 09 01 01		from p2 L9 FAR No xxx Cause: Wiper arm bounce due to low wiper arm tension.	13
			Corrective Action: Vendor requested to consider increase in tension and its consequences to p2 L27.	14
5-15	→ 03 00	01	from p2 L12 FAR No xxx Failure not confirmed. The reported failure is due to external cause: incorrect hydraulic accumulator precharge. Procedure No xxx changed to require 2500 psig.	15

(q) at 6-2-63
preceding entries as above

5-15	09 01 01		from p2 L9 FAR No xxx Cause: Wiper arm bounce due to low wiper arm tension.	17
			Corrective Action: Vendor requested to consider increase in tension and its consequences to p2 L27.	18
5-15	03 00	01	from p2 L12 FAR No xxx Failure not confirmed. The reported failure is due to external cause: incorrect hydraulic accumulator precharge. Procedure No xxx changed to require 2500 psig.	19
6-2	→ 09 01	01	from p2 L21 Vendor response. Transducer has been redesigned. Vendor Change Proposal VCP No xxx. New units will be identified by prefix A. Production to start 7-14-63.	20

(r) at 6-28-63
preceding entries as above

6-28	03		output is erratic	22
------	----	--	-------------------	----

Фиг. 3.7. Типичная запись сообщений о нарушении работоспособности (продолжение).

(s) at 7-5-63
preceding entries as above

6-28	03 01		output is erratic	32
7-5	→ 03 01 01		FAR No. xxx Cause: Discontinuities caused by large riding over foreign particles. Corrective Action: Vendor requested to examine cleaning process. to p 3 l 1	33 34 35

(t) at 7-12-63 (start of page 3)

7-12	→ 03 01 01		from p2 l 36 Vendor response. New cleaning procedure and inspection instituted. see file for detail. Effective S/N 175	1 2 3
------	------------	--	--	-------------

(u) at 8-14-63

7-12		03 01 01	from p2 l 36 Vendor response. New cleaning procedure and inspection instituted. see file for detail. Effective S/N 175	1 2 3
8-14	03 01 01	←	output erratic at 118 psia S/N 184 after 7-12-63	4

(v) at 8-20-63

7-12		03 01 01	from p2 l 36 Vendor response. New cleaning procedure and inspection instituted. see file for detail. Effective S/N 175	1 2 3
8-14	03 01 01		output erratic at 118 psia S/N 184 after 7-12-63	4
8-20	→ 03 01 02		FAR No. xxx Cause: Piece of lint in winding caused discontinuity when wiper arm reached that point. Corrective Action: Vendor requested to re-examine process in view of previous ineffective action.	5 6 7 8 9

(w) at 10-25-63

7-12		03 01 01	from p2 l 36 Vendor response. New cleaning procedure and inspection instituted. see file for detail. Effective S/N 175	1 2 3
8-14	03 01 01		output erratic at 118 psia S/N 184 after 7-12-63	4
8-20		03 01 02	FAR No. xxx Cause: Piece of lint in winding caused discontinuity when wiper arm reached that point. Corrective Action: Vendor requested to re-examine process in view of previous ineffective action.	5 6 7 8 9
10-25	→ 03 01 02		Vendor response. Vendor is now using ultrasonic cleaning. Effective S/N 204	10 11

Ф и г. 3.7. Типичная запись сообщений о нарушении работоспособности (продолжение).

графу 2 формы фиг. 3.7 заносятся две цифры, соответствующие кодовому обозначению данного вида отказа. Если же отказ такого вида не зарегистрирован, то он заносится в основной лист кода и ему присваивается следующее кодовое обозначение в виде двух цифр. Затем это новое кодовое обозначение заносится в графу 2 формы фиг. 3.7 вместе с описанием (если потребуется, то развернутым). Записываются также результаты измерений, если они имеют отношение к отказу. Степень детализации этих входных данных зависит от решения персонала центра. Код для видов отказов заносится в соответствующее место на бланке поступившего сообщения о нарушении работоспособности. Это сообщение остается в постоянном фонде, и на него в дальнейшем можно делать ссылки. Необходимо следить за последовательностью серийных номеров. Кодовые номера и описания причин отказов, а также мер по их устранению заносятся в форму фиг. 3.7. Подобным же образом информация, относящаяся к сообщению о нарушении работоспособности, заносится в форму фиг. 3.8, когда это потребуется. Вносится также строгая классификация отказов.

Две различные формы (фиг. 3.7 и 3.8) введены умышленно, потому что они отделяют числовые данные от описательной информации, что облегчает их понимание. Первоначальные входные данные записываются карандашом, чтобы их можно было легко стереть, если более поздняя информация потребует изменения кодового номера вида отказа или вместо общего описания, такого, как «нет выходного сигнала», нужно перейти к более конкретному, например «обрыв цепи». Когда поступает запрос на историю надежности элемента, то на машинке отпечатывается заполненная форма, как показано на фиг. 3.2. В этом сообщении описательная информация представлена так, что сводятся вместе вид отказа, его причина и

(x) at 11-2-63 preceding entries as above			
11-2	12		Output non-linear 2% greater than spec. 12
(y) at 11-14-63 preceding entries as above			
11-2	12 03		Output non-linear 2% greater than spec. 12
11-14	→ 12 03 00		FAR No xxx Cause Upper part of accelerometer shaft had broken due to poor assembly. 13
			Corrective Action: None. Production complete. 14
			New purchase not contemplated. 15

Фиг. 3.7. Типичная запись сообщений о нарушении работоспособности (продолжение).

COFEC Контрольная запись корректировочных мер													
Номер элемента ×××			Название элемента Датчик								Система ×× Приборное оборудование		
Дата	Номер сообщения о нарушении работоспособности	Вид отказа	Сообщение об анализе отказа				Номер узла	Серийный номер узла	Корректировочные меры	Классификация отказа	Примечания	Время до отказа	Номер изделия
			номер	дата	код	серийный номер изделия							
1963													
а) На 5.1.63													
5.1	×××	02						××	××	×		××	××
б) На 12.1.63													
5.1	×××	02						××	××	×		××	××
12.1	×××	02						××	××	×		××	××
в) На 18.1.63													
5.1	×××	02						××	××	×		××	××
12.1	×××	0200	×××	18.1	0200	01	×××	××	××	×		××	××
г) На 20.1.63													
5.1	×××	0201	×××	20.1	0201	01		××	××	×		××	××
12.1	×××	0200	×××	18.1	0200	01		××	××	×		××	××

Ф и г. 3.8. Пример контрольной записи (стрелками отмечены новые данные).

0 36433 800

д) На 4.2.63												
5.1	xxx	0201	xxx	20.1	0201 01		xx	xx	x		xx	xx
12.1	xxx	0200	xxx	18.1	0200 01	xxx	xx	xx	x		xx	xx
4.2	xxx	02	xxx				xx	xx	x		xx	xx
е) На 15.2.63												
5.1	xxx	0201	xxx	15.2	0201 01		xx	xx	x		xx	xx
12.1	xxx	0200	xxx	18.1	0200 01	xxx	xx	xx	x		xx	xx
4.2	xxx	02					xx	xx	x		xx	xx
15.2	xxx	02					xx	xx	x		xx	xx
ж) На 20.2.63												
5.1	xxx	0201	xxx	15.2	0201 01	xxx	xx	xx	x		xx	xx
12.1	xxx	0200	xxx	18.1	0200 01	xxx	xx	xx	x		xx	xx
4.2	xxx	0202	xxx	20.2	0202 01		xx	xx	x		xx	xx
15.2	xxx	02					xx	xx	x		xx	xx
з) На 25.2.63												
15.2	xxx	0203	xxx	25.2	0203 01		xx	xx	x		xx	xx
и) На 10.3.63												
15.2	110	0203	xxx	10.3	0203 01	123	xx	xx	x		xx	xx

Ф и г. 3.8. Пример контрольной записи (продолжение).

к) Ha 12.3.63													
4.2	xxx	0202	xxx	12.3	0202[01]	xxx		xx	xx	x		xx	xx
15.2	110	0203	xxx	10.3	0203[01]	123		xx	xx	x		xx	xx
л) Ha 12.4.63													
12.4	114	02						xx	xx	x		xx	xx
м) Ha 19.4.63													
12.4	144	0203 [01]	xxx	19.4	020302			xx	xx	x		xx	xx
н) Ha 1.5.63													
1.5	xxx	09						xx	xx	x		xx	xx
о) Ha 10.5.63													
10.5	xxx	03						xx	xx	x		xx	xx
п) Ha 12.5.63													
12.4	144	0203 [01]	xxx	5.12	0203 [02]	152		xx	xx	x		xx	xx
1.5	xxx	09						xx	xx	x		xx	xx
10.5	xxx	03						xx	xx	x		xx	xx
р) Ha 15.5.63													
1.5	xxx	0901	xxx	15.5	090101			xx	xx	x		xx	xx
10.5	xxx	0300	xxx	15.5	0300 [01]	20.5		xx	xx	x		xx	xx

Ф и г. 3.8. Пример контрольной записи (продолжение).

с) Ha 2.6.63													
1.5	xxx	0901	xxx	2.6	0901 [01]	xxx		xx	xx	x		xx	xx
10.5	xxx	0300	xxx	15.5	0300 [01]	20.5		xx	xx	x		xx	xx
т) Ha 28.6.63													
28.6	xxx	03	xxx					xx	xx	x		xx	xx
у) Ha 5.7.63													
28.6	xxx	0301	xxx	5.7	030101			xx	xx	x		xx	xx
ф) Ha 12.7.63													
28.6	121	0301	xxx	12.7	0301 [01]	175		xx	xx	x		xx	xx
х) Ha 14.8.63													
14.8	181	0301 [01]						xx	xx	x		xx	xx
ц) Ha 20.8.63													
11.8	184	0301 [01]	xxx	20.8	030102			xx	xx	x		xx	xx
ч) Ha 25.10.63													
11.8	181	0301 [01]	xxx	25.10	0301 [02]	15.10		xx	xx	x		xx	xx
ш) Ha 2.11.63													
2.11	xxx	12						xx	xx	x		xx	xx
щ) Ha 12.11.63													
2.11	xxx	1203	xxx	11.11	120300			xx	xx	x		xx	xx

Ф и г. 3.8. Пример контрольной записи (продолжение).

меры по ее устранению независимо от даты возникновения отказа.

Лицо, составившее сообщение о нарушении работоспособности, должно отпечатать его по крайней мере в трех экземплярах. Первый экземпляр отсылается в центр сбора данных по надежности, одна копия остается на месте, а вторая сопровождает отказавший элемент, если он отправляется на исследование для выяснения причины отказа. Рекомендуются использовать для копий бумагу разных цветов.

Допустим, что отказавший элемент направляется на исследование. В этом случае центр сбора данных по надежности получит сообщение об анализе отказа (фиг. 3.6). В сообщении указываются причина отказа и рекомендуемые меры по ее устранению. Инженер по надежности вносит в картотеку на этот элемент новые сведения. Предположим, что через месяц рекомендованные меры по устранению причины отказа будут реализованы. В центр сбора данных поступит сообщение об этом, и картотека опять будет пополнена новыми данными. При этом необходимо обратиться к основному листу кода. Если указанная в сообщении причина отказа встречалась ранее и именно в связи с данным видом отказа, то в основном листе будет стоять вторая пара цифр, которую нужно добавить к занесенной ранее паре цифр в форму фиг. 3.7, так что во второй ее графе теперь будут стоять четыре цифры. Если причина отказа является новой для данного вида отказов, ей присваиваются следующие две цифры кода, которые и заносятся во вторую графу формы.

Данные о корректировочных мерах вносятся так же. Если причина отказа и меры по ее устранению ранее не встречались, им присваиваются четыре цифры, которые вносятся в основной лист кода. В том случае, когда причина отказа уже встречалась, а меры по ее устранению являются новыми, последней паре цифр присваивается новый номер. После того как в основной лист кода внесены последние новые сведения, они вносятся также, если необходимо, в форму фиг. 3. 8. Обычно от момента предложения мер по устранению причин отказа до их реализации проходит определенный период времени. Это отражается соответствующими входными данными, как описано ниже. Важно, чтобы этот период времени был отмечен так, что если поступит запрос на историю элемента, то в нем было бы отражено точное состояние. Если предложенные меры реализованы, то последние две цифры *не* изменяются.

Чтобы показать, как постепенно складывается история элемента, формы на фиг. 3.7 и 3.8 заполнены последовательно поступившими данными. Эти формы приведены в виде отдельных листов, соответствующих определенным периодам времени (фиг. 3.7, а—3.7, у и 3.8, а—3.8, щ). 5 января статическая ошибка вышла за допустимый предел (фиг. 3.7, а и 3.8, а); 12 января поступило другое сообщение об отклонении статической ошибки от допустимых пределов (фиг. 3.7, б и 3.8, б), 18 января получено сообщение об анализе отказа, при-

чем факт отказа не подтвердился. Причиной, вызвавшей посылку сообщения об отказе, была неправильная калибровка испытательного прибора. В качестве мер по устранению причин нарушения работоспособного состояния предлагалось проверить методику проведения испытаний. На фиг. 3.7, b и 3.8, б стоит пара цифр 00 кода COFEC, указывающая, что отказ не подтвердился. Кроме того, две последние цифры кода очерчены квадратом: это означает, что рекомендованные корректировочные меры реализованы.

20 января было получено сообщение об анализе отказа, зарегистрированного 5 января. Причина, вызвавшая увеличенную статистическую ошибку, получила кодовое обозначение 01. Рекомендованные корректировочные меры отмечены цифрами 01 на последнем месте кодового обозначения (фиг. 3.7, d и 3.8, г). Когда рекомендованные меры будут реализованы, это будет отмечено очерчиванием этих двух последних цифр квадратом, как показано на фиг. 3.7, f и 3.8, e (сведения получены 15 февраля).

20 февраля получено сообщение об анализе отказа, зарегистрированного 4 февраля, в котором указывается причина отказа. Так как это была новая причина, для ее обозначения потребовался другой код, в данном случае 02. Рекомендованная корректировочная мера является первой для данной причины, поэтому она обозначается цифрами 01, стоящими на последнем месте в кодовом обозначении (фиг. 3.7, g и 3.8, ж).

12 апреля поступило сообщение о большой статической ошибке датчика с серийным номером 144 (фиг. 3.7, k и 3.8, л). В сообщении об анализе отказа от 19 апреля указывается, что в датчике с этим серийным номером реализованы корректировочные меры, рекомендованные 10 марта, в частности изменен процесс пайки. Следовательно, отказ произошел несмотря на принятые меры. Это четко отмечено на фиг. 3.7, l и 3.8, м, где кодовое обозначение отказа имеет вид 0203 01. *Полная история возникновения отказа, его причины, принятые меры по устранению этой причины и неэффективность этих мер в данном случае представлены в простой и понятной форме.* Анализ истории показывает не только работу элемента, количество различных отказов и меры по устранению их причин, но также и число случаев, когда технические знания или техника управления процессами оказывались недостаточными для решения конкретной задачи надежности. Для инженера-разработчика это имеет важное значение. Для руководства такой анализ дает сведения о поставщиках элементов, их возможностях и их влиянии на стоимость и сроки изготовления изделий.

Сведения, записанные 19 апреля (фиг. 3.7, l и 3.8, м), имеют код 020302, который показывает, что вид и причина отказа остаются теми же и что дана вторая рекомендация по устранению причины отказа. 12 мая реализация этой рекомендации, касавшейся

изменения процесса пайки, отмечена как 0203[02] (фиг. 3.7, о и 3.8, п).

В сообщении, полученном 2 ноября, отмечался «нелинейный выход» (вид отказа 12), а в сообщении об анализе отказа, поступившего 4 ноября, указывалась причина этого отказа, которая закодирована цифрами 03. В сообщении также отмечалось, что меры по устранению причин отказа приниматься не будут, так как поставка элементов уже закончена, а покупка новой партии не планируется. Это отмечено цифрами 00 в последней кодовой позиции. Заметьте, что отсутствие мер по устранению причин отказов всегда кодируется цифрами 00. Так как сведения об успешной работе, содержащиеся в некоторых сообщениях о нарушениях работоспособности, не всегда поступают последовательно, должны быть предусмотрены способы их использования. Первые поступающие сведения обычно содержат только информацию о виде отказа. В течение периода времени от получения первого сообщения до поступления сообщения об анализе отказа могут прибыть другие сообщения о нарушениях работоспособности, которые отправляются в хронологическом порядке. Таким образом, вторая запись, относящаяся к данному отказу, не может быть сделана в следующей строке. Поэтому рекомендуется связывать данные, относящиеся к одному и тому же элементу, ссылками на страницы и номера строк, как это показано на фиг. 3.7.

Форма, показанная на фиг. 3.8, предназначена для числовых данных, свodka которых особенно удобна для выдачи дополнительной информации по запросам, касающимся отдельных записей в форме фиг. 3.7. Например, инженер-разработчик может заметить, что отказ, характеризующийся появлением выбросов, 09, зарегистрирован 1 мая (фиг. 3.7, m). Возможно, что он захочет знать, при каких условиях произошел этот отказ, в каком количестве изделий, в какое время и т. д. Такая информация содержится в последней записи на фиг. 3.8, n. Сведения, приведенные в графе «Серийный номер», покажут, случались или нет отказы этого же элемента после реализации мер по устранению отказа.

Такое представление данных в сжатой форме не только содержит дополнительную информацию, но благодаря удобному расположению дает полную историю отказов, их причин и корректировочных мер в закодированном виде. Имея основные листы кода, можно составить полное описание положения. После такого общего обзора инженер-разработчик может пожелать ближе познакомиться с отдельными деталями. Он может сделать это, обратившись к соответствующим записям на фиг. 3.7. С точки зрения контроля очень важно знать, какой период времени проходит от сообщения об отказе до реализации мер по его устранению. Эти данные содержатся соответственно в графах 1 и 6 фиг. 3.8. В любое время можно уста-

Виды отказов

Датчик Элемент №	01	02 00 00	02 04 01						08 04 02							12 02 01						14 01 00			16 02 02	Всего
— 3	2	4	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2	.	.	1	79
— 5	3	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	1	.	.	1	4
— 7	.	3	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	4	.	.	1	15
— 8	1	1	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	1	13
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
—25	1	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12
—29	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	3
—30	2	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11
Всего	12	15	11	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	15	.	.	.	.	.	22	.	.	.	144
Ответствен- ность за отказы																										
Не подтвержде- но	1	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.
Не по вине по- ставщика	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
По вине постав- щика	2	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Анализ к этой дате не закон- чен	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.
Всего . . .	12	15	11	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	15	.	.	.	.	.	22	.	.	.	144

Фиг. 3.9. Типичная карта сообщений о проведенных анализах за определенный период.

Название узла и номер элемента	Код отказа	Серийный №	Виды отказов, всего по отдельным видам	Промежуточная сумма	Всего отказов
		3 5 8 10			
Генератор Элемент № XXX—4	04 02 08 07	2 1 1 2 1	3 4		
Промежуточная сумма		3 2 1 1		7	
Элемент № XXX—1	04 02 <u>01</u> 14 05	2 1 2	2 3		
Промежуточная сумма		2 1 2		5	
Всего		5 3 3 1			12
Усилитель Элемент № XXX—36	01 02 03 03	3 1 1 3	4 4		
Промежуточная сумма		3 2 3		8	
Всего					8
Передатчик Элемент № XXX—10	0502 0503 0503 <u>01</u>	3 2 1 1 1 1	5 2 2		
Промежуточная сумма		5 2 2		9	
Всего					9
Общая сумма		24 16 14 25			79

Ф и г. 3.10. Карта анализа отказов сложного устройства.

новить, какие корректировочные меры должны быть предприняты, какие рекомендованы, но не реализованы, какие реализованы полностью, какие реализованы, но оказались не эффективными, а также общее число отказов, повторялись ли они и т. д.

Если элемент занимает важное место в проекте и закупается в больших количествах, то логично ожидать, что сообщения об его отказах будут многочисленными до тех пор, пока не будет установлен определенный контроль. В этом случае сначала нужно обратиться к форме фиг. 3.8 для того, чтобы составить представление об общей картине. Во многих случаях полезно подготовить карту, подобную приведенной на фиг. 3.9. Эта карта показывает, как можно сгруппировать 144 сообщения о нарушениях работоспособности по видам отказов и/или по причинам отказов, а также по серийным номерам или типам элементов, когда это возможно. Подобный анализ может быть проведен по группам элементов, таким, как датчики, генераторы, гидравлические вентили, или по поставщикам для отдельного или сравнительного изучения. Эти данные можно перегруппировывать по причинам, приведшим к отказу, например: неправильное обращение, ненамеренное разрушение, применение в окружающих условиях, отличающихся от разрешенных технической документацией. Вполне очевидно, что такие отказы не должны относиться на счет поставщика.

Приведенная на фиг. 3.10 форма предназначена для более детального анализа надежности сложных узлов. Она является также иллюстрацией более подробной методики и глубины, с которой может быть проведен анализ. В этой форме не только регистрируются отказы, возникающие в узле, но также показывается, какие элементы ответственны за отказы, причины отказов и меры по восстановлению нормальных условий.

Для контроля за надежностью в ходе разработки изделия очень важно знать, какой прогресс достигнут в отношении надежности. При этом внимание сосредотачивается не только на видах отказов и частоте ¹⁾ их появления, но главным образом на том, как число их уменьшается со временем. Эта тенденция ясно обнаруживается по карте, приведенной на фиг. 3.11.

Предполагалось, что задачи контроля качества также будут включены в систему сбора данных о надежности COFEC. Если масштабы организации и уровень деятельности оправдывают это, то рекомендуется создать отдельный центр для сбора данных по контролю качества. Чтобы установить четкую границу между областями ответственности двух центров, можно условно принять, что внутренние производственные операции будут рассматриваться как деятельность, аналогичная деятельности поставщика. Все проблемы.

¹⁾ Частота отказов определяется как отношение числа отказов к общему числу испытанных элементов.

Датчик. Группа А. Номера элементов: XXX, XXX, XXX

Виды отказов

1962	01	02	03	.	.	.	.	08	.	.	.	12	.	.	.	16	.	18	Всего
Январь	20	10	3	.	.	.	.	7	.	.	.	2	.	.	.	1	.	9	.
Февраль	15	12	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	3	.	3	.
Март	6	16	2	.	.	.	.	6	.	.	.	2	.	.	.	.	.	1	.
Апрель	9	16	1	.	.	.	.	2	.	.	.	1	.	.	.	2	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Ф и г. 3.11. Карта анализа тенденций.

возникающие до и во время окончательных испытаний, рассматриваются как проблемы контроля качества. Когда элемент проходит окончательные испытания в сборке, то он считается эквивалентным купленному элементу. Все нарушения работоспособности, случившиеся после окончательных испытаний собранного элемента, регистрируются как относящиеся к надежности. Проблемы контроля качества поставщиком не оказывают влияния на контроль надежности при условии, если они не приводят к возникновению отказа в собранном изделии. Картотеки COFEC по контролю качества целесообразно вести по классам элементов. Например, все сообщения о схемных панелях должны помещаться в одну картотеку. В данном случае интерес представляет не сам элемент, а процессы сборки, применяемые при его изготовлении.

Как указывалось выше, система сбора данных по надежности COFEC предназначена для того, чтобы отвечать на вопросы инженеров-разработчиков. Они могут запросить данные о частоте появления отказов определенного вида и их причинах не для отдельного элемента, а для группы или класса элементов. Такие данные могут быть найдены в картотеках COFEC путем просмотра регистрации всех сообщений о нарушениях работоспособности и выбора тех из них, которые содержат соответствующий код, а следовательно, и требуемую информацию. Подобный поиск можно выполнять автоматически или вручную. Ручной поиск сообщений может быть облегчен, если имеются дополнительные копии сообщений или если такие копии снимаются после получения сообщений. Копии можно помещать в картотеки на отдельные группы элементов. Благодаря этому количество сообщений, которые следует просмотреть при поиске, существенно сокращается.

3.3. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО РУКОВОДСТВА

Система COFEC представляет информацию для управления и контроля в трех различных формах, каждая из которых должна удовлетворять определенным потребностям. Первая форма, показанная на фиг. 3.12, является количественным отчетом, показывающим, сколько нарушений работоспособности произошло за рассматриваемый период времени, как много из них случилось на каждом уровне нагрузки (если они так классифицированы), сколько нарушений имело место в каждом готовом изделии, в каждой системе и т. д. Стоящий в графе готового изделия 0 показывает, что данный элемент еще не установлен в конкретное готовое изделие. Такой отчет может составляться еженедельно или за другой подходящий период времени. Он позволяет производить сравнение изменений, происходящих за неделю в готовом изделии, системе, проведении корректировочных мер и т. д.

Вторая форма является описательным отчетом о готовом изделии (фиг. 3.13). Он также может представляться еженедельно и составляться на каждое изделие, каждую систему и на элементы определенного типа. Такие периодические отчеты дают возможность руководству следить за изменениями, происшедшими в изделии в течение недели, знать, какие элементы отказали и в каких изделиях, системах и т. д.

Третья форма является также описательной и содержит данные по системам и группам элементов (фиг. 3.14). Этот отчет имеет целью обеспечивать еженедельно ведущую группу инженеров-разработчиков информацией о нарушениях работоспособности и мерах по их устранению в той части системы, за которую данная группа отвечает. Он содержит ту же информацию, что и предыдущая форма (фиг. 3.13), но данные расположены по номерам систем и элементов.

Руководству представляются также три дополнительных доклада, идентичных по форме еженедельным, но они составляются ежемесячно и содержат итоговые данные. Эти доклады дают представление о полной истории всех изделий по состоянию на конец истекшего месяца.

Система сбора данных по надежности COFEC оказывается весьма полезной и в том отношении, что она позволяет дать оценку поставщикам. При вынесении суждения о каждом поставщике взвешивается ряд обстоятельств. Одним из них является качество поставляемой продукции, которое характеризуется уровнем отказов. Как уже упоминалось ранее, некоторые из отказов происходят не по вине поставщика и поэтому не могут быть отнесены на его счет. Система COFEC ясно показывает, за какие отказы поставщик несет ответственность и за какие нет. Когда об отказе сообщается

Количественная сводка
Недельная сводка о нарушениях работоспособности изделий

Дата	Система	Классификация отказов			Другие	Всего
		А	В	С		
0—	04			2	13	15
0—	06				3	3
0—	08			1		1
0—	10				1	1
0—	14			1		1
0—	18				3	3
0—	24		2	2	2	6
		**	2**	6**	22**	30**
5	06				1	1
		**	**	**	1**	1**
6	08			1		1
6	20			1		1
6	24		1	2		3
		**	1**	4**	**	5**
11	10			1		1
		**	**	1**	**	1**
12	24			2		2
		**	**	2**	**	2**
13	04		1	1		2
		**	1**	1**	**	2**
14	04	2				2
		2**	**	**	**	2**
15	04	1				1
15	24		1			1
		1**	1**	**	**	2**
17	14				1	1
17	20			1		1
17	24		2		1	3
		**	2**	1**	2**	5**
18	06			1		1
		**	**	1**	**	1**

Ф и г. 3.12. Количественная сводка об отказах.

DESCRIPTIVE FAILURE REPORT BY MISSILE

REPORT	ACTV	TIME DATE	MISSILE	SVST	FAILED ITEM PART NUMBER	P. SERIAL	FAILED ITEM NAME	P. REF DESIG	REF CODE	FAIL CODE	NO	RE	DA	A	NEXT ASSEMBLY PART NO	WEEK CODE	REV
570201	XX	02 2 6 08	27-20112-31		0050042	MAN DISCEN	71354	01	5	1	5	1	27-72898		245	X	
	SV	IN	TYPE		CL	EXT	FAIL DATE	USAGE NO 1	USAGE NO 2	REPLACE SERIAL NO			SUBSTITUTE PART NUMBER	N A SERIAL	NEXT ASSY NAME		
	X	AB	22				RESP 2 E 4 05 09 1 3 0000000190 0			0100193					PML INSTL		
DESCRIPTION																	
A-B HALF OF FUEL PRES SENSING SYS WILL NOT AL																	
LOW GND HALF TO BE CONNECTED-ONE LOCK BALL MI																	
SSING FROM A-B HALF																	

REPORT	ACTV	TIME DATE	MISSILE	SVST	FAILED ITEM PART NUMBER	P. SERIAL	FAILED ITEM NAME	P. REF DESIG	REF CODE	FAIL CODE	NO	RE	DA	A	NEXT ASSEMBLY PART NO	WEEK CODE	REV
601396	XX	07 2 11 10	27-22043-17			FAIRING	71364	02	01	5	1	2	27-72785		245	X	
	SV	IN	TYPE		CL	EXT	FAIL DATE	USAGE NO 1	USAGE NO 2	REPLACE SERIAL NO			SUBSTITUTE PART NUMBER	N A SERIAL	NEXT ASSY NAME		
	X	AB	22				RESP 2 C 4 04 26 1 0			0					VE INSTL		
DESCRIPTION																	
VE 2 BINDING ON COVER PLATE P/M 27-22591-13 M																	
HIGH MOUNTS ON FAIRING P/M 27-22043-17																	

REPORT	ACTV	TIME DATE	MISSILE	SVST	FAILED ITEM PART NUMBER	P. SERIAL	FAILED ITEM NAME	P. REF DESIG	REF CODE	FAIL CODE	NO	RE	DA	A	NEXT ASSEMBLY PART NO	WEEK CODE	REV
570065	XX	11 2 12 26	26-32011-027		7310050	CAN	84273	03	02	5	1	6	27-78427		245	X	
	SV	IN	TYPE		CL	EXT	FAIL DATE	USAGE NO 1	USAGE NO 2	REPLACE SERIAL NO			SUBSTITUTE PART NUMBER	N A SERIAL	NEXT ASSY NAME		
	03	X	AB	22			RESP 7 C 4 03 22 1 0			0					EQUIP INSTL		
DESCRIPTION																	
DURING 27- 90432-6 TP SIGNAL WAS ERRATIC																	
AND GROUND STATION FAILED TO LOCK ON																	

REPORT	ACTV	TIME DATE	MISSILE	SVST	FAILED ITEM PART NUMBER	P. SERIAL	FAILED ITEM NAME	P. REF DESIG	REF CODE	FAIL CODE	NO	RE	DA	A	NEXT ASSEMBLY PART NO	WEEK CODE	REV
606494	XX	11 2 12 24	26-32013-055		7310024	KPHOR	84273	03	02	5	1	6	27-39968		245	X	
	SV	IN	TYPE		CL	EXT	FAIL DATE	USAGE NO 1	USAGE NO 2	REPLACE SERIAL NO			SUBSTITUTE PART NUMBER	N A SERIAL	NEXT ASSY NAME		
	03	X	AB	22			RESP 7 C 4 03 13 1 1 0016-88- 0-0								EQUIP INST		
DESCRIPTION																	
CANISTER FAILED TO RECOVER DURING GROUND STA-																	
TION CHECK OF 27-90420 2. PHASE DISC S/M 57																	
HAS LEAK																	

The above numbers and descriptions are fictitious and have been chosen for illustrative purpose only

Фиг. 3.13. Форма отчета о состоянии готового изделия.

DESCRIPTIVE FAILURE REPORT BY SYSTEM

REPORT	ACTV	STND	MSILE	SVST	FAILED ITEM PART NUMBER	P1 SERIAL	FAILED ITEM NAME	P1 REF DESIG	NRA CODE	FAIL CODE	DU	RA	DA	RE	NEXT ASSEMBLY PART NO	WEEK CODE	REV	
508979	XX	11	Z	13	04	27-42122 - 9	0110990	SERVO CYL ASS		64578	01	00	5	1	7	1	27-32762	245 X
	SV	IN	TYPE			CL	EXT	FAIL DATE	USAGE NO 1	USAGE NO 2	REPLACE SERIAL NO	SUBSTITUTE PART NUMBER	N/A SERIAL	NEXT ASBY NAME				
	00	X	AB	22				RESP 6	C	4	03	02	1	0				
DESCRIPTION																		
B1 PITCH SERVO CYL HUNG UP DURING OPERATION 5																		
0952 APP POLARITY CHECK-PROBLEM IN SERVO AMPL																		
SEE SERIAL																		
SEE PART NO																		

REPORT	ACTV	STND	MSILE	SVST	FAILED ITEM PART NUMBER	P1 SERIAL	FAILED ITEM NAME	P1 REF DESIG	NRA CODE	FAIL CODE	DU	RA	DA	RE	NEXT ASSEMBLY PART NO	WEEK CODE	REV	
509005	XX	11	Z	13	04	27-30210 - 9	9050227	ACT ASSY		64578	02	01	5	1	7	1	27-18619	245 X
	SV	IN	TYPE			CL	EXT	FAIL DATE	USAGE NO 1	USAGE NO 2	REPLACE SERIAL NO	SUBSTITUTE PART NUMBER	N/A SERIAL	NEXT ASBY NAME				
	00	X	AB	22				RESP 1	B	4	02	02	0	0				
DESCRIPTION																		
B-1 PITCH ACT WILL NOT ADJ TO SPEC PER B/P-LG																		
W LIMIT CALL OUT IS 12.917+HIGH 12.957-LOW CL																		
05EST ADJ 12.914+HIGH 12.999																		
SEE SERIAL																		
SEE PART NO																		

REPORT	ACTV	STND	MSILE	SVST	FAILED ITEM PART NUMBER	P1 SERIAL	FAILED ITEM NAME	P1 REF DESIG	NRA CODE	FAIL CODE	DU	RA	DA	RE	NEXT ASSEMBLY PART NO	WEEK CODE	REV	
638783	XX	11	Z	17	16	27-29111-857		HARN		43789	01	01	5	1	8	1	27-68138	245 X
	SV	IN	TYPE			CL	EXT	FAIL DATE	USAGE NO 1	USAGE NO 2	REPLACE SERIAL NO	SUBSTITUTE PART NUMBER	N/A SERIAL	NEXT ASBY NAME				
		X	AB	22				05	23	1	0							
DESCRIPTION																		
COAX CABLE Q154A IS BROKEN AT ELECT CONN 2Q1U																		
SP23 THIS WIRE RUNS FROM PERM SPLICE AT STA 0																		
SEE SERIAL																		
SEE PART NO																		

REPORT	ACTV	STND	MSILE	SVST	FAILED ITEM PART NUMBER	P1 SERIAL	FAILED ITEM NAME	P1 REF DESIG	NRA CODE	FAIL CODE	DU	RA	DA	RE	NEXT ASSEMBLY PART NO	WEEK CODE	REV	
638711	XX	11	Z	17	20	27-67439-807		PROBE ASSY		43789	03	02	5	1	8	3	27-55614	5
	SV	IN	TYPE			CL	EXT	FAIL DATE	USAGE NO 1	USAGE NO 2	REPLACE SERIAL NO	SUBSTITUTE PART NUMBER	N/A SERIAL	NEXT ASBY NAME				
	04	X	AB	22				RESP 7	C	4	06	07	1	0				
DESCRIPTION																		
FUEL 95 PCT SECONDARY PROBE INOPERATIVE-																		
SEE SERIAL																		
SEE PART NO																		

The above numbers and descriptions are fictitious and have been chosen for illustrative purpose only.

в первый раз, его относят на счет поставщика. Если анализ показывает, что отказ вызван причинами, которые поставщик не может контролировать, то это заключение аннулируется и устанавливается действительное положение.

Другое важное обстоятельство — это уровень сотрудничества или кооперации поставщика с заказчиком, характеризующийся быстротой реализации поставщиком рекомендованных корректировочных мер и эффективностью этих мер. Эту информацию также представляет система COFEC. Полезно сообщать поставщику о тех отказах, которые произошли не по его вине и не относятся на его счет.

Анализ проектов на разных этапах оказывается очень ценным средством повышения надежности изделия. История элементов, устанавливаемая по данным системы COFEC, служит твердой основой для подробного обсуждения потенциальных видов отказов при существующем техническом уровне. На основании этого оказывается возможным оценить вероятность решения поставленных задач по надежности.

На фиг. 3.3 приведены сведения о количестве циклов или времени наработки до отказа. Необходимо уяснить, что использование этих данных для вычисления средней наработки на отказ будет неправильным с точки зрения статистической теории. Причина заключается в том, что в таблице регистрируются только вышедшие из строя элементы и нет сведений о работе всех элементов за определенное время. Ценность данных о наработке до отказа состоит в том, что их можно сравнить с минимальным его значением, которое часто указывается в технических условиях. Эти данные используются также для определения времени до замены элемента при проведении профилактических мероприятий.

Многие программы обеспечения запасными частями основываются на предположении о постоянстве интенсивности отказов. Ошибочность такого предположения можно во многих случаях доказать на основе данных о наработке до отказа. Как правило, у новых изделий наблюдается нерегулярное поведение с изменяющейся интенсивностью отказов. Даже у стандартных изделий проявляется эффект старения, выражающийся в изменении интенсивности отказов как функции времени. Обеспечение запасными частями лучше планировать на основе данных о частоте замены элементов, которая усредняется за все более продолжительный период времени по мере накопления данных. Такая информация в системе COFEC получается непосредственно (фиг. 3.3).

3.4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конечная цель сбора данных по надежности состоит в предотвращении отказов в будущем. Очень часто детали и организация работы самой системы сбора и анализа данных об отказах выдвигают

гаются на первый план, а основное назначение системы информации теряется в лабиринте хороших намерений, касающихся использования различных форм, сложных методов кодирования и программирования, рассылки форм и накопления первичных данных. Чтобы система сбора и анализа данных по надежности была эффективной, она должна быть сама по себе как можно проще, чтобы ее сложность не влияла отрицательно на ее функционирование. В системе COFEC такая опасность устранена благодаря применению единого цифрового кода, позволяющего представлять сложные данные в сжатой форме, удобной для обработки, а также благодаря тому, что были учтены возможные вопросы, на которые система должна быть готова ответить.

Более чем двухлетний опыт применения системы COFEC на фирме «General Dynamics/Astronautics» показал ее эффективность для анализа надежности многих выпускаемых серийно изделий, а также ее экономичность. Требования, предъявляемые к системе сбора данных о надежности, выполнены.

Л и т е р а т у р а

1. Fogel A., A Data Reduction and Failure Correction System (COFEC), IRE Trans. Reliability Quality Control, vol. RQC — 11, № 3, pp. 56—70.
2. Fogel L. J., Biotechnology: Concepts and Applications, Prentice-Hall, Inc., N. J., 1963, pp. 748—760.
3. Reliability Program Provisions for Research and Development Contracts, Lewis Reliability Publ. Le RC-REL-1A, Lewis Research Center, NASA, Nov. 20, 1962.

ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ*Р. Смайли*Robert W. Smiley
Commander, USNOfficer-in-Charge, Polaris Missile Facility Pacific
Bremerton, Washington**4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Испытания изделия следует рассматривать как наиболее важное звено хорошо спланированной и выполняемой программы работ по надежности, требующее самой большой доли затрат средств и труда, выделенных на обеспечение надежности и контроль качества. Программа испытаний предусматривает проверку всех теоретических расчетов, касающихся как характеристик и параметров самой конструкции, так и ее надежности. Она позволяет получить существенные исходные данные, на основании которых конструктор может строить свои расчеты и вносить изменения или уточнения в выполненные проекты. Испытания являются источником почти всех данных по изделию от начала проекта и на протяжении всего срока его службы, основанием для внесения изменений в конструкцию, процессы и эксплуатацию, а также для планирования комплектования запасными частями и технического обслуживания изделия в реальных условиях эксплуатации. Программа испытаний обеспечивает руководителей проекта наиболее важной информацией по мероприятиям, связанным с техническим прогрессом проекта, и проблемам, как уже существующим, так и зарождающимся.

Значение полной, единой, хорошо разработанной, документально обоснованной и строго выполняемой программы испытаний трудно переоценить. Поэтому очень важно, чтобы для планирования и проведения испытаний на всех этапах выделялся самый квалифицированный персонал. К сожалению, руководство проекта очень часто упускает из вида это обстоятельство и назначает наиболее квалифицированных специалистов на другие участки, например конструирование или производство. В таких случаях обычно возникают трудности из-за неожиданных отказов изделий и неспособности персонала установить и устранить причины этих отказов. Высококвалифицированная испытательная группа, работающая по тщательно продуманной программе и получающая поддержку от руководства в виде необходимых фондов, помещений и оборудования, может предотвратить и устранить большинство этих трудностей.

4.2. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ

Так как широкая программа испытаний охватывает все испытания от начала проекта до сдачи готового изделия, она должна включать много видов испытаний. Для разумного составления полной программы испытаний необходимо понимать значения всех возможных видов испытаний, чтобы сделать оптимальный выбор их. В следующих разделах этой главы все испытания будут разделены на пять групп по различным факторам. Читатель должен понимать, что любое конкретное испытание может быть отнесено к одному из видов, входящих в эти группы, и при окончательном выборе программы испытаний следует исходить из определения этого вида.

Обычный недостаток разработки программ испытаний состоит в отказе от рассмотрения всех этих групп; очень часто исходят из того, что подход, примененный в прошлом или в других проектах, является оптимальным и для данного проекта. Такой небрежный и случайный подход к планированию испытаний приводит к неполному анализу всех требуемых испытательных режимов и к неоптимальному для данного изделия выбору вида испытаний. Так, например, дорогостоящие испытания с имитацией воздействия внешних условий, требующие сложного оборудования, могут быть запланированы только потому, что фирма обычно проводит испытания в лаборатории, тогда как особенности применения конкретного нового изделия требуют выбора в качестве оптимальных естественных внешних условий, несмотря на трудности, связанные с невозможностью управлять естественными внешними факторами. Пользование контрольным листком, подобным приведенному на фиг. 4.1, не только облегчает выбор возможного вида испытаний, но и дает уверенность в том, что ни один из вариантов не остается вне поля зрения.

4.2а. Испытания с разрушением или без разрушения изделия. Разница между этими видами испытаний состоит в том, что после испытания с разрушением изделие оказывается непригодным для дальнейшего применения, а после испытания без разрушения его еще можно использовать. В большинстве случаев, например при испытании взрывчатых веществ, такого простого объяснения вполне достаточно. Однако в некоторых довольно редких случаях изделие после разрушающего испытания может остаться еще пригодным для ограниченного применения, как, например, при квалификационных испытаниях законченного изделия или ресурсных испытаниях, когда изделие оказывается непригодным для сдачи заказчику, но может быть с успехом использовано для испытания до отказа с целью определения слабых мест. Поэтому очень важно, чтобы возможное или потенциальное «дальнейшее применение» было учтено на более раннем этапе при планировании каждого пункта программы испытаний и там, где это экономически целесообразно, были приняты компромиссные решения.

Контрольный лист

классификации испытаний и инспекций

Название испытания _____ Название элемента _____

Проводится по заявке _____ Номер отдела _____

Номер элемента _____ Дата начала испытания _____

Время _____ Окончание _____ Участвуют в испытании:

конструкторы _____ испытатели _____

1. Вид испытания (подчеркнуть)

I. Оценочные (на этапе исследования, конструкторские, типовые, квалификационные)

II. В имитированных внешних условиях

III. Контроль качества [а) в опытно и серийном производстве; б) во действие нормальных окружающих условий или утяжеленных внешних факторов; в) в месте установки; г) в полевых условиях]

IV. На надежность [а) граничные; б) на срок службы; в) ускоренные на срок службы; г) на оценку ресурса; д) контрольные]

V. Специальные (потребительские испытания, исследовательские)

2. Разрушающие или неразрушающие? _____ Тип _____

3. На воздействие нормальных окружающих условий или утяжеленны внешних факторов?

_____ (назвать внешние факторы)

4. В естественных или имитируемых условиях?

5. В своей фирме или нет? _____ Где? _____

6. Уровень: элементы, узлы, устройства, подсистемы, система?

7. Контролирует ли заказчик? _____ В какой мере? _____

8. Испытательное оборудование: стандартное или специальное? _____

Кто конструирует? _____

9. От какой организации руководитель испытаний? _____

10. Кем готовится методика испытаний? _____ Где формулируются основные требования? _____

11. Кому направляются отчеты? _____ Сколько копий? _____

12. Степень участия инспекции _____ Инспекция заказчика

Ф и г. 4.1. Контрольный лист классификации испытаний и инспекций.

При прочих равных факторах экономически всегда целесообразно проводить испытания без разрушения, а не с разрушением изделия, если это не отразится существенно на общей стоимости выполнения программы испытаний, так как в некоторых случаях может потребоваться проведение большего числа испытаний без разрушения для достижения той же цели, которая может быть достигнута при меньшем числе разрушающих испытаний. Кроме того, следует учитывать, что после испытаний без разрушения испытываемый образец остается в таком состоянии, которое позволяет провести обоснованную диагностику отказов, а это существенно повышает потенциальную ценность испытания.

С другой стороны, вследствие того, что многие неразрушающие испытания являются косвенными, выбор методики их проведения требует определенного внимания. Примером может служить использование уровней интенсивности вибраций ниже тех, которые могут иметь место в действительных условиях эксплуатации; экстраполяция результатов на реальные условия оказывается при этом очень сложной и не всегда возможна. В некоторых применениях, где на этапах исследований и разработки можно собрать данные, достаточные для оценки корреляции уровней интенсивности вибраций при испытаниях без разрушения и с разрушением изделия, можно проводить сдаточные и оценочные испытания без разрушения и использовать их для получения необходимых отчетных данных. Общая программа таких сравнительных оценок имеет существенное значение для разработки методов и программ проверки готовых изделий без их разрушения с использованием рентгенографии, магнитной порошковой дефектоскопии, ультразвука, сверхвысоких частот и т. п. К сожалению, программы такого неразрушающего контроля готовых изделий часто составляются без использования результатов испытаний, проведенных на этапах исследований и разработок. Это приводит к тому, что устанавливаются необоснованные и неприменимые критерии оценки годности изделий, руководствуясь которыми контролер или инженер должен оценивать результаты неразрушающих испытаний законченных изделий.

Очень высокая стоимость отдельных изделий или их элементов делает иногда обязательным проведение испытаний без разрушения на всех этапах разработки. Примером изделий этой группы могут служить двигатели на твердом топливе, применяемые в баллистических ракетах и ракетах-носителях, выводящих на орбиту искусственные спутники Земли. Стоимость одной ступени такой ракеты может достигать полмиллиона долларов или даже больше. Так как экономикой проекта требует, чтобы производилось минимальное количество запусков таких ракет для достижения поставленной цели, то весьма существенно иметь самую полную информацию об испытываемых двигателях. Как правило, основной объем такой информации получается из обширных неразрушающих испытаний,

которым подвергаются все элементы и системы двигателя. Металлические части и различные узлы, а также собранный двигатель подвергаются тщательному рентгенографическому исследованию, ультразвуковому контролю и испытаниям с применением других методов для проверки целостности корпуса, прочности сварных швов, отсутствия трещин и т. д. Пробы топлива, облицовки, их компонентов и других химических веществ проходят тщательный анализ в химических лабораториях. Производится полная регистрация данных не только при производственных испытаниях готового изделия и всех его элементов, но и данных, относящихся к различным процессам и внешним условиям, при которых эти процессы протекали. Затем эти данные подвергаются подробному исследованию и анализу для установления корреляции с данными, полученными при запусках. На основании такого сопоставления устанавливаются обоснованные пределы для возможных переменных факторов технологического процесса, а также для результатов неразрушающего контроля, примененного в производстве. При разработке изделий такого рода применение неразрушающих испытаний обязательно как в процессе производства, так и при полевых испытаниях, испытаниях на долговечность, а также при выполнении программы контрольных испытаний.

В обычном серийном производстве испытания проводятся также без разрушения изделий. Но там, где должна быть обеспечена высокая надежность, эти испытания дополняются испытаниями с разрушением образцов, отбираемых через определенные временные интервалы на технологической линии. В таких случаях часто бывает достаточным проверять при испытаниях без разрушения только критические параметры каждого изделия, а при испытании отобранных образцов контролировать менее критические параметры. Таким образом достигается определенная экономия на проведение испытаний благодаря тому, что один и тот же образец подвергается некритическим испытаниям без разрушения и с разрушением. Эта методика испытаний хорошо подходит к сложным системам, содержащим электронные, гидравлические и механические функциональные элементы, для которых стоимость проведения испытаний составляет значительную часть всей их стоимости.

Применение вибраций как внешнего фактора при проведении производственных неразрушающих испытаний вызывает противоречивую оценку. Некоторые специалисты по надежности считают, что такой режим испытаний приводит к ухудшению изделий, в частности очень точно обработанных или критических механических элементов, таких, например, как гироскопы. Автор не собирается опровергать такие суждения, но считает, что применение вибраций при производственных и приемочных испытаниях позволяет выявить технологические дефекты и начинающиеся эксплуатационные отказы до того, как изделие будет сдано заказчику. То же самое можно

сказать о проведении испытаний некоторых радиоэлектронных элементов при повышенной окружающей температуре, в частности для таких проектов, где жесткие требования к весу и объему приводят к необходимости снижения коэффициентов запаса, работе без резерва и применения только самых лучших компонентов. Испытание при повышенной температуре с успехом проводится для выявления некачественных полупроводниковых приборов, электронных ламп, резисторов, конденсаторов, трансформаторов и герметизированных узлов. Испытательная температура обычно не превышает действительной рабочей температуры элементов при самых суровых внешних условиях.

4.26. Испытания на воздействие нормальных окружающих условий и внешних факторов. Обычно под испытаниями на воздействие окружающих условий понимают испытания, проводимые в нормальных условиях, имеющих место обычно в лаборатории или в заводском помещении, а под испытаниями на воздействие внешних факторов или особых условий подразумеваются все испытания, при которых изделие подвергается воздействию факторов, не относящихся к нормальным окружающим условиям. Однако некоторые испытания, проводимые в реальных условиях эксплуатации при естественных внешних факторах, в частности когда место испытаний специально выбрано для получения предельных температуры, вибраций, влажности, пыли и т. д., считаются также испытаниями на воздействие внешних факторов. Ниже будут рассмотрены такие испытания.

Испытания на воздействие нормальных окружающих условий обычно проводятся в производственных предприятиях главным образом из-за их простоты и экономичности. (Стоимость их проведения может составлять от одной сотой до одной десятой стоимости испытаний на воздействие внешних факторов.) В проектах высоконадежных изделий необходимо запланировать проведение таких испытаний на этапах исследований и разработки в сочетании с испытаниями на воздействие внешних факторов с целью установления возможности их использования для отбраковки материалов, схем, конструкций, которые не могут нормально работать в реальных условиях эксплуатации изделия. Следовательно, производственные испытания должны планироваться на начальном этапе программы и каждый элемент разрабатываемого изделия, предназначенный для испытаний на воздействие внешних факторов, должен быть до этого испытан в нормальных производственных условиях.

Учитывая такое соотношение испытаний на воздействие нормальных окружающих условий и внешних факторов, следует иметь в виду, что испытания на воздействие окружающих условий являются далеко не всегда эквивалентной заменой испытаний на воздействие внешних факторов, вызванной экономическими соображениями. Такую замену можно считать приблизительно эквивалент-

ной тогда, когда реальные условия эксплуатации изделия приближаются к производственным внешним условиям, как, например, в случаях бытовой аппаратуры или такого военного оборудования, как электронные вычислительные машины, которые должны использоваться в условиях защиты от внешних воздействий. Вследствие относительной экономичности испытаний на воздействие окружающих условий они применяются более широко, чем испытания на воздействие внешних факторов. Если результаты этих испытаний совпадают с ожидаемыми характеристиками изделия в реальных условиях эксплуатации, то это дает возможность считать, что изделие будет правильно функционировать в этих условиях. Благодаря сравнительной простоте испытаний на воздействие окружающих условий они могут проводиться и проводятся на всех этапах изготовления и сборки.

Испытания на воздействие внешних факторов при разработке высоконадежных изделий необходимы для определения рабочих характеристик этих изделий в реальных условиях применения. В большинстве программ таких испытаний предусматривается испытание изделий на воздействие на них предельных значений внешних факторов, которые могут иметь место при реальной эксплуатации. Однако при особенно строгих требованиях в отношении надежности необходимо также испытывать изделия на воздействие внешних факторов, превышающих ожидаемые предельные уровни, чтобы определить запасы прочности конструкции, а также выявить потенциальные или только начинающие развиваться дефекты. Как правило, при таких испытаниях уровни внешних факторов должны значительно превышать расчетные предельные значения, например на 10—15%. Это позволяет отделить действительное влияние внешних факторов от влияния случайных отклонений параметров изделия от номинальных значений. Высокая стоимость испытаний на воздействие внешних факторов и неизбежное взаимодействие этих факторов (например, при испытаниях радиоэлектронной аппаратуры всегда надо учитывать выделение тепла элементами этой аппаратуры) делает обязательным тщательное планирование экспериментов для того, чтобы производимые затраты дали максимальный эффект.

Хорошо составленная программа испытаний на воздействие внешних факторов должна включать в себя также программу всесторонних испытаний на воздействие нормальных окружающих условий, предшествующих, как указывалось выше, данным испытаниям. Это дает возможность оценить связь результатов двух видов испытаний, что позволяет максимально использовать более экономичные испытания на воздействие окружающих условий. Испытания на воздействие внешних факторов обычно проводятся: 1) на этапе исследований и разработки для оценки конструкции на различных стадиях ее готовности с точки зрения возможности удовлетворительной работы в реальных условиях применения; 2) в начале и в

течение всего производственного цикла с целью проверки того, что принятые технологические процессы обеспечивают изготовление изделий, способных работать при заданных внешних условиях; 3) в процессе эксплуатации с целью определения степени ухудшения способности изделия продолжать работу в реальных условиях. Испытания этого вида более подробно описаны в подразд. 4.2д.

4.2в. Естественные и имитированные (лабораторные) условия. Испытания на воздействие внешних факторов можно классифицировать в зависимости от метода создания внешних воздействий, т. е. использования естественных внешних факторов в реальных условиях эксплуатации или искусственно создаваемых в лабораториях. Такое разделение имеет смысл, так как стоимость проведения испытаний по этим методам и полезность накапливаемых данных могут существенно различаться. Решение о выборе того или другого метода должно приниматься с учетом многих факторов, среди которых можно выделить следующие.

Размер элементов. Проведение испытаний очень больших систем на воздействие некоторых внешних факторов в лаборатории часто бывает связано со значительными трудностями. Особенно это относится к динамическим воздействиям, таким, как удары, вибрации, постоянное ускорение или быстрые изменения атмосферного давления и температуры. В случаях испытаний на комбинированное воздействие этих факторов почти обязательным будет решение об использовании естественных внешних условий. Изделия обычно подвергаются таким испытаниям, как транспортировка по неблагоустроенным дорогам в контейнерах; летные испытания отдельных отсеков и ступеней больших управляемых ракет, космических кораблей или самолетов; испытания автомобилей и других самоходных машин на полигонах, в пустыне и в арктических условиях. Конечно, можно построить лабораторное оборудование для проведения испытаний больших изделий на воздействие различных внешних факторов, но, как правило, стоимость такого оборудования очень высокая и затраты могут быть оправданы только тогда, когда другие условия требуют проведения лабораторных испытаний.

Тип элементов. Очень сложные функциональные элементы, работа которых должна быть проверена под воздействием внешних факторов, бывает трудно испытывать в реальных условиях, так как для этого необходимы большие и сложные испытательные консоли, вырабатывающие функциональные стимулы, и сложная измерительная аппаратура. Такие трудности встречаются при летных испытаниях ракет и управляемых снарядов, где допустимая полезная нагрузка строго ограничивает объем данных, которые могут быть переданы на наземные станции по телеметрической линии. При испытаниях элементов такого типа часто бывает необходимо, чтобы их работа была проверена при нижнем и верхнем уровнях входных стимулов, что вообще невозможно осуществить, если эле-

мент находится в рабочем состоянии в системе. Работа многих изделий, например ракет с двигателями на жидком или твердом топливе, не может быть проверена с достаточной полнотой во время летных испытаний, поэтому обязательно проведение испытаний в искусственно создаваемых внешних условиях.

Частота испытаний. Если испытания должны проводиться часто или непрерывно, как, например, производственные испытания на воздействие вибраций, или когда программа испытаний предусматривает испытание на воздействие внешних факторов периодически отбираемых партий из общего потока изделий, то вопрос об использовании для испытаний естественных или искусственно создаваемых внешних условий является в значительной мере вопросом экономики и должен решаться в зависимости от относительной общей стоимости испытаний в обоих случаях. Однако иногда решающим фактором является время, так как для полных лабораторных испытаний может потребоваться время, превышающее продолжительность производственного цикла, или время, требующееся для проведения каждого испытания в реальных условиях применения изделий, может внести слишком большую задержку в получении данных. В больших и хорошо организованных предприятиях обычно имеется лабораторное оборудование для испытаний выпускаемых и разрабатываемых изделий, поэтому повторяющиеся испытания часто планируются так, чтобы их можно было проводить в лаборатории, и только небольшая часть программы испытаний выполняется в реальных условиях применения.

Сложность испытательного оборудования. Сложность требующихся для проведения испытаний оборудования и приборов, зависящая не только от сложности испытуемых изделий, но и от того, насколько подробные данные необходимо получить, является нередко решающим фактором при выборе вида испытаний. Если необходимо получить только несколько показателей, то можно использовать переносные регистрирующие приборы или передавать информацию по телеметрической линии на большие наземные станции и получать все необходимые данные при испытаниях в реальных условиях. С другой стороны, если при испытаниях требуется получить большое количество данных или необходима очень высокая точность данных, то такие испытания должны проводиться только в лаборатории, где имеется большое количество очень чувствительных приборов и оборудования.

Сложность испытаний. Из сказанного выше о типах элементов и сложности испытательного оборудования можно сделать вывод, что сложность испытаний, влияющая как на испытательное оборудование, так и на характер воздействия внешних факторов, является очень важным обстоятельством. Например, испытать один и тот же образец на воздействие предельных температур можно более экономично и более быстро в лаборатории, а не в реальных условиях,

если только для испытаний не будет выделен самолет, который мог бы быстро переносить образец из знойной жары пустыни в арктический холод. Однако такие летные испытания будут очень дорогими, если самолет одновременно не использовать для других целей. Но это создало бы дополнительные трудности в проведении испытаний.

Доступность естественных условий. Конструктор автомобилей может найти в пределах ограниченной территории предельные внешние условия, в которых может эксплуатироваться его машина. При сравнительно небольших затратах можно провести испытания в условиях жаркой пустыни и при минусовых температурах, на предельных высотах над уровнем моря, на любых дорогах, при воздействии пыли, дождя и других осадков, а также при комбинированном воздействии различных условий. Но конструктор больших ракет на твердом топливе может испытать их в естественных условиях больших высот (низких давлений) только во время кратковременных полетов, которые обходятся очень дорого. Для изготовителей красок применение окрашенных панелей под жарким солнцем в Калифорнии или на пешеходных переходах с интенсивным движением даст ответ о воздействии внешних условий на их продукцию. В каждом случае нужно тщательно изучать естественные внешние факторы, чтобы установить не только относительную трудность проверки испытываемого образца в этих условиях, но и возможность получения предельных значений внешних факторов в течение времени, предусмотренного программой испытаний, сложность измерений внешних факторов и оценки отклонений или отказов во время испытаний вследствие невозможности управлять внешними факторами.

Относительная стоимость. Относительная стоимость двух методов испытаний является важным фактором, но она включает в себя не только прямые затраты на проведение испытаний, а и произведенные ранее фирмой вложения в лабораторное оборудование, дополнительные затраты, которые могут потребоваться, а также расходы, связанные с амортизацией оборудования, и оплату персонала, занятого на испытаниях. Испытание, которое при прочих равных условиях легче провести в поле, может быть запланировано для проведения в лаборатории только с целью равномерной загрузки лабораторного оборудования. И наоборот, при прочих равных условиях испытание может быть проведено в поле только потому, что требующееся для испытаний лабораторное оборудование загружено до предела.

Относительное время. Время, требующееся для подготовки или проведения испытаний, часто может явиться решающим фактором при выборе вида испытаний. Если разрабатываемое изделие должно быть сдано заказчику в установленный срок, то необходимо преодо-

леть все препятствия на пути получения данных и принятие того или иного решения будет зависеть от того, где возможно провести требуемые испытания на воздействие внешних факторов. В отношении некоторых факторов решение может быть компромиссным. Для постройки и оборудования новой испытательной лаборатории может потребоваться от шести месяцев до одного года, что не всегда допустимо по срокам завершения проекта. С другой стороны, результаты производственных испытаний могут оказаться необходимыми для принятия решения о проведении приемо-сдаточных испытаний спустя сравнительно короткое время после изготовления образца. Поэтому должна быть принята жесткая программа испытаний. В этом случае почти обязательным должно быть решение о проведении испытаний в лаборатории заказчика, где имеется возможность строгого регулирования внешних факторов.

4.2г. Уровни испытаний. Четвертый признак, по которому можно классифицировать испытания,— это уровень составных частей системы, подвергающихся испытаниям. Для практических целей испытания обычно проводятся последовательно на уровне элементов, узлов, устройств, подсистем и систем. Цель каждого вида испытаний — тщательная проверка и сохранение рабочего состояния, что требует проведения некоторых испытаний на каждом уровне. Это главные факторы, диктующие выбор конкретных деталей, которые должны быть испытаны на каждом определенном уровне. Так, например, по программе производственных испытаний желательно испытать каждую деталь, как только она создана, чтобы предотвратить дальнейшие затраты на производство изделия, не удовлетворяющего требованиям. Это по существу относится к функциям отдела контроля качества. Но в дополнение к этому существует необходимость испытания детали на самом последнем этапе перед тем, как она будет закончена, чтобы убедиться в том, что в процессе производства ее качество не ухудшилось. Такие испытания являются приемо-сдаточными испытаниями, которые дают заказчику гарантию, что переданное ему изделие удовлетворяет функциональным требованиям.

Эти два фактора действуют иногда в противоположных направлениях, и реальный план производственных испытаний составляется на основе компромиссного решения. Он обычно предусматривает проведение тех или иных испытаний на всех уровнях. Такое же положение существует и при составлении программы испытаний по оценке конструкции или испытаний на надежность. Необходимость проверки работы каждого элемента конструкции вплоть до отдельных деталей при изменяющихся внешних условиях и невозможность определить их поведение при проведении испытаний на высшем уровне приводят к тенденции снижения уровня испытания. В противоположность этому необходимость проведения испытаний на более высоком уровне обосновывается тем, что требуется знать по-

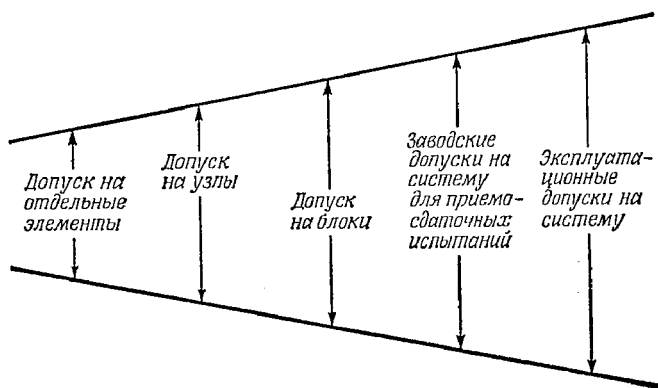
ведение готового изделия вместе с запасными частями и принадлежностями, а по результатам испытаний на уровне элементов невозможно определить взаимодействие различных устройств, входящих в изделие. Эти взаимно уравновешивающиеся тенденции, действующие в пределах общего бюджета испытаний, определяют окончательные программы испытаний по оценке конструкции или надежности.

Особое внимание при разработке программы испытаний на различных уровнях системы должно быть уделено необходимости согласований испытаний, проводимых на различных уровнях. В большинстве промышленных предприятий специализация инженеров по технологическим линиям и по функциональным линиям привела к существенному разделению персонала, ответственного за конкретизацию и выполнение отдельных пунктов программы испытаний на надежность. Так, ответственность за общую программу технических оценочных испытаний часто возлагается на проектную организацию, а ответственность за программу испытаний на уровнях элементов, узлов и систем возлагается в группе по проведению испытаний соответственно на инженеров по применению элементов, расчету узлов и компоновке системы.

Вследствие такого двойного разделения требования к воздействию внешних факторов испытываемые детали, испытательное оборудование, измерительная аппаратура и входные условия часто оказываются несовместимыми, а получаемые результаты испытаний некоррелируемыми. Обычно, когда некоординируемые группы отвечают за подготовку программ испытаний, необходима другая группа, например группа надежности, которая должна анализировать и одобрять планы и методы проведения испытаний до того, как они будут утверждены, чтобы установить определенную совместимость, необходимую для оптимального использования результатов испытаний. При лучшей организации вся работа по планированию испытаний возлагается на подразделение надежности, которое проводит ее на основе требований и заданий на испытания, поступающих от разрабатывающих подразделений.

Такой же принцип применим и к производственным испытаниям (включая испытания в полевых условиях или в пунктах установки), которые должны полностью планироваться одним подразделением — надежности, или контроля качества. Другая сторона проблемы комплексных испытаний должна быть рассмотрена в связи с производственными испытаниями, в частности с испытаниями радиоэлектронной (или гидравлической) аппаратуры. Многие функциональные параметры такой аппаратуры постепенно изменяются с течением времени, в процессе эксплуатации или при циклических функциональных испытаниях. Если допуски на эти параметры устанавливаются одинаковыми для всех последовательных уровней испытаний, то у значительной части аппаратуры параметры будут

находиться в заданных пределах допусков на одном уровне испытаний, но могут выйти за эти пределы на следующем более высоком уровне, вследствие чего аппаратура будет браковаться и возвращаться на переделку. Чтобы предотвратить такое движение аппаратуры по замкнутому кругу, при правильно спланированных испытаниях необходимо устанавливать постепенно расширяющиеся пределы допусков для отдельных параметров на последовательно



Фиг. 4.2. Расширение пределов допусков.

повышающихся уровнях, причем самые жесткие пределы должны устанавливаться для наиболее низкого уровня испытаний системы (фиг. 4.2).

4.2д. Классификация испытаний по их назначению. Когда устанавливается необходимость проведения испытаний, то обычно сразу же возникает вопрос: «Каких испытаний?», т. е. с какой целью они должны проводиться. Естественно при всяком обсуждении вопросов об испытаниях на первый план выдвигать их цель, так как она является исходным пунктом для составления программы, финансирования, распределения ответственности и использования результатов испытаний. В обширной и всесторонней программе испытаний, разрабатываемой для систем с высокой надежностью, удобно разделять планируемые испытания в зависимости от их цели на пять основных групп с дальнейшим подразделением каждой группы на отдельные виды испытаний. Эти пять групп испытаний следующие: 1) оценочные, 2) испытания в имитируемых внешних условиях, 3) контроль качества, 4) испытания на надежность, 5) специальные.

Группа 1. Оценочные испытания. Хотя можно сказать, что в широком смысле при всех испытаниях производится оценка изделия по определенным критериям, в современных проектах составляются отдельные программы испытаний, целью которых является оценка

Номенклатура и общие требования к программе испытаний на воздействие внешних факторов, проводимых на этапе разработки изделий

Проект, контролируемый заказчиком

	Исследовательские испытания	Испытания на проверку возможности реализации конструкции	Инженерные оценочные испытания	Проверочные официальные испытания конструкции перед началом производства	Контрольные испытания по оценке процесса производства
Цель испытаний	Определить функциональные характеристики элементов, узлов, блоков и устройств, которые будут применены в изделии. Принять решение о структурной и принципиальной схеме изделия, об основной конструктивной схеме, об элементной базе, на которой следует строить разрабатываемое устройство	Установить номинальные значения и допуски для параметров элементов, узлов, блоков, принятых в качестве образцов для использования их в изделиях, предназначенных для эксплуатационных или летных испытаний. Проводятся также испытания экспериментальных образцов, которые не предназначены для использования в тактической программе	Получение данных о качестве работы в изделиях отобранных функциональных блоков и узлов, удовлетворяющих техническим требованиям. Данные могут быть представлены заказчику в качестве замены результатов официальных испытаний перед началом производства	Путем проведения раздельных испытаний показать, что все изделие в целом, а также элементы, узлы, блоки и устройства, используемые в системах изделия, могут функционировать в условиях, указанных в технических требованиях и чертежах. Успешное завершение этих испытаний даст материалы для оценки правильности выполнения разработчиком порученной ему задачи	Показать, что изготовитель производит изделия в строгом соответствии с проектом и техническими требованиями
Объем испытаний	Определяется ответственным конструктором	В соответствии с техническими требованиями. Требования в отношении воздействия внешних условий могут быть сведены к минимуму, определенному в программе эксплуатационных или летных испытаний	Испытания должны быть проведены в полном соответствии с техническими условиями на разработку и требованиями своей программы испытаний на надежность	Испытания должны быть проведены по всем пунктам, указанным в технических условиях на испытания, перед началом производства	Функциональные испытания и ограниченные испытания на воздействие внешних факторов в соответствии с техническими условиями
Испытываемые изделия	Макетный образец, элемент, полученные от поставщиков, материалы	Экспериментальный образец, изготовленный по эскизным чертежам	Экспериментальный образец, изготовленный в опытной производственной	Изделия опытной серии или серийного производства	Изделия серийного производства
	крупные узлы	тежам	утвержденным чертежам. Если возможно, то должны использоваться инструменты и приспособления, соответствующие нормальному технологическому процессу		
Техническая документация	По изделиям: каталог поставщика или лабораторные записки. Техническая записка о проведении испытаний	По изделиям: эскизные чертежи. Задание на испытания. Требования к результатам испытаний	По изделиям: утвержденные чертежи эскизного проекта. По испытаниям: утвержденные технические условия на разработку. Сводная программа испытаний на надежность. Задание на испытание	По изделиям: утвержденные производственные чертежи. По испытаниям: официальные технические условия и задание на испытание	По изделиям: утвержденные производственные чертежи. По испытаниям: утвержденные технические условия и методика испытаний
Контроль	Конструкторская группа ведет регистрацию всех изменений, внесенных в конструкцию изделия условия назначения	Контроль конструкции ответственной группой конструкторов. Все изменения должны быть полностью документированы	Все изменения конструкции должны быть документированы и одобрены группой по рассмотрению изменений. Руководитель программы должен быть информирован о всех одобренных изменениях	Все изменения конструкции должны быть документированы и одобрены группой по рассмотрению изменений. Руководитель программы должен быть информирован о всех одобренных изменениях. Все изменения должны быть одобрены заказчиком	Контроль изменений заказчиком. Изменения конструкции требуют одобрения заказчика
Методика испытаний	Определяется заданием на испытание или вырабатывается по указанию ответственного конструктора	Методика испытаний, соответствующая возможностям испытательной лаборатории. Вместо методики испытаний может быть использовано подобное задание на испытание	Требуется подробная методика испытаний	Требуется подробная методика испытаний	Требуется подробная, согласованная с заказчиком методика испытаний

Программа	Программы				Программа
	Испытания на прочность, возможность реализации конструкции	Испытания на прочность, возможность реализации конструкции	Испытания на прочность, возможность реализации конструкции	Испытания на прочность, возможность реализации конструкции	
Документация на испытательное оборудование	Документация на испытательное оборудование не требуется, если не несет ответственности конструктор	Документация на испытательное оборудование не требуется, если не несет ответственности конструктор	Документация на испытательное оборудование не требуется, если не несет ответственности конструктор	Документация на испытательное оборудование не требуется, если не несет ответственности конструктор	Документация на испытательное оборудование не требуется, если не несет ответственности конструктор
Участие службы обеспечения качества	Инспекция не должна принимать участие в испытаниях, если в этом не несет ответственности конструктор	Инспекция не должна принимать участие в испытаниях, если в этом не несет ответственности конструктор	Инспекция не должна принимать участие в испытаниях, если в этом не несет ответственности конструктор	Инспекция не должна принимать участие в испытаниях, если в этом не несет ответственности конструктор	Инспекция не должна принимать участие в испытаниях, если в этом не несет ответственности конструктор
Отчеты об испытаниях	Служба обеспечения качества и краткий отчет или технический отчет	Служба обеспечения качества и краткий отчет или технический отчет	Служба обеспечения качества и краткий отчет или технический отчет	Служба обеспечения качества и краткий отчет или технический отчет	Служба обеспечения качества и краткий отчет или технический отчет
Участие заказчика	Участие заказчика не требуется	Участие заказчика не требуется	Участие заказчика не требуется	Участие заказчика не требуется	Участие заказчика не требуется
График проведения испытаний	Устанавливается опытным путем	Устанавливается опытным путем	Устанавливается опытным путем	Устанавливается опытным путем	Устанавливается опытным путем

Фиг. 4.3. Карта основных видов испытаний на воздействие внешних факторов.

того, насколько конструкция и/или производственные процессы соответствуют требованиям, предъявляемым к испытываемому изделию. Здесь мы под термином «оценочные испытания» понимаем испытания на воздействие внешних факторов, проводимые на стадии разработки изделия. Характеристика этих испытаний дана в таблице фиг. 4.3. Обычно различают четыре вида таких испытаний: исследовательские, определяющие возможности реализации конструкции, оценочные, квалификационные.

Исследовательские испытания. Это самые первые испытания, проводимые на начальной стадии разработки проекта изделия или технологического процесса: от других испытаний, относящихся к группе 1, они обычно отличаются тем, что 1) испытывается лабораторный макет, 2) проводится сравнение различных конструкторских решений, 3) испытания по своему характеру являются научно-исследовательскими или поисковыми. Разработчик обычно имеет возможность полностью управлять такими испытаниями и старается получить данные, на основании которых он мог бы выбрать из различных возможных вариантов решение, наиболее близкое к оптимальному. Такие испытания включают испытания на воздействие нормальных окружающих условий и внешних факторов, причем обычно испытываются те части конструкции, для которых решение не совсем ясно или условия применения незнакомы. Исследовательские испытания являются неформальными; они проводятся, как правило, методом проб под непосредственным наблюдением разработчика, который фиксирует полученные результаты в своей рабочей тетради.

Испытания на определение возможности реализации конструкции. Это второй вид испытаний на стадии разработки проекта. После выбора определенного варианта конструктивного решения разработчик проводит серию уточнений от-

дельных сторон этого решения, вносит изменения в макеты образца на основе испытаний, проводимых в соответствии с заданными требованиями. Эти испытания, так же как и исследовательские, обычно проводятся под руководством разработчика, который может «на ходу» вносить изменения в образец и путем последовательных улучшений добиваться, чтобы конструкция удовлетворяла заданным функциональным требованиям и требованиям по надежности. Данные испытаний, которые разработчик заносит в рабочую тетрадь, предназначаются только для него. Не исключается, что в процессе таких испытаний разработчик может прийти к заключению об ошибочности принятого им ранее конструктивного решения и о необходимости выбора другого варианта из проверенных во время исследовательских испытаний. Предвидя возможность такой ситуации, опытный разработчик всегда сохраняет свои записи, относящиеся к исследовательским испытаниям.

Оценочные испытания. Когда разработчик решает, что начальная стадия проекта закончена и что в пределах ограничений по срокам и средствам сделано все для того, чтобы изделие удовлетворяло заданным требованиям, он передает проект в производство для изготовления опытных образцов, которые можно было бы подвергнуть всесторонним испытаниям для проверки и оценки конструкции с точки зрения соответствия этим требованиям. За эти испытания часто отвечает другая служба внутри предприятия, обычно служба надежности, что гарантирует получение беспристрастной оценки. Испытания проводятся по широкой программе и охватывают проверку всех требований в условиях, которые могут быть имитированы в лаборатории. Работа аппаратуры проверяется при экстремальных значениях входных величин до, во время и после воздействия всех известных ожидаемых внешних факторов. Отказы подвергаются тщательному анализу, чтобы выяснить, является ли конструкция дефектной (и, следовательно, требуется ли ее изменение и повторное проведение полных или частичных оценочных испытаний), или же были ли ошибочными выбор элементов, технология изготовления и сборка (в этом случае в изделии устраняются дефекты без изменения его конструкции, но также требуется полное или частичное повторение испытаний).

В хорошо выполненном проекте удовлетворительное завершение оценочных испытаний является сигналом к сдаче изделия в опытное производство. Программа оценочных испытаний является контролируемой программой испытаний с утвержденной методикой, подготовляемой совместно с разработчиками и подразделением надежности. В ответственных проектах, доведенных до высокой стадии отработки, инспекторы проверяют испытательную установку, запись данных и калибровку испытательной аппаратуры для полного контроля за выполнением программы испытаний.

Даже в тех случаях, когда разработка проекта финансируется заказчиком, он, как правило, не участвует в программе оценочных испытаний, так как эти испытания касаются только оценки конструкции, а не предлагаемых технологических процессов и методов изготовления изделия. (Из этого правила иногда делается исключение, если заказчик из-за недостатка времени решит отказаться от формальной программы квалификационных испытаний и сочтет возможным начать серийное производство на основании того, что в опытном производстве был изготовлен образец хорошего качества).

После того как конструкция отработана достаточно хорошо, хотя может быть еще и не полностью, данные испытаний используются уже не только для одобрения конструкции, но и как важная информация в фонд по надежности. Образцы, проходившие оценочные испытания, часто передаются в подразделение надежности для дальнейших испытаний на надежность, например испытаний до отказа, для граничных испытаний и т. д.

Квалификационные испытания и изготовление опытной партии. После того как конструкция одобрена на основе данных серии оценочных испытаний (и при условии, что полевые оценочные испытания, относящиеся к группе 2, прошли удовлетворительно), до начала производства проводится еще одна серия испытаний. Это квалификационные испытания, которые по существу являются полным повторением оценочных испытаний, но испытываемые образцы изготавливаются уже в нормальных условиях производства, по серийной технической документации с соблюдением принятых методов обработки, технологических процессов, операций контроля и т. д. Элементы поставляются в соответствии с серийными производственными техническими условиями и проверяются методами производственного контроля.

Если разработка проекта финансируется заказчиком, то он обычно полностью контролирует программу квалификационных испытаний, сохраняя за собой право предлагать отклонения от плана или изменения отдельных процедур. Он может потребовать, чтобы его представители формально учитывали любые отказы, случающиеся во время испытаний, если они не повлекли за собой внесения изменений в конструкцию или в технологические процессы производства. Образцы подвергаются воздействию внешних факторов в полном диапазоне их изменения при экстремальных (верхнем и нижнем) значениях входных величин; проверка их рабочих характеристик проводится до, во время и после воздействия внешних факторов. Можно ожидать, что эта серия испытаний вскроет изменения, непреднамеренно внесенные при переходе от производства опытных образцов к производству опытной партии по серийной документации, которые ухудшают работоспособность испытываемых устройств. В этом случае потребуется внесение изменений в конструкцию или производственные процессы. Эти изменения часто требуют

полного или частичного повторения испытаний, проведенных до перехода к нормальному производству. Требовательный заказчик будет настаивать на принятии такого решения.

Подобным же образом может быть установлено, что отклонения, ухудшающие рабочие характеристики изделия, возникли при разработке технологических процессов или же что два изготовителя (производство опытных образцов и серийное производство) по-разному подходят к изготовлению изделия. Изделие, предъявленное для квалификационных испытаний, может существенно отличаться от изделия, проходившего конструкторские оценочные испытания. Поэтому потребуются изменения с повторением некоторой части испытаний.

Эти случайности нужно по возможности предвидеть заранее, так как они влияют на сроки выполнения программы испытаний. В проектах по разработке ракет и космических объектов на программу квалификационных испытаний нормально предусматривается 5—6 месяцев, а если разработка совершенно новая или нет достаточного опыта в проектировании, производстве и проведении испытаний, то несколько больше. Для некоторых проектов такие сроки оказываются очень долгими, и заказчик может дать согласие на начало производства образцов, предназначенных для поставок в эксплуатацию, до формального завершения программы квалификационных испытаний с некоторым риском, что часть элементов придется перерабатывать. Подразделение надежности должно возражать против таких решений, так как при этом будет иметь место дополнительное давление со стороны представителей изготовителя и разработчика, заинтересованных в том, чтобы не принимать во внимание отказы или неполадки, возникшие при выполнении программы квалификационных испытаний.

Группа 2. Испытания в имитируемых внешних условиях. Хотя проведенные оценочные испытания дают большую часть данных для оценки конструкции и производственных процессов, остается еще неуверенность в том, что изделие будет правильно работать при воздействии внешних факторов, если лабораторные испытания не будут дополнены испытаниями и опробованиями в реальных условиях эксплуатации. При лабораторных испытаниях внешние факторы и входные величины регулируются так, чтобы можно было точно определить соотношение «причина — следствие». Однако именно это регулирование с его искусственными закономерностью и последовательностью вносит элемент нереальности в программу испытаний. Кроме того, при лабораторных испытаниях чрезвычайно трудно создать случайные комбинации внешних условий. Наконец, не менее важное значение имеет и то, что при проведении лабораторных испытаний всегда остается сомнение в том, насколько полно или правильно имитированы реальные условия эксплуатации, а некоторые внешние факторы или рабочие условия вообще не могут быть

воспроизведены в лаборатории по техническим или экономическим причинам.

Вследствие этого параллельно с программой оценочных испытаний разрабатывается программа испытаний в условиях реального применения — полигонных или натурных. Примерами таких испытаний могут быть испытания автомашин на различных дорогах или летные испытания самолетов и космических объектов. Такие натурные испытания дают важные сведения о поведении изделий в реальных условиях, которое иногда может существенно отличаться от инженерных расчетов. Однако такие испытания не свободны от недостатков. В частности, поскольку они проводятся в условиях, менее поддающихся регулированию, чем в лаборатории, полученные результаты часто бывает трудно оценить или воспроизвести.

Часто оказывается необходимым дополнять эти испытания специальными диагностическими испытаниями, проводимыми в лаборатории, с целью воспроизведения отказов, имевших место при натурных испытаниях, проведения их анализа и диагностики, а также выработки корректировочных мер. Это имеет особое значение для летных испытаний ракет или космических объектов, когда объем получаемых данных ограничивается пропускной способностью телеметрической системы, а испытываемые образцы разрушаются и, следовательно, недоступны для последующего анализа. Чтобы преодолеть эти серьезные ограничения в использовании результатов летных испытаний, оказалось необходимым разработать специальные методы возвращения испытываемых объектов, например приземление их с помощью парашютов, или создавать для испытаний образцы, допускающие их повторное использование.

Следует учитывать, что испытания в натурных условиях обходятся очень дорого; миллионы долларов были вложены в оборудование ракетных испытательных полигонов мыса Кеннеди, Уайт Сендс и Военно-морской артиллерийской испытательной станции в Калифорнии. Многомиллионные затраты потребовались также на оборудование испытательного полигона фирмы «General Electric» в штате Мичиган. Эти и другие аналогичные испытательные полигоны можно рассматривать как расширение нормальных лабораторий. В связи с этим предпринимаются многочисленные попытки стандартизировать или регулировать условия полигонных испытаний.

Группа 3. Контроль качества. Очень важно, чтобы каждый этап производственного процесса, понимаемого в широком смысле, контролировался путем проведения различных испытаний и инспекций. Понятие «производственный процесс» в широком смысле включает не только фактическое заводское изготовление изделий, предназначенных для поставок заказчику, но и изготовление опытного образца и испытательного оборудования, установку изделия в полевых условиях или процессы сборки его поставщиком, а также процессы периодического использования, обслуживания и осмотра. Если верно

то, что потенциально свойственная изделию надежность определяется или ограничивается надежностью, заложенной в его конструкции, то верно также и то, что все происходящее с изделием после того, как проект передан в производство, может ухудшать эту потенциальную надежность. Программа контроля качества является средством предотвращения этого ухудшения до недопустимого предела.

Контроль качества и инспекция принимают многие формы, и к ним можно применить классификацию, о которой говорилось в подразделах 4.2а и 4.2г. Если проводятся разрушающие испытания, а это имеет место тогда, когда по условиям производства действие одновременного изменения всех переменных факторов можно точно определить только при условии разрушения элементов, испытаниям должны подвергаться отобранные из партии образцы. Когда производится много идентичных изделий, отбор образцов для испытаний можно производить в соответствии со стандартом MIL-STD-105 «Методы отбора проб и таблицы контроля по существенным признакам». Степень риска заказчика/поставщика (или приемлемый уровень качества) можно выбрать, исходя из условия, что заданный уровень надежности изделий будет превзойден в программе испытаний.

Однако проблема значительно сложнее при мелкосерийном производстве, так как в этом случае нет статистически обоснованного объема выборки для очень малых партий. Такое положение является обычным для ракет на твердом топливе, баллистических ракет дальнего действия и для космических объектов, когда производственная продукция за год может составлять от десятка до сотни единиц. Объем выборки при этом может изменяться от 1 : 1 до 1 : 10; точное его значение определяется в зависимости от: 1) допустимой степени риска; 2) вероятности однородности последующих единиц изделий; 3) потенциального влияния отказов изделия; 4) производственной возможности изготовлять достаточное количество изделий как для сдачи заказчику, так и для испытаний за определенное время; 5) стоимости изделий и испытаний.

В долгосрочных проектах с малым количеством изготавливаемых изделий иногда используется переменный объем выборки, например 1 : 1 для первых 10 изделий, 1 : 4 для следующих 25 изделий и 1 : 10 для остальной части производственной программы. Переменный объем выборки часто применяется также при дорогих испытаниях без разрушения образцов. Решение о снижении объема выборки основывается на доказательстве того, что производственный процесс может обеспечить изготовление однородных изделий с желаемым уровнем качества. Однако риск выпустить некачественное изделие возрастает при этом пропорционально снижению объема выборки и во многих проектах сроки поставки или стоимость каждого изделия не допускают риска, превышающего уровень 1 : 4 или 1 : 5.

Для удобства обсуждения целесообразно разбить группу 3 испытаний на три подгруппы.

3а. Испытания в опытном и серийном производстве. К этой подгруппе относятся обычные плановые испытания, проводимые с целью проверки соответствия выпускаемых изделий техническим и производственным требованиям. Этим испытаниям подвергается каждое изделие (или образцы, отобранные из каждой партии), включая и образцы, изготавливаемые только для испытаний по группам 1, 2, 4 и 5, описанным в других разделах этой главы. Хотя при жестких сроках проведения испытаний, в частности летных испытаний ракет, может казаться оправданным отказ от требования проведения сдаточных испытаний опытных образцов или проверки их качества, подразделение надежности должно возражать против этого, так как при разработке высококачественных изделий существенно знать точные характеристики испытываемого образца для обоснованной интерпретации данных о безотказной работе и отказах. Точность любого результата летных испытаний может быть подвергнута серьезным сомнениям, если все параметры испытанного образца не были измерены на заводе, и, следовательно, неизвестно, насколько они идентичны параметрам серийно изготовленного и сданного заказчику изделия (или насколько от них отличаются).

Вторым основным доводом за проведение тщательных предварительных испытаний экспериментальных образцов на проверку качества является необходимость определения допустимых пределов изменения параметров. В сложных функциональных изделиях пределы для многих параметров могут быть установлены и обычно устанавливаются теоретически разработчиками на основе изучения аналогичных устройств и путем расчетов. Однако когда элементы работают совместно в готовом изделии и находятся в сложном взаимодействии, теоретические пределы часто оказываются или слишком широкими для оптимальной работы системы, или слишком узкими для того, чтобы их производство было экономически выгодным. Для определения оптимальных значений пределов очень важно собрать на стадии экспериментального производства точные данные о всех переменных и определить корреляцию изменений каждого параметра с изменениями характеристик готового изделия. Это испытание, проводимое с целью сбора данных о переменных параметрах, является наиболее важной частью программы испытаний, проводимых в процессе экспериментального производства.

Имеется третья причина, по которой перед испытаниями необходимо проводить тщательную проверку качества экспериментальных образцов. Сдаточные испытания или контроль качества и инспекция высоконадежных изделий очень трудны, а используемое испытательное оборудование часто бывает сложнее, чем испытываемое изделие. Цель этих испытаний состоит не только в сдаче изделия, но

и в проверке того, что изготовлено качественное изделие, полностью удовлетворяющее всем техническим требованиям, а также в удалении для ремонта всех элементов, не выдержавших испытания. Существенно, чтобы элементы, поставляемые для серийных образцов, были идентичны элементам, успешно прошедшим испытания в экспериментальном образце. Эта идентичность может быть обеспечена только при условии, что одинаковые испытания на проверку качества будут проводиться как в экспериментальном, так и в серийном производстве, так как разные методы испытаний и инспекции будут давать различные выходные данные.

Далее, поскольку методы проверки качества и применяемое испытательное оборудование очень сложны, они должны быть разработаны на стадии исследований и разработки проекта. До того как проект будет готов для передачи в производство, не только должно быть установлено, что конструкция и производственные процессы обеспечивают изготовление изделия, способного выполнять требуемые функции, но и должна быть готова программа проверки качества, гарантирующая приемку только тех элементов, которые удовлетворяют заданным требованиям, и отбраковку элементов, не выдержавших испытаний. Разработка и проверка такой программы является одним из важнейших пунктов этапа исследований и разработки высоконадежного изделия.

Производственные испытания по проверке качества (подгруппа 3а) разделяются на два основных вида: испытания на воздействие нормальных окружающих условий и испытания на воздействие внешних факторов. К первому виду относятся: 1) входной контроль качества поступающих материалов и элементов; 2) внутренние испытания для проверки качества заводских технологических процессов; 3) сдаточные испытания для общей проверки качества выпущенного изделия. Проводятся также дополнительные испытания или проверки после упаковки изделия с целью установления того, что защитная упаковка может предохранить изделие от повреждений или порчи во время транспортировки к заказчику или к потребителю. Для некоторых классов изделий, таких, например, как радиоэлектронная аппаратура или прецизионные механические приборы, проводятся дополнительные испытания или совместно с испытаниями на воздействие нормальных окружающих условий, или отдельно от них; эти испытания носят название «приработки». Они являются по существу не испытаниями, а запланированной работой изделия в течение определенного времени и имеют целью выявить и исключить отказы начального периода эксплуатации.

Этим испытаниям при нормальных окружающих условиях подвергается, как правило, каждое изделие, или если изделий выпускается очень много, то образцы, отбираемые из каждой партии. Испытания обычно проводятся в тех же заводских окружающих условиях, в которых изделия находились при производстве. Во время

испытаний контролеры или техники ежечасно представляют руководству данные о качестве и/или надежности испытываемых изделий. Однако, когда инспекторская группа проводит испытание экспериментального образца, право принимать окончательное решение о принятии или браковке образца, не удовлетворяющего техническим условиям, часто передается техническому руководителю.

Важное решение, которое должно быть принято по каждому изданию и по всей доставленной продукции, касается места проведения испытаний на проверку качества, т. е. проводить их у поставщика или у заказчика. Можно избежать необходимости дорогостоящего дублирования испытательного оборудования, если проводить все испытания на заводе поставщика, однако такое преимущество часто сводится на нет существенными недостатками. При разработке высоконадежных изделий заказчику необходимо иметь у поставщиков своих представителей, которые могли бы засвидетельствовать факт проведения и результаты испытаний. Но такое свидетельство может быть ценным только тогда, когда представитель действительно присутствует при испытаниях. Однако практически часто в целях экономии один представитель заказчика назначается на несколько заводов, а план испытаний составляется так, что этот представитель не всегда может принимать в них участие. При таких условиях его роль может свестись к формальному подписанию документов. Реальная опасность такого положения состоит в том, что будет создаваться ложная уверенность в доброкачественности изделий, так как подпись представителя заказчика на сопровождающих документах является гарантией требуемого уровня качества поставленных изделий.

Второй недостаток состоит в том, что при отсутствии дублера испытательного оборудования у заказчика нельзя проводить диагностику отказов или повторные испытания доставленных изделий и материалов, некондиционность которых выявилась при испытании готового изделия. Это приводит к очень сложной и неудобной ситуации, когда такие материалы должны возвращаться поставщику для подтверждения и диагностики отказов. Следствием этого являются нерациональная трата средств и потеря времени. Третий недостаток — это то, что из испытаний, проводимых поставщиком, заказчику обычно бывает трудно получить полные и точные данные, а это затрудняет прогнозирование и оценку надежности изделий. Кроме того, без испытательного оборудования у заказчика трудно провести исследовательские испытания, когда надежность изделия ставится под сомнение. По этим причинам испытательное оборудование поставщика часто дублируется у заказчика, особенно когда речь идет о сложных и критических изделиях и устройствах. В этих случаях испытания проводятся и на заводе поставщика и в пункте входного контроля у заказчика.

К категории испытаний на воздействие внешних факторов, проводимых в плане производственных испытаний по проверке качества, относятся испытания, имеющие целью установить, что принятый технологический процесс обеспечивает изготовление элементов, соответствующих требованиям в отношении воздействия внешних факторов, предъявляемым к изделию. Такие испытания обычно называют оценочными испытаниями производственных процессов. Они могут проводиться на различных уровнях как с разрушением, так и без разрушения испытываемых образцов. Решение о виде испытаний обычно принимается на основе компромисса между экономическими соображениями и критичностью элементов, подлежащих испытанию. Хорошим решением может быть такое, когда испытания на более низком уровне (на уровне элементов) будут проводиться с разрушением и отбраковкой образцов после испытаний, а на более высоких уровнях — без разрушения. При таком решении части системы более высокого уровня могут быть использованы после испытаний по назначению.

Иногда лучшие результаты достигаются тогда, когда все испытания проводятся строго и независимо от степени ухудшения образцов в результате испытаний. Прошедшие испытания образцы передаются в подразделение надежности для проведения граничных испытаний или испытаний до разрушения с целью изучения физики отказов или других факторов, относящихся к надежности. Частота отбора проб для оценочных испытаний производственного процесса изменяется в широких пределах, но она, как правило, устанавливается такой, чтобы элементы каждого типа испытывались по крайней мере один раз в месяц. Если выпуск элементов данного типа продолжается долго, то этот срок постепенно удлиняется до двух месяцев, при условии что производственный процесс будет стабильным и хорошо контролируемым. В качестве проверяемых параметров и используемых внешних факторов берутся те, которые оказались наиболее критическими при квалификационных испытаниях или испытаниях на этапе исследований и разработки, и особенно те, которые позволяют быстрее обнаружить ухудшения в производственном процессе.

Программы квалификационных и повторных квалификационных испытаний составляются одновременно и включаются в общую программу испытаний на воздействие внешних условий. Испытательное оборудование обычно рассчитывается так, чтобы оно было пригодным для выполнения обеих программ. Хотя между двумя программами имеется некоторая разница — при квалификационных испытаниях требуется проверить больше параметров при большем числе внешних факторов, а от повторных квалификационных испытаний требуется большая эффективность ввиду их повторного характера и влияния на графики поставок, — их можно выполнять на одном и том же комплекте испытательного оборудования, что позволяет

экономить значительные средства. Кроме того, такое решение обеспечивает максимальную корреляцию результатов обоих видов испытаний, что может иметь важное значение для обнаружения, диагностики и устранения отклонений в технологических процессах, происшедших с начала производства изделий. Этот комплект испытательного оборудования может быть использован для оценки материалов, отобранных из полевых запасов.

3б. Испытания в месте установки и контрольные испытания (на уровне сдача/прием в полевых условиях). При разработке высоконадежных изделий недостаточно проведения заводских испытаний в режиме полного воздействия нормальных окружающих условий и утяжеленных внешних факторов и инспекции качества, так как достигнутая надежность изделий может понизиться из-за ошибок при сборке, установке и обслуживании в полевых условиях, так же как и вследствие ошибок в процессе производства. Полевые условия, как правило, менее поддаются контролю и регулированию, чем производственные условия, и обслуживающий персонал менее опытный, поэтому вероятность различных ошибок значительно возрастает. Испытания в месте установки и контрольные испытания проводятся для обнаружения этих ошибок, возникших в полевых условиях, а также с целью проверки, что не произошло никакого снижения качества при взаимодействии изделий на уровне системы. Полевые контрольные испытания обычно проводятся на уровне окончательной сборки и имеют целью проверку тех параметров, которые подвержены влиянию процессов сборки и установки в полевых условиях. Вместе с тем в результате этих испытаний может быть получена некоторая дополнительная гарантия качества благодаря повторению в полевых условиях заводских сдаточных испытаний на уровне подсистем.

Возможны несколько уровней испытаний, сравнимых с заводскими производственными испытаниями. Для сложных систем это могут быть испытание кабелей на токопрохождение, испытание при полной мощности и т. д. с целью проверки правильности всех кабельных соединений при установке системы, функциональные испытания подсистем и, наконец, полные испытания всей системы. Для изделий, используемых в режиме хранения, таких, как ракеты, в план полевых испытаний включаются испытания на различных этапах сборки и окончательные испытания всех систем ракеты после завершения ее сборки. Этим испытаниям, являющимся испытаниями в условиях окружающей среды, подвергается каждое изделие, так как в полевых условиях обычно нет оборудования для испытаний под воздействием внешних факторов.

Чрезвычайно важно, чтобы результаты полевых испытаний были сопоставимы с результатами производственных испытаний. Поэтому они должны планироваться группой, которая составляла план производственных испытаний, и испытательное оборудование должно

заказываться той же группой, которая заказывала его для производственных испытаний. Следствием нарушения этого основного принципа будут постоянные перевозки изделий между полевым пунктом и заводом и очень большое количество отказов в полевых условиях, которые не могут быть проверены на заводе. Для сопоставимости результатов полевых и производственных испытаний требуется также применение принципа расширения пределов допусков, о котором говорилось в подразд. 8.36. Полевые контрольные испытания подобно заводским испытаниям производственного процесса должны планироваться одновременно с программой испытаний на этапе исследований и разработки. Система испытаний должна быть опробована при полевых испытаниях макетного и экспериментального образцов. Только таким путем можно установить, что режим полевых контрольных испытаний обеспечивает устранение ошибок, возникших при сборке, при установке изделий в полевых или производственных условиях.

Зв. Эксплуатационное обслуживание или периодические повторные испытания Так как надежность большинства изделий ухудшается с течением времени, и всех изделий — в процессе эксплуатации, то существенно, чтобы в программу производственных испытаний были включены плановые повторные испытания, проводимые через определенные интервалы времени после сборки и установки изделий в полевых условиях. Благодаря этому ухудшение надежности будет обнаружено до отказа изделия, что позволит предпринять предупредительные меры. Такие повторные испытания через приемлемые интервалы времени должны проводиться на каждом изделии в условиях эксплуатации. Интервал определяется ожидаемой степенью снижения надежности; так же, как в других испытаниях, он может быть переменным. При типичной кривой распределения отказов интервал между повторными испытаниями должен быть сравнительно коротким в начальный период эксплуатации (период приработки), когда можно ожидать большую интенсивность отказов, а также в конце периода эксплуатации, когда начинает сказываться старение элементов; в период нормальной эксплуатации он должен быть относительно длинным. Так, если срок службы изделия 5 лет, то повторные испытания в первый и в последний годы его эксплуатации должны проводиться ежемесячно, а в течение остальных трех лет — ежеквартально или через полгода. Испытательный режим будет, как правило, дублировать испытания готового изделия, описанные в подгруппе 3б, но если испытания на уровне системы с измерением всех параметров, влияющих на ее работу, окажутся очень сложными, то необходимо провести испытания на более низком уровне.

При периодических полевых испытаниях особое внимание должно быть обращено на осмотр и обследование, более строгое, чем при испытаниях в момент установки. Кроме визуального осмотра,

должны применяться такие методы неразрушающего контроля, как радиография, магнитная порошковая дефектоскопия, ультразвуковое просвечивание и т. д. Особенно строгому контролю и обследованию должны подвергаться высоконадежные боевые машины, например самолеты, танки и т. п. У этих машин конструктивная целостность может быть критической, а нормальная эксплуатация приводит к износу и появлению внутренних напряжений вследствие воздействия внешних факторов. Поэтому периодическое обследование с целью обнаружения уменьшения поперечного сечения, появления трещин или образования усталостной кристаллизации имеет очень важное значение.

В одной из областей промышленности — обслуживании самолетов гражданской авиации — техника периодических обследований достигла высокой степени развития. Для испытания самолетов применяются очень сложные режимы, гарантирующие, что каждый критический элемент проходит периодические обследования. Однако такие испытательные режимы не приводят к существенному сокращению технического ресурса самолета. Эти испытательные режимы, называемые прогрессивными, состоят в обследовании одного или нескольких критических элементов при плановой инспекции, проводимой через каждые 100 часов, в отличие от специального обследования сразу всех критических элементов во время инспекции, проводимой через 1000 часов. Методы прогрессивных испытаний могут быть также применены к непрерывно работающему функциональному оборудованию, если в нем имеются резервные элементы и модули, которые могут использоваться во время испытаний ранее работавших элементов и модулей.

Группа 4. Испытания на надежность. Хотя все испытания дают определенные данные для подсчета надежности и поэтому могут рассматриваться в широком смысле как испытания на надежность, однако есть специфические испытания, которые проводятся только для получения таких данных. Об этих испытаниях на надежность и пойдет речь в данном разделе. Для удобства обсуждения они будут разделены на следующие группы: проверка запасов прочности, на срок службы, ускоренные на срок службы, на оценку ресурса и контрольные. Данные, получаемые при испытаниях на надежность, используются для определения среднего времени или количества циклов до отказа или между отказами, вычисления или проверки достигнутой надежности, установления предельных сроков хранения и службы критических элементов, чувствительных к старению (и на основании этого для обоснования требований на запасные части), определения возможных видов отказов.

Испытания на надежность проводятся на всех стадиях разработки и на всех уровнях системы. Они выполняются при взаимодействии окружающих условий и внешних факторов, с разрушением и без разрушения изделий, включают в себя осмотры и обследования.

Испытания на надежность иногда проводятся в реальных условиях эксплуатации, хотя обычно это лабораторные испытания, при которых обеспечен контроль входных условий. Для испытаний на надежность берутся изделия, которые вначале были испытаны по другой программе, особенно когда целью этих испытаний является определение возможного вида отказов или среднего времени наработки на отказ, так как другие цели испытания могут быть достигнуты одновременно и более экономично, пока изделия проходят большинство необходимых испытаний или накапливают время выработки.

4а. Испытания для проверки запасов прочности. Почти во всех испытаниях групп 1, 2 и 3 элементы подвергаются воздействию внешних факторов и входных величин, которые с максимальным приближением имитируют диапазон действительных условий эксплуатации. Успешными испытаниями считаются такие, в течение которых элементы нормально функционируют при этих условиях. Однако по результатам этих испытаний невозможно определить, какой запас прочности спроектирован и заложен в изделии, так как элементы не нагружаются до предела для получения от них максимальной функциональной отдачи. Для прогнозирования надежности на основании данных, полученных при испытаниях ограниченного количества элементов, полезно проводить испытания при более высоких уровнях внешних факторов и входных величин, чем ожидаемые в условиях эксплуатации. При достаточно большом превышении возникающие отказы определенно могут быть отнесены на счет условий испытаний. Как уже отмечалось в подразд. 4.2а, это превышение должно по крайней мере составлять 10—15% отклонения от предельного уровня внешних факторов, обычно наблюдаемого при эксплуатации.

Проверки запасов прочности полезны для всех классов изделий и материалов, но они почти обязательны для твердых ракетных топлив и пиротехнических устройств, где ухудшение качества с течением времени может быть следствием сложной химической реакции, которую нельзя полностью понять или предсказать заранее. Как правило, такие испытания проводят на самых высоких уровнях сборки, хотя иногда таким испытаниям могут быть подвергнуты и важные запасные функциональные элементы, если условия хранения их считаются критическими. Подобные испытания при предельных условиях обычно выполняются в лабораториях, но по соображениям, приведенным в подразд. 4.2в, их можно проводить и в натуральных условиях, если в лаборатории трудно или невозможно создать предельные условия.

Испытания на проверку запасов прочности почти всегда проводятся с разрушением образцов, так как желательно повышать уровень внешних факторов до достижения полного отказа. Если при выбранных внешних воздействиях отказ не наступает, то обычно бывает более полезно расчленив изделие или подвергнуть его ис-

пытанию на срок службы в нормальных условиях для определения эффекта ухудшения средней наработки на отказ при определенном превышении уровня внешних факторов, чем подвергать то же самое изделие следующему испытанию при более высоком уровне внешних факторов, чтобы вызвать отказ. Последний вариант, если он приведет к отказу, сделает бесполезным анализ, так как кумулятивное действие двух уровней внешних факторов разделить невозможно и поэтому нельзя будет сделать заключения о влиянии более высокого уровня внешних факторов.

Как правило, «бывшие в употреблении» изделия, использованные в других программах испытаний, не подходят для испытаний на проверку запасов прочности, так как трудно отделить влияние предшествующих воздействий от дефектов, появившихся во время испытаний при предельных условиях, и поэтому нельзя сделать определенных выводов. Полезно проводить испытания на проверку запасов прочности с изменениями уровня внешних факторов ступенями, чтобы можно было построить кривую градиентов, показывающую соотношение между степенью повышения интенсивности нагрузок и ухудшением элементов. Такие кривые помогают прогнозированию надежности. Кроме того, даже при хорошей разработке изделия тактического назначения временами подвергаются непреднамеренному воздействию температуры, ударов, вибраций и других внешних факторов, превышающих расчетные уровни. В таких случаях кривые градиентов оказываются очень ценными, так как они позволяют определить, пригодно ли изделие, подвергшееся интенсивному воздействию внешних факторов в процессе эксплуатации, для дальнейшего использования, с ограничениями или без ограничений. Результаты испытаний на проверку запасов прочности полезны также тем, что они часто расширяют допустимые для данного изделия пределы внешних факторов, что ведет к снижению расходов на транспортировку и установку, так как можно применять более дешевые контейнеры, снизить требования к кондиционированию воздуха, изменить условия хранения и т. д. Но иногда испытания в предельных условиях обнаруживают недостаточные запасы прочности конструкции и на основании этих результатов устанавливаются более строгие требования к условиям применения и хранения, чем предусматривались расчетами.

46. Испытания на срок службы. Прогнозирование и оценка надежности непосредственно связаны с определением среднего времени или числа циклов наработки между отказами и на отказ, так как эти величины являются основными в расчетах надежности. Они могут быть вычислены непосредственно по данным, полученным при испытаниях на срок службы, проведенных не только на образцах готовых изделий, но и на запасных элементах и узлах. Эти испытания проводятся также в лаборатории на испытательном оборудовании, которое для снижения стоимости испытаний рассчитывается

для автоматической работы в непрерывном или циклическом режиме. Испытания прерываются через определенные интервалы для проведения функциональных проверок или неразрушающего контроля, чтобы определить ухудшение работоспособности изделия за время испытаний. Как правило, в качестве условий проведения испытаний берутся наибольшие уровни внешних факторов, которые могут встретиться в реальных условиях применения. Число испытываемых образцов выбирается таким, чтобы можно было сделать статистические оценки результатов с заданной достоверностью. Это позволяет при обработке результатов испытаний сделать вывод о влиянии отдельных внешних факторов на наработку между отказами. Контрольные функциональные испытания обычно проводятся при нулевом времени наработки, т. е. перед началом испытаний.

Испытания на срок службы стоят очень дорого и проходят медленно; проведение их может занять от шести месяцев до года. В некоторых случаях, когда астрономическое время соответствует рабочему времени, для выполнения программы испытаний может потребоваться несколько лет. Типичным примером может служить испытание красок, для которых эксплуатационными условиями являются воздействия внешних метеорологических факторов, или испытание подводных кабелей и оборудования, когда нормальным эксплуатационным условием является океанская глубина. При такой ситуации существенно начать испытание на срок службы одного из первых изготовленных образцов с тем, чтобы можно было предсказать возможные отказы в полевых условиях изделий, выпущенных позднее, или принять меры по устранению причин этих отказов путем внесения изменений в конструкцию или технологический процесс до начала серийного производства. В первом томе излагаются математические основы прогнозирования и оценки надежности элемента по средней наработке между отказами. Из сказанного там следует, что испытания на срок службы должны проводиться или в течение времени, превышающего в несколько сот раз ожидаемый срок службы, или до отказа, если данные испытаний показывают, что достигнута надежность выше чем 0,99 с достоверностью 0,95 или лучше.

Испытания изделий на срок службы периодически прерываются для проведения испытаний на воздействие внешних факторов, в процессе которых определяется состояние изделия. После каждого такого перерыва испытания на срок службы возобновляются. Для некоторых классов изделий, таких, как пиротехнические устройства, твердые ракетные топлива или структурные элементы и звенья, «функциональные» испытания являются по своей природе испытаниями с разрушением. Для проведения испытаний изделий таких классов необходимо отбирать большие партии, часть которых через определенные интервалы испытывается с разрушением в лаборатории или подвергается испытанию при реальном огневом пуске.

Стоимость изделий этих классов, отбираемых для испытаний на срок службы, очень высока, и поэтому нельзя считать необычным проведение функциональных испытаний или испытаний на выход из строя таких изделий только после того, как будет достигнут их срок службы, равный $\frac{2}{3}$ или $\frac{3}{4}$ от ожидаемого. При таком решении, принимаемом в интересах экономии, существует известный риск, что ранние катастрофические ухудшения качества изделия со временем могут проявиться в изделиях, сданных в эксплуатацию. Но необходимость принятия такого решения часто диктуется ограниченными фондами на выполнение разработки, и оно является лучшим, чем уменьшение объема пробных партий при сокращении общей продолжительности испытаний и отказ от испытаний до ожидаемого предела срока службы.

В ходе испытаний на срок службы сложных функциональных устройств можно ожидать случайных отказов отдельных их компонентов. Эти отказы должны регистрироваться и тщательно изучаться, а отказавшие элементы следует заменять так, чтобы можно было продолжать испытания основного устройства на срок службы. Среднюю наработку на отказ отдельных элементов, полученную по данным испытаний на срок службы всего устройства, следует сравнивать со статистическим значением этого параметра для данного элемента, полученным при испытании на срок службы элементов. Если отказ элемента произойдет на ранней стадии испытания устройства на срок службы, то встает вопрос о целесообразности применения данного элемента. Это может быть выяснено при продолжении испытаний после замены отказавшего элемента новым. Испытания обязательно следует продолжать также и для выявления других видов отказов, которые останутся необнаруженными, если испытания будут прекращены после отказа первого элемента.

При испытаниях на срок службы необходимо проводить частые осмотры испытываемых изделий с целью обнаружения таких отказов, как нарушение крепления элементов при испытаниях на вибрацию, повышение хрупкости металлов после испытаний при низких температурах, размягчение пластмасс при высоких температурах, так как эти отказы могут вызвать вторичные отказы, которые будут маскировать первичные отказы или затруднят установление их причин. Например, при испытаниях образца на вибрацию в течение 1000 час следует производить его детальный осмотр по крайней мере через каждые 50 или 100 час. Частые проверки на правильность функционирования с получением данных о переменных параметрах также имеют важное значение для возможно более раннего обнаружения отклонения функциональных параметров от номинальных значений. В данном случае при строгой программе испытаний на надежность моментом отказа следует считать время, когда началось это отклонение, а не время выхода величины параметра за установленные допустимые пределы.

4в. Ускоренные испытания на срок службы. При очень сжатых сроках разработки, когда производство изделий может начаться еще до окончательного завершения этапа исследований и конструкторских испытаний, необходимо получить сравнительно быстро гарантию того, что изделие имеет заданный срок службы, а в конструкции, запущенной в производство с большим риском, нет слабых мест. Испытания на срок службы продолжительны и не могут дать достаточно быстро информацию, которой можно было бы воспользоваться для своевременного внесения исправлений в конструкцию. В таких разработках обычно применяется программа ускоренных испытаний на срок службы. Ускоренные испытания полезны также тогда, когда запасные части должны изготавливаться одновременно с выполнением срочной программы производства основных изделий, а также и при больших сроках производства. Во втором случае данные об интенсивности отказов, определяемые на основе результатов нормальных испытаний на срок службы, нельзя получить достаточно быстро, чтобы хотя бы приближенно определить объем и темп поставки запасных частей до завершения всего производства. Поэтому проведение ускоренных испытаний на срок службы обязательно. Третий случай, когда используются результаты ускоренных испытаний на срок службы, является следствием того, что фактическая наработка на отказ отдельных элементов в изготовленной партии имеет статистическое распределение. Некоторые элементы в любой партии могут отказать значительно ранее средней наработки на отказ, определенной по данным испытаний на срок службы и других испытаний.

Если важно знать время самого раннего отказа (а не среднюю наработку на отказ), как, например, для пиротехнических устройств и взрывчатых веществ, то должен быть определен диапазон изменения времени до отказа с достаточно высокой степенью достоверности. Определение разброса времени наработки на отказ при нормальных испытаниях на срок службы занимает очень много времени, а держать много образцов в условиях длительного хранения недопустимо по экономическим соображениям. Можно подвергнуть сравнительно большую партию ускоренным испытаниям на срок службы и использовать результаты этих испытаний для определения диапазона изменений времени до отказа с приемлемой степенью достоверности. Четвертый случай, когда обычно применяются ускоренные испытания на срок службы, имеет место при наличии в изделии критических в отношении безопасности элементов. При испытаниях пиротехнических устройств и твердых ракетных топлив некоторые отказы могут быть катастрофическими и сопровождаться взрывом или иметь другие последствия, очень опасные для проводящего испытания персонала и оборудования. В этих критических случаях необходимо непрерывно определять время, оставшееся до окончания срока службы партии. Образцы для испытаний отбирают-

ся из запасов через определенные интервалы, обычно через шесть месяцев или ранее, и эти «постаревшие» образцы подвергаются ускоренному старению для определения возможного приближения критического отказа.

Ускорить старение можно повышением интенсивности внешних факторов, воздействующих на образцы, или усилением нагрузки за цикл, или же комбинацией обоих этих способов. Если применяется первый способ, то интенсивность внешних факторов изменяется циклически от одного экстремального значения до другого с целью вызвать за короткий отрезок времени такое же ухудшение образца, какое ожидается за более длительный период нормальной эксплуатации. Циклически изменяемые внешние факторы выбираются в зависимости от типа испытываемых изделий. Если испытываются однородные элементы, такие, как резисторы, конденсаторы, пиротехнические изделия, твердые ракетные топлива, пластмассы и резиновые изделия, то широко используются изменения температуры в пределах, ожидаемых при нормальной эксплуатации, или в немного расширенных. Когда ожидаемый вид отказа является следствием химической реакции, то действие только высокой температуры часто оказывается эффективным для достижения желаемого ускорения. Для некоторых классов металлов подходит испытание при очень низкой температуре с циклическими переходами к окружающей температуре.

Если ожидаемый вид отказа не связан с изменениями качества материалов, а является функциональным отказом, обусловленным механическим износом, то ускорение обычно достигается непрерывной работой испытываемого изделия для получения в течение нескольких дней или недель такого же эффекта, как в течение нескольких лет нормальной эксплуатации. Если изделие и при его нормальном использовании должно работать непрерывно, то для ускорения износа повышается уровень внешних факторов или нагрузки. При испытаниях радиоэлектронной аппаратуры хорошим методом ускорения износа и выявления ранних отказов является применение многочисленных циклов «включение — выключение» с временем включенного состояния, достаточным для нагревания элементов.

Трудности при ускоренных испытаниях на срок службы, особенно при проведении циклических испытаний или испытаний при повышенной интенсивности воздействия внешних факторов, состоят не в определении условий испытания, которые вызовут отказы рассматриваемого типа, а в корреляции полученных данных об отказах с ожидаемыми характеристиками элементов в реальных условиях эксплуатации и условиях окружающей среды, т. е. в определении коэффициентов ускорения. Обычно тратится много средств и времени при попытках определить статистически обоснованную корреляцию этих данных, однако очень часто эти попытки оказываются неудачными. При обычных практических ограничениях бюджета и

времени невозможно определить, например, эквивалентно ли статистически воздействие на твердотопливный ракетный двигатель температуры 52°C в течение 3 месяцев воздействию окружающей температуры не выше 27°C в течение 3,5 или 10 лет.

При достаточном отведенном времени и наличии необходимого количества образцов для испытаний такую обоснованную корреляцию можно установить, но обычно в программах высоконадежных изделий ни денежные средства, ни время не позволяют это осуществить. Однако отсутствие статистического обоснования не устраняет потребность в такой корреляции и не снижает преимущества, получаемые при ускоренных испытаниях на срок службы. Интуитивные, но полезные заключения могут быть сделаны и обычно делаются по результатам ускоренных испытаний на срок службы даже очень небольшого количества образцов. Во взятом в качестве примера испытании ракетного двигателя «успешное» испытание без отказов дало бы уверенность в том, что в течение следующего года можно не опасаться возникновения критических отказов в партии двигателей, предназначенной для тактического использования, и что нет необходимости предпринимать какие-либо действия к возобновлению производства или к увеличению изготовления запасных частей в действующем производстве. И наоборот, появление критических отказов при испытаниях дало бы предусмотрительным руководителям проекта сигнал о необходимости принятия таких предупредительных мер в целях страховки.

Корреляцию можно определить проще и более прямым путем при ускоренных испытаниях с циклическим изменением нагрузки. Ожидаемое число циклов в условиях действительной работы за определенное время можно оценить в практически допустимых пределах точности для большинства классов механического и гидравлического функционального оборудования. Очень точно можно оценить число посадок самолета на каждые 100 часов полета или число открываний и закрываний клапанов автомобильного двигателя на каждые 200 километров пробега. Данные о среднем числе циклов на отказ, полученные при ускоренных циклических испытаниях механизмов, управляющих выпуском шасси самолета или клапанных пружин автомобильного двигателя, можно просто преобразовать в ожидаемое среднее время наработки на отказ для этих устройств при их нормальной эксплуатации. Это справедливо и для циклических испытаний радиоэлектронного оборудования, но в меньшей степени, так как отказы в устройствах этого класса вызываются не только ударными нагрузками при включении и выключении, но также и другими факторами, проявляющимися при эксплуатации за время цикла, соответствующего включенному состоянию. Однако в большинстве случаев с достаточным основанием и здесь можно применить экстраполяцию для того, чтобы установить корреляцию данных, о которой говорилось выше.

4г. Испытания для оценки ресурса. Одна из проблем, встающих перед высшим руководством проектов высоконадежных изделий (решение которой обычно поручается подразделению надежности), — определение в любой момент времени оставшегося ресурса у доставленных для использования изделий. Это необходимо знать для обоснованной непрерывной оценки различных аспектов проекта и для принятия важных решений, касающихся этих аспектов. Наиболее важным из таких решений, особенно при разработках систем оружия, возможно, является решение о том, что имеющийся парк изделий в тактических соединениях обладает достаточным неизрасходованным ресурсом и поэтому не требует замены, ремонта, переделки или же остаток ресурса недостаточен. Необходимость таких действий может быть вызвана недопустимым ухудшением рабочих характеристик изделий или, например, тем, что для взрывчатых веществ приблизился или приближается критический срок, после которого дальнейшее ухудшение их свойств может привести к случайному взрыву.

Если подразделение надежности должно дать руководству достоверную оценку ресурса изделий тактического назначения, в частности критических элементов, то следует иметь в виду, что недостаточно провести обычные расчеты средней наработки на отказ, основанные на данных, полученных в процессе проведенных ранее испытаний на надежность и из сообщений об отказах в полевых условиях. Обычно для получения необходимых исходных данных требуется проведение специальных испытаний изделий, взятых из имеющегося полевого парка, для оценки совместного влияния фактической работы в полевых условиях и воздействия внешних факторов при испытаниях. Программа испытаний для оценки ресурса специально предназначена для получения таких новейших данных.

Испытания для оценки ресурса относятся вообще к ускоренным испытаниям, так как они проводятся с целью дать руководству быстрые ответы о запасе ресурса имеющегося полевого парка изделий. Отобранные для испытаний образцы должны быть наиболее старыми или с наибольшей наработкой, чтобы можно было обнаружить наихудшее состояние материалов. Функциональные устройства должны быть проверены в нормальных окружающих условиях как до, так и после ускоренных испытаний на старение под действием внешних факторов повышенной интенсивности или в циклическом режиме. Результаты этих испытаний в нормальных окружающих условиях следует сравнивать между собой и с данными производственных сдаточных испытаний, полученными перед началом эксплуатации изделий. Это двойное сравнение необходимо для построения графиков ухудшения, требующихся для прогнозирования вероятного оставшегося ресурса изделий. Из материалов, которые могут быть испытаны только с разрушением, например пиротехнических, должны быть отобраны две партии образцов

с возможно более близким временем нахождения в полевых условиях и под воздействием одинаковых внешних факторов. Одна из этих партий испытывается сразу как контрольная, а вторая — после ускоренного старения под воздействием внешних факторов. Результаты обоих испытаний следует сравнивать не только между собой, но и с данными заводских сдаточных испытаний.

При испытаниях на оценку ресурса применяется тот же метод, что и при ускоренном старении. Так как ускоренные испытания на срок службы обычно проводятся на раннем этапе программы, то корреляция данных этих ранних испытаний может быть проверена по результатам испытаний первой (контрольной) партии на оценку ресурса. По результатам ресурсных испытаний можно предсказать, какой остался ресурс, с большей достоверностью, чем по данным ускоренных испытаний на срок службы.

4д. Контрольные испытания. Последняя подгруппа испытаний на надежность — это контрольные испытания, проводимые на образцах, отбираемых через регулярные интервалы из парка изделий, находящихся в эксплуатации в действительных полевых условиях. Они состоят из испытаний на воздействие нормальных окружающих условий и осмотров образцов, выполняемых на повышающихся уровнях их демонтажа. Цель этих испытаний состоит в обнаружении признаков отказа или зарождающихся отказов в изделии, в которые включаются не только уход величины параметров компонентов за пределы допусков, но также химическое ухудшение материалов, образование усталостных трещин, коррозия, заусенцы, повышение твердости колец и швов и другие непредвиденные отказы.

Две характерные особенности отличают контрольные испытания от других видов испытаний на надежность: они ограничиваются только проверкой на воздействие нормальных окружающих условий и полный демонтаж изделия. Контрольные испытания — это не то же, что испытания на оценку ресурса, хотя оба вида испытаний проводятся на образцах, отобранных из парка находящихся в эксплуатации изделий. Разница между ними заключается в том, что при испытаниях на оценку ресурса образцы подвергаются ускоренному старению для количественного определения остатка ресурса изделий, а контрольные испытания и осмотры проводятся с целью обнаружения специфических существующих или зарождающихся отказов и ухудшений. Однако при некоторых разработках образцы, испытываемые на ресурс, полностью демонтируются в конце программы испытаний, и, таким образом, в результате могут быть получены данные для программы контрольных испытаний. Но эти получаемые попутно данные не могут полностью удовлетворить целям программы контрольных испытаний, так как влияние ускоренного старения под действием внешних факторов не может быть строго отделено и точная картина состояния парка изделий во время отбора образцов для испытаний не может быть установлена.

Для контрольных испытаний пиротехнических устройств, взрывчатых веществ и ракетных двигателей требуется отбирать вдвое больше образцов, чем для контрольных испытаний функциональных и конструктивных элементов, так как один образец должен быть разрушен при контрольных испытаниях для определения ухода параметров или отклонения номинальных величин, а другой образец требуется для демонтажа. Очень высокая стоимость ракетных двигателей обычно является препятствием для такого двойного отбора, и во многих случаях вследствие ограниченных ассигнований на проект вообще нельзя провести полных контрольных испытаний, за исключением только таких осмотров, которые совершенно не вызывают разрушений (например, радиографическое обследование для проверки качества скрепления топливного заряда с защитным покрытием или со стенками).

Ввиду таких экономических ограничений при разработках больших ракетных двигателей часто практикуется отбор небольших проб топлива (от нескольких килограммов до одной восьмой всего заряда двигателя) и помещение их на хранение в сравнимых окружающих условиях для последующих контрольных испытаний. Но такую замену нельзя считать вполне удовлетворительной вследствие того, что очень трудно экстраполировать данные о понижении функциональной эффективности, полученные при испытаниях уменьшенного образца на поведение реального изделия. Такая программа испытаний даст некоторую информацию об общем химическом процессе ухудшения топлива; по этим соображениям обычно считается, что она оправдывает затраты.

Режим испытания, проводимого по программе контрольных испытаний изделий, такой же, как при сдаточных заводских испытаниях. Данные, полученные при контрольных испытаниях каждого образца, сравниваются с данными заводских сдаточных испытаний, чтобы обнаружить, не произошло ли статистически значимого изменения какого-либо параметра. Поэтому важно, чтобы результаты заводских испытаний каждого серийного изделия обязательно сохранялись и были доступными для группы, проводящей контрольные испытания. При обнаружении во время контрольных испытаний единственного образца существенных уходов параметров обычно отбираются дополнительные образцы из находящихся в эксплуатации изделий для того, чтобы определить степень закономерности уходов и целесообразность дальнейшего использования изделий этого типа.

Демонтаж изделий должен выполняться опытным, высококвалифицированным персоналом, чтобы в процессе разборки не были уничтожены малейшие признаки ухудшения элементов. Должен быть проведен тщательный поиск таких признаков, как следы утечки жидкостей или характерные признаки начинающейся коррозии, а также ослабленные соединения, изношенные звенья, неплот-

ные контакты в электрических разъемах, различные заусенцы, установочные трещины и т. д. Любой такой признак, обнаруженный при визуальном осмотре или с помощью методов неразрушающего контроля (рентгенография, магнитная порошковая дефектоскопия и др.), должен быть тщательно сфотографирован или зарегистрирован другими средствами для дальнейшего анализа и последующего рассмотрения руководством при принятии решения о корректировочных мерах. Очень важно также, чтобы испытания физических и химических свойств материалов производились на образцах, приближающихся к критическому состоянию. Особенно это относится к уплотняющим кольцам и прокладкам, отказы которых в виде преждевременного отверждения или трещин могут вызвать отказы вторичного порядка у элементов, считающихся защищенными.

Группа 5. Специальные испытания. Два вида испытаний не могут быть отнесены ни к одной из рассмотренных групп испытаний на надежность. Это потребительские испытания бытовых изделий и исследовательские испытания.

Потребительские испытания. Все рассмотренные выше испытания проводятся квалифицированными специалистами по испытаниям при строго контролируемых условиях, которые максимально имитируют реальные условия эксплуатации изделий. Такие испытания в контролируемых условиях существенны с точки зрения получения большого объема анализируемых данных для оценки надежности. Однако они не свободны от недостатков, так как всегда есть неопределенность в том, насколько условия испытаний близки к действительным условиям применения изделий. При разработке оружия такая неопределенность мала, так как условия применения устанавливаются и контролируются, а также потому, что изделия должны быть рассчитаны для работы при наиболее неблагоприятной комбинации внешних условий, которые могут встретиться в любом месте применения. Но для бытовых изделий эта неопределенность велика, так как гражданские потребители недостаточно обучены и натренированы для выполнения определенных процедур при пользовании изделиями.

Кроме того, из-за конкуренции бытовые изделия не могут конструироваться так, чтобы они удовлетворяли тем же строгим требованиям в отношении воздействия внешних условий, что и военная аппаратура, и фактически уровень надежности бытовых изделий должен устанавливаться исходя из соотношения между себестоимостью и ценой. Отсюда следует, что в проекты изделий гражданского и бытового назначения целесообразно включать программу потребительских испытаний для определения приемлемости, применимости и надежности изделий. Очень часто эти испытания обнаруживают недостатки конструкции или весьма строгие ограничения на условия применения и внешние факторы, а реакция

потребителей нередко оказывается непредвиденной даже для наиболее опытных и компетентных руководителей проектов.

Многие способы, включая случайный отбор, могут быть успешно использованы для выбора лиц, которые получают в пользование изделия, предназначенные для потребительских испытаний. Важно выбрать таких людей, которые могут тщательно вести записи; желательно также, чтобы некоторые из них имели специальную научную подготовку и могли точно выполнять указания, а другие не были бы профессионалами и выражали бы требования и реакции потребителей. Отбор должен быть произведен во всех географических районах, где будут продаваться изделия, а также во всех социально-экономических группах предполагаемых покупателей. Программа испытаний должна охватывать период, равный по крайней мере гарантируемому сроку службы, но лучше если период испытаний будет в два раза длиннее. Желательно составлять письменные отчеты об испытаниях, но при этом необходимо периодическое участие в испытаниях представителей службы эксплуатации.

Программа потребительских испытаний должна составляться так же тщательно, как и программы всех других испытаний. Обычно бывает весьма желательно проводить испытания с макетным или опытным образцом, чтобы можно было использовать результат испытаний для внесения изменений в конструкцию до того, как изделие будет передано в серийное производство. Испытанные образцы должны быть возвращены на завод для разборки и тщательного обследования.

Если позволяет время, то проведение такой программы испытаний при разработке изделий военного назначения, особенно не одноразового применения, может дать хорошие результаты для оценки не только конструкции, но и процедур при применении и обслуживании. Если такая программа выполняется оценочной группой, она может быть одновременно использована и как программа приемо-сдаточных испытаний. Желательно, чтобы представители разрабатывающей организации работали в контакте с оценочной группой не только для того, чтобы обеспечить правильное обращение с аппаратурой, но и установить обратную связь с заводом для передачи сообщений об отказах и встретившихся трудностях.

Исследовательские испытания. Последний класс испытаний в полном цикле испытаний является важным источником данных по надежности, но в отличие от уже рассмотренных эти испытания не могут планироваться заранее. На всех этапах разработки проводится много специальных испытаний для исследования специфических проблем или отдельных аспектов проблем. Эти исследовательские испытания включают в себя, например, диагностику отказов изделия, произошедших во время одного из рассмотренных выше видов испытаний, производственные испытания (химические и фи-

зические) отобранных образцов для проверки качества или обнаружения недостатков в технологических процессах, функциональные испытания и химический или физический анализ материалов для определения допустимости предполагаемой их замены в производственной программе, а также испытания для установления точности и повторяемости измерений, имеющие целью оценку точности выпускаемых изделий или испытательного оборудования.

Эти испытания характеризуются тем, что каждое из них проводится в связи с каким-либо конкретным случаем, и недостатком многих проектов является то, что результаты таких испытаний не включаются в общий фонд данных по надежности. Такие испытания дают очень полезные и существенные сведения, которые могут быть использованы при решении задач надежности; многие данные содержат информацию, непосредственно применимую при прогнозировании надежности. Поэтому очень важно создать систему, обеспечивающую поступление в подразделение надежности хотя бы копий всех протоколов с описанием условий и результатов испытаний. С экономической точки зрения полезно включать специалистов по надежности в комиссии, разрабатывающие планы испытаний, с тем, чтобы ценные вторичные данные можно было получать одновременно с первичными данными. Кроме того, контроль за ходом испытаний инспекторами по качеству может гарантировать, что достоверность данных приемлема и что не будет допущено введение неизвестных факторов вследствие неквалифицированного проведения испытаний.

4.3. ПЛАНИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ

4.3а. Общие положения. Качество программы испытаний на надежность, так же как и любой другой фазы проекта, зависит от тщательности ее составления. Пять групп испытаний, рассмотренных в подразд. 4.2д, часто требуют затрат в миллионы долларов на испытательное оборудование и испытываемые образцы, поэтому необходимы квалифицированная координация и тщательное планирование разработки изделий и проведения испытаний, совместной работы опытного инженерного и технического персонала. Без тщательного и своевременного планирования испытаний не будет гарантировано получение всех необходимых элементов в нужное время и в необходимых количествах. Это неизбежно приведет к такому положению, когда важные испытания не будут проведены своевременно и результаты испытаний, на основе которых должны приниматься требуемые решения, не будут получены или же испытания будут проводиться в спешке и их результаты будут не точными или недостоверными, что может вызвать ошибочные решения.

В большинстве случаев разработки высоконадежных изделий, выполняемых в сжатые сроки, особое внимание должно быть обращено на возможно раннее начало планирования испытаний с тем,

чтобы необходимое испытательное оборудование было готово ко времени испытания первого макетного образца. Кроме того, предлагаемый план испытаний должен быть известен руководителям, планирующим производство, для включения соответствующих пунктов плана испытаний в производственную программу. В некоторых случаях вследствие очень высокой стоимости необходимых испытаний может потребоваться внесение изменений в конструкцию и процесс производства для снижения затрат на испытания. Изменения конструкции могут касаться схем, материалов или технологических процессов. Например, разработчик может применить в конструкции стальные листы, в которых не допускаются никакие дефекты. Необходимы неразрушающие испытания (например, радиографические) больших листов материалов для определения их пригодности к применению. Снижение требований к материалу, допускающее применение коммерческой стали, возможно с некоторым приемлемым увеличением веса, могло бы значительно уменьшить затраты на проведение испытаний и стоимость изделия без снижения его прочности.

В другом примере очень высокая стоимость оценочных и квалификационных испытаний изделий, при которых должна быть проведена проверка воздействия на них редко встречающихся экстремальных внешних факторов при транспортировке, может привести к решению применять специальную защиту изделий при транспортировке, например перевозить их в обогреваемых контейнерах, вместо того чтобы рассчитывать сами изделия на воздействие всех экстремальных внешних факторов.

Правильный учет времени и средств, необходимых для проведения испытаний, является важным фактором и при планировании производственных испытаний. Слабым местом многих проектов является то, что конструкторы производственного и испытательного оборудования планируют сдаточные испытания или испытания по проверке качества экспериментальных образцов без участия специалистов по надежности и контролю качества. В результате этого программа производственных испытаний будет продиктована этими конструкторскими группами. Большой объем средств и времени, требуемых для испытаний, может сделать их проведение вообще невозможным. При правильном руководстве разработкой службы надежности и/или контроля качества составляют планы сдаточных испытаний экспериментальных образцов, пользуясь исходными фактами, полученными от групп планирования производства, и добавляя в них необходимые пункты по проверке качества. Это можно осуществить только тогда, когда служба надежности начинает разрабатывать план сдаточных испытаний одновременно с началом разработки конструкции изделия.

Важно не только то, чтобы вся программа испытаний на надежность разрабатывалась на раннем этапе проекта. Не менее существ-

венно, чтобы планирование испытаний было проведено с достаточной подробностью и охватывало все элементы программы испытаний. Только при таком подходе все испытания будут представлять единый комплекс и дадут совместимые и полезные данные. Например, условия испытаний на воздействие внешних факторов должны быть строго оговорены, чтобы не получилось так, что одна группа будет проводить испытания при 100°C , вторая — при 90°C , а третья — при 115°C . Если это случится, то будет невозможно провести непосредственное и разумное сравнение результатов испытаний. Планирование испытаний должно быть достаточно полным и выполняться в такой форме, чтобы можно было изучить всю программу с целью исключения ненужного и дорогостоящего дублирования и обнаружения пропусков.

Очень полезно иметь развернутую форму на каждый подлежащий испытанию элемент, в которой указывались бы цели и условия испытаний (окружающая среда и внешние факторы). Такие формы позволяют провести сравнение и внести поправки при подготовке к выполнению испытаний. Эти формы также показывают, где экономически целесообразно провести статистический расчет экспериментов. Важное значение имеют также календарные графики испытаний; они должны быть представлены в форме сетевых графиков и увязаны с такими узловыми пунктами проекта, как принятие решения о конструкции, изготовление экспериментального образца, сдача первого серийного изделия и т. д.

4.3б. Составление программы. *Организация.* Обзор целей различных программ испытаний, составляющих общую программу испытаний на надежность, показывает, что многие подразделения прямо или косвенно заинтересованы или в проведении отдельных испытаний, или в использовании их результатов. Общим недостатком в существующей практике проектных и промышленных организаций является то, что ответственность за проведение различных испытаний возлагается в каждом конкретном случае на то подразделение, которое заинтересовано в наиболее быстром их проведении. Так, испытания, относящиеся к конструкции (возможность выполнения, оценка), поручаются разрабатывающему или конструкторскому подразделению, а производственные испытания на воздействие внешних факторов — подразделению контроля качества. Такое разделение ответственности почти с гарантией приведет к тому, что результаты испытаний, проведенных по различным программам, будут несовместимыми и их невозможно будет объединить для включения в общий фонд данных по надежности.

При правильной организации работ полная ответственность за составление всех программ испытаний и их выполнение должна возлагаться на службу надежности, которая гарантирует, что требования всех других подразделений (конструкторских, контроля качества, полевой эксплуатации и др.) будут выполнены. При такой орга-

низации испытаний служба надежности, наиболее заинтересованная в получении совместимых и сопоставимых данных, пригодных для непосредственного анализа, будет иметь полномочия организовывать и проводить испытания с соблюдением полной координации. Эффективным органом, позволяющим службе надежности осуществлять эту координацию, является объединенная комиссия по планированию испытаний на надежность, которая начинает действовать на начальной стадии проекта и продолжает регулярно собираться для внесения изменений в общую программу испытаний в соответствии с изменениями в разработке. Эта комиссия должна состоять как минимум из представителей подразделений надежности, контроля качества, конструкторского, разрабатывающего испытательное оборудование, планово-производственного и испытательных лабораторий.

Планирование испытаний следует рассматривать не как единовременный процесс, завершающийся представлением однозначных неизменных результатов, а как гибкий процесс выбора объектов и целей испытаний, изменяющийся с течением времени и в зависимости от получения новых сведений. В частности, испытания должны рассматриваться в первую очередь как средство обнаружения слабых мест или ненормальных отклонений в конструкции или в технологических процессах. По мере продвижения разработки проекта могут обнаруживаться слабые места, требующие проведения дополнительных испытаний. И, наоборот, устранение ранее обнаруженных недостатков позволяет прекратить испытания. Таким образом, комиссия по планированию испытаний (или комиссии, если для удобства работа распределяется между функциональными подкомиссиями, например по общим испытаниям, механическим испытаниям, испытаниям без разрушения) является постоянным органом в общей структуре предприятия или фирмы. Поскольку служба надежности несет ответственность за исследование видов отказов и определение корректировочных мер по устранению недостатков в конструкции и технологических процессах, то целесообразно, чтобы возглавлял эту комиссию представитель службы надежности.

Как правило, разработчик проекта определяет объекты и цели испытаний и инспекций для обеспечения функциональной работоспособности изделия; подразделение контроля качества намечает дополнительные элементы и объекты, которые должны быть испытаны с целью проверки качества процессов и изделия. Служба надежности диктует свои требования в отношении проверки надежности элементов, узлов, изделия в целом и устанавливает количественные показатели. Конструкторы испытательного оборудования устанавливают ограничения в проведении испытаний, а работники производства — предельное число испытаний и допустимый цикл нагрузки. Комиссия в целом оценивает стоимость испытаний и определяет общий баланс затрат и риска.

Название элемента: гироагрегат управления полетом		Элемент № 1963822-С ТУ WS 1389В		Планы испытаний: параграфы документов						
Подсистема: управление полетом										
Внешние факторы →		Приемка		Случайные вибрации						
		Окружающая температура в лаборатории 17—37° С Влаж- ность > 90%		20—4000гц 5,1 g						
Допуски испытательного оборудования для создания внешних факторов →		Температура ±5% Влажность +10%—0%		±10% g						
Программа испытаний →		Е	Р	В	Р	Е	Р	В	Р	Е
↓ Проверяемые параметры		Е	Р	В	Р	Е	Р	В	Р	Е
		Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
Осмотр в нерабочем сос- тоянии	Визуальный осмотр материа- лов чертежи конструкция размеры вес цвет и внешняя отделка	4	4	1	1	—				
Утечка в нерабочем сос- тоянии	Отсутствие видимой утечки	4	4	2	2	1	4	4	2	2
Потребляемая мощность в рабочем состоянии	15,0 вт ± 2,5 вт при окружа- ющих условиях, ± 3 вт при воздействии внешних фак- торов	4	4	2	2	1	4	4	2	2
Сопротивление изоляции	40 Мом, мин.	4	4	2	2					
Коэффициент затухания в рабочем состоянии	См. лист. 3	12	12	6	6		6	6	3	3
Чувствительность в рабо- чем состоянии	См. лист. 3	12	12	6	6	1	6	6	3	3
Дрейф нуля в рабочем состоянии	Максимальное увеличение— 3,6 мв (0-макс.) на g ² (эфф.)						12	12		6
Электрические несправ- ности	См. § 3. 24. 6 WS 1389В	6	6				6	6		

EET OD 22546 OD 22545				PPT OD 22548 OD 22547				VAT OD 22550 OD 22549				PAT OD 22552 OD 22551				FLD OD 22554 OD 22553								
Синусои- дальные вибрации				Удары				Ускорение				Температу- ра транс- портировки				Температу- ра в поле- те				Влажность				
Диапазон час- тот от 10—50 гц до 1/300 гц 2 час при максимальной резонансной частоте MIL STD 167				50 g макс. 10±1,0 msec 300 g макс. 2±0,5 msec				10 g, 5 сек мин. 3 g, 60 сек мин.				—10°C, 12 час 65°C, 12 час 4 цикла				50°C, —18°C 320°C в течение 6 мин				MIL E 5272 120 час мин 5 циклов				
±2% или 1 гц				±10%				±5%				<5%				<5%				+10% —0%				
E E T	P P T	V A T	P A T	F L D	E E T	P P T	V A T	P A T	F L D	E E T	P P T	V A T	P A T	F L D	E E T	P P T	V A T	P A T	F L D	E E T	P P T	V A T	P A T	F L D
4	4	2	2	1	4	4		2	4	4	2	4	4	2	4	4	2	4	4	2	4	4	2	4
4	4	2	2	1	4	4		2	4	4	2	4	4	2	4	4	2	4	4	2	4	4	2	4
																	4	4	2		4	4	2	
6	6	3	3		9	4		4	9	4	4	9	4	3	9	4	3	4	4	2				
9	6	3	3		9	4		4	4	4	2	9	9	4	9	9	4	9	9	4	9	9	4	
12	12		6																					
6	6				6	6			6	6			6	6			6	6			6	6		

Ток трогания	250 ма, макс.	4	4		2		4	4		2
Ориентация осей в рабочем состоянии	Выходной сигнал по каждой оси ≤ 500 мв при окружающих условиях или ≤ 650 мв при воздействии внешних факторов	12	12		2	1	6	6		2

OD — Ordnance Document (документ артиллерийского управления)
 EET — Engineering Evaluation Test (инженерные оценочные испытания) } Цифры означают
 PPT — Preproduction Test (испытания перед началом производства)
 VAT — Vendor (Factory) Acceptance Test (приемо-сдаточные испытания) } Цифры
 PAT — Production Assessment Test (испытания по оценке процесса производства)
 FLD — Field Test (эксплуатационные испытания)

Фиг. 4.4. Лист сводной программы испытаний на надежность.

Общий график. Важность начала планирования испытаний на надежность с началом проекта нельзя переоценить. К сожалению, во многих проектах только программы, непосредственно связанные с первыми этапами проекта (исследования и разработка, возможность осуществления, оценка конструкции), планируются в начале проекта. В результате многие ценные данные, которые могли бы быть получены при таких ранних испытаниях, оказываются потерянными, например основные данные о корреляции результатов испытаний при регулируемых внешних факторах и при нормальных окружающих условиях, требующиеся для планирования приемо-сдаточных испытаний.

Вся программа испытаний на надежность должна быть вначале набросана вчерне, с прикидками относительно подлежащих проверке параметров и применяемых внешних факторов по каждой частной программе. Должны быть приняты пробные решения о классификации различных испытаний в соответствии с перечнями, приведенными в подразделах. 4.2а—4.2г. Все эти пробные планы испытаний должны быть записаны в развернутой форме с учетом того, что планы будут периодически пересматриваться, возможно ежемесячно на ранних этапах проекта, с постепенным переходом к ежеквартальным или полугодовому пересмотру, когда проект будет близок к завершению и передаче в производство. Эти изменения планов и программ испытаний вызываются различными факторами и событиями, в том числе изменениями подходов к конструкции изделия, изменениями в процессе производства или сменой завода-изготовителя, изменениями в предполагаемом использовании изделия (которое может само явиться следствием изменения конструкции), информацией об отказах в полевых условиях, получаемой по каналу обратной связи, обнаружением новых слабых мест и новых видов отказов.

Источник
испытательная точка № 201

Лист 1 из 7

Перечень параметров

Название элемента: гироагрегат управления полетом		Номер элемента 1963822-С											
Подсистема управления полетом	Данные подготовлены 31.7.63	Данные утверждены 15.9.63	Кем утверждены JRA52PD-20105C										
Подготовил (подпись)	Проверил (подпись)	Представитель службы надежности (подпись)											
Конструктор (подпись)	Руководитель проекта (подпись)		Представитель заказчика (подпись)										
Пункт плана испытаний	Характеристики	Параметр	Допуски										
1	<u>Случайные вибрации</u> 1.1 Вход: $115 \text{ в} \pm 0,5\%$ переменного напряжения, $400 \pm 2 \text{ гц}$; $20 \pm 1^\circ \text{C}$ 1.2. Нагрузка: нереактивное полное сопротивление $1500 \pm 300 \text{ ом}$ для выходов по осям тангажа, рыскания и крена 1.3. Прибор должен быть испытан на воздействие случайных вибраций вдоль каждой из трех взаимно перпендикулярных осей в течение 1 мин. Уровень вибраций должен равняться $5,1 \text{ г}$ в следующих пределах спектральной плотности: 1.3.1. Верхний предел <table><tr><td>Частота, гц</td><td>Огибающая максимумов, $\text{г}^2/\text{гц}$</td></tr><tr><td>20</td><td>0,005</td></tr><tr><td>500</td><td>0,007</td></tr><tr><td>750</td><td>0,014</td></tr><tr><td>4000</td><td>0,025</td></tr></table>		Частота, гц	Огибающая максимумов, $\text{г}^2/\text{гц}$	20	0,005	500	0,007	750	0,014	4000	0,025	
Частота, гц	Огибающая максимумов, $\text{г}^2/\text{гц}$												
20	0,005												
500	0,007												
750	0,014												
4000	0,025												

2	1.3.2. Нижний предел должен равняться $\frac{1}{4}$ от верхнего предела		
	1.4. Измерить смещение нуля совпадающего по фазе демодулированного выходного сигнала с помощью фильтра с полосой 0—4 гц (8 дб/октава) для каждого гироскопа при воздействии вибраций по каждой оси (измерение пиковых значений)		
	1.4.1. Ось тангажа	1,7 мв	Макс.
	1.4.2. Ось рыскания	1,7 мв	Макс.
	1.4.3. Ось крена	1,7 мв	Макс.
	<u>Потребление</u>		
	2.1. Вход и нагрузка, как в п. 1		
	2.2. Измерения		
	2.2.1. Мощность	15,0 вт	$\pm 2,5$ вт
	2.2.2. Коэффициент мощности	0,960	
3	2.2.3. Время нарастания до полной мощности	50 сек	Макс.
	2.2.4. При включенной демпфирующей цепи измерить мощность и коэффициент мощности	10,0 вт	$\pm 1,8$ вт $-2,3$ вт
	<u>Сопротивление изоляции</u>	1—0,7	
4	3.1. Прикладывать напряжение постоянного тока 500 в между всеми изолированными цепями, а также между цепями и корпусом минимум на 5 сек		
	3.2. Измерить сопротивление изоляции	40 Мо.м	Мин.
	<u>Собственная частота незатухающих колебаний и коэффициент затухания</u>		
	4.1. Вход и нагрузка, как в п. 1		
	4.2. Создать по осям тангажа, рыскания и крена синусоидальные вибрации, вызывающие отставание по фазе на 90°		
	4.3. Измерить собственные частоты и коэффициенты затухания		

Ф и г. 4.5. Перечень параметров.

Требования к характеристикам			Параметры							
пункт	характеристики	условия и примечания	номинальные	допуски для условий полета	допуски для подводных условий	принятые допуски	допуски при хранении	заводские допуски	допуски поставщика	единицы измерения
1.0	Общие условия Внешняя резистивная нагрузка	(Все выходные цепи) 15 000 ± 300 ом								
	Технические требования									
2.0	Вход									
2.1	Напряжение	Одна фаза	115	± 3%	± 2,7%	± 2,4%	+ 2%	± 1,5%	± 1,0%	в
2.2	Частота		400	± 0,8%	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	гц
2.3	Содержание гармоник			2 макс.	2 макс.	2 макс.	2 макс.	2 макс.	2 макс.	%
3.0	Электрические									
3.1	Потребляемая мощность									
3.1.1	Ток трогания			125 макс.	125 макс.	125 макс.	125 макс.	125 макс.	125 макс.	ма
3.1.1.1	Переходные процессы	Время нарастания мощности до предела		50 макс.	50 макс.	50 макс.	50 макс.	50 макс.	50 макс.	сек
3.1.2	Мощность		15,0	± 4,0	± 3,8	± 3,6	+ 3,3	± 2,5	± 2,0	вт
3.1.3	Коэффициент мощности	При опережении		0,960 мин.	0,960 мин.	0,960 мин.	0,960 мин.	0,960 мин.	0,960 мин.	
		При отставании		0,960 мин.	0,960 мин.	0,960 мин.	0,960 мин.	0,960 мин.	0,960 мин.	
3.1.4	Мощность демпфирования		10,0	+ 1,8 - 2,3	+ 1,8 - 2,3	+ 1,8 - 2,3	+ 1,8 - 2,3	+ 1,8 - 2,3	+ 1,8 - 2,3	вт вт
3.1.5	Коэффициент мощности демпфирования	Только при отставании	1,0	- 0,3 макс.	- 0,3 макс.	- 0,3 макс.	- 0,3 макс.	- 0,3 макс.	- 0,3 макс.	
3.2	Сопротивление изоляции	Сопротивление изоляции между изолированными цепями и между цепями и корпусом при приложенном напряжении постоянного тока 500 в не менее чем на 5 сек	40 мин.	40 мин.	40 мин.	40 мин.	40 мин.	40 мин.	40 мин.	Мом
3.3	Выходная частота		36	± 6,0	± 5,94	± 5,86	± 5,75	± 5,5	± 5,25	гц
3.4	Коэффициент затухания	При собственной частоте 30 гц		0,91 макс. 0,49 мин.	0,90 макс. 0,50 мин.	0,89 макс. 0,51 мин.	0,88 макс. 0,52 мин.	0,85 макс. 0,55 мин.	0,82 макс. 0,58 мин.	
		При собственной частоте 50 гц		1,32 макс. 0,38 мин.	1,31 макс. 0,39 мин.	1,30 макс. 0,40 мин.	1,27 макс. 0,42 мин.	1,23 макс. 0,45 мин.	1,19 макс. 0,48 мин.	
		(При повышении собственной частоты от 30 до 50 гц пределы коэффициента затухания линейно возрастают, оставаясь между указанными значениями.)								

Фиг. 4.6. Развернутый список параметров.

отдельным параметрам, конструктор испытательного оборудования может приступить к его разработке, разработчик изделия — предусмотреть необходимые выводы или соединения для замеров параметров при испытаниях, плановики производства предусмотрят изготовление и поставку образцов для испытаний, а инспекция по качеству может планировать место проведения испытаний и инспекции, рассчитывать необходимые площади, количество испытательного персонала и стандартного оборудования.

Хотя представленные здесь сводные планы относятся к функциональным испытаниям, такое же общее предварительное планирование необходимо и для специальных механических испытаний и обследований (включая и специализированные неразрушающие испытания). Ввиду того что объекты, проходящие такие испытания, как правило, менее подвержены ухудшению с течением времени или в процессе эксплуатации, допуски для них не увеличиваются и, на каких бы этапах испытаний ни производились измерения параметров, применяются одни и те же допуски. Поэтому для этих испытаний нет необходимости составлять развернутый список параметров, хотя сводный план испытаний и перечень отдельных параметров требуются для уточнения деталей планируемых испытаний или обследований.

Выбор объектов испытаний. Выбор объектов, подлежащих испытанию или обследованию, является сложным делом, так как окончательное решение принимается на основе учета противоположно действующих факторов. К таким факторам относятся:

1. Необходимость доказать работоспособность при всех условиях применения.
2. Необходимость доказать, что заданная надежность достигнута.
3. Стоимость испытаний, включая затраты на испытательное оборудование.
4. Время для проведения каждого испытания.
5. Наличие оборудования и персонала для проведения испытаний.
6. Требования заказчика.
7. Необходимость обеспечить взаимозаменяемость запасных частей.
8. Желание обеспечить оптимальный контроль технологических процессов и качества для гарантии повторяемости процессов.
9. Требуемая надежность элементов или всей системы.
10. Стоимость испытываемых элементов и их замены.

Очевидно, что, за исключением наиболее простых элементов, невозможно испытать все свойства элемента в каждом испытательном режиме и вообще ни в каком одном режиме полностью. Отсюда следует, что любой план испытаний представляет собой выборку проверяемых свойств и что должны выбираться не только эти свойства,

но и объекты испытания в каждом испытательном режиме (фиг. 4.7). Так как процесс такого выбора основан почти целиком на субъективных мнениях, то комиссия по планированию испытаний действует наиболее эффективно при достижении компромисса, необходимого для оптимального выбора.

Необходимой предпосылкой для составления окончательного списка проверяемых при испытаниях свойств является их классификация по степени важности. Хотя такая классификация часто бывает неофициальной, все же лучшей можно считать примененную впервые в армии и военно-морском флоте США классификацию артиллерийского вооружения, известную как система классификации дефектов или классификация характеристик. В этой системе каждое свойство характеризуется как критическое, важное или второстепенное в зависимости от его влияния на координацию, долговечность, взаимозаменяемость, функционирование и безопасность. При применении этой системы классификация свойств стандартизуется от проекта к проекту, а также от изделия к изделию и от программы к программе и на протяжении всего проекта может быть выявлено много побочных преимуществ классификации. Можно назвать такие из них, как автоматическое назначение планов обследования и испытания отобранных образцов; подчеркивание необходимости сосредоточения усилий на таких важных участках, как диагностика отказов, корректировочные меры, инспекция и контроль изменений в конструкции; все они являются также основой для стимулирования улучшения качества в поощрительных контрактах. Прямая выгода применения классификации при планировании испытаний и осмотрах видна сразу, так как субъективный процесс выбора проверяемых свойств сводится к объективному применению комплекса основных согласованных правил и требований к изделию, в значительной мере устраняющему субъективность, часто сопровождающую эту операцию (фиг. 4.8).

Выбор входных условий и внешних факторов. Одновременно с выбором объектов испытаний и проверяемых признаков должны быть определены входные условия и внешние факторы, так как выделение подлежащих проверке признаков лишено смысла, если не будут установлены условия испытаний. Как правило, эти условия должны быть такими же жесткими, как и условия, которые будут действовать на элемент при его применении. Это делает необходимым и обязательным установление двух или более уровней условий: «высокого» и «низкого», которые могут встретиться при применении элемента. В некоторых случаях, например когда требуется проверка линейности, гистерезиса или чувствительности, возникает необходимость установления нескольких промежуточных уровней для получения характеристической кривой.

Если элемент работает в условиях ниже номинальных, можно ограничиться одной точкой, соответствующей номинальному режи-

Название элемента Гироагрегат управления полетом			Номер элемента 1963822-C	Испытательная точка 201										
Техничес- кие условия WS 13898	Методика испытаний 22634	Испыта- тельная станция № 52 × 220	Регистрация в пункте OCD Да х Нет	Стр. 1 из 4										
			Необходимость пересылки данных Да х Нет											
Подготовил (подпись)		Проверил (подпись)	Данные подготов- лены 13.5.63	Кем утверждены JRA 52 TP-22552										
Отдел контроля качества (подпись)		Конструктор (подпись)	Руководитель про- екта (подпись)	Представитель за- казчика (подпись)										
Катего- рия OCD	Пункт №	Измеряемый параметр и условия испытаний												
	1	<u>Случайные вибрации</u> 1.1 Вход: $115 \text{ в} \pm 0,5\%$ переменного напряжения, $400 \pm 2 \text{ гц}$; $20 \pm 0,6^\circ\text{C}$ 1.2. Нагрузка: нереактивное полное сопротивление $15\,000 \pm 300 \text{ ом}$ для выходов по осям тангажа, рыскания и крена 1.3. Прибор должен быть испытан на воздействие случайных вибраций по каждой из трех взаимно перпендикулярных осей в течение 1 мин. Уровень вибраций должен равняться $5,1 \text{ г}$ в следующих пределах спектральной плотности: 1.3.1. Верхний предел <table border="0"> <tr> <td>Частота, <i>гц</i></td> <td>Огибающая максимумов, <i>г²/гц</i></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0,005</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>0,007</td> </tr> <tr> <td>750</td> <td>0,014</td> </tr> <tr> <td>4000</td> <td>0,025</td> </tr> </table> 1.3.2. Нижний предел должен равняться $1/4$ от верхнего предела 1.4. Измерить уменьшение до нуля совпадающего по фазе демодулированного выходного сигнала с помощью фильтра с полосой 0—4 <i>гц</i> (8 <i>дб/октава</i>) для каждого гироскопа при воздействии вибраций по каждой оси (измерение пиковых значений)			Частота, <i>гц</i>	Огибающая максимумов, <i>г²/гц</i>	20	0,005	500	0,007	750	0,014	4000	0,025
Частота, <i>гц</i>	Огибающая максимумов, <i>г²/гц</i>													
20	0,005													
500	0,007													
750	0,014													
4000	0,025													

Продолжение

	2	<u>Потребляемая мощность</u> 2.1. Вход и нагрузка, как в п. 1 2.2. Измерения 2.2.1. Мощность вращения и коэффициент мощности вращения; время нарастания мощности вращения 2.2.2. При включенной демпфирующей цепи измерить мощность вращения и коэффициент мощности
	3	<u>Сопротивление изоляции</u> 3.1. Прикладывать напряжение постоянного тока 500 в между всеми изолированными цепями и между цепями и корпусом минимум на 5 сек 3.2. Измерить сопротивление изоляции
	4	<u>Собственная частота незатухающих колебаний и коэффициент затухания</u> 4.1. Вход и нагрузка, как в п. 1. 4.2. Создать по осям тангажа, рыскания и крена синусоидальные вибрации, вызывающие отставание по фазе на 90°. 4.3. Измерить собственные частоты и коэффициенты затухания для каждого из следующих гироскопов: 4.3.1. Производной по оси тангажа 4.3.2. Производной по оси рыскания 4.3.3. Производной по оси крена
	5	<u>Чувствительность, совпадающая по фазе и не совпадающие по фазе составляющие</u> 5.1. Вход и нагрузка, как в п. 1. 5.2. Создать следующие угловые скорости по осям тангажа, рыскания и крена: 5.2.1. 75°/сек по и против часовой стрелки 5.2.2. 35°/сек по и против часовой стрелки 5.2.3. 15°/сек по и против часовой стрелки 5.2.4. 0°/сек по и против часовой стрелки 5.3. Измерить фазу сигнала для каждой из указанных скоростей 5.4. Измерить совпадающую по фазе составляющую напряжения (0° или 180°) 5.5. Измерить не совпадающую по фазе составляющую напряжения

Фиг. 4.7. Лист плана испытаний.

му, при условии что допуски на выходной параметр будут сокращены на произвольно выбранную величину относительно допусков для испытаний при высоком — низком входных уровнях. Так как такое рассмотрение в одной точке всегда дает гарантию достоверности, далекую от оптимальной, и применяется скорее исходя из экономических соображений, а не повышения качества, то это должно быть исключением, а не правилом. Для группы 4 испытаний на надеж-

Код классификации дефектов OCD 1963822-С
для гироагрегата управления полетом

Лист 1 из 4
Одобрено
(подпись)
15 февраля 196__ г.

Подготовил
(подпись)
29 января 196__ г.

Блок является дефектным, если любое из указанных ниже требований не выполняется.

Примечания:

- А. Данный документ BuWeps (SPO) OCD охватывает только такие неисправности, которые влияют на безопасность, функционирование системы, жизнь людей. Он должен использоваться вместе с прилагаемыми чертежами и техническими условиями и инструкциями по инспекции (MIL-Q-21549B)
- Б. Все цифры означают размеры, если нет других указаний.
Все размеры даны в дюймах, если не указаны другие единицы
- В. Учтены директивы о внесении изменений: А — от 1 августа 196__ г.,
Б — от 28 декабря 196__ г., В — от 15 января 196__ г.

Раздел А. Требования к размерам

	<u>Требования</u>	<u>Инструкция</u>	<u>Метод измерения</u>
Критические			
Нет			
Главные			
101	0,250+0,005—0,000 диаметр отверстия для пальца штыря		Калибр 7422546
103	Отверстие для пальца штыря диаметром 0,250 должно находиться в заданном положении с точностью 0,005 от диаметра	1963759G лист 3	Калибр 7458649 В
104	1,12 макс. — расстояние от отверстия для пальца штыря до края блока	1963759G лист 3	Калибр 1870321
107	2+0,1 кг макс., вес	1963822С	
		Примечания	

Специальные требования

- 108 Если блок входит в комплект тактического запасного имущества, контейнер должен пройти испытания на утечку в соответствии с OD 21936А
- Консоль для
испытания на
утечку
2163455

Раздел Б. Функциональные требования

Функциональные требования приведены на полях документа АТР-OD 22634, пересмотренного 15 января 196__ г.

Раздел 3
OD 22634

Раздел В. Маркировка и окончательный осмотр

- 151 На контейнере должна быть надпись BUWEPs DWG 1963820K
- 152 Индикатор относительной влажности должен показывать менее 50%
- Визуально
Визуально

ность, при которых определяется запас прочности конструкции, уровень условий должен быть несколько выше, чем при реальных условиях применения.

В программе испытаний высоконадежных изделий всегда, когда это возможно, должно использоваться воздействие имитированных внешних факторов. Испытания на воздействие естественных окружающих условий дают в лучшем случае только приближенные результаты; при таких испытаниях всегда существуют неопределенности (исключением являются испытания элементов, которые должны работать приблизительно в таких же окружающих условиях). Если стоимость проведения испытаний не является лимитирующим фактором, а элемент не имеет ограничений по рабочему циклу при воздействии каких-либо внешних факторов, то должно быть принято за правило проводить все испытания при воздействии утяжеленных внешних факторов. В практической действительности при недостатке времени, оборудования и денежных средств возможны отклонения от этого правила. Но если такое правило принято при планировании испытаний, то отступления от него должны быть обоснованы и в конечном счете большая часть испытаний должна быть проведена при воздействии внешних факторов.

В частности, испытания на вибрацию следует проводить всегда, когда это возможно, главным образом потому, что это испытание является наиболее экономичным и эффективным средством контроля качества, имеющимся в распоряжении инженера-испытателя. При испытаниях на вибрацию вероятность обнаружения прерывистой работы, ослабленных и треснувших частей, некачественного монтажа или ненадежной защиты, плохих паяных соединений и производственных дефектов выше, чем при испытаниях на воздействие любых других внешних факторов. С практической точки зрения элемент может находиться в рабочем состоянии во время испытаний на вибрацию, и поэтому требуются лишь незначительное дополнительное время или небольшие затраты для завершения полных испытаний. Однако при выборе уровня вибраций следует проявлять известную осторожность, так как для некоторых хрупких элементов воздействие интенсивных вибраций может оказаться разрушающим, если будет превзойден допустимый уровень для нормального применения или превышено допустимое время воздействия. Необходимость соблюдения такой осторожности не должна восприниматься как оправдание отказа от проведения испытаний на вибрацию. (Программа должна включать в себя как испытание на воздействие случайных вибраций для имитирования воздействия всего спектра вибраций, возможных в условиях эксплуатации, так и на воздействие синусоидальных вибраций с целью диагностики отказов.) Другими утяжеленными внешними факторами, легко воспроизводимыми и часто применяемыми, являются экстремальные температуры, влажность и удары.

При составлении общей программы испытаний должно быть обращено внимание на комбинированное применение внешних факторов. Оценить взаимодействие этих факторов очень трудно; в программе испытаний сложных изделий почти невозможно выразить это численно, поэтому необходимы эмпирические данные. Вследствие этого на ранних этапах разработки, в частности при испытаниях экспериментального образца, нужно запланировать хотя бы одну серию испытаний на комбинированное воздействие различных внешних факторов, связанную с серией испытаний на воздействие только одного фактора, с тем чтобы обнаружить неблагоприятное взаимодействие внешних факторов. Очевидно, не все внешние факторы можно объединить сразу (например, в одном и том же испытании невозможно комбинированное воздействие высокой и низкой температур), но обычно оказывается достаточным проведение серий испытаний при комбинации трех или четырех факторов.

Взаимосвязь программ испытаний. Обычный недостаток программ испытаний при разработке высоконадежных изделий состоит в том, что каждое испытание планируется отдельно от других. Это обычно связано с тем, что руководство проекта распределяет ответственность за проведение испытаний между различными подразделениями, участвующими в разработке проекта. Так, ответственность за испытания по оценке конструкции обычно возлагается на техническую группу, за полевые оценочные испытания — на группу по проведению полевых испытаний, за испытание по проверке качества — на подразделение контроля качества и за испытания на надежность — на службу надежности. Если руководство настаивает на таком распределении ответственности, то неблагоприятное влияние этого решения на общую программу испытаний может быть значительно снижено, если сводная программа будет составляться комиссией по испытаниям, состоящей из представителей указанных групп. Ранее уже говорилось о некоторых факторах, которые должны быть рассмотрены этой комиссией. Комиссия должна определить взаимосвязь отдельных испытаний в рамках общей программы.

Первое, на что должно быть обращено внимание, — это взаимосвязь испытаний отдельных групп, особенно группы 1 (см. подразд. 8.2д). Так как все эти испытания направлены на оценку конструкции, то очень важно, чтобы в каждом испытании соблюдалась определенная согласованность и последовательность. Это относится к объектам испытания, входным и выходным условиям, используемому испытательному оборудованию, внешним факторам и технике регистрации данных. Испытание может и должно изменяться по объему, срокам и числу испытываемых образцов в зависимости от того, насколько эти образцы близки к окончательной конструкции. Но, строго говоря, объем и методики испытаний должны быть в максимально возможной степени одинаковыми, чтобы можно было легко производить оценку и анализ результатов испытаний в течение

всей разработки. Аналогично испытательные режимы в группе 3 испытаний должны быть по возможности одинаковыми, чтобы можно было проводить сравнительный анализ успешных результатов и отказов на последовательных стадиях испытаний.

Второе важное обстоятельство — это взаимосвязь программ и согласование результатов испытаний различных групп. Так, испытания по группам 1 и 2 должны планироваться как взаимно дополняющие и дающие в целом полную оценку конструкции. Вообще проверка отдельных свойств изделия при испытании в имитированных реальных условиях применения не должна дублироваться в лаборатории, если цель испытаний состоит только в оценке работоспособности изделия в условиях эксплуатации. Однако поскольку обычно имеется значительная неопределенность в корреляции между лабораторными испытаниями (и выбранными уровнями внешних факторов) и действительными условиями эксплуатации, то желательно дублировать как можно больше испытаний и воздействий внешних факторов в группах 1 и 2, чтобы результаты лабораторных испытаний в следующих группах 3 и 4 можно было непосредственно коррелировать с ожидаемыми рабочими характеристиками серийного изделия в полевых условиях. Например, определение вибраций конструкции управляемого снаряда, как правило, относится к испытаниям группы 1, проводимым ранее других испытаний, а требования в отношении вибропрочности контейнеров и отсеков устанавливаются такими же, как и для всего снаряда. Но во время летных испытаний может быть установлено, что наблюдаются как затухание, так и усиление вибраций, и поэтому требования к вибропрочности отдельных контейнеров при более поздних испытаниях группы 1 и испытаниях групп 3 и 4 должны быть соответственно изменены. Такая корреляция может быть достигнута только при условии, что воздействие вибраций будет включено в испытания как группы 1, так и группы 2.

Не менее важным является взаимосвязь испытаний групп 3 и 4. Если испытания группы 4 планируются и проводятся без учета данных, полученных в других испытательных режимах, то это потребует много средств и времени и может не привести к значащим результатам, если будет пропущен любой шанс использовать информацию о корректировочных мерах, принятых на этапах разработки, производства и эксплуатации. Поэтому важно, чтобы испытания этой группы планировались с учетом имеющихся данных других испытаний, в частности испытаний группы 3, при проведении которых собирается наибольшее количество данных. Так, если испытания на срок службы характеризуются стабильным временем параболки между отказами, то, очевидно, значительное количество полезной информации может быть получено из повторяющихся испытаний группы 3, проводимых по программе контроля качества, и будет необходимо провести только небольшое количество испытаний

до отказа для пополнения данных, на основе которых можно определить наработку на отказ.

Аналогично испытания группы 3 могут дать соответствующую информацию об успешной работе изделия в утяжеленных внешних условиях, и по программе испытаний группы 4 будет достаточно провести только дополнительные испытания при превышении уровня оговоренных для нормальной эксплуатации внешних условий, чтобы можно было оценить чувствительность элементов к изменениям внешних факторов. Подобным же образом испытания группы 3 позволяют установить основные виды отказов, особенно отказов случайного характера, выявление которых при испытаниях группы 4 потребовало бы больших партий испытываемых образцов. Однако использование испытаний группы 3 для оценки надежности не обходится без затрат, так как в ходе этих испытаний должны собираться дополнительные данные о многих свойствах изделия, которые не потребовались бы, если цель испытаний группы 3 заключалась только в проверке того, что качество изделия находится в заданных пределах.

Методы испытаний. Обсуждение вопроса о планировании испытаний было бы неполным без хотя бы краткого упоминания о важности тщательной предварительной проработки и точного выполнения установленных методов испытаний. Очень много разработанных программ испытаний выполняется плохо потому, что при проведении испытаний целиком полагаются на квалификацию и знания испытательного инженерно-технического персонала. Важно уяснить, что необходимость детальной, правильной и контролируемой методики испытаний зависит не только от возможности испытательной организации, но и от требуемого уровня надежности изделия. Чем выше заданная надежность, тем более детальной и контролируемой должна быть методика ее проверки.

Методы испытаний должны в основном описывать и контролировать три различные фазы испытаний. Первая из них — калибровка применяемого испытательного оборудования по эталонам. Такая калибровка должна выполняться с промежуточными устройствами сопряжения испытательного оборудования и испытываемого изделия и состоять в проверке не только измерительных или сравнивающих приборов, но и тех элементов оборудования, которые устанавливают уровень входных величин и внешних факторов. Чтобы калибровка была оптимальной, она должна выполняться только при определенных величинах воздействий, которые должны измеряться или устанавливаться при испытаниях, а не во всем их диапазоне.

Вторая фаза состоит в проверке испытательного оборудования совместно с испытываемым изделием. Эта проверка должна показать, что конструкция испытательного оборудования действительно способна выполнять свои функции при работе с испытываемым изделием, а также может выдерживать непредвиденные перегрузки, обус-

довленные аномальными режимами, такими, как воздействие неровности местности, изменения входных условий с колебаниями нагрузки или напряжения питания и т. п. Такая проверка имеет особенно важное значение, если испытательное оборудование применяется в первый раз с изделием данного типа и она должна обязательно проводиться перед испытаниями группы 3.

Третья фаза касается самой программы основных испытаний. Для этой фазы должны подробно описываться все выполняемые регулировки, операции с переключателями и кнопками, схемы расположения приборов и монтажные схемы, предварительно должна быть разработана подробная развернутая форма записи данных, гарантирующая, что все требуемые входные и выходные данные будут регистрироваться и притом в желательных единицах. В этой форме должно быть также предусмотрено место для записи дополнительной информации, например об окружающих условиях в лаборатории, даты испытаний, точной конфигурации испытываемого изделия, сведений о лицах, проводящих испытания, и других организационно-административных данных, которые позволят воспроизвести обстановку при испытаниях, если это потребуется. В форме для записи данных должны быть указаны пределы приемки или браковки в случае приемо-сдаточных испытаний. Эти пределы устанавливаются путем вычитания из допусков на параметры, содержащихся в соответствующем документе, погрешности испытательного оборудования. Если испытания проводятся не с целью приемки изделия по ряду установленных пределов допусков, то в форме для регистрации данных должны быть указаны допустимые погрешности испытательного оборудования для каждой записи данных испытаний. В ней должны быть графы для записи наблюдаемых отсчетов и фактических отсчетов с учетом погрешности испытательного оборудования (фиг. 4.9а и 4.9б).

За выполнением методики испытаний должен быть установлен контроль для гарантии того, что ее введение в действие и последующие изменения будут утверждаться руководителями соответствующего уровня и представителями заинтересованных подразделений, как правило, входящими в комиссию по испытаниям. Кроме того, если заказчик хочет контролировать разработку в целом, то обычно требуется также подпись его представителя. Степень устанавливаемого контроля изменяется в зависимости от желаемой строгости проведения конкретного испытания. Типичные изменения указаны на фиг. 4.3.

4.4. ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

4.4а. Общие положения. Окончательный успех или неуспех программы испытаний может зависеть от того, с какой тщательностью выбиралось, конструировалось, доставлялось и проверялось испы-

6.3. Сопротивление изоляции

- 6.3.1 Подсоединить кабель 1607447 (см. § 3.3.2) к гнезду «Испытание изоляции» на испытательной стойке и к испытываемому изделию
- 6.3.2 Установить нужное положение переключателей «Вид изоляции» и «Аналоговый меггер»
- OCD 106 6.3.3 Последовательно включить тумблер REF C и тумблеры всех штырьков, за исключением C. После включения каждого штырька нажимать кнопку меггера. Записать показания в бланк для регистрации результатов испытаний, как указано в § 6.3.6
- OCD 107 6.3.4 Последовательно включить тумблер REF D и тумблеры всех штырьков, за исключением D, E, F и G. После включения каждого штырька нажимать кнопку меггера. Записать показания в бланк для регистрации результатов испытаний, как указано в § 6.3.6
- OCD 108 6.3.5 Последовательно включить тумблер REF H и все тумблеры штырьков, за исключением H и T. После включения каждого штырька нажимать кнопку меггера. Записать показания в бланк для регистрации результатов испытаний, как указано в § 6.3.6
- 6.3.6. Максимальное показание цифрового вольтметра должно быть 1,198 в. (Цифровой вольтметр измеряет ток утечки, —1 в=10 мка.) Записать результаты в бланк

6.4. Частота собственных колебаний и коэффициент затухания

- 6.4.1. Гироскоп тангажа
- 6.4.1.1. Установить гироскоп в держателе (§ 3.3.1). Закрепить держатель на моделирующем стенде (§ 3.2.8) плоскостью C вниз (рис. 2). Соединить цепь, как показано на рис. 5
- 6.4.1.2. Включить тумблеры «Производная», «Нормальная нагрузка», «Тангаж» и «Гироскоп включен». Дать гироскопу раскрутиться в течение 60 сек. Включить тумблер «Счетчик» и отрегулировать счетчик для отсчета частоты с коэффициентом 10. Дать счетчику прогреться в течение 10 мин
- 6.4.1.3. Поставить переключатель сервоанализатора E2-DC, AC в положение DC (постоянный ток), а переключатель E1-DC, AC — в положение AC (переменный ток). Установить коэффициент усиления равным 5. Поставить переключатель диапазонов частоты на A, а ручку «Амплитуда испытательного сигнала» — на 30. Ручкой «Регулировка частоты» изменить частоту на 1 гц. Переключатель E_1/E_2 — коэффициент затухания — поставить в положение E_1/E_2 . Установить указатель E_1/E_2 на 0 дб, используя соответствующий аттенуатор; следить, чтобы при этом не загорались лампы «Перегрузка». Перевести переключатель в положение «Коэффициент затухания» и установить указатель измерителя коэффициента затухания на нуль
- 6.4.1.4. Поставить переключатель диапазонов частот на C и, вращая ручку «Регулировка частоты», установить указатель фазометра на отметку 90° (при этом переключатель фазометра должен быть в положении A)
- OCD 109 6.4.1.5. Записать измеренную частоту по показанию счетчика (§ 3.2.1) как частоту собственных колебаний в бланк для регистрации результатов испытаний

ОСД №	Парагра- фы мето- дики испы- таний №	Функции	Требование	Действитель- ные показания
107	6.3.4	Сопротивление изоляции между точкой D и штырьком A » D » » B » D » » C » D » » H » D » » K » D » » S » D » » T	— 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс.	
108	6.3.5	Сопротивление изоляции между точкой H и штырьком A » H » » B » H » » C » H » » D » H » » E » H » » F » H » » G » H » » K » H » » S	— 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс. — 1,20 в макс.	
109	6.4.1.5	Частота собственных колебаний, гироскоп тангажа	30—50 гц	гц
	6.4.1.5	Коэффициент затухания, гироскоп тангажа (определить требуемую величину из 6.4.1.5 и записать ее)		
110	6.4.1.6	Частота собственных колебаний, гироскоп рыскания	30—50 гц	гц
	6.4.1.6	Коэффициент затухания, гироскоп рыскания (определить требуемую величину из 6.4.1.5 и записать ее)		
111	6.4.1.7	Частота собственных колебаний, гироскоп крена	30—50 гц	
	6.4.1.7	Коэффициент затухания, гироскоп крена (определить требуемую величину из 6.4.1.5 и записать ее)		
112	6.5.4	Крен: по часовой стрелке 75°/сек, совпадающая по фазе составляющая напряжения; по часовой стрелке 75°/сек, несовпадающая по фазе составляющая напряжения; по часовой стрелке 35°/сек, совпадающая по фазе составляющая напряжения	от +0,7287 до +0,8673 мв макс. 680 мв макс. от +0,36857 до +0,43143 мв	мв

Фиг. 4.9б. Форма для записи результатов испытаний.

тательное оборудование. Применяемое испытательное оборудование определяет точность измерений, воспроизводимость и возможность правильной интерпретации результатов испытаний, стоимость выполнения программы испытаний. Эти факторы часто определяют целесообразность выполнения программы испытаний и ее ценность. Поэтому очень важно, чтобы выбору испытательного оборудования уделялось столько же внимания, сколько и разработке остальной части программы. Кроме того, поскольку испытательное оборудование часто оказывается более сложным, чем испытываемый объект, то в равной степени важно, чтобы конструирование специального оборудования поручалось только высококвалифицированным инженерам с большим опытом именно в этой области.

Программа работ по поставке испытательного оборудования должна отрабатываться с такой же тщательностью, как и программы конструирования и производства изделий, так как опыт показывает, что вопросам планирования в этой программе нередко должно быть уделено значительно больше внимания, чем в других программах, ввиду сложности оборудования. Следует применять новейшие методы управления, такие, как техника сетевого планирования. Сложность программы оправдывает даже создание специальной координационной комиссии по испытательному оборудованию, начинающей работу на ранней стадии проекта и продолжающей ее до тех пор, пока не будет налажено производство изделий с проверенным и одобренным испытательным оборудованием. В функции этой комиссии могут также входить наблюдение за разработкой и конструированием нового и уникального испытательного оборудования, разработка технических требований к конструкции, обеспечивающих совместимость испытательного оборудования, используемого при различных испытаниях одного и того же изделия, составление расписаний и контроль за их выполнением.

К категории испытательного оборудования в широком смысле относятся: устройства, создающие входные воздействия для испытываемых изделий; измерительные приборы для определения выходных величин и представления их на индикаторах, сравнения с эталонами и вывода результатов сравнения на индикаторы; печатающие устройства и стрелочные приборы прямого отсчета; оборудование, создающее внешние факторы при испытаниях изделий. Ниже рассматриваются функции всех этих групп испытательного оборудования.

4.4б. Характеристики испытательного оборудования. Рассмотрим отдельно такие характеристики испытательного оборудования, как назначение, способ управления, калибровка, отсчет показаний.

Оборудование общего и специального назначения. Испытательное оборудование обычно можно разделить на оборудование общего назначения и специальное в зависимости от того, применяется ли оно только для одного или для нескольких видов испытаний (одна-

ко четкое разграничение не всегда возможно). Вообще всегда, когда возможно, следует выбирать испытательное оборудование общего назначения, если некоторые особенности программы испытаний не требуют применения специального испытательного оборудования. Необходимость применения специального оборудования может быть вызвана следующими факторами:

1. Отсутствие в продаже испытательного оборудования общего назначения.

2. Очень большая погрешность оборудования общего назначения для рассматриваемого конкретного применения, которая может составлять значительную часть допуска.

3. Для установки оборудования общего назначения требуется очень много времени, а частота его применения для испытаний такова, что коэффициент использования испытательного оборудования в случае постоянной установки будет очень низким.

4. Время испытаний при использовании испытательного оборудования общего назначения очень велико, а частота проведения испытаний настолько высока, что расходы на конструирование и изготовление специального оборудования вполне оправдываются.

Как правило, испытательное оборудование общего назначения обеспечивает большую гибкость при организации испытаний, чем специальное оборудование, но это достигается за счет снижения эффективности испытаний. В больших разработках, когда применяется много приборов и испытательного оборудования, обычно бывает возможно выбрать специальное испытательное оборудование в тех случаях, когда это экономически целесообразно, а в других случаях использовать уже имеющееся стандартное оборудование, обеспечивая при этом всю необходимую гибкость при проведении испытаний. В небольших лабораториях этот вопрос не решается так просто. Часто принимается решение проводить вначале испытания со стандартным оборудованием, хотя это связано с увеличением стоимости испытаний по сравнению со стоимостью при использовании специального испытательного оборудования. В ходе этих испытаний определяется состав стандартного испытательного оборудования для будущих работ.

Автоматическое или ручное управление. Испытательное оборудование можно также классифицировать по способу управления или программирования его действия, т. е. в зависимости от того, управляется ли оно вручную или автоматически. Как правило, оборудование с ручным управлением требует меньших первоначальных затрат и стоимости обслуживания, но работа с ним сложнее и обходится дороже, так как требует постоянного внимания оператора. Хотя при проведении некоторых испытаний всегда требуется участие оператора (например, при испытаниях на этапе разработки, когда каждый следующий испытательный режим должен определяться на основе результатов предшествующего), в большинстве

повторяющихся испытаний дополнительные затраты на автоматизацию могут окупиться, если испытания будут продолжаться в течение года или двух лет. Возможно, что экономия, получаемая при автоматизации за счет исключения ошибок оператора при программировании и регистрации данных, имеет большее значение, чем снижение прямых затрат на оператора. Кроме того, автоматическое испытательное оборудование, как правило, выдает более воспроизводимые результаты, что облегчает обнаружение и диагностику отказов или аномальных явлений при испытаниях (и дает благодаря этому дополнительную экономию средств), обеспечивает более однородные условия испытания и более приемлемое качество изделия. Поэтому при повторяющихся испытаниях, входящих в группы 3 и 4, следует ориентироваться на использование автоматического испытательного оборудования, а оборудование с ручным управлением применять в виде исключения. Особое внимание нужно обратить на автоматическое оборудование для проведения циклических испытаний на воздействие внешних факторов, например испытаний группы 4 на ускоренное старение и на вибрации в группах 3 и 4, так как при этом может быть получена значительная экономия средств.

Форму фиксации выходных данных при автоматических испытаниях следует выбирать так, чтобы она была совместима с имеющимися на заводе счетно-аналитическими машинами и допускала непосредственный ввод результатов испытаний в вычислительные машины для быстрого анализа данных. В продаже имеется оборудование для записи данных на перфокарты или магнитную ленту, достаточно надежное и сравнительно недорогое. Его можно соединять с печатающим устройством, которое может выдавать копию записи для анализа непосредственно на месте испытаний. Такое устройство может также печатать пределы допусков для «приемки — браковки» одновременно с наблюдаемыми данными; его можно запрограммировать и для обнаружения выходов параметров за пределы допусков.

4.4в. Стандартизация испытательного оборудования. В предыдущих разделах обсуждалась необходимость совместимости испытаний не только по отдельным программам, но и по отдельным группам. Последнее особенно важно, когда изделие проходит последовательные испытания на проверку одних и тех же свойств при переходе от изготовителя к поставщику или заказчику, при монтаже во время сборки или когда изделие испытывается в различных пунктах. В таких случаях очень важно, чтобы проведение испытаний и их условия были с максимальной возможностью идентичными, чтобы исключить введение погрешностей испытаний и расхождение результатов испытаний, полученных в различных местах.

Ранее обсуждалась стандартизация методов испытаний с введением расширения допусков. Однако не меньшее значение имеет потенциальное влияние ошибок и расхождений, вносимых испытатель-

ным оборудованием, используемым в различных пунктах испытания. В идеальном случае испытательное оборудование должно быть идентичным во всех пунктах; когда это практически невозможно, то очень важно, чтобы эти расхождения не только были сведены к абсолютному минимуму, но и тщательно оценены для определения точной количественной разницы. Имеется несколько потенциальных источников погрешностей или расхождений. Вероятно, наиболее важные ошибки обусловлены различием полных сопротивлений испытательных устройств и использованием при испытаниях приборов, которые считаются одинаковыми и взаимозаменяемыми, но фактически такими не являются. Ошибки, обусловленные первой причиной, можно устранить, если поручить конструирование испытательного оборудования одной группе и дать указания об использовании одинаковых приборов и схем на протяжении всего проекта. Последнее труднее проконтролировать, так как коммерческая закупочная политика требует, чтобы при покупке стандартных приборов и оборудования использовались конкурирующие предложения. А это в свою очередь приводит к тому, что оказывается давление купить приборы, которые якобы одинаковые и взаимозаменяемые, но на самом деле такими не являются. Испытательный персонал всегда должен оказывать сопротивление такому давлению.

4.4г. Погрешности испытательного оборудования. Вопрос о существовании погрешностей испытательного оборудования нередко понимается неверно и поэтому вполне уместно рассмотреть его здесь. Любому измерительному устройству присуща собственная погрешность. Если бы об этом простом факте гвердо помнили при конструировании, составлении технических условий и применении испытательного оборудования, а также при установлении и истолковании измеряемых параметров и наблюдаемых величин, то было бы значительно меньше путаницы. Величина погрешности, как правило, составляет значительную часть допустимого или желательного поля допусков для проверяемого параметра, поэтому пренебрежение этой погрешностью может привести к значительному снижению уровня работоспособности и надежности изделия относительно желаемого. В погрешность испытательного оборудования включают не только ошибки измерительной или воспринимающей его части, но также и ошибки элементов, задающих входные воздействия и внешние факторы.

Один из наиболее часто неправильно понимаемых факторов, относящихся к погрешности испытательного оборудования, связан с точностью измерительных приборов. Например, прибор с точностью $\pm 5\%$ и полной шкалой 100 в имеет точность в любой точке шкалы ± 5 в, а это часто понимается как средняя точность отсчета $\pm 5\%$. Путем несложных рассуждений можно прийти к выводу, что измерительные приборы или шкалы показывающих приборов следует выбирать так, чтобы отсчеты производились вблизи максимальной

отметки шкалы, что позволит свести к минимуму относительную ошибку. Следует заметить, что в эту ошибку входит и ошибка оператора при отсчете, обусловленная параллаксом.

Другое обычное заблуждение состоит в том, что погрешность испытательного оборудования относят к пределам параметра. К счастью, это редко делается с механическими калибрами, где «допуск изготовителя калибра» (другое название погрешности испытательного оборудования) полностью вычитается из пределов параметра. Можно привести следующий пример правильного учета погрешности испытательного оборудования. Если изделие имеет пределы по напряжению 90 и 100 в, а погрешность испытательного оборудования равна 2 в, то изделие должно браковаться, если измерительный прибор показывает больше 98 в или меньше 92 в. Аналогично, если температура печи может быть отрегулирована только с точностью до 10°, а желательная температура для испытания равна 600°, то для того, чтобы была гарантия правильного испытания изделия, следует установить температуру печи равной 610°. Хотя это может соответствовать испытанию изделия при температуре 620°, но в случае высоконадежных изделий важно испытать их при температуре не ниже той, которая может быть в условиях эксплуатации.

У сложного испытательного оборудования всегда должна измеряться общая погрешность. Это измерение следует производить в месте сопряжения испытательного оборудования с испытываемым изделием, например между испытательными проводами и соответствующими контактами изделия (тогда в эту погрешность войдет и погрешность, обусловленная соединительными проводами и разъемами). При измерении как испытательное оборудование, так и испытываемый объект должны быть в рабочем состоянии. В некоторых случаях погрешность может быть вычислена, что очень ценно на стадии конструирования испытательного оборудования. Но перед использованием этого оборудования по назначению следует произвести измерение его погрешности с целью проверки вычислений. Для проверки допускается использовать статистические методы объединения отдельных погрешностей, вносимых различными элементами испытательного устройства (суммирование по методу определения среднеквадратичного значения). На фиг. 4.10 приведен образец сообщения об анализе погрешностей испытательного оборудования, дающий представление о способе анализа и объединения отдельных погрешностей для получения общей оценки.

4.4д. Калибровка испытательного оборудования. Развивающаяся в последние годы автоматизация систем оружия, особенно управляемых снарядов, космических кораблей и торпед, существенно повысила значение калибровки испытательного оборудования. Это объясняется возросшим числом поставщиков, изготовителей и других организаций, находящихся в различных пунктах и выполняющих испытания различных элементов этих систем. Ясно, что испы-

тательное оборудование, используемое в этих многочисленных пунктах, без принятия специальных мер не дает надежных и сопоставимых результатов.

Мы уже рассматривали некоторые факторы, вызывающие несовместимость результатов испытаний. Главный из них — это нарушение требований о проведении калибровки испытательного оборудования по измерительным эталонам, проверенным Национальным бюро стандартов США. Такие нарушения иногда приводят к катастрофическим отказам, например при испытаниях управляемых снарядов, когда запуски оказываются неудачными потому, что сам снаряд и наземная аппаратура управления были прокалиброваны по разным стандартам. Проведена большая работа, в частности органами Министерства обороны США, по разработке системы калибровки и программ, которые исключали бы возможность таких расхождений.

Калибровкой называется сравнение показаний измерительного прибора с известным эталоном (вторичным), который сам прокалиброван по первичному эталону, сверенному с эталоном Национального бюро стандартов. Важно, чтобы *все* испытательное и измерительное оборудование, применяемое при разработке высоконадежных изделий, включая и оборудование, используемое на этапе исследований, подвергалось калибровке по лабораторным эталонам через определенные интервалы времени. Эти интервалы должны устанавливаться группой, отвечающей за надежность или качество испытательного оборудования, на основе анализа данных об изменении погрешностей оборудования и приборов с течением времени или при использовании.

Обычно требуется установление системы *обязательного* проведения повторных калибровок, потому что почти всем операторам испытательного оборудования свойственно нежелание проводить эти калибровки. Обязательность в такой системе состоит в том, что поверочной лаборатории руководством представляется право принудительного изъятия прибора из испытательного помещения в лабораторию, когда это необходимо. (Для того чтобы провести такую операцию практически, обычно бывает необходимо иметь в распоряжении лаборатории комплекты запасных прокалиброванных приборов для замены.)

Большинство крупных промышленных фирм и правительственных ведомств имеют в настоящее время собственные поверочные лаборатории, поэтому персоналу, проводящему испытания, необходимо только своевременно ставить в известность эту лабораторию о всех предстоящих новых (и трудных) измерениях и требующихся для этого дополнительных эталонах и методиках калибровки.

В мелких фирмах и ведомствах иметь собственную поверочную лабораторию считается экономически не выгодным, поэтому они должны пользоваться услугами коммерческих лабораторий. Суще-

Название оборудования Станция 52×220 для испытания ги- роагрегатов управления полетом			Перечень параметров Документ № 22551, ч. IV		Подготовил (подпись)	Одобрил (подпись)	Стр. 1 из 4	
Чертеж оборудования № 2334536			Испытательная точка № 201		Проверил (подпись)	Представитель заказчика (подпись)		
			Данные подготовлены 26.8.63					
Функции			Измерительные приборы			Отношение T_2/T_1	Формула погрешности	Оконча- тельное предель- ное по- казание
название	номи- нальное значе- ние	до- пуск (T_2)	описание	точность (T_1)				
				полная шкала	в точке измерения			
Выходной сигнал гироскопа (двой- ная амплитуда) § 1.3	968 мв	Макс.	3165/2 фирмы „Ballantine“	±3% от показания	±28,8 мв	Нет данных	$(3 \cdot 10^{-2}) (968) = 28,8 \text{ мв}$	939 мв
Совпадающая по фазе составля- ющая § 1.4	90 мв	Макс.	151R фирмы „Keithley“ измери- тельной панели	3% от показания, 3% от пол- ной шкалы Всего	3 мв 7 мв 10 мв	То же	$(3 \cdot 10^{-2}) (90) = 2,7 \text{ мв} +$ + погрешность блока	80 мв
Потребляемая входная мощность § 2.1	115 в (пер.ток)	±1%						
Мощность враще- ния	400 гц 15,0 вт	±2,5 вт	Voltron № 20.035	2% от пол- ной шкалы	±0,40 вт	6,0	$(2 \cdot 10^{-2}) (20 \text{ вт}) = 0,4 \text{ вт}$	15±2,1 вт
Коэффициент мощности	0,960	Макс.	Voltron № 20.036	То же	±0,02	Нет данных	Полная шкала=1; 2%=0,02	±0,980
Время нараста- ния мощности враще- ния	50 сек	Макс.	Реакция оператора	„ „	±1 сек	То же		49 сек

Сопротивление изоляции § 3.2	500 в (пост.ток) 40 Мом мнн.		Wiley 5P—2P.S.	±2%		„ „		
Выходная частота § 4.3	36 гц	+5,5 гц	Micro Gee 64A		0			
			Bechman 7350		±0,5 гц	11/1	0,5	36±5,0 гц
Коэффициент затухания на частоте 36 гц	0,70	±0,15	Micro Gee 64A Data Log 204A	5% от по- казания	Табл. 1 для ошибок T/ξ в зависимо- сти от ча- стоты	Нет данных		
на частоте 50 гц	0,84	±0,39	Анализатор следящих систем					
Чувствительность, совпадающая по фазе и гармони- ческая составля- ющие 5.2.1. 75°/сек	8 в	±650 мв	Gemisco C181	0,1% от показания	±8,0 мв			8000± ±641,3 мв
			Gertsch ACRB	0,007% от полной шкалы Всего	±0,7 мв			
					±8,7 мв	78:1		

Ф и г. 4.10. Сообщение об анализе погрешностей испытательного оборудования.

ствуют три основных вида калибровки: 1) калибровка отдельных измерительных приборов, калибров, источников питания; 2) калибровка систем для сложных испытаний или оборудования для испытаний на воздействие внешних факторов; 3) калибровка эталонов.

Отдельные приборы доставляются для калибровки в поверочную лабораторию через определенные интервалы, например через один или три месяца. К прибору прикладывается ярлычок, в котором указывается дата проведенной калибровки и дата следующей калибровки. Персоналу лаборатории даются полномочия проверять сроки калибровки всех применяемых при испытаниях приборов. При наличии фонда резервных приборов все они должны быть прокалиброваны и проходить повторную калибровку в лаборатории с такой же периодичностью, что и приборы, находящиеся в использовании. Если тот или иной отдельный прибор входит в состав сложного испытательного устройства, находящегося в постоянной эксплуатации, то экономически выгодно производить калибровку только той шкалы многошкального прибора, которая используется в устройстве. *при условии* что на приборе будет четко указано, что используется только эта шкала.

В тех случаях, когда для высокочастотных измерений используются большие стационарные устройства или чувствительные приборы с подвижной катушкой, может оказаться необходимым, чтобы персонал, выполняющий калибровку, доставлял эталоны из поверочной лаборатории к месту нахождения измерительного устройства или прибора вместо проведения калибровки в лаборатории. При этом должны быть приняты все меры к созданию оптимальных условий для калибровки, чтобы обеспечить максимальную точность.

Калибровка сложных измерительных систем и устройств для испытаний на воздействие утяжеленных внешних условий обычно выполняется на месте, хотя некоторые стойки и отдельные приборы могут быть доставлены в лабораторию. Вообще экономически целесообразно отказаться от калибровки отдельных измерительных приборов и устройств таких сложных систем (при условии, что они были прокалиброваны перед первой установкой). Очень важно, чтобы калибровка выполнялась в точках подключения испытательных проводов или в месте приложения внешнего воздействия, чтобы погрешности, вносимые проводами и переключателями, а также входными устройствами, были обнаружены в процессе калибровки. С целью контроля должны быть опечатаны все двери, панели, съемные приборы и аппараты и установлен порядок их вскрытия, гарантирующий, что любые изменения и нарушения будут обнаружены и при необходимости будет выполнена повторная калибровка. Период повторной калибровки сложного испытательного оборудования должен устанавливаться на основе тщательного анализа данных об уходе его параметров, но вначале его можно взять равным наиболее короткому периоду калибровки любого стандартного оборудо-

вания, входящего в испытательную систему. Для успешного выполнения калибровки таких сложных систем существенно иметь детально разработанную методику, формы для регистрации данных до и после калибровки. Контроль за выполнением этой методики должен быть возложен на беспристрастную инспекционную группу.

Калибровка эталонов может быть двух видов: 1) сравнение с другими такими же эталонами, имеющимися в лаборатории; 2) сравнение с эталонами более высокой точности, поверенными по эталонам Национального бюро стандартов. Калибровка первого вида выполняется очень просто и не требует больших затрат; ее применение резко снижает частоту поверок вторичных эталонов по эталонам высокой точности. Поверка эталонов является нормальной практической процедурой, и инспекционная группа должна иметь полномочия на ревизию всех эталонов во всех звеньях, начиная от низовой поверочной лаборатории до Национального бюро стандартов, чтобы обеспечить выполнение измерений при испытаниях с заданной точностью.

Так как впервые калибровку стали применять в метрологии (механические измерения длины), где ее легко было осуществить благодаря небольшому диапазону измерений, то было установлено минимальное отношение точностей на двух ступенях калибровки, равное 10:1. Например, набор микрометров, имеющих точность $\pm 0,0001$ см, был прокалиброван по комплекту калибров, имеющих точность $\pm 0,00001$, а этот комплект по другому с точностью $\pm 0,000001$ и т. д. По мере того как калибровка распространялась на другие области измерений, стало очевидным, что точность, требуемая от многих технических приборов, почти такая же, как точность эталонов, поверенных Национальным бюро стандартов, и поэтому невозможно иметь два или три эталона с отношением точностей 10:1.

Так как Национальное бюро стандартов не в состоянии организовать массовую службу калибровки (и не может принимать приборы для калибровки в больших количествах непосредственно с мест испытаний), были проведены исследования с целью выяснения влияния некоторого снижения оптимального отношения, равного 10:1. Результат исследований показал, что отношение, равное 4:1, дает хороший экономический баланс стоимости калибровки и стоимости бракованных материалов вследствие неточности измерений. Дальнейшие исследования показали, что на точность технических измерительных приборов относительно точности соответствующих национальных эталонов наибольшее влияние оказывает калибровка, проводимая на низшем уровне, и что отношение 4:1 следует выдерживать только на этом уровне. Это приведет лишь к незначительному снижению точности технических измерений.

Обсуждение вопроса о калибровке испытательного оборудования будет не полным, если не сказать хотя бы несколько слов о кон-

троле за выполнением калибровки стандартной измерительной аппаратуры и специального испытательного оборудования. Калибровка обычно выполняется высококвалифицированным персоналом, способным строго и точно выполнять письменные инструкции. Погрешности и ошибки, которые происходят при переоценке такой способности, часто оказываются катастрофическими, особенно в тех случаях, когда разработчики считают, что калибровка выполнена правильно.

Контроль за проведением калибровки следует возлагать на другую беспристрастную группу, которая будет следить за разработкой подробной методики калибровки и соблюдением ее лабораторным персоналом, проводящим калибровку. Эта методика должна быть достаточно детализированной с широким использованием монтажных схем и приложением форм для записи показаний приборов до и после калибровки и установленных погрешностей. (Показания до калибровки важны в том отношении, что они позволяют установить скорость изменения точности и определить периоды повторной калибровки для каждого отдельного прибора.) Методика калибровки, разработанная изготовителями приборов, оказывается не всегда достаточно подробной и ее часто приходится перерабатывать.

4.4е. Повышение прочности испытательного оборудования. Как правило, считается, что повышение прочности испытательного оборудования не входит в функции подразделения надежности (за исключением тех сотрудников этого подразделения, которые непосредственно занимаются надежностью самого испытательного оборудования). Чаще это рассматривается как вопрос затрат на поддержание оборудования в рабочем состоянии. Ввиду такого неправильного понимания испытательное оборудование, применяемое на этапе исследований и разработки, часто рекомендуется для производственных и полевых испытаний без учета различия этих испытаний. Это может иметь два важных последствия, ухудшающих надежность изделий. Наиболее очевидное из них состоит в том, что могут быть произведены неточные измерения или установлены неправильные уровни внешних факторов и будут введены ошибки в данные о рабочих характеристиках или регулировках изделия. Второе, менее очевидное, но, возможно, более серьезное последствие заключается в том, что не соответствующее назначению испытательное оборудование не может работать непрерывно и согласованно, в результате чего руководство разработкой теряет доверие к испытательному оборудованию и оказывает давление на подразделения надежности и контроля качества, чтобы добиться их согласия на отказ от испытаний и получить возможность выдержать установленные сроки разработки проекта.

Эффект отказа от испытаний в интересах выполнения сроков разработки проекта очевиден. Поэтому в целях повышения надежности изделий нужно уделять большое внимание улучшению проч-

ности испытательного оборудования. При этом должна быть проявлена осторожность в том, чтобы при переходе к более прочным измерительным устройствам или оборудованию для испытаний на воздействие утяжеленных внешних факторов не вносились необнаруживаемые изменения в испытания. Такие изменения не позволяют производить непосредственное сравнение результатов испытаний на этапе исследований и разработки с результатами, накопленными после перехода к более прочному оборудованию. Чтобы решить этот вопрос, можно провести сравнительные испытания, т. е. испытать одно и то же изделие на старом и новом испытательном оборудовании и тщательно сравнить результаты перед тем, как окончательно вводить в эксплуатацию новое оборудование.

При сильном ограничении ассигнований на проект его руководство всячески противодействует повышению прочности испытательного оборудования, а также разработке подробных конструкторских чертежей для производства такого оборудования. Но подразделение надежности должно преодолеть это противодействие. Для сведения к минимуму затрат на повышение прочности испытательного оборудования подразделение надежности должно внимательно рассматривать проекты оборудования для испытаний на этапе исследований и разработки и добиваться того, чтобы в нем было применимо как можно больше элементов и материалов, соответствующих военным стандартам, а конструкторские чертежи были достаточно детальными и полными. Хотя такой подход несколько повышает стоимость оборудования для испытаний на этапе исследований и разработки, но зато он дает значительную экономию для всего проекта благодаря уменьшению затрат на переконструирование и переделку испытательного оборудования с целью увеличения его прочности и повышению качества испытаний на этапах исследований и разработки, а также производственных испытаний.

4.5. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

Одно из трудных решений, которые приходится принимать руководству по проведению испытаний, связано с проблемой: проводить ли различные виды испытаний, входящие в программу по надежности, в своей фирме или привлекать для этого внешние организации. Непосредственно связанные с этой проблемой экономические факторы нетрудно оценить обычными методами расчетов и анализа, поэтому в дальнейшем рассмотрении их здесь нет необходимости. Однако полезно обсудить многие трудно учитываемые факторы, которые более сложно анализировать и которые часто опровергают или по крайней мере изменяют экономические соображения.

Можно утверждать, что, как правило, практика руководства состоит в том, чтобы выполнить максимально возможное количество испытаний внутри фирмы. Во-первых, такая практика обеспечивает

максимальное использование капиталовложений и занятость рабочей силы. Все планы и расписания легче контролировать и можно достигнуть большей гибкости в их выполнении. Последнее особенно важно для программ испытаний на этапе исследований и разработки, когда объем и ход испытаний очень трудно заранее предвидеть, так как они почти целиком зависят от того, насколько успешно разработана конструкция конкретного изделия. Управление условиями и порядком проведения испытаний, а также связь лаборатории с другими организационными звеньями легче осуществлять и поддерживать при проведении испытаний в фирме, что всегда дает более качественные результаты. Во-вторых, проведение испытаний внутри фирмы исключает необходимость обучения «чужого» персонала принятым в фирме методам, стандартам, системам технического и финансового руководства, что приводит к снижению потерь времени, уменьшению повторений испытаний и вообще к более удовлетворительной организации работ. И, наконец, способности и возможности фирмы в проведении испытаний вообще улучшаются и возрастают по мере расширения испытаний, проводимых внутри фирмы, что ставит ее в лучшее положение в конкурентной борьбе за получение новых проектов.

Однако существуют факторы, которые часто диктуют необходимость принятия решения о проведении испытаний вне фирмы. Решающим фактором может быть время. Испытательная лаборатория фирмы может не располагать достаточными техническими средствами, квалифицированным персоналом и возможностями для выполнения части или всех требуемых испытаний, а время, необходимое для обеспечения условий успешного проведения испытаний, значительно больше, чем может быть выделено в рамках проекта. Или при достаточном резерве времени испытания могут быть очень специальными по своему характеру, а вероятность их повторения в дальнейшем настолько мала, что экономически нецелесообразно организовывать их проведение внутри фирмы. Это особенно верно в том случае, когда затраты на такие испытания сравнительно велики. Иногда очень строгий заказчик может потребовать, чтобы испытания проводились во внешней лаборатории для получения беспристрастной оценки выполнения проекта, или он может иметь свою лабораторию и решит проводить испытания в ней, исходя из финансовых соображений.

При испытаниях на этапе исследований и разработок могут быть очень большие пики и спады загрузки запланированными или фактическими испытаниями и для фирмы может быть более экономичным использовать коммерческие лаборатории для покрытия пиков проведения части испытаний. В крупных фирмах, состоящих из нескольких филиалов, лаборатории некоторых отделов могут иметь очень низкий коэффициент загрузки, и руководство фирмой может передать определенную часть испытаний этим лабораториям. Это

дает известную выгоду, так как к проведению испытаний будут привлечены компетентные внешние лаборатории, знакомые с деловой организацией фирмы, которым можно оперативно поручать выполнение незапланированных и срочных испытаний.

Согласно классификации, приведенной в подразделе 8.2д, испытания группы 4 и официальные испытания группы 1 очень хорошо подходят во многих случаях для проведения их в коммерческих лабораториях. Это особенно относится к повторяющимся испытаниям на срок службы и ускоренным испытаниям на срок службы по обеим группам. Испытания на этапе исследований и разработки, а также испытания на проверку возможности реализации конструкции в группе 1 всегда, когда это возможно, должны проводиться внутри фирмы, и вообще благоразумно не включать испытательную лабораторию фирмы в планы и расписания, чтобы иметь резерв незапланированного времени для проведения непредвиденных испытаний этих категорий. Испытания группы 3 (по проверке качества) ввиду их очень тесной связи с производственным процессом также должны проводиться внутри фирмы, особенно испытания на воздействие окружающих условий. Повторные квалификационные испытания могут быть разделены, и те из них, которые требуют использования внешних факторов, не имеющих в лаборатории фирмы, должны быть поручены внешним лабораториям.

Не удивительно, что руководители фирменных испытательных лабораторий обычно возражают против проведения испытаний поставщиками. Но в действительности вполне приемлемые испытательные программы по приемлемой цене могут быть переданы по контрактам, если они будут выполняться тщательно отобранными поставщиками, с которыми установлены и поддерживаются хорошие деловые связи в течение длительного периода времени. Для большинства программ, связанных с высокой надежностью, контракт, основанный на учете фактических затрат времени и средств, более предпочтителен, чем контракт на фиксированную сумму, так как последний может нарушить гибкость, требующуюся для проведения программы при изменениях изделия или возникших трудностях.

При любом типе контракта подразделению надежности очень важно иметь своего представителя в лаборатории каждого поставщика не только для осуществления тесной связи и руководства, но также и для контроля за работой поставщика. Все операции при испытаниях, принятые в фирме, включая калибровку всего испытательного оборудования, подготовку, контроль за всеми изменениями отдельных процедур и форм для записи данных, аттестация операторов и независимая инспекция, должны выполняться поставщиками еще более строго. Может оказаться желательным, чтобы разработанная поставщиком методика была рассмотрена, одобрена и утверждена в фирме-заказчике.

Один из важных резервов для проведения внешних лабораторных испытаний, о котором часто забывают, имеется в университетах и государственных ведомствах, в частности в различных учреждениях Министерств обороны, Армии и Флота. Хотя эти учреждения заключают контракты только по фактической затрате времени и средств, опыт показывает, что стоимость выполненных ими работ такая же, как и в промышленных испытательных лабораториях. Привлечение таких учреждений дает определенные преимущества. Они проводят испытания беспристрастно, многие из них имеют специализированное оборудование и квалифицированные силы, предназначенные для проведения исследований военного характера, чем не могут располагать коммерческие лаборатории, работа которых в целях получения большей прибыли основана на максимальном использовании ограниченного количества оборудования общего назначения. Конечно, следует учитывать и то, что правительственная работа с высшим приоритетом может в любое время нарушить согласованные планы проведения испытаний в военных лабораториях без всякой компенсации. Но руководство этих лабораторий, как правило, достаточно хорошо информировано о предстоящей загрузке по испытаниям, и поэтому они могут выполнить и выполняют взятые на себя обязательства.

Несколько предупредительных слов следует сказать об университетских лабораториях. Рекомендуется выяснить квалификацию персонала, который будет выделен для проведения конкретного испытания, так как университеты обычно стремятся использовать возможно больше студентов последних курсов на работах в лабораториях с тем, чтобы они получили максимальную практику. С этим можно согласиться только в том случае, если работой студентов будут руководить квалифицированные специалисты, с соотношением один к одному, что вполне приемлемо.

4.6. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

Много ценного из каждой конкретной фазы разработки изделия может быть потеряно, если за тщательным планированием и подготовительными работами не последует квалифицированное изготовление. Так, и хорошо разработанная программа испытаний, хотя и обеспеченная правильно сконструированным и откалиброванным испытательным оборудованием, подробной методикой и высококвалифицированным персоналом, может потерять свою ценность, если испытания будут проведены без строгого соблюдения дисциплины. Руководители должны принимать активные меры для предотвращения небрежного проведения испытаний. Персонал, проводящий испытания, всегда должен сознавать важность и необходимость порученной ему работы и необходимость выполнения ее с большой тщательностью. Должна быть также установлена эффективная си-

стема для проверки и оценки качества работы и выявления случаев неприемлемой практики.

Та же техника контроля качества, которая используется при разработке проекта и производстве изделия, должна применяться и к программе испытаний. Важно также, чтобы руководители программы испытаний согласовывали свои планы и обязательства с другими организациями, так как иначе высшему руководству проектом придется изобретать способы продвижения вперед без программы испытаний на надежность, несмотря на очевидную опасность, которой в результате этого подвергаются качество и надежность изделия. И, наконец, вся задача должна выполняться эффективным образом, чтобы сэкономить средства для других важных аспектов проекта.

Короче говоря, руководители программы испытаний на надежность должны принять на себя ответственность за проект как вполне компетентные и полноправные члены общего руководства. При этом они должны понимать, что, сохраняя независимость и беспристрастность в своих технических суждениях о качестве испытываемых изделий, они в то же время должны действовать в духе сотрудничества, иначе их технические заключения утонут в волнах возмущения сотрудников планового, конструкторского и производственного подразделений.

Проводимое в следующих разделах обсуждение ряда вопросов не является попыткой охватить все стороны руководства программой испытаний, так как общие принципы руководства здесь такие же, как и в других областях. Вместо этого внимание концентрируется на слабых местах, которые влияют на качество испытаний. В круг рассматриваемых вопросов входят планирование, рабочая нагрузка и продвижение вперед; регистрация данных; проверка испытательного оборудования; регистрация изменений в ходе испытаний; истолкование результатов; функции инспекции; контроль за проведением испытаний; диагностика отказов; организационные вопросы.

4.6а. Планирование, рабочая нагрузка и продвижение вперед. При разработке высоконадежных изделий общая программа испытаний на надежность требует очень больших затрат, составляющих до 35% от всей стоимости проекта (в некоторых проектах ее выполнение обходится в миллионы долларов). Вследствие этого разработка и осуществление программы не только заслуживают, но и требуют высокого организованного подхода. Ввиду важности решаемых задач и многообразия видов испытаний должна быть применена вся современная техника управления и контроля, включая сетевое планирование. Руководители разработок должны постоянно иметь информацию о положении дел.

Учитывая важное значение программы испытаний и ее большой удельный вес во всем проекте, руководство не должно проявлять

недальновидность, прибегая к экономии средств на организацию планирования выполнения этой программы. Так как эта работа фактически выполняется широким кругом подразделений, то целесообразно создать для административного планирования комиссию, состоящую из выделенных представителей от основных служб. Каждый из них должен быть уполномочен принимать решения по таким пунктам, как подготовка общих планов, разработка подробной методики, конструирование испытательного оборудования, представление образцов для испытаний, проверка испытательных станций, подготовка отчетов об испытаниях, анализ данных. Должны быть составлены оперативные карты и выделена специальная группа контроля за ходом испытаний, которая будет проверять выполнение обязательств каждой службой. Руководство должно сосредоточить свое внимание на слабых местах и своевременно принимать решительные меры. Испытания, которые не могут дать результатов ко времени принятия решений по конструкции изделия или началу его производства, может быть, лучше не проводить независимо от того, насколько важны были бы их результаты.

На этапе планирования и подготовки испытаний значительное внимание должно быть уделено получению всей необходимой документации. Сюда относятся в первую очередь технические условия и чертежи изделия, так как именно в этих документах содержатся основные критерии, которые должны проверяться и определяться в процессе испытаний. Эта техническая документация должна поступить своевременно, чтобы можно было изготовить изделия для испытаний. Хотя для контроля за ходом испытаний будет назначена группа от конструкторского подразделения, руководство программой испытаний должно независимо следить за отработкой и поступлением технической документации и постоянно пересматривать планы проведения испытаний с целью компенсации неизбежных задержек поступления документации.

Почти всегда необходимо проводить подготовительные работы до получения технической документации. Это в первую очередь относится к разработке методики испытаний, конструированию испытательного оборудования и изготовлению образцов для испытаний. Эти работы должны начинаться на основе предварительных данных о конструкции изделия. Конечно, следует учитывать, что такой подход связан с определенным финансовым риском, но при ограниченных сроках разработки проекта такой риск необходим для обеспечения своевременного выполнения программы испытаний.

Конечной целью контроля является гарантия того, что все необходимое для проведения запланированного испытания поступит в установленное время. Эта аксиома кажется настолько очевидной, что ее и не следовало бы здесь формулировать, однако подразделения планирования и обеспечения забывают о принципе «все до гвоздя» и часто не обеспечивают испытания требующимися материала-

ми, персоналом, оборудованием, документацией или необходимыми средствами. Необходимость полноты материального обеспечения испытаний очевидна, но опыт показывает, что испытания часто задерживаются и откладываются из-за невыполнения какого-либо одного пункта в длинной заявке. Вот почему должна быть создана специальная группа, наделенная соответствующими полномочиями, единственной задачей которой должно быть материальное обеспечение программы испытаний. Разделение ответственности за это обеспечение среди специалистов из различных служб (по конструкции, производству, испытательному оборудованию и т. д.) не оправдало себя.

Ранее уже было сказано, что полная ответственность за получение окончательных технических результатов по всей программе испытаний на надежность должна быть возложена на службу обеспечения надежности и контроля качества с тем, чтобы эти результаты были сопоставимыми и максимально полезными. На службу надежности следует также возложить полную ответственность за планирование, определение стоимости и выполнение общей программы испытаний на надежность, чтобы достичь максимальной эффективности испытаний и получения максимального количества полезной информации по плану, согласованному с общим планом выполнения проекта. В пользу такого решения можно привести два довода.

1. Ответственность должна быть возложена на одно организационное подразделение, потому что программа испытаний включает в себя огромное количество взаимосвязанных требований, в том числе технических, финансовых, относящихся к планам, срокам, регистрации данных, испытательному оборудованию, испытываемому изделию и т. д. Все эти требования должны быть скоординированы и сведены к оптимальному варианту на основе согласования и компромиссов. Каждый из перечисленных аспектов должен быть тщательно проанализирован на протяжении всей программы испытаний. Решения следует принимать с учетом того, какие показатели надежности желательно получить в результате выполнения программы испытаний в целом. Распределение ответственности между несколькими организационными подразделениями не позволит достичь оптимального решения.

2. Ответственность следует возложить на службу надежности потому, что испытания должны контролироваться беспристрастной третьей стороной, не принимающей непосредственного участия в разработке или производстве изделия. Даже наиболее объективный руководитель разработки или производства, стоящий за высокое качество изделия, под давлением своего оперативного подразделения будет стремиться «отделаться» от программ или результатов испытаний, ставящих его в критическое положение. С другой стороны, руководитель службы надежности должен осознать, что если он

принимает на себя полную ответственность за программу испытаний, то он отвечает перед фирмой за проект не только в части надежности и качества и поэтому должен относиться с необходимым вниманием и пониманием к проблемам конструирования и производства. Если он этого не делает, то его деятельность и руководимая им программа окажутся неэффективными.

4.66. Проверка испытательного оборудования. Испытания в настоящее время стали значительно сложнее и труднее. Это объясняется прежде всего возросшей сложностью потребительских товаров, оружия и космических систем, сопровождающейся повышением требований к их качеству и надежности и гарантий выполнения этих требований. Необходимость высокой гарантии качества бытовой и промышленной аппаратуры обусловлена требованиями потребителей, а для оружия и космических систем — широким внедрением автоматизации, исключающей возможность вмешательства оператора в случае отказа оборудования, что приводит к очень высоким, почти невыполнимым требованиям по надежности.

Эти тенденции привели к необходимости проведения испытаний на всех этапах производственного процесса и проверки при этих испытаниях большего количества характеристик и параметров изделий. Требование безотказной работы оборудования при более суровых внешних условиях, чем встречавшиеся ранее, вызвало необходимость проведения всесторонних испытаний на воздействие внешних факторов на этапах разработки, производства и сдачи изделия в эксплуатацию. Стремление к оптимизации конструктивных решений с переходом к более сложному функциональному оборудованию, большей плотности монтажа элементов, более высоким нагрузкам на элементы и материалы с соответствующим снижением коэффициентов запаса, а также все большее усложнение функциональных характеристик привели к требованию повышения точности испытаний ввиду очень жестких пределов допусков на параметры изделия. Чтобы удовлетворить этим более сложным требованиям, конструктор испытательного оборудования должен разрабатывать более сложное и вместе с тем более точное оборудование.

Проблема конструирования испытательного оборудования еще более усложняется сжатыми сроками выполнения разработок, что стало уже считаться нормальным явлением. Поэтому конструктор испытательного оборудования не имеет возможности откладывать начало своей работы до получения твердых данных о конструкции подлежащего испытанию изделия. Необходимость более строгих и точных испытаний проявляется также и на этапе исследований и разработок, поэтому программа разработки испытательного оборудования должна выполняться параллельно с программой разработки самого изделия, а не вслед за ней. Это требует от конструктора испытательного оборудования предположительной оценки развития конструкции изделия, чтобы предоставить оборудо-

вание для испытаний опытного образца ко времени его готовности.

Все это приводит к тому, что испытательное оборудование, поставленное для различных программ испытаний на надежность, оказывается недостаточно отработанным, так как не хватает времени для его проверки на испытаниях макетного образца перед основными испытаниями, для которых оно предназначено. В связи с этим программа проверки испытательного оборудования должна планироваться как первая часть любой испытательной программы. Эта проверка состоит в тщательном испытании испытательного оборудования на месте его установки с макетным образцом изделия, если таковой имеется, или в крайнем случае с действительным изделием. Она имеет целью установить, действительно ли испытательное оборудование проверяет все параметры, которые оно должно проверять, в заданной последовательности и с установленной точностью.

Эта проверка состоит из серии испытаний, начинающейся с холостого испытания (т. е. при подведении энергии к испытательному оборудованию, но без соединения его с испытываемым изделием), за которым следуют испытания по частям без испытываемого образца и с ним и наконец полное испытание оборудования в его окончательном виде. Во время этих испытаний проверяется также и методика калибровки с внесением поправок по ходу испытаний с тем, чтобы к началу действительных испытаний изделия была готова проверенная и исправленная копия описания методики. Хотя вся эта процедура может показаться обременительной и ненужной мерой предосторожности, однако опыт показывает, что при проведении проверки такого рода обнаруживается очень много дефектов и неполадок. Почти ни одна страница описания методики проведения испытаний или калибровки не остается без подчеркнутых красными чернилами ошибок, многие из которых привели бы к повреждениям испытываемых изделий или к неправильным и неточным результатам испытаний. Точно так же обычно остается лишь немного элементов испытательного оборудования и кабельной проводки, которые не требовали бы ремонта, переделки или переконструирования.

4.6в. Регистрация данных. Так же как в программе испытаний высоконадежных изделий было бы неоправданной глупостью дать инспекторам единственное указание «проверять все по синькам», также безрассудно было бы дать техническому персоналу, направляемому для проведения испытаний, только одно указание: «записывать все данные». Очевидно, что должны быть разработаны детальные инструкции как по инспектированию, так и по регистрации данных. Если используется автоматическое испытательное оборудование с автоматической печатью результатов испытаний, то по крайней мере некоторую часть работы, связанную с составлением

инструкции по регистрации данных, можно считать выполненной, но далеко не всю. Должно регистрироваться еще много «смежной» информации, которая не фиксируется автоматическими печатающими устройствами. К такой информации относятся формальные данные, касающиеся испытываемого элемента (его серийный номер, точная форма, дата получения) и испытаний (дата испытания, фамилии операторов и инспекторов, участвующих в испытаниях, символы, обозначающие используемый метод испытаний), а также технические данные, не выводимые на печать (серийный номер испытательного оборудования, его состав, дата последней калибровки, окружающие условия в лаборатории, включая температуру и влажность воздуха, напряжение питания). Если применяется испытательное оборудование без автоматической печати результатов, то должны регистрироваться не только эти данные, но и все результаты испытаний. Особенно важно, чтобы данные записывались последовательно, в принятых единицах измерения, а также чтобы была возможность проверить во время испытаний, что все данные, которые нужны, регистрируются.

Недостаточно полагаться на то, что квалифицированный персонал лаборатории, проводящий испытания, знает, какие данные нужно записывать. Для каждого испытания должна быть отпечатанная форма записи данных или книга, заведенная инженером по испытаниям, с четкими графами, содержащими указания, какие данные должны в них регистрироваться и как их расшифровывать. Очень хорошо, если к разработке таких форм будут привлечены сотрудники службы инженерной психологии, чтобы свести к минимуму возможные ошибки путем оптимизации вероятности правильного понимания этой формы техническим персоналом, проводящим испытания. Графы в формах записи результатов должны быть сгруппированы так, чтобы данные, записываемые до испытаний, были собраны и расположены в одном месте перед экспериментальными результатами. Размеры граф для записи должны соответствовать объему и характеру желаемых данных и везде, где это можно, должны быть отпечатаны возможные варианты записи, чтобы оператору оставалось только выбрать один из них. Единицы измерения должны быть напечатаны в графах большими буквами, бросающимися в глаза, а пустые места для регистрации данных должны легко различаться, что позволит быстро произвести запись и облегчить проверку при контроле.

Отказываться от работы по подготовке полной и хорошо продуманной формы для регистрации данных в целях экономии было бы неразумным, так как это может неизбежно привести к необходимости повторения испытаний, потере времени и увеличению общей стоимости проекта. Нужно еще помнить следующую аксиому: если руководитель не предпринимает мер к предотвращению ошибок, то кто-нибудь обязательно совершит их.

4.6г. Регистрация изменений в ходе испытаний. Как бы хорошо ни было спланировано то или иное испытание, при его проведении всегда возможны отклонения от намеченных сроков и методов. Эти отклонения случаются на каждом этапе испытаний. Испытываемое изделие может иметь несколько иную схему, чем предполагаемая при разработке программы испытаний; может не оказаться нужного испытательного оборудования и потребуются замена; оператор по ошибке нажмет не ту кнопку или неправильно присоединит провода; окружающие лабораторные условия выйдут за установленные пределы, что потребует изменения метода проведения испытаний; входные внешние факторы не точно регулируются и по тем или иным причинам их нельзя изменить в заданных пределах; к началу испытаний доставлено вместо, например, четырех образцов только три и т. д. Этот перечень можно было бы продолжать до бесконечности.

Предусмотрительный руководитель испытаний с самого начала должен учитывать возможность таких изменений, а также то, что он не может исключить их в административном порядке или задержать испытания до устранения нарушений. Поэтому он должен установить порядок контроля и регистрации изменений. Вопросы контроля будут рассмотрены в подразделе 4.6ж. Здесь же речь пойдет о регистрации изменений.

Так как возможность изменений является аксиомой, то очень важно, чтобы персонал, проводящий испытания, планирующий и контролирующий программу испытаний и обрабатывающий или использующий результаты испытаний, сознавал это. В каждом отчете об испытаниях должен быть раздел, специально предназначенный для записи информации об этих изменениях. Его следует намеренно помещать в начале отчета, чтобы все, кто им пользуется, обязательно обратили внимание на этот раздел. В форме для записи результатов испытаний также должно быть предусмотрено место для регистрации изменений в ходе испытаний. Операторам, проводящим испытания, должно быть внушено, что регистрация изменений в ходе испытаний не означает разрешения делать ошибки, а является средством информации заказчиков и потребителей о результатах испытаний, проведенных в несколько других условиях, чем были запланированы, чтобы обеспечить правильный анализ и использование данных испытаний. Проблема состоит в том, чтобы установить на всех этапах организации испытаний такой порядок, который исключал бы попытки персонала скрыть совершенные им ошибки. Персоналу, проводящему испытания, должно быть внушено, что попытки скрыть эти неизбежные отклонения и изменения нельзя считать такими же безобидными, как попытки застенчивой жены скрыть свои расходы от мужа.

4.6д. Истолкование результатов испытаний. Ценность испытаний в значительной мере зависит от интерпретации их результатов. Если, например, периодически проводятся испытания серийно изготавливаемых изделий и в процессе этих испытаний не определяется тенденция изменения данных, то окажется неиспользованной и потерянной важная сторона этих испытаний, оценка тенденций изменения процесса и возможность предсказания выхода процесса из-под контроля и управления. Аналогично, если данные испытаний по оценке конструкции будут анализироваться только разработчиком, который «хочет», чтобы эти данные подтвердили правильность выбранного им решения и показали, что конструкция удовлетворяет поставленным требованиям, то многие аномалии в данных испытаний могут быть интуитивно пропущены и своевременные меры, которые могли бы быть приняты перед промышленным изготовлением изделия, не будут осуществлены. Поэтому очень существенно, чтобы была установлена программа анализа результатов испытаний, обеспечивающая правильное их использование. Эта программа должна устанавливать не только порядок проведения анализа результатов испытаний и его цель, но и предусматривать проведение этого анализа и интерпретации данных отдельной независимой группой. Независимость этой группы должна выражаться в свободе ее действия и беспристрастности при выполнении поставленной задачи. Если испытания проводятся с целью определения качества конструкции, то анализ и истолкование данных могут быть выполнены службой надежности при условии, что на эту службу не будет оказываться прямого давления со стороны руководителя разработкой.

Кроме независимости при анализе и истолковании результатов, важное значение имеет также отношение группы к порученной ей работе. К анализу данных следует всегда подходить с твердым убеждением, что каждое испытание должно обнаружить некоторые слабые места испытываемого образца, а для того, чтобы их вскрыть, необходимо скрупулезное изучение результатов испытаний. Выработка такого подхода у работников, проводящих анализ данных, является не простой задачей, так как он естественно требует от них не только регистрации выявленных слабых мест, но и отстаивания своего мнения в случае возражений со стороны заинтересованных групп, которые хотели бы скрыть нежелательные для них результаты. Сотрудники группы должны быть защищены от таких возможных нападков на них руководителями службы надежности или контроля качества.

До тех пор пока изделие не будет снято с эксплуатации, все результаты испытаний должны накапливаться и систематизироваться так, чтобы данные по отдельным испытаниям всегда были доступны для сравнительного анализа. Результаты ранних испытаний должны быть использованы как контрольные данные для сравнения с

результатами более поздних испытаний, а сотрудники группы анализа должны быть обучены поиску тенденций изменений или сдвига точек в соответствующих гистограммах. Особую ценность для обнаружения этих тенденций представляют повторяющиеся испытания, проводимые с образцами, имеющими одинаковый серийный номер (которые могут обнаружить эффект старения), а также периодические испытания образцов, отбираемых из партий серийно изготавливаемых изделий (которые могут обнаружить изменения в технологических процессах). Важно, чтобы персонал группы анализа понимал, что каждое внезапное изменение средних величин должно исследоваться до тех пор, пока не будет найдено удовлетворительное объяснение. Обычной ошибкой сотрудников этой группы является уверенность в том, что кто-то знает об этих изменениях и что, «вероятно», для них есть основательная причина, так как иначе уже были бы приняты меры к их устранению. Такое отношение чрезвычайно опасно и должно устраняться руководителями службы надежности при каждом его проявлении.

4.6е. Функции инспекции. Испытания обычно проводит одно из подразделений службы контроля качества или надежности. Так как эти подразделения обычно выполняют функции проверки соответствия выпускаемых изделий техническим условиям, то естественно предположить, что их сотрудники будут действовать подобно полицейским или регулировщикам уличного движения, т. е. не будут предпринимать никаких действий, пока не будет нарушений. В большинстве случаев проведение такой проверки подразделениями контроля качества и надежности фактически не требуется, так как заводская инспекция осуществляет контроль качества, а группа контроля чертежей конструкции проверяет чертежи ранее подразделений контроля качества и надежности. Но функции сотрудников при проведении испытаний отличаются значительной сложностью. Они более сходны с разработкой изделия или с производственными процессами. Поэтому функции по проверке соответствия или инспекции должны выполняться при проведении испытаний независимой группой. По общему правилу такая проверка лучше всего обеспечивается в том случае, когда инспекция программы испытаний поручается не подразделению, проводящему испытания, а другой группе службы надежности или контроля качества.

Ввиду специфических особенностей инспекции программы испытаний для ее проведения должны назначаться наиболее квалифицированные инспекторы и они должны быть специально обучены для выполнения этой работы. Их функции в первую очередь состоят в проверке того, что детально разработанные требования к испытаниям тщательно выполняются, методика точно соблюдается и любое изменение подробно записывается и удостоверяется, испытательное оборудование прокалибровано и проверено, затемпеча-

гано и сдано под наблюдение, испытываемые образцы имеют правильную форму и тщательно осмотрены перед доставкой к месту испытаний, где они также будут опечатаны и сданы под контроль. Присутствие инспектора в испытательной лаборатории, заводской испытательной станции или на площадке предполетных испытаний может оказать очень существенное влияние на то, чтобы испытание было проведено организованно и строго по программе. Даже если он не ставит своего инспекторского клейма, одно его присутствие может дать очень много. Это верно также и в том случае, когда испытания проводятся в коммерческой лаборатории, где присутствие представителя фирмы оказывает особенно благотворное влияние на работу лаборатории. В этом случае инспектор может выступать как представитель фирмы и осуществлять техническую связь с коммерческой лабораторией.

Инспектор, выделенный для контроля за ходом испытаний, должен быть настойчивым в требовании скрупулезного выполнения методики проведения испытаний, калибровки оборудования и контроля. Ему никогда не должно даваться право исключать или изменять то или иное требование, так как такие полномочия ухудшили бы его положение как инспектора. Право на исключение или изменение требований или условий испытания должно быть предоставлено руководителю испытаний (при соответствующем контроле, о чем будет сказано позднее), к которому должен обращаться с заключением инспектора оператор, проводящий испытания. Только при такой жесткой системе ошибки в методике проведения испытаний будут доводиться до сведения руководителя, который должен будет принимать корректирующие меры. Если инспектор имеет полномочия не обращать внимания на эти ошибки, то меры по их устранению редко будут приниматься. Когда право на изменение или исключение требований дано руководителю испытаний, только он будет нести ответственность за полное выполнение программы испытаний.

4.6ж. Контроль за ходом испытаний. С инспекцией программы испытаний тесно связан контроль за ходом испытаний. Как правило, целесообразно назначить одно лицо, которое отвечало бы за все вопросы проведения испытаний, включая выполнение расписаний и графиков, получение точных и значащих результатов, наблюдение за обработкой и анализом результатов, составление отчетов, проверка наличия испытываемых образцов и испытательного оборудования. Руководитель испытаний — обычно администратор. Однако было бы неправильно назначить руководителя и считать, что проблема испытаний решена. Необходимо также создать систему контроля, которая должна обеспечить полное и организованное выполнение программы испытаний.

В большинстве крупных фирм, занимающихся разработкой высоконадежных изделий, установлена сложная система контроля

чертежей, гарантирующая возможность точного контроля формы и размеров изготавливаемых элементов. К сожалению, эта система контроля не всегда распространяется на другие инженерные вопросы, в частности на методики калибровки испытательного оборудования и проведения испытаний. Автор убежден, что это является серьезным упущением, приводящим ко многим ошибкам и аномалиям в результатах испытаний. Должна быть установлена система контроля за подготовкой, пересмотром, утверждением и введением в действие этих методик, аналогичная системе контроля чертежей. Следует также установить не менее жесткую систему контроля за внесением изменений в методики. Каждое понятие, которое может быть истолковано по-разному, должно быть определено. Примером нечеткого определения, допускающего свободное толкование, является выражение «или аналогичное», встречающееся в методике проведения испытаний и относящееся к испытательному оборудованию. Эти слова дают свободу любому лицу, в том числе и оператору, проводящему испытания, решать, какое испытательное оборудование является аналогичным указанному в методике и программе испытаний. Более четким было бы выражение «замена оборудования должна быть согласована с руководителем испытаний» или «замена оборудования должна быть разрешена инженером, проводящим испытания». Только при этом можно гарантировать, что такие вопросы, как, например, согласование полных сопротивлений, будут решаться на инженерном уровне.

Из сказанного выше ясно, что установленная система контроля должна гарантировать правильное применение технической документации и внесение изменений в нее только при согласовании и утверждении на том же инженерном уровне, на каком она была разработана. Кроме того, поскольку в сложных проектах во многие документы вносятся изменения после ввода изделий в эксплуатацию, система контроля должна гарантировать не только учет всех этих изменений, но и внесение всех утвержденных изменений в отчет об испытаниях. Это облегчит анализ отклонений результатов испытаний, которые иначе невозможно объяснить.

Система контроля должна обеспечивать проверку и исправление нарушений. Так как руководитель испытаний обязан добиваться точного выполнения программы испытаний и на него возложена ответственность за проведение испытаний в установленные сроки, то ему не должно предоставляться право единоличного исключения или изменения отдельных требований или замены испытательного оборудования. Для проверки действий руководителя испытаний и одобрения принимаемых им мер должно быть выделено другое лицо, не отвечающее за планы и график проведения испытаний. Обычно это поручается представителю группы, которая будет использовать результаты испытаний, или при приемосдаточных испытаниях — представителю заказчика. Если проект

финансируется и контролируется заказчиком, то, как правило, строгий заказчик требует согласования с ним всей первоначальной методики проведения испытаний и калибровки испытательного оборудования, а также всех последующих ее изменений. В этом случае инженеры заказчика могут выполнять функции контроля за действиями руководителя испытаний.

При разработках с жестко ограниченными сроками может возникнуть необходимость представления руководителю испытаний права принятия решений об изменении методики испытаний на месте, с обязательным последующим представлением изменений на утверждение вышестоящему руководству в течение строго определенного времени, например 24 часов. Этот метод связан с большим риском, так как он ставит руководство перед необходимостью одобрять все меры и решения, уже принятые руководителем испытаний. Поэтому к нему следует прибегать только при абсолютной необходимости. Его никогда нельзя применять как нормальный метод работы и всегда следует рассматривать только как временную меру.

4.63. Диагностика отказов и выяснение их причин. Испытания высоконадежных изделий нельзя уподоблять игре в гольф, хотя, к сожалению, это иногда делается. (Для читателей, незнакомых с этой игрой, можем сказать, что она состоит в следующем: игрок может произвести три удара из каждого положения, затем он выбирает лучший из трех ударов и производит еще три удара из выбранного положения.) При испытаниях аналогия с игрой в гольф состоит в нажатии пусковой кнопки для повторения испытания, при котором красная лампочка сигнализировала об отказе; иногда такая операция повторяется несколько раз, пока не загорится зеленая лампочка, свидетельствующая о том, что испытание прошло успешно. Хотя это и кажется нелепым, тем не менее такие случаи происходят довольно часто, особенно в наши дни, когда применяется очень сложное оборудование и нельзя считать необычным такое положение, когда процент отказов испытательного оборудования на испытательной станции выше, чем процент отказов испытываемого изделия. По мнению автора, существует только один способ прекратить такую практику. Он состоит в том, чтобы настоятельно требовать при каждом сигнале об отказе обязательной проверки наличия отказа и выяснения его причины.

Проверка наличия отказа и диагностика отказа — две связанные, но не идентичные функции. Проверка наличия отказа является первым шагом, который необходимо предпринять. Цель его — установить, что появление отказа, отмеченного сигнализацией, действительно вызвано какими-то нарушениями в испытываемом образце, а не является результатом неправильных действий оператора или неисправности испытательного оборудования. В случае сигнализации об отказе необходимо потребовать, чтобы оператор не пытался произвести повторное включение, а сразу же выз-

вал группу проверки наличия отказа для осмотра испытательной установки. В связи с этим важно, чтобы операторы, проводящие испытания, были проинструктированы ничего не передвигать и не изменять, а также не касаться испытательной установки, поскольку очень часто такие действия могут уничтожить все доказательства и сделать невозможной проверку отказа.

После того как установлено, что в испытываемом изделии действительно произошел отказ, проводится диагностика отказа. Она состоит в проведении необходимых дополнительных количественных испытаний или осмотров для выяснения точной причины отказа изделия. Такое действие необходимо не только для того, чтобы можно было отремонтировать или переделать изделие и сделать его функционально работоспособным, но также и для того, чтобы получить уверенность в возможности принятия мер по устранению причин отказа путем внесения изменений в конструкцию изделия или в технологический процесс.

Важно, чтобы результаты проверки наличия отказа и его диагностики были оформлены документально и переданы в группы анализа данных для сопоставления и выявления тенденций изменений. Только на основе такого анализа данных возможно выявить специфические элементы дефектного испытательного оборудования, недостаточно обученных или неподготовленных операторов, плохо отработанную методику испытаний и другие факторы, приведшие к неэффективному испытанию. Такой анализ данных необходим также для обнаружения процессов, которые вышли из-под контроля при испытаниях, или выявления поставщиков элементов, значительная часть продукции которых близка к предельным допускам.

Как правило, не следует поручать проверку наличия отказа и его диагностику операторам, проводящим замену элементов или выполняющему регулировки. Они могут сделать это по методу проб и ошибок, и получаемые от них данные представят сравнительно небольшую ценность. Группы, проводящие проверку наличия отказов и их диагностику, должны состоять из инженеров. (Можно также использовать техников, имеющих большой опыт работы с инженерами, если они специально обучены аналитическому подходу и могут составлять отчеты о проведенных исследованиях на инженерном уровне.) Хотя привлечение таких высококвалифицированных специалистов делает проведение проверки наличия отказов и их диагностику очень дорогими, следует учитывать, что данные, полученные в результате этих исследований, кладут начало действительному контролю качества и являются основой для проведения корректировочных мер. Поэтому большие затраты можно считать вполне обоснованными. В передовых организациях, применяющих такую систему, эти инженеры относятся к категории наиболее высокооплачиваемых сотрудников.

Когда имеется программа повторяющихся испытаний одного и того же изделия в сравнительно больших количествах (минимум несколько сотен), то можно снизить расходы на выполнение проверки наличия отказов и их диагностику путем установления «стандартных диагнозов». Выработать их можно, пользуясь изделиями, возвращаемыми с полевых испытаний, для которых можно установить точную картину отказов элементов. Если диагностику таких повторяющихся отказов можно было бы свести к ряду конечных ступеней и достаточно подробно описать их в методике проведения испытаний, чтобы техники, руководствуясь ими, как рецептами поваренной книги, могли провести диагностику, то отпала бы необходимость в привлечении группы инженеров для анализа этих специфических отказов. Такая экономичная процедура подлежит тщательному контролю, и должно быть установлено твердое правило, что при отклонении от ожидаемого результата необходимо вызывать специалистов для осмотра конкретного образца и только после этого можно продолжать процедуру стандартной диагностики.

Как правило, этот метод не должен применяться при проведении заводских испытаний изделий, еще находящихся в процессе производства, так как здесь возможно осуществление корректировочных мер путем внесения изменений в технологический процесс и конструкцию или проведения замены элементов. В общем система стандартных диагнозов способна только дать информацию для стандартного ремонта дефектных изделий, но не для принятия корректировочных мер.

4.6и. Организация испытаний. При обсуждении вопросов проведения испытаний неоднократно отмечалось, что для успешного выполнения программы испытаний высоконадежных изделий необходимо придерживаться определенных организационных принципов. Этот вопрос настолько важный, что заслуживает отдельного рассмотрения.

Возможно, что наиболее важным фактором, влияющим на решение вопроса о том, какая организация обеспечит лучшее выполнение многих функций, связанных с проведением испытаний, является независимость. Как указывалось вначале этого раздела, организация испытаний состоит в основном в согласовании действий многих групп промышленного комплекса. Решение о том, какие изделия нужно испытывать, какие их параметры следует проверять, какие внешние факторы необходимо использовать при испытаниях, как должна выполняться программа испытаний и как будут обрабатываться результаты, должно приниматься не той группой, которая разрабатывала изделие. Отсюда ясно, что руководство программой испытаний не может быть поручено ни руководителю разработки, ни руководителю производства, так как они представляют «производящие» группы, продукция которых должна проверяться по программе испытаний.

В современных промышленных организациях определенную независимость от руководства разработкой и производством имеют службы контроля качества и надежности, так как они подчиняются непосредственно руководителям фирмы. Поэтому руководство программой испытаний очень часто поручается службе контроля качества или службе надежности. Так как в настоящее время имеется тенденция к объединению этих служб в одно подразделение, то вся программа испытаний на надежность может быть поручена этому объединенному подразделению. Однако если эти службы не объединяются, то производственные испытания (группа 3а) поручаются службе контроля качества, а остальные испытания — службе надежности. Такое распределение может привести к некоординируемым испытаниям, если не будут приняты меры к тому, чтобы вся работа по планированию испытаний проводилась комиссией из представителей этих служб.

Если разрабатывающее подразделение и служба надежности имеют отдельные лаборатории, то можно поручить испытания на этапе исследований и разработки (группа 1, исследовательские испытания и испытания на определение возможности реализации конструкции, и группа 2, летные или полевые испытания) разрабатывающей группе. И в этом случае особое внимание должно быть обращено на то, чтобы разработчики и служба надежности действовали как единая комиссия и обеспечили совместимость программ испытаний и получение полного объема данных, пригодных для общего анализа. В небольших фирмах, где нет отдельной службы надежности (к счастью, это является редкостью для фирм, разрабатывающих высоконадежные изделия), испытательные программы поручаются специальной испытательной группе разрабатывающего подразделения. Однако руководитель разработки должен проявить заботу о сохранении независимости этой группы и об ограждении ее от давления со стороны руководителей подчиненных ему подразделений.

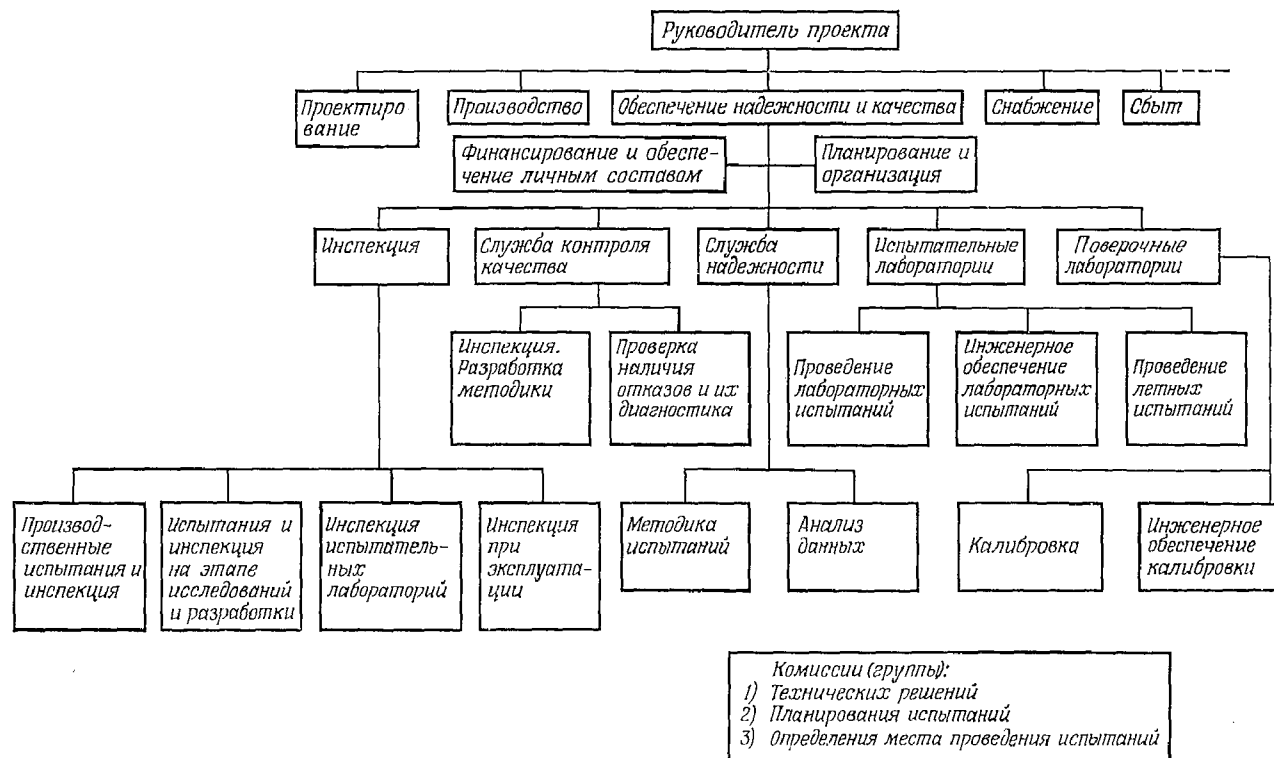
Второе важное положение, которое следует учитывать при определении организационной формы для проведения испытаний высоконадежных изделий, состоит в том, что техники не в состоянии разработать и подготовить подробную методику проведения испытаний и калибровки. Эти функции являются по существу инженерными и должны поручаться специальной группе, а не операторам, участвующим в проведении испытаний. Инспекция и испытания (если под инспекцией понимать визуальный осмотр и проведение механических измерений, а под испытанием — измерение функциональных параметров) иногда разделяются, причем планирование проведения и подготовка методики инспекции поручаются инженерной группе службы контроля качества, а аналогичные функции по испытаниям — группе службы надежности.

Такое разделение также практикуется в комиссии по планированию испытаний, где вопросы инспекции и испытаний рассматривают отдельные подкомиссии. Это позволяет сгруппировать различных технических специалистов вокруг одного руководителя и может дать определенные преимущества. Но обычно при этом требуется, чтобы или другая группа объединила планы, разработанные обеими подкомиссиями, или плановики, разрабатывающие программу производства, учли требования обеих подкомиссий при подготовке маршрутных карт. Важно, чтобы планирование и разработка методик не выполнялись инспекцией или рабочими группами испытательной лаборатории.

Основное планирование проведения инспекции и испытаний должно выполняться комиссией или подкомиссиями, возглавляемыми представителями служб надежности и контроля качества. В подразд. 4.3б говорилось о составе комиссии по планированию испытаний. Планы и программы, разработанные этой комиссией, осуществляются с помощью подробной методики, составленной специальной группой, о которой упоминалось в предыдущем разделе. Могут быть созданы и другие функциональные комиссии или группы, имеющие непосредственное отношение к программе испытаний на надежность: это группа по проверке готовности и группа по определению места испытаний. Группа по проверке готовности контролирует начальную готовность всех необходимых документов (планов, методики, технических условий и т. д.) и внесение в них изменений; по существу эта группа определяет расписание и графики испытаний, а также эффективность подготовленной документации.

Каждый член группы обязан следить за выполнением утвержденных ею расписаний и графиков той организацией, представителем которой он является. Так, представитель производства будет добиваться того, чтобы его организация изготовила необходимые образцы для испытаний в установленные сроки; представитель инспекции будет следить за тем, чтобы была проведена необходимая и своевременная инспекция не только изготовления образцов для испытаний, но также и программы испытаний; представителю органов снабжения будет поручено обеспечение поставок всей необходимой аппаратуры, а также заключения договоров с коммерческими испытательными лабораториями на требующееся время испытаний. Группа по определению места испытаний должна решить, будут ли испытания по программе выполняться внутри фирмы или в коммерческих испытательных лабораториях, о которых говорилось в разд. 4.5.

Сложность всей программы испытаний на надежность и ее большой объем, выраженный в человеко-часах и долларах, делают почти обязательным создание специальных групп по планированию, финансированию и расчетам рабочей силы для обеспечения нор-



Ф и г. 4.11. Организация испытаний на надежность.

мального выполнения программы. Эти группы докладывают о своих действиях руководителю службы надежности или контроля качества, чтобы он был постоянно осведомлен о ходе работ, а также мог осуществлять необходимое согласование графиков и финансирования.

Все эти положения представлены на схеме предлагаемой организации, показанной на фиг. 4.11. Такая схема применяется в больших фирмах, успешно выполняющих сложные программы испытаний на надежность, рассмотренные в этой главе.

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ОТКАЗОВ

*Е. Кимбол**E. W. Kimball*

Reliability Group Engineer, Martin Company, Aerospace Division
of Martin Marietta Corporation
Orlando, Florida

5.1. ИСТОРИЯ И ЦЕЛИ

Важность организованного анализа отказов была хорошо понята уже основоположниками работ в области надежности. Во многих докладах на первых симпозиумах по надежности (1954 — 1956 гг.) превозносились польза от проведения исследований отказавших элементов в лабораториях. Однако в действительной практике потребовалось несколько лет для преодоления инерции руководства и создания соответствующих лабораторий, используемых специально для определения точной причины отказов. Но эта проблема решена еще только частично. По данным обследования, проведенного в 1962 г., только в 45% фирм, заключавших авиационно-космические контракты, группам надежности предоставлена возможность проводить анализ отказов. Некоторые фирмы используют лаборатории качества и другие технические лаборатории для определения причин критических и повторяющихся отказов, тогда как другие не имеют установленной методики анализа отказавших изделий.

Корни такого отсутствия интереса к выявлению причин отказов уходят еще ко времени гражданской войны в США. Генерал Грант, характеризуя поставщиков оружия и военного снаряжения плохого качества, обратился к поэзии:

Не слава им нужна,
А доллары и центы.

И в настоящее время еще можно услышать от руководителей фирм, разрабатывающих системы оружия или космические корабли, такие утверждения: «У нас никогда не было отказов, случались только некоторые неисправности». В своем желании поддержать репутацию фирмы они игнорируют тот факт, что любой дефект, препятствующий успешному выполнению системой ее функций, является отказом. Очевидно, необходимо, чтобы инженеры по надежности разъясняли руководителям фирм преимущества, которые дает улучшение изделий. Основные доводы при этом должны быть направлены на то, чтобы показать, как может подняться престиж фирмы, если будут выясняться причины отказов и приниматься корректировочные меры.

Все фирмы, выполняющие контракты, должны иметь независимые лаборатории надежности, используемые специально для анализа всех отказавших изделий. Инженеры-разработчики и инженеры по контролю качества не могут быть объективными при проведении анализа, так как ответственность за неисправности может падать на их группы. Вследствие этого они стремятся классифицировать большинство отказов как случайные, вероятность повторения которых мала. Очевидно, что все отказы имеют свои причины, и слово «случайный» обычно используется как оправдание тому, что не было проведено тщательного выяснения причины отказа. При отсутствии твердых правил о направлении отказавших изделий в лабораторию надежности многие компоненты не будут демонтированы, элементы не будут вскрыты и причины отказа, которые можно было бы легко устранить, окажутся не выявленными и потерянными в свалке металлолома.

Правительственные органы признали необходимость анализа отказов, и в военные требования по надежности были включены соответствующие инструкции. Типичный параграф такой инструкции сформулирован так:

«Все отказы, возникшие при испытаниях на воздействие внешней среды, во время заводских, полевых и летных испытаний, должны анализироваться специалистами по надежности для определения значения этих отказов с точки зрения надежности. Анализ должен проводиться статистическими и техническими методами. Должна быть предпринята попытка определить причины отказов и, если это возможно, установить, явился ли отказ следствием недостатка конструкции, неудовлетворительного контроля качества изготовления или неправильного обращения».

В «Программе обеспечения надежности» Национального управления США по авиации и исследованию космического пространства (NASA) в разд. 3.7 записано:

«Все фирмы-подрядчики и субподрядчики должны установить строго контролируемую систему для сообщений, анализа и принятия корректировочных мер по всем отказам и неисправностям, возникающим в процессе изготовления, наладки, испытаний, проверки и работы космических систем. Эта система должна обеспечивать посылку сообщений о *всех* возникающих отказах и неисправностях и их анализ независимо от их кажущегося значения, с тем чтобы можно было своевременно произвести их оценку и принять корректировочные и предупредительные меры».

Значительный объем данных по улучшению надежности получается в результате лабораторного анализа отказов, возникших при испытаниях на воздействие внешней среды, заводских и полевых испытаниях. Очень трудно бывает установить причины отказов во время летных испытаний, так как изделие обычно разрушается. Оно может быть разрушено взрывом по команде офицера, отвечаю-

щего за безопасность на испытательном полигоне, или его бывает невозможно найти на дне океана. В мелких местах отсеки ракеты могут погрузиться в песок, ил, коралловые рифы и их нелегко извлечь оттуда. Использование гидролокационных станций для обнаружения изделий в глубоких местах оказывается еще недостаточно эффективным. Вследствие этого даже при наличии самого лучшего оборудования извлечение остатков ракет с глубины более 100 м предпринимается редко. При анализе причин отказов в изделиях, извлеченных со дна океана, возникают трудности, вызванные коррозией в морской воде. Когда летные испытания проводятся над сушей, повреждения при ударах изделия о поверхность земли могут явиться серьезным препятствием при проведении анализа. По этим причинам инженер, проводящий анализ результатов летных испытаний, должен сосредоточить свое внимание на исследовании данных, переданных телеметрической системой. Во время этих испытаний обычно проводится недостаточное количество измерений, вследствие того что на изделии имеется ограниченное место для датчиков и приборов телеметрических систем. Из-за этих трудностей многие отказы, возникшие при летных испытаниях, объясняются обычно двумя или тремя возможными причинами, а точная причина остается неизвестной.

Так как очень немногие изделия возвращаются после летных испытаний в пригодном для повторного использования состоянии, то анализ отказов производится в основном по неисправностям, возникшим во время предполетных испытаний. До сдаточных испытаний отказы в изделии чаще всего бывают обусловлены недостатками производственного процесса, они обнаруживаются приемосдаточными испытаниями и не требуют лабораторного исследования. Отказы, возникшие при испытаниях на воздействие внешней среды и летных испытаниях, имеют более важное значение, так как они относятся к категориям отказов, которые могут возникнуть в действительных оперативных условиях, если не будут приняты корректировочные меры.

5.2. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА ОТКАЗЫ

Объективное решение необходимо для того, чтобы правильно определить, кто несет ответственность за отказ. Естественно, что разработчики стремятся объяснить отказы плохой работой производства, а работники производства — плохой конструкцией. Поэтому выявить действительную причину отказа должны инженеры службы надежности или комиссия из представителей всех подразделений. В типичном случае комиссия по рассмотрению сообщений об отказах должна состоять из десяти членов — по два инженера от подразделений конструкторов, надежности, производства, контроля качества и снабжения. Когда сообщение приходит

из пункта полевых испытаний, комиссия принимает предварительное решение о том, какое из подразделений ответственно за отказ. Затем сообщение об отказе направляется в соответствующее подразделение для изучения, а изделие передается в лабораторию для анализа. Получив отчет лаборатории, инженер, проводящий исследование отказа, объединяет содержащиеся в нем сведения с другой имеющейся у него информацией и докладывает выводы комиссии. Если комиссия признает установленную причину отказа и наметит корректировочные меры, то сообщение об отказе закрывается.

Опыт показывает, что в среднем в течение месяца разработки сложной системы оружия при внутренних инспекциях и испытаниях может быть обнаружено до 50 000 различных дефектов. Для сопоставления можно сказать, что в полевых условиях при испытаниях таких систем возникает в среднем 150 отказов в месяц. К дефектам элементов, подготовленных для сдачи заказчику, которые обнаруживаются при внутренних инспекциях, относятся неточные размеры, плохое гальваническое покрытие и другие производственные дефекты. Важно, чтобы эти дефекты обнаруживались до того, как изделие попадает к заказчику. В этом случае даже если точная причина их не определена, они не могут повлиять на успешное функционирование системы. Совершенно иначе обстоит дело с отказами, возникшими в полевых условиях. На этих отказах инженер должен сосредоточить свое внимание, если он хочет, чтобы его работа дала определенный эффект. В приведенной ниже таблице указано, как распределяется в процентном отношении ответственность за отказы по данным, полученным в течение трехлетнего периода разработки системы оружия.

Причины, вызвавшие отказы	Проценты	
	в фирме	в полевых условиях
Производство	57	15
Конструкция	4	52
Неправильное обслуживание	29	17
Неправильное обращение	6	9
Неизвестные	4	7
Всего	100	100

5.2а. Производство. Наилучшим способом обнаружения производственных дефектов является 100%-ная инспекция изделий. В дополнение к такому контролю должны проводиться функциональные испытания после завершения каждого этапа сборки. В настоящее время имеются автоматические устройства для испытания

радиоэлектронных компонентов, поэтому нет необходимости проводить выборочные испытания для ускорения работы.

Выборочные испытания могут ухудшить надежность, если они не исключают попадания в систему элементов с предельно допустимыми номинальными величинами. Такие системы могут пройти приемо-сдаточные испытания, но могут отказать в более суровых полевых условиях. Кроме того, если при выборочном испытании партия элементов бракуется и должна быть возвращена поставщику, то возникают трудности соблюдения графиков, если на складе нет достаточных запасов элементов данного типа. Основными причинами производственных дефектов являются износ инструментов и плохой контроль технологических процессов. Одна из причин, способствующих попаданию некачественных элементов в полевые системы, обусловлена трудностью контроля изделий, поступающих от поставщика в опечатанном виде. Наиболее распространенные виды производственных дефектов: нарушение установленных пределов допусков, неправильная герметизация, плохая пайка, ошибки в монтаже и загрязнения.

5.26. Конструкция

«Самой важной задачей является достижение надежности: измерения и прогнозирование ее имеют второстепенное значение. До начала летных испытаний изделия должно быть дано заключение лаборатории, что оно обладает достаточным запасом прочности».

Д. Гендерсон

Перед тем как переходить от чертежей к изготовлению изделия, инженеры-разработчики должны провести предварительные испытания, чтобы определить, будет ли их конструкция правильно функционировать в заданных внешних условиях. Если это выполняется, то необходимость пересмотра конструкции отпадает и трудности обнаружения неисправностей значительно снижаются. При испытании макетов радиоэлектронных схем и механических прототипов на воздействие экстремальных внешних условий обнаруживаются слабые места конструкции, которые не были выявлены при теоретическом расчете наихудшего случая. Мастерская по изготовлению технических макетов должна подготовить узлы радиоэлектронной аппаратуры для испытаний на определение перегревов и вибропрочность. Ценность этих методов подтверждается тем, что при испытаниях на вибрацию обнаруживается большой процент отказов. Это видно из приведенной на стр. 264 таблицы, составленной по результатам более 3000 испытаний на стадии разработки и предполетных испытаний.

Так как военные стандарты требуют, чтобы оборудование функционировало в течение заданного срока службы без заметного

Внешние факторы	Количество отказов, %
Удары и вибрации	28,7
Низкая температура	24,1
Высокая температура	21,3
Влажность	13,9
Высота	4,2
Ускорение	3,2
Соленые брызги	1,9
Прочие	2,7
Всего	100

износа, то обусловленные этой причиной отказы в полевых условиях ($<1\%$) объяснены недостатками конструкции. Типичными причинами отказов, обусловленных недостатками конструкции, являются выход электрических или технических параметров за пределы допусков, нестабильность параметров, недостаточные коэффициенты запаса и применение ненадежных элементов.

5.2в. Неправильное обслуживание. Причины неисправностей и отказов, относящиеся к неправильному обслуживанию, включают в себя ошибки инженерно-технического персонала, проводящего испытания, а также нереализованные изменения конструкции. Ошибки в методике проведения испытаний и погрешности испытательного оборудования также относятся к неправильному обслуживанию. Если даже испытательное оборудование проходит периодические калибровки, оно может быть подвержено дрейфу или оказаться несовместимым с другими испытательными устройствами. В результате некоторые изделия, не удовлетворяющие техническим требованиям, могут пройти испытания, а другие будут забракованы как отказавшие, хотя в них нет никаких неисправностей. Обычными причинами, относящимися к неправильному обслуживанию, являются дрейф параметров испытательных устройств, неправильная установка потенциометров, погрешности вследствие параллакса или интерполяции при отсчетах показаний приборов.

5.2г. Неправильное обращение. Неисправности, обусловленные неправильным обращением, вызываются ошибочными действиями персонала, занятого на сборке изделий, или обслуживающего персонала. При испытаниях и транспортировке элементы и изделия могут падать или подвергаться другим вредным воздействиям. Если, например, при сборке что-то заклинивается и детали не ставятся на место, сборщикам часто советуют «взять молоток потяжелее». Конечно, можно привести много примеров, когда конструкция оборудования не выдерживает нормального обращения в условиях военного применения. В таких случаях инженеры по надежности должны требовать принятия корректировочных мер. Еще

одной причиной, которая может привести к отказам, связанным с неправильным обращением, является плохая конструкция контейнеров для перевозки и хранения изделий.

5.2д. Неизвестные причины. Причины отказов классифицируются как неизвестные, когда возможны две или более причин, а лабораторный анализ не может точно установить одну из них. Изделия после летных испытаний часто возвращаются в таком поврежденном состоянии, что эффективное определение причин отказов провести невозможно.

При определении ответственности за отказ важно исключить из рассмотрения все вторичные неисправности, являющиеся побочными следствиями первичных отказов. Это необходимо для того, чтобы предотвратить неправильные заключения, связанные с проблемами, не влияющими на надежность.

5.3. РЕГИСТРАЦИЯ ДАННЫХ ОБ ОТКАЗАХ

При организации центра сбора данных по надежности руководство должно позаботиться о накоплении полной и точной информации об отказах. Смысл существования службы надежности заключается в повышении шансов на успех в каждом запуске ракеты или космического корабля. Эта цель может быть достигнута скорее и легче, если будут известны все виды отказов и установлены их причины. Однако необходимость принятия корректировочных действий может быть доказана только тогда, когда это будет подтверждено имеющимися данными об отказах в предыдущих пусках либо при предшествовавших испытаниях.

Обслуживающему персоналу должны быть даны формы для регистрации отказов с достаточным местом для записи всех необходимых данных. Техники должны быть проинструктированы о необходимости учета всех ошибок и неправильных действий, чтобы записанные данные правильно отражали степень ненадежности изделия. Основные трудности встречаются при составлении сообщений об отказах полевым обслуживающим персоналом или сотрудниками службы материального снабжения. Так как сбор данных об отказах не является их основной работой, важная информация часто оказывается потерянной. Персонал службы материального снабжения слишком занят обеспечением непрерывного поступления запасных частей и поддержанием оборудования в рабочем состоянии, чтобы заботиться о получении точных данных. Вследствие этого желательно назначать представителей службы надежности в полевые эксплуатационные или испытательные пункты. Их основной задачей будет обеспечение поступления полной информации, требуемой службой надежности. Они ведут аппаратный журнал и могут также определять, вызван ли отказ неправильными действиями оператора или является вторичным по своему характеру. Конечно,

в полевых условиях не производится подробное исследование для выяснения причин отказов, так как там нет необходимого лабораторного оборудования. Кроме того, график летных испытаний обычно составляется так, что времени для подробного анализа отказов не может быть выделено. Узлы, вызывающие неисправность изделия, должны быть быстро обнаружены и заменены, чтобы не сорвать срок запуска.

Почти каждая фирма и каждое правительственное учреждение имеют свои собственные формы для записи данных об отказах. Делались попытки стандартизации этих форм, однако очень трудно выработать единую форму, которая удовлетворила бы требованиям всех пользователей. Наиболее распространенный метод состоит в том, что фирмы, выполняющие контракты, применяют отдельные формы для внутренних и для эксплуатационных сообщений.

5.3а. Внутренние формы. Внутренние формы должны быть сравнительно простыми, так как большинство отказов обнаруживается на уровне элементов. Эти формы используются для регистрации дефектов, обнаруживаемых во время приемной инспекции, устранения производственных неполадок или сдаточных испытаний. Типичная форма, применяемая фирмой «Martin», показана на фиг. 5.1. В ней предусмотрено место для важной информации о надежности: название и номер элемента, схемные обозначения, наработанное время, описание дефекта или отказа. Форма заполняется в нескольких экземплярах, которые направляются в центр сбора данных и в службы контроля качества и надежности. Один экземпляр сопровождает отказавшее изделие при направлении его в лабораторию анализа отказов.

Ценную помощь при анализе отказов дает также заводская карта, сопровождающая все узлы при заводских испытаниях подсистем. Она позволяет установить количество проведенных испытаний и определить отношение успешных и неуспешных испытаний. В этой карте записываются также серийные номера узлов, использованное испытательное оборудование, номер оператора, проводившего испытание. Такой вид информации оказывается очень ценным при всех исследованиях по анализу отказов.

5.3б. Эксплуатационные формы. На этапе исследований и разработки желательно использовать эксплуатационную форму учета, облегчающую составление подробных сообщений об отказах. Такие данные, как измерения при испытаниях, указывающие на неисправность, расположение печатных плат на шасси и внешние условия, оказываются очень ценными для инженера, проводящего анализ отказов, который должен обследовать изделие, когда оно возвратится на завод-изготовитель. Используемая фирмой «Martin» полевая форма (фиг. 5.2) является полезным документом для улучшения изделий. Третья часть формы целиком может быть использована полевым инженером для записи объяснений о характере отка-

MARTIN ORLANDO		Этикетка дефектного материала					Номер инструмента/калибр	
№ 63198	Порядковый № (1)	Номер партии (2)	Модель (3)	Серия (4)	Номер узла (5)	Система (6)	(7) Номер элемента (8)	
(35) Техник	Получено количество (9)		Присутствует количество (10)		Название элемента, инструмента, калибра (11)		Условное обозначение (12)	Материал (13)
	Распоряжение о закупке (15)		Сообщение о приемке № (16)		Отдел или подрядчик поставщика (17)		Оставлено в отделе (18)	Паработанное время (19)
								Серийный номер изделия (20)
(36) Контрольный пункт	Неисправность (21)							
Составил (22)		Печать (23)		Дата		Инспектор (24)		
Распоряжение на переделку (25)		Переделать	В отходы	Использовать в данном состоянии		Окончательное распоряжение (26)		
(27)								
Отправил инспектор (28)		Печать (29)		Дата				
Инспектор комитета по надзору за работами (30)		Технический отдел (31)		Заказчик (32)	Затрачено часов на переделку (33)		Серийный № (34)	
Завод-изготовитель								

(35) Корректировочные меры:

(36) Представитель ответственного отдела (подпись)

Дата

Ф и г. 5.1. Внутренняя форма для записи данных об отказах.

Форма
№ 2233

Служебное сообщение о неисправности

Графы, заполняемые составителем
сообщения

1 Модель	2 Дата неисправности	3 Серийный №	4 Нормальная работа	
5 Всего затрачено часов	6 Отказавшие элементы возвращены Да ☐ Нет ☐	7 Название системы		
8 Название узла		9 Часы	10 Номер элемента узла	
11 Серийный номер узла		12 Изготовитель узла		
13 Название блока	14 Часы	15 Номер элемента блока		
16 Серийный номер блока	17 Название элемента		18 Часы	
19 Номер элемента	20 Условное обозначение	21 Изготовитель элемента		
22 Принятые меры	23 Сообщение составил (подпись)	24 Одобрено (подпись)	25 База	27 Номер наклад- ной

26 Объяснение

Графы, заполняемые полевой службой и инженерной группой												
28 Тип неисправности					29 Причина неисправности							
30 Кодовые индексы		Система	Узел	Элемент	31 Бортовое оборудование				32 Ответственное подразделение		33 Номер изделия	
					Наземное оборудование							
37 Составлен акт об отказе					38 Доставлено в комиссию по анализу отказов				34 Код картотеки			
39 Результаты анализа отказа									35 Дата			
40 Рекомендуемые корректировочные меры									36 Сообщение о неисправности № 24031			
41 Анализ задерживается по причинам:												
42 Доставлено в:												
отдел			техническая лаборатория				изготовитель			отдел качества		
43 Принято в рабочем состоянии												
44 Окончательные действия												
Представлено (кем)		Дата		Сообщение №		Телефон		Последующие даты				
								1 2 3				
Технический отдел		Отдел качества		Производство		Отдел рекламы		Склад запасных частей		Снабжение		
Принятые меры		Принятые меры		Принятые меры		Принятые меры		Принятые меры		Принятые меры		Принятые меры
Объяснение		Объяснение		Объяснение		Объяснение		Объяснение		Объяснение		Объяснение

Ф и г. 5.2. Полевое сообщение о неисправности.

Сообщение о снижении качества и надежности

01 L 34311	02 Система	Устрой- ство	Блок	03 Узел	04 Эле- мент	05 Фор- ма	06 Причи- на отказа	07 Код отказа	08 Распоря- жение	09 Вид испыта- ния	10 Код изго- тови- теля	11 Анализ отказа проведен 1 Нет ☐ 2 Да ☐	
12 Номер элемента из- делия		13	14 Серийный по- мер изделия		15 Название изделия			16 Изготовитель из- делия		17 Номер перво- го сообщения			
Не заполняются поставщиками и приемщиками										23 Код пункта		24 Дата отказа	
18 Номер узла, в ко- торый входит элемент		19	20 Серийный номер узла		21 Тип эле- мента		22 Серийный номер эле- мента		число		месяц		год
Заполняются только поставщиками и/или приемщиками													
25 Номер распоря- жения о закупке		26 Номер сообщения о приемке			27 Номер склада			28 Код материала		29 Номер контракта			
30 — 33 Описание неисправности, включая вид испытания, тип и условия отказа, внешние факторы и измерения													

34 Причина нарушения работоспособности	35 Корректировочные меры	36 Подрядчик	37 Получено количество	38 Подпись	
		39 Контролер (подпись)		40 Печать	41 Элементы для замены затребованы
		42 Представитель ремонтной мастерской (подпись)			
43 Инструкции по дальнейшим действиям		44 Инструкция по осмотру затребована	45 ☐	46 ☐	47 ☐
			49 Контролер качества		
			50 Использовать в данном состоянии ☐	51 В отходы ☐	52 Переделать ☐
			53 Сообщение службы контроля качества		
			54 Сообщение инженерной группы		
			55 Сообщение заказчика		
			56 Подрядчик или заказчик		

Ф и г. 5.3. Сообщение о снижении качества и надежности.

СИСТЕМА		1. Тип, модель, серия		2. Серийный №		3. Организация, составившая сообщение		4. Фаза испытаний		5. Сообщение № 6479			
УСТРОЙСТВО		6. Название		7. Кодичество		8. Серийный №		9. Обозначение модели		10. Номер первого сообщения			
БЛОК		11. Название		12. Номер модели		13. Серийный №		14. Изготовитель		15. Условное обозначение			
ЭЛЕМЕНТ		16. Название		17. Номер модели		18. Серийный №		19. Изготовитель		20. Условное обозначение			
21. Дата и время отказа Число Месяц Год Время (0—24 часа)				22. Высший уровень неисправности		0 ☐	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐	6 ☐	7 ☐
				23. Высший уровень изъятия		0 ☐	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐	6 ☐	7 ☐
Время наработки	24. Устройство	1 ☐	2 ☐	3 ☐	4 ☐	5 ☐	циклов		29. Причина составления сообщения 1 ☐ Отказ изделия 2 ☐ Профилактическое обслуживание 3 ☐ Модификация оборудования 4 ☐ Отказ испытательного оборудования 5 ☐ Улучшение конструкции 6 ☐ Улучшение обслуживания				
	25. Блок	сек.	мин.	час.	мес.	5 ☐	циклов						
К-во времени отказа	26. Расположение →	27. Принятые меры →		28. Рабочее состояние		30. Источники для замены 1 ☐ Склад 2 ☐ Запасное имущество 3 ☐ Другие источники 4 ☐ Поврежденные устройства 5 ☐ Недоступны 6 ☐ Не требуется				31. Действия с блоком 1 ☐ Отремонтирован на месте 2 ☐ Отремонтирован и снова установлен 3 ☐ Отрегулирован 4 ☐ Заменен 5 ☐ Никаких из указанных выше			
	1 ☐ На стенде	1 ☐ Испытание		1 ☐ Нормальное									
	2 ☐ Окончательная инспекция	2 ☐ Осмотр после отказа		2 ☐ Ненормальное									
	3 ☐ Нормальное использование	3 ☐ Ремонт		3 ☐ Выключено									
	4 ☐ Перевозка	4 ☐ Никаких											
5 ☐ Хранение													
32. Описание и возможная причина отказа										Стандарт	Технические условия	Спецификация	
										33. Время ремонта час. мин.			
										1 Диагностика			
										2 Замена			
										3 Ремонт			
										4 Проверка			
34. Используемое испытательное оборудование										35. Сообщение составил (подпись) Дата			

Ф и г. 5.4. Сообщение об отказах и расходе запасных элементов.

Report Symbol BUWEP 13070-3				
1. Reporting Activity	2. Report Ser. No.	3. Date Of Trouble	4. Installed In Aircraft/Arrest Gear/Catapult/Support Equipment Buro or Ser. No.	5. Aircraft Logbook Time
System, Set Equipment Of Engine	6. Model Designation And Model No.	7. Nomenclature	8. Serial No.	9. Time Meter Read / Logbook Time or Events (if applicable) Hour meter Logbook hrs Starts Landings
Unit, Component Accessory, Assembly Or Equipment	10. Manufacturer's Part No.	11. Nomenclature	12. Serial No.	13. Mfr's Code No. 14. Contract No.
Subsystem (Elec Logic) Or Primary Part Failure (Non-electronic)	15. Manufacturer's Part No.	17. Nomenclature	18. Serial No.	19. Mfr's Code No.
Supply Identification (Items) Returned	21. Federal Stock Number	22. (RM, MR copies only)	23. Quantity	24. (RM, MR copies only)
Reason For Report (Check one)	26. Removal Or Maintenance Action Required As A Result Of: 1 ☐ Failure/ Suspected Failure Or malfunction 2 ☐ Damaged due To improper Maintenance/ Operation/Test 3 ☐ Damaged or Defective On receipt 4 ☐ Damaged Accidentally 5 ☐ Scheduled/Directed Removal, High Time Overage, excess Torque/requirements			27. Item overhauled by
DESCRIPTION OF TROUBLE (If box 1, 2, 3, or 4 was checked in space 26, complete space 28 through 31. If box 5 was checked in space 26, leave space 28 through 31 blank.)				
28. First Observed/Occurred During				
1 ☐ Flight operations—Land based	3 ☐ Pre-Flight	5 ☐ Conditional	7 ☐ Overhaul/PAR	9 ☐ Special directed inspection
2 ☐ Flight operations—Carrier based	4 ☐ Daily	6 ☐ Calendar	8 ☐ Shop maintenance bench test	10 ☐ Normal operation of support equip., catapults, arresting gear, microw landing sys. only
29. Symptoms—How Discussed				
Item	D	E	F	G
A ☐ Excessive vibration	F ☐ Inoperative	J ☐ Low performance	N ☐ Metal in oil	P ☐ Overheating
B ☐ High fuel consumption	G ☐ Interference/Blinding	K ☐ Noisy	L ☐ None noticed	Q ☐ Pressure out of limits
C ☐ High oil consumption	H ☐ Intermittent operation	M ☐ Out of balance	R ☐ Surging/Fluctuates	S ☐ RPM out of limits
	I ☐ Leakage		T ☐ Temperature out of limits	U ☐ Torque out of limits
	J ☐ Other (Amplify)			V ☐ Unstable operation
				W ☐ Visible defect
				X ☐ Other (Amplify)
30. Part Condition				
007 ☐ Arced	130 ☐ Changed value	201 ☐ Distorted/Stretched	750 ☐ Missing	585 ☐ Sheared
780 ☐ Bent	910 ☐ Chipped/Nicked	148 ☐ Eroded	008 ☐ Holes	196 ☐ Shorted/Grounded
135 ☐ Blinding	999 ☐ Circuit defective	250 ☐ Frayed/Torn	450 ☐ Open	422 ☐ Soldering defect
429 ☐ Blistered/Peeled	140 ☐ Connections defective	001 ☐ Gassy	790 ☐ Out of adjustment	660 ☐ Stripped
070 ☐ Broken/Cracked	818 ☐ Contacts Burned/ Pitted	381 ☐ Leaking	439 ☐ Plugged/Clogged	018 ☐ Tested OK—Did not work
900 ☐ Burned/Burned out	170 ☐ Corroded	730 ☐ Loose	576 ☐ Ruptured/Spill/Blown	389 ☐ Unknown (Cannot disassemble)
170 ☐ Chafed/Galled	200 ☐ Dent	004 ☐ Low GM or emission	935 ☐ Scored	020 ☐ Worn—Extensively
				099 ☐ Other (Amplify)
31. Cause Of Trouble				
A ☐ Design deficiency	D ☐ Faulty overhaul (Quality control)	G ☐ Fluid contamination	J ☐ Operator technique/ Adjustment	M ☐ Weather conditions
B ☐ Faulty maintenance (Quality Control)	E ☐ Faulty preservation/ Packaging	H ☐ Installation environment (Location in weapons sys.)	K ☐ Other parts primary cause	N ☐ Wrong part installation
C ☐ Faulty manufacturing (Quality Control)	F ☐ Foreign object	I ☐ No failure replaced to improve sys. performance	L ☐ Undetermined (Cannot disassemble)	O ☐ Other (Amplify)
32. DISPOSITION OR CORRECTIVE ACTION: Select appropriate codes from list below and enter in boxes at left to indicate disposition or corrective action taken with respect to each of the items entered in spaces 6, 10, and 16.				
33. Maintainability Information				
Man hours to locate trouble Space 10		Hours	Tenths	34. Component/Assembly, Subassembly, Replaced With
Man hours to locate trouble Space 16				Mfr's Part No.
Man hours to repair/replace/adjust				Serial No.
Actual time A/C was undergoing repair				
Total time aircraft not flyable due to this malfunction				
ACCESSIBILITY		SPECIAL		
S ☐ Satisfactory		1 ☐ Frequent trouble item		
U ☐ Unsatisfactory (Amplify)		2 ☐ Can be installed wrong (Amplify)		
35. AMPLIFYING REMARKS (Furnish additional information concerning failure or corrective action not covered above. Do not merely repeat information checked above. Specify any severe operating conditions, such as hard landings, wheels up landings, severe maneuvers, etc.)				
36. Reports to:				
D ☐ FUR 1 ☐ AMPFUR 2 ☐ Urgent AMPFUR 3 ☐ Flight Safety AMPFUR 4 ☐ Follow up report				
Signature _____ Rank/Rate _____ Date _____				
37. Part No. (Non-electronic parts) Or Part Ref. Designator (Electronic parts)				
38. Part Name, Tube Type, Semi- Conductor, or Type Or Description				
39. Mfr's Code No.				
40. Failure Code (From space 30)				
41. Disposition (Code from space 32)				
42. Activity Reported By				
Signature _____				
Rank/Rate _____ Date _____				
FAILURE, UNSATISFACTORY OR REMOVAL REPORT NAVWEP FORM 13070-3 (10-62)				
(Mail this copy to NATSF)				
FUR				

Фиг. 5.5. Форма сообщения об отказах или замене элемента.

Сообщение об отказе/замене радиоэлектронного оборудования Форма Министерства обороны США DD-787								Сообщение Управления кораблестроения 10550-1			
1. Обозначение корабля или станции			3. Тип сообщения (отметить) 1. ☐ Отказ во время работы 2. ☐ Предупредительный ремонт (плановый) 3. ☐ Предупредительный ремонт (неплановый) 4. ☐ Неправильные запасные элементы 5. ☐ Ремонт смесных элементов или блоков 6. ☐ Другие причины				4. Время появления отказа или начала ремонта				
2. Ремонт произвел или составил сообщение							Год Месяц Число Время				
Фамилия	Должность	Принадлежность					5. Время устранения отказа или окончания ремонта				
		1. ☐ ВМФ 2. ☐ Поставщик 3. ☐ Гражданская служба					Год Месяц Число Время				
Оборудование											
3. Обозначение типа модели		9. Первые признаки отказа (отметить)		10. Рабочие условия (отметить)		Показания счетчика времени					
7. Серийный номер оборудования	8. Подрядчик (код ВМФ или полное название)	1. ☐ Не работает		5. ☐ Неустойчивая работа		1. ☐ Нерабочее состояние		А. Высокое напряжение			
		2. ☐ Превышен нижний предел допуска		6. ☐ Шум или вибрации		2. ☐ Работа с пониженной нагрузкой		В. Напряжение накала			
		3. ☐ Превышен верхний предел допуска		7. ☐ Перегрев		3. ☐ Не изменились		12. Время ремонта		Чел.-часы	Десять-е
		4. ☐ Прерывистая работа		8. ☐ Видимый дефект							
		9. ☐ Другие (объяснить)									
Данные о замене											
13. Обозначение устройства (У) или блока (Б)	14. Серийный номер У или Б	15. Условное обозначение (У-101, С-14, R11 и т. д.)	16. Номер федерального склада	17. Изготовитель уда-ленного устройства	18. Тип отказа	19. Первичный (П) или вторичный (В) отказ?	20. Причина отказа	21. Нахождение удаленного устройства	22. Имеется ли устройство для замены на месте?		
						П ☐ В ☐			Да ☐ Нет ☐		
						П ☐ В ☐			Да ☐ Нет ☐		
						П ☐ В ☐			Да ☐ Нет ☐		
						П ☐ В ☐			Да ☐ Нет ☐		
23. Данные о продолжительности ремонта											
Код	Дни	Часы	Десять-е	Код	Дни	Часы	Десять-е	24. Примечания			
								(При необходимости можно использовать обратную сторону)			

Ф и г. 5.6. Форма DD-787 Управления кораблестроения ВМФ США.

зов. Кроме того, имеются графы для записи информации о проведенных коррекциях, схемных обозначений и наработанного времени. По правилам материально-технического снабжения требуется, чтобы отказавшее изделие и сообщение об отказе были возвращены до того, как будет произведена замена запасным изделием. Этим гарантируется, что все отказы будут документально оформлены. Форма изготавливается печатным способом, поэтому копии могут быть посланы во все заинтересованные группы.

Другая успешно применяемая эксплуатационная форма — это сообщение о снижении качества и надежности (фиг. 5.3). Эта форма составлена по образцу формы BMD-050 для программ ВВС США по баллистическим снарядам. Основное ее преимущество состоит в том, что в центре сбора данных по надежности содержащиеся в ней сведения могут переносить непосредственно на перфокарты типа IBM. Такой метод исключает возможные ошибки, которые возникают, когда данные переносятся с первичного документа на промежуточную форму. Вся верхняя строчка, а также графы i3 и i7 формы сообщения используются для кодов IBM.

Третий вид эксплуатационной формы, известный как сообщение об отказах и расходе запасных элементов (фиг. 5.4), разработан отделом надежности фирмы «Thompson Ramo Wooldridge». Такие формы изготавливаются в виде блокнота, который полевой инженер может носить при себе. Инструкция по заполнению формы отпечатана на обложке блокнота. Это позволяет инженерам оформлять документ на отказ сразу же после его возникновения. Таким образом устраняется неправильная практика некоторых эксплуатационников, которые составляют сообщения о неисправностях значительно позже, когда они уже забыли много важных сведений.

5.3в. Формы заказчика. Различные военные ведомства используют разные формы сообщений об отказах по нескольким типам изделий. Управление вооружения Министерства военно-морского флота США применяет сообщение об отказе, неудовлетворительной работе или замене элемента (фиг. 5.5) для регистрации неисправностей в авиационном оборудовании. К форме прилагается подробная инструкция по ее заполнению, помогающая точно регистрировать данные. Стандартные коды для описания неисправностей облегчают механическую обработку данных. Данные с первичного документа можно непосредственно переносить на перфокарты.

Аналогичную форму DD-787 (фиг. 5.6) использует Управление кораблестроения для сообщений об отказах радиоэлектронного оборудования. Формы изготавливаются в виде блокнота, в котором отпечатаны также инструкция по заполнению и коды отказов для автоматической обработки данных (фиг. 5.7).

Министерство военно-морского флота США учитывает, что возрастающая сложность систем вооружения требует улучшенной системы для быстрого сбора и анализа данных об отказах. Приве-

Типы отказов

Перечень наиболее часто используемых кодов отказов (если правильный код не найден, следует обратиться к приводимому ниже алфавитному перечню)

Электронные лампы		Транзисторы и полупроводниковые диоды	Сменные узлы	Коды других общих видов отказов					
				электрические и электронные элементы		электрохимические, механические, химические элементы			
Код	Вид отказа	Код	Вид отказа	Код	Вид отказа	Код	Вид отказа	Код	Вид отказа
002	Натекание воздуха	741	Низкая критическая частота	035	Уход параметров	007	Образование дуги	710	Дефект подшипника
007	Образование дуги	744	Низкое обратное сопротивление	098	Низкое усиление	080	Выгорание	780	Искриб
360	Повреждение ободочки			094	Никакого усиления	130	Изменение номинальной величины	040	Заклинивание (механическое)
001	Натекание газа	739	Низкий коэффициент усиления по току	360	Прерывистая работа	320	Высоковольтный пробой	070	Искриб
387	Утечка	743	Чрезмерно большое время спада	387	Низкие характеристики	350	Пробой изоляции	090	Неправильное давление щеток
004	Низкая крутизна или усиления			089	Плохая модуляция	380	Утечка	720	Неисправность щеток
131	Смещение выше предела	745	Высокое прямое сопротивление	096	Отсутствие модуляции	008	Чрезмерный шум	150	Дребезжание
309	Микрофонный эффект	742	Большой ток коллектор — база	022	Нет генерации колебаний	450	Обрыв	160	Нарушение контакта
053	Неправильное зажигание			460	Обрыва первичной обмотки	082	Пережогившийся обрыв	170	Коррозия
008	Чрезмерный шум	737	Обрыв цепи база — коллектор	451	Обрыв в цепи ротора	470	Обрыв вторичной обмотки	210	Слабое стопорное действие
003	Обрыв нити накала			452	Обрыв в цепи статора	452	Обрыв в обмотке	226	Большой люфт
560	Плохая регулировка	735	Обрыв цепи база — эмиттер	560	Плохая регулировка	520	Образование раковин	557	Большое сопротивление контакта
011	Дефект экрана (электронно-лучевая трубка)			097	Слабый отклик			730	Ослабление крепления
105	Прерывистое короткое замыкание							790	Нарушение регулировки
								570	Ржавчина
								770	Неисправность контактных контактов

1006	Постоянное короткое замыкание	150	Большое время восстановления	091	Низкая чувствительность	005	Прерывистое короткое замыкание		лец или коллектора
018	По результатам испытаний неустойчивая работа	734	Чрезмерно большое время нарастания	680	Неустойчивая работа	006	Постоянное короткое замыкание	144	Ненормальная скорость
		740	Высокое сопротивление насыщения			620	Короткое замыкание в первичной обмотке	945	Структурная неисправность
		738	Короткое замыкание между базой и коллектором			612	Короткое замыкание ротора	020	Чрезмерный износ
		731	Короткое замыкание между коллектором и эмиттером			630	Короткое замыкание во вторичной обмотке		
						613	Короткое замыкание в статоре		

Алфавитный перечень отказов

Код	Вид отказа	Код	Вид отказа	Код	Вид отказа	Код	Вид отказа	Код	Вид отказа	
630	Вибрации	080	Выгорание	053	Зажигание	731	Замыкание короткое между коллектором и эмиттером	613	Замыкание короткое статора	
200	Взрывы	322	Генерация колебаний отсутствует		неправильное (тиратрона)			615	Замыкание на землю	
156	Время восстановления большое	090	Давление щеток неправильное	308	Заземление	620	Замыкание короткое первичной обмотки	600	Замыкание на корпус	
749	Время накопления чрезмерно большое	210	Действие стопорное слабое	040	Заклинивание механическое	006	Замыкание короткое постоянное	180	Застопорившиеся	
		225	Дефект производственный	630	Замыкание короткое вторичной обмотки	005	Замыкание короткое прерывистое	780	Искриб	
734	Время нарастания чрезмерно большое	011	Дефект экрана (электронно-лучевая трубка)	736	Замыкание короткое между базой и коллектором			070	Излом	
		150	Дребезжание			612	Замыкание короткое ротора	130	Изменение номинальной величины	
743	Время спада чрезмерно большое	230	Загрязнение					020	Износ прерывистый	
								1120	Искрибание	
									170	Коррозия
									739	Коэффициент усиления по току низкий
									004	Крутизна низкая
									226	Люфт большой
									096	Модуляция отсутствует
									089	Модуляция плохая
									002	Натекание воздуха
									001	Натекание газа

Алфавитный перечень отказов (продолжение)

Код Вид отказа	Код Вид отказа	Код Вид отказа	Код Вид отказа	Код Вид отказа	Код Вид отказа
160 Нарушение контакта	735 Обрыв в цепи база — эмиттер	350 Пробой изоляции	740 Сопротивление насыщения высокое	060 Хрупкость	
790 Нарушение регулировки	451 Обрыв в цепи ротора	270 Промерзание	744 Сопротивление обратное низкое	741 Частота по и критическая низкая	
770 Неправильность контактных колец или коллектора	452 Обрыв в цепи статора	640 Проскальзывание	015 Стекло разбитое	091 Чувствительность низкая	
965 Неправильность механизма настройки	470 Обрыв вторичной обмотки	360 Работа прерывистая	742 Ток коллектор — база большой	008 Шум чрезмерный	
945 Неправильность структурная	003 Обрыв пинти накала	240 Расслоение	093 Усиление низкое	004 Эмиссия низкая	
720 Неправильность щеток	450 Обрыв первичной обмотки	190 Растрескивание	094 Усиление отсутствует	009 Эффект микрофонный	
007 Образование дуги	140 Обугливание	570 Ржавчина	340 Установка неправильная		
280 Образование плесени	730 Ослабление крепления	560 Регулировка плохая	380 Утечка		
520 Образование раковины	097 Отклик слабый	442 Сигнал выходной низкий	035 Уход параметра		
453 Обрыв в обмотке	024 Пайка плохая	255 Сигнал выходной отсутствующий	010 Фокусировка плохая		
737 Обрыв в цепи база—коллектор	258 Перегрев	144 Скорость нормальная	387 Характеристики низкие		
	960 Повреждение оболочки	131 Смещение выше предельного			
	371 Помехи	567 Сопротивление контакта большое			
	400 Потеря остаточного магнетизма				
	320 Пробой высоковольтный				

Ф и г. 5.7. Коды отказов для автоматической обработки данных.

А. Номер конт- ракта на ра- боту	В. Сро- чок	С. Требуе- мое вре- мя	Д. Рабочая площад- ка	Е. Расчетное ко- личество че- ловеко-часов	Ж. Номер первич- ного сообще- ния	З. Сообще- ние № 26407 -F	И.	Л.
1. Тип, модель и серия оружия	2. Серийный №		3. Время	4. Рабо- чий центр	5. Приказ на вы- полнение ра- боты №	6. Дата день месяц год	7. Код ра- ботающе- го уст- ройства	
1А. Год разра- ботки	2А. Серийный №		3А. Время	8. Приня- тые меры	9. Когда обна- ружено	10. Ха- рактер нару- шения	11. Блоки	12. Рабо- чие часы
1В. Тип, модель, серия двига- теля	2В. Мо- дель	Год изго- товления	3В. Время	14. Полный се- рийный по- мер установ- ленного дви- гателя	15. Се- рия	Год из- готовле- ния	Серий- ный №	16. Вре- мя
1С. Тип, модель, серия устройства	2С. Номер элемента		3С. Серий- ный №	17. Номер установлен- ного устройства		18. Серийный №		19. Вре- мя
1. Условное обозначение	К. Нарушение работоспособности			Л. Корректировочные меры				
				Проверил (подпись и звание)				
			Обнаружил (подпись и звание)		Испытание провел (подпись и звание)		Контролер (подпись и звание)	
☐	Невыяснен- ное нару- шение ра- ботоспособ- ности		☐	Время для замены Устройство для замены		☐	Данные пере- писаны в соответ- ствующую сводку	
						Данные переписаны		Переписал (подпись и звание)

☐ Запрос на выполнение работы		☐ Отдельная рекомендация по улучшению оборудования	
1. Дата запроса (число, месяц, год)	2. Войсковая часть или организа- ция ☐ Код	3. Запрос №	17. Номер приказа на выполнение работы
4. Серийный №	5. Регистрационный №		
6. Номенклатура и модель		7. Полный серийный №	
8. Дата изготовления или последнего капитального ремонта	9. Меры, принятые изготовителем или в ремонтной мастерской	10. часы мин полеты	
11. Отказ обнаружен при ☐ техни- ☐ осмотре, ческом испытании ремонте Код А Код С ☐ обслужи- ☐ нормаль- живании ной работе Код В Код D		12. Первый признак неисправности A ☐ Неработоспособный Код 068 D ☐ Шум Код 008 G ☐ Перегрев Код 258 C ☐ Нарушение регулировки Код 790 F ☐ Низкие характеристики Код 387 I ☐ Другие Код 099	
13. Описать неисправности или симптомы на основе полной проверки и диагностики			
14. Отправлено (подпись)	15. Получено (подпись)	16. Дата получения (число, месяц, год)	
III. Рекомендации по улучшению оборудования			
Аварийные	Срочные	Регулярные	
29. ☐ Нормальная замена		30. Серийный номер отказавшего или неисправного элемента	
31. Рекомендации a улучшить кон-струкцию b модифицировать c пере-смотреть методичку d другие (уточнить)			
32. Мнения или замечания. (Дать ссылку на соответствующие графы. Описать условия при которых произошел отказ. Приложить фотографии или эскизы, если имеются)			
33. Подпись	34. Организация	35. Контрольный номер	

Фиг. 5.9. Рекомендации по улучшению оборудования (форма Армии США).

денные формы разработаны в результате детального изучения требований военно-морского флота и промышленности. Сообщения завершаются записью о ремонте, связанном с отказом. Они используются также и для элементов, взятых из резерва запасных частей, если они оказываются неисправными. Все эти формы рассчитаны на получение информации для:

- 1) устранения недостатков в изделиях и элементах;
- 2) оценки надежности и ремонтнопригодности изделий;
- 3) определения требования к снабжению;
- 4) контроля резерва запасных частей и элементов;
- 5) рекламаций фирмам, с которыми заключены контракты;
- 6) контроля качества выпускаемой и подготавливаемой к выпуску продукции.

Сообщения, полученные с мест эксплуатации, анализируются, а накапливаемые данные публикуются периодически в «Информационном бюллетене». По всем повторяющимся проблемам предпринимаются корректировочные действия.

Военно-воздушные силы США вместо сообщения об отказах применяют форму для регистрации нарушений работоспособности (фиг. 5.8). Эта форма похожа на форму сообщения BMD-050; в ней также используются коды для обработки данных.

Министерство Армии США использует для регистрации отказов при эксплуатации рекомендацию по улучшению оборудования (фиг. 5.9). Соответствующее управление в армии получает заполненные бланки с мест эксплуатации и затем обращается к изготовителям и поставщикам с просьбой принять корректирующие меры.

Очень трудно достичь высокой надежности, если все меры, принимаемые при эксплуатации, сводятся только к сообщениям о серьезных повторяющихся отказах. Один и тот же вид отказа может наблюдаться один или два раза в месяц в каждом месте эксплуатации, но никаких сообщений об этом не посылаются изготовителям ввиду неясности положения. Некоторые лица из эксплуатационного персонала воздерживаются от подписания сообщений об отказах такого рода из-за опасения, что сообщения могут оказаться неверными, так как оборудование в действительности является работоспособным. Третий аспект проблемы состоит в том, что изготовителям и поставщикам трудно получить отказавшие изделия после того, как система принята на вооружение. Очень часто военный технический персонал стремится установить точное местонахождение отказа в конкретной печатной плате, заменить эту плату, а отказавшую выбросить на свалку. Точная причина отказа при этом никогда не будет определена. Военные ведомства должны разработать план возвращения всех отказавших изделий изготовителям и поставщикам, имеющим лаборатории анализа отказов. Такой план потребует очень небольших затрат и может улучшить надежность на порядок.

5.4. Обработка данных об отказах. В недалеком прошлом многие системы обработки данных об отказах оказывались неэффективными. Попытки разработать систему, которая обслуживала бы несколько организаций, приводили к компромиссным вариантам системы, неспособной удовлетворять требованиям ни одной организации. Для службы надежности требуется механическая система, которая будет точно объединять и накапливать соответствующие данные об отказах. Такая система должна быть способной выполнять специальные программы по временному графику. Это значит, что в течение нескольких минут после поступления несложных запросов система должна выдавать ответы в отпечатанном виде. Примером такого запроса может быть запрос на суммарный перечень всех отказов конкретного узла, который был применен в конструкции.

Опыт показал, что иногда обработка специальных сообщений может быть проведена вручную быстрее, чем машиной. Перфокарты с напечатанными видами отказов можно группировать в картотеке по номерам узлов. Эти карты можно вынимать из картотеки для справок. Таким образом, нет необходимости прокалывать массив карт спицами или производить их сортировку машиной. В результате получается большая экономия времени. Этот метод может быть применен только к специальным сообщениям, на которые обычно поступает большое количество запросов. В других случаях необходимо было бы иметь много картотек из дублированных карт, расположенных в различных последовательностях.

Запись данных на магнитную ленту является другим способом, позволяющим ускорить обработку сообщений об отказах. Это имеет особенно важное значение, когда объем данных становится очень большим. Так же как и в большинстве автоматических информационно-поисковых систем, операторы тратят на подготовку задачи значительно больше времени, чем требуется машине для ее решения. Но и машинное время является важным фактором, так как устройство считывания с ленты должно просмотреть рулон ленты длиной 800 м для поиска требуемой информации о надежности знак за знаком. Вполне возможно, что в будущем данные о надежности будут записываться на гибких магнитных картах для использования в запоминающих устройствах вычислительных машин с произвольной выборкой. Такие карты помещаются в кассетах, позволяющих производить поиск и считывание за несколько секунд.

5.4а. Проблемы объединения и сокращения данных. Наиболее важная проблема, которая возникает при накоплении информации об отказах, — это возможность неправильного истолкования данных операторами, выполняющими кодирование. Как было показано выше, решение этой проблемы может быть облегчено, если инженеры, проводящие испытания, будут записывать соответствующие коды в форму сообщения об отказе. Тогда этот документ может быть использован для переноса данных на перфокарту и ошибки

Номер элемента		Серийный №		Название		Поставщик	
Наработанное время	Дата	Номер сообщения	Название сообщения	Символ/условное обозначение	Условное обозначение узла	Проект	
Тип испытания		Организация, составившая сообщение	Неисправность	Классификация			
Количество испытанных элементов	Принято	Забраковано	Код неисправности	Проведено	Номер чертежа	Ответственный инженер	
Описание неисправности							
Лабораторный анализ							
Рекомендации лаборатории							
Корректировочные меры							

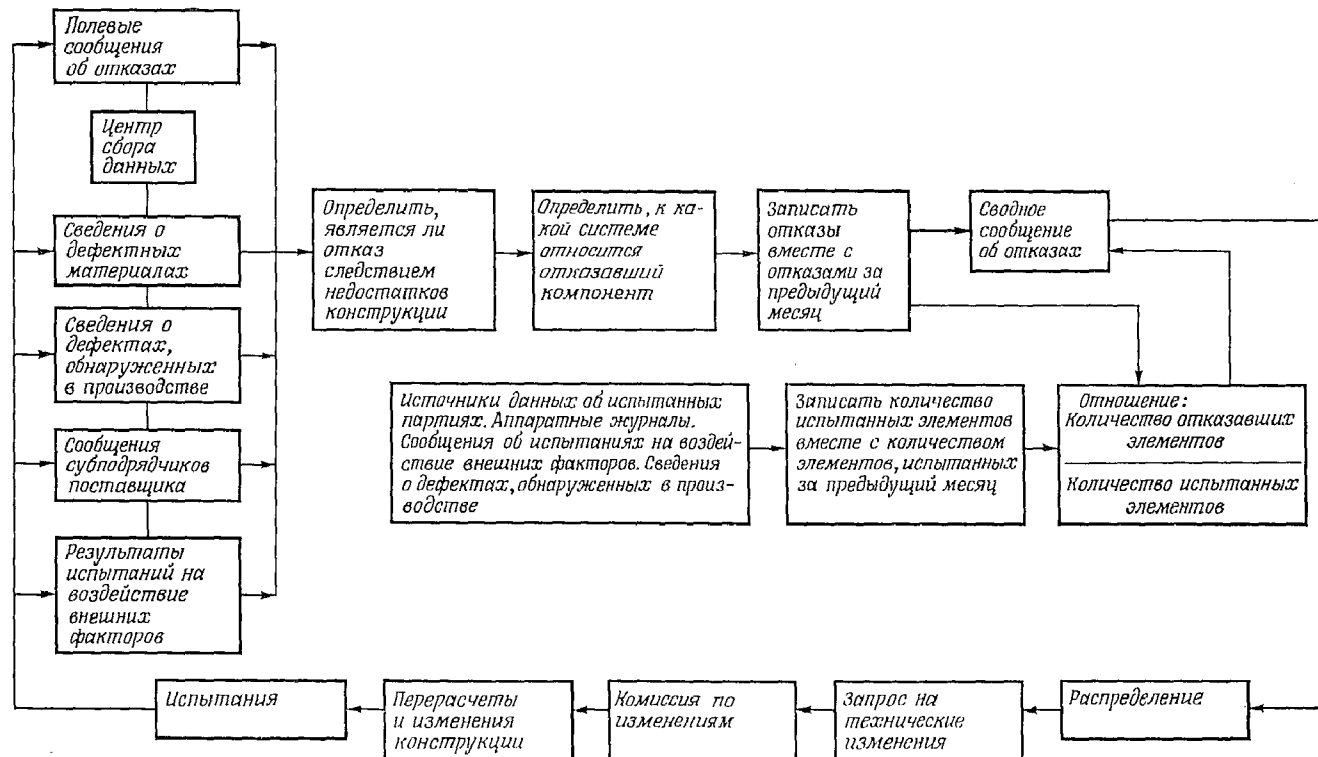
Фиг. 5.10. Промежуточная форма для перевода данных на машинный язык.

оператора при заполнении промежуточной формы будут исключены. Промежуточные, или передаточные, формы обычно используются, когда подразделения надежности изучают сообщения о надежности до передачи их в фонд накопления данных. Специалист по надежности оказывается осведомленным о данных, которые будут храниться, и может использовать их для обоснования рекомендаций по корректировочным мероприятиям. Кроме того, если некоторые графы формы оставить свободными, то оператор, кодирующий данные по надежности, может, контактируя с полевым оператором, заполнить сообщение. На фиг. 5.10 приведена в качестве примера промежуточная форма для перевода данных об отказах на машинный язык. В гл. 2 были приведены типичные классификационные коды и условные символы, используемые для этой цели.

5.4б. Сводки данных. Исторические сводки отказов, подготовленные электронными машинами, обрабатывающими данные, служат для определения повторяющихся проблем, связанных с отказами. Сводное сообщение об отказах фирмы «Martin» является примером всеобъемлющей сводки данных, которая представляется ежемесячно руководству, разработчикам и конструкторам. Сводка содержит данные о видах отказов, отнесенных к недостаткам конструкции, которые произошли во время испытаний у изготовителя, на заводе-сборщике систем, при испытаниях на воздействие внешних условий и в процессе эксплуатации. Источники данных показаны на блок-схеме фиг. 5.11. Такие же сводки можно составлять на отказы, обусловленные недостатками производственных технологических процессов или неправильным обслуживанием. Частота отказов на уровне узлов определяется в блок-схеме как отношение числа отказов к числу испытываемых элементов (или узлов).

5.4в. Графики отказов. Графики отказов можно использовать как дополнение к оценкам надежности, основанным на наработке на отказ. Их можно строить вручную или механически. Полулогарифмическая бумага дает представление о длине линий между точками, что позволяет легко определить увеличение или уменьшение отказов в процентах. Для сглаживания линий и исключения беспорядочных флуктуаций, вызванных не имеющими непосредственного отношения к ненадежности факторами, интервал между точками берется равным двум или трем месяцам. Наиболее полезными оказались три типа графиков: графики отказов системы, отношения числа отказов к числу испытываемых элементов системы и нарастающего суммарного количества отказов системы, выраженного в процентах. Ни один из этих графиков не отражает изменяющейся сложности системы, но они позволяют проверить точное сравнение систем и определять слабые места, на устранение которых должны быть направлены корректировочные меры. Графики второго типа дают наиболее достоверную оценку тенденций, так как в них учитывается количество испытываемых элементов.

Ежемесячно используемые
источники данных об отказах



Фиг. 5.11. Блок-схема получения и использования данных об отказах.

5.5. ЛАБОРАТОРИИ АНАЛИЗА

Лаборатория, используемая специально для анализа отказов, является наиболее эффективным средством обеспечения повышения надежности. Если отказавшие узлы посылаются изготовителю для обнаружения неисправностей, то прежде всего он позаботится о том, чтобы произвести их ремонт. Заводские работники не имеют ни времени, ни желания для проведения тщательного анализа с целью выяснения точной причины отказа. Гораздо лучше направить отказавшее изделие в специальную лабораторию, укомплектованную пытливыми инженерами, склонными к проведению исследований, для которых главное — это узнать: «почему?».

Хорошо оборудованная лаборатория должна располагать по крайней мере одним или большим числом следующих приборов:

Осциллоскоп	Дифференциальный вольтметр
Генератор прямоугольных сигналов	Электронный счетчик
Источник питания	Магометр
Регистрирующие приборы	Микроскоп
Фазометры	Контрольные лампы
Мост для измерения емкости и индуктивности	Ювелирные инструменты
Мост для измерения сопротивлений	Пирометр
Транзисторный характеристикограф	Универсальные измерительные приборы
Прецизионные измерительные приборы	Осциллограф
	Испытатель диэлектриков
	Генератор сигналов
	Щипцы и пинцеты
	Фотоаппарат

Большую ценность представит также библиотека методик функциональных испытаний и технических условий на элементы.

Лаборатория анализа отказов должна иметь возможность обращаться за помощью в проведении специальных испытаний к другим лабораториям. Обычно возникает необходимость в помощи химической, металлургической, рентгеновской, гидравлической, пневматической лабораторий, а также лабораторий физических и динамических испытаний и испытаний на воздействие внешней среды. Должна быть также доступной механическая мастерская для монтажа и разборки изделий.

5.5а. Некоторые проблемы. Очень важно, чтобы в лабораторию поступало точное сообщение о неисправности с подробной записью результатов измерений параметров к моменту отказа. Если имеются запасные части, то в лабораторию может быть доставлен отказавший узел. Поступающие в лабораторию узлы иногда подвер-

гаются функциональным испытанием. В таких случаях узел должен быть помещен в его нормальное положение на шасси для того, чтобы определить, не имеет ли место превышение допусков, которое может привести к отказу системы. Полезно также произвести измерение динамических параметров отказавшего элемента или узла для уточнения проблемы.

Часто возникает необходимость в строгом соблюдении правил обращения с изделиями, которые были приняты правительственными ведомствами. Изделие, вернувшееся из пункта эксплуатации, после отказа должно быть сдано в опечатываемое складское помещение. Составляется точная опись всех частей, присланных в лабораторию анализа отказов. После того как анализ будет завершен, все части должны быть возвращены эксплуатационному персоналу, который может сдать их для уничтожения правительственным инспекторам. Обычно подлежащие выбросу элементы помечаются красной краской и на них ставится штамп, так что возможность их возврата к поставщику исключается.

5.56. Воспроизведение отказов. Если лабораторные исследования не могут вскрыть причины отказа, то желательно приобрести новый узел и провести его испытание с целью воспроизведения отказа. В тех случаях, когда нельзя определить точно входные величины и внешние факторы, вызвавшие отказ, следует использовать метод наихудшего случая. Испытание должно быть хорошо обеспечено приборами, чтобы в случае повторного возникновения исследуемого отказа можно было зафиксировать неисправность. На такое испытание следует приглашать инженера-разработчика, так как его знания и опыт могут оказаться очень ценными.

5.6. ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ

Когда отказавший узел принимается лабораторией анализа отказов, в журнал должны быть записаны относящиеся к нему данные. Обычно регистрируемая информация включает в себя дату поступления, номер сообщения о неисправности, номер чертежа узла, серийный номер, описание неисправности, сведения о местоположении устройства, в котором произошел отказ, фамилию инженера, которому поручено исследование. Две дополнительные графы — причина отказа и номер лабораторного сообщения — заполняются после того, как будет закончен анализ.

Первый шаг при анализе состоит в проверке наличия отказа. В библиотеке берется методика функциональных испытаний и в соответствии с ней проводится испытание для наблюдения признаков, указанных в сообщении о неисправности. Если наличие отказа подтверждается, то начинается поиск его причины. При проверке узлов радиоэлектронной аппаратуры часто можно локализовать

проблему, пользуясь принципиальной схемой и проверяя цепи. Многие элементы на печатной плате защищены эпоксидным покрытием, и доступны лишь несколько точек, в которых можно провести измерения напряжения, тока и сопротивления. В этих случаях, пользуясь паяльником, удаляют эпоксидную смолу, чтобы открыть доступ к выводам элементов. Такая процедура необходима потому, что нет растворителя, который мог бы быстро размягчить смолу.

Герметизированные узлы представляют еще большую трудность, так как заливочный состав должен быть удален до начала поиска причины неисправности. Для этого рекомендуется использовать растворители, но обычно требуется от двух до пяти дней для повторных обработок состава растворителем с целью его частичного размягчения перед удалением. Обычно используются такие растворители, как трихлорэтилен, метил, этил, ацетон, толуол, лигроин, фенол, этилен, дихлорид и уксусная кислота. При этом следует проявлять осторожность и не применять растворителей, которые могут повредить или растворить элементы схемы.

Если узлы помещены в запаянные металлические корпуса, то перед разборкой всегда желательно сделать рентгеновский снимок для того, чтобы удостовериться в наличии отказа до разборки. При отсутствии чертежей узла рентгеновский снимок будет полезен при разборке, так как позволит избежать повреждения внутренних частей.

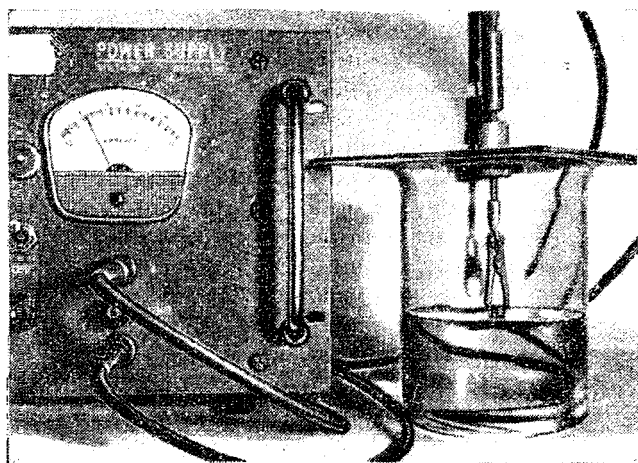
В случае исследования дорогостоящих узлов, на которые имеется гарантия, нужно получить разрешение поставщика на их разборку. Анализ должен выполняться с оборудованием основного поставщика, чтобы можно было проследить воздействие входных величин системы на отказавший узел. К поставщику обычно обращаются с просьбой направить своего представителя для оказания помощи при обнаружении неисправности.

Если есть подозрение, что в узле имеется прерывающийся контакт, то для обнаружения элемента, вызывающего неисправность, могут быть с успехом использованы нагревание и вибрации. Целесообразно изготовить для этого недорогую термокамеру, так как стационарное лабораторное оборудование для испытаний на воздействие внешних факторов может быть недоступно.

5.6а. Отсоединение элементов. После того как обследованием узла определен неисправный элемент, его нужно выделить для выяснения точной причины отказа. При этом опять нужно проявлять исключительную осторожность, чтобы сохранить все признаки, по которым можно определить отказ. Перед проведением анализа всегда следует делать рентгеновские снимки.

Для удаления корпусов транзисторов применяется электрохимический аппарат (фиг. 5.12). Преимущество электрохимического способа перед механическим состоит в том, что при его использовании транзисторы не подвергаются ударам, нагреву или вибра-

циям. С корпуса транзистора перед тем, как он будет зажат зажимом, нужно удалить краску. Транзистор помещается над центром отверстия в металлической пластине, а в сосуд аппарата заливается 20%-ная соляная кислота так, чтобы корпус транзистора касался ее поверхности. Затем к металлической пластине подключается плюс источника постоянного тока, а к зажиму — минус.



Фиг. 5.12. Электрохимический аппарат для удаления корпусов транзисторов.

В этом аппарате верх корпуса транзистора может быть удален за пять минут без повреждения кристалла. Металлическая пластинка и зажим должны быть позолочены для предотвращения коррозии при длительном воздействии на них кислоты.

После удаления кристалла из корпуса транзистора его заливают смолой и шлифуют на охлаждаемых водой абразивных камнях различной зернистости. Затем отшлифованная поверхность протравливается и ее структура рассматривается в микроскоп. Микрофотографии поверхности перехода сравниваются с микрофотографиями переходов других отказавших транзисторов с аналогичными электрическими характеристиками. Если окажется, что отказ является результатом отклонений технологического процесса, то об этом сообщают поставщику, который должен принять корректировочные меры.

Аналогичная техника применяется для вскрытия других элементов радиоэлектронных схем, помещенных в герметичные корпуса. При вскрытии реле, конденсаторов и резисторов полезно пользоваться ювелирными инструментами и шлифовальным кругом.

5.66. Виды отказов. В процессе анализа аппаратуры космических объектов были обнаружены многие тысячи видов отказов. Ниже будут описаны некоторые наиболее часто встречающиеся из них.

Транзисторы. Большинство изготовителей транзисторов публикуют в каталогах данные о максимальном напряжении с большой осторожностью. Вследствие этого пробой случается обычно при значительно более высоком напряжении по сравнению с указанным в каталоге. При пробое транзистора высокая местная плотность тока может необратимо изменить его характеристики. Инженерам-испытателям должны быть даны указания не производить испытания на пробой или измерение пробивного потенциала при напряжениях выше максимально допустимого. При таких испытаниях и измерениях на транзистор могут воздействовать кратковременные переходные напряжения, превышающие максимально допустимое, что обычно является причиной отказа. Пробой из-за кратковременных перенапряжений характерен для быстродействующих переключающих транзисторов, имеющих тонкую область базы. Два других наиболее распространенных вида отказов транзисторов — загрязнение поверхности и растрескивание кристалла при ударах и вибрации. Улучшенные технологические процессы и новые методы крепления кристаллов в транзисторе значительно уменьшили количество отказов этих типов. Большинство изготовителей стали применять испытания герметичности корпуса транзистора, что устранило ряд серьезных трудностей.

Реже возникают отказы из-за плохого присоединения контактов и неоднородности материалов. В лабораториях иногда обнаруживаются токовые перегрузки транзисторов, вызванные ошибками операторов. В таких случаях внутренние выводы оказываются отпаянными от внешних контактов и на их концах образуются шарики припоя. У мощных транзисторов наблюдаются отказы, обусловленные тепловыми перегрузками. Они могут быть предотвращены применением в конструкции хороших теплоотводов.

Реле. В большинстве случаев обгорание и эрозия поверхности контактов реле вызываются индуктивной нагрузкой. Если не применяются защитные диоды, конструкторы должны обеспечить прочность контактов, по крайней мере в два раза выше требуемой, при максимальной индуктивной нагрузке. Применение параллельных контактов для повышения допустимой токовой нагрузки нежелательно, так как замыкание и размыкание таких контактов происходит не одновременно. Если реле не герметизировано, то причиной отказа может быть коррозия контактов. Иногда случаются обрыв или короткое замыкание в обмотках реле и обычно причиной их являются дефекты производства. Очень трудно избежать небольших изменений сечения и неоднородностей проволоки небольшого диаметра. Такие неоднородности с относительно высоким сопротивлением могут явиться причиной отказа.

Трансформаторы. В трансформаторах иногда случаются обрывы из-за плохого соединения выводов с обмотками. Короткое замыкание в обмотке может быть вызвано нарушением изоляции или перегрузкой вследствие ошибки оператора. Обычно неисправность, вызванную перегрузкой, можно определить по большому количеству оплавлений и обгораний, обнаруживаемых при вскрытии.

Диоды. В точечно-контактных полупроводниковых диодах происходят обрывы или замыкания из-за смещения контактного острия относительно центра кристалла. Возникающее при этом натяжение контактной пружины может вызвать перелом проволоочки под действием вибрации. У диодов в стеклянных корпусах часто возникают трещины вследствие разности температурных коэффициентов объемного расширения стекла и эпоксидного покрытия печатной платы.

Резисторы и потенциометры. Испытание модулей при высокой температуре может выявить перемежающиеся обрывы в пленочных и композиционных углеродистых резисторах с цементированными выводами. Такая неисправность вызывается тепловым расширением защитного эпоксидного покрытия, оказывающего при этом усиленное давление на выводы. У керамических резисторов могут трескаться корпуса из-за различных коэффициентов сжатия керамики и эпоксидной смолы. Количество отказов проволоочных резисторов возрастает с уменьшением сечения проволоки. Это связано с теми же производственными трудностями, о которых говорилось при рассмотрении отказов обмоток реле из очень тонкой проволоки. Большинство отказов потенциометров вызывается загрязнением и отравлением элемента сопротивления. Иногда вибрации могут вызвать прерывистый обрыв, но, как правило, этот вид отказа быстро устраняется улучшением конструкции.

Конденсаторы. Короткозамкнутые электролитические конденсаторы с жидким электролитом обладают способностью самовосстановления, что затрудняет выявление причины отказа. Миграция ионов является симптомом неисправности, поэтому необходимо сделать химический анализ электролита. Танталовая фольга меняет свой цвет в зависимости от напряжения формирования. Ниже указаны типичные цвета.

Напряжение формования, в	Цвет
5	Серебряный
8	Золотой
13	Золотисто-желтый
20	Темно-коричневый
33	Светло-голубой
40	Серебряный
67	Фиолетовый
100	Золотой
133	Темно-зеленый
200	Светло-зеленый

Часто оказывается возможным определить по цвету фольги, были ли конденсаторы под действием напряжения, превышающего номинальное. Поляризованные танталовые конденсаторы очень чувствительны к перемене полярности напряжения. Поэтому инженер, проводящий анализ отказа, должен определить максимальное напряжение, действовавшее на конденсатор, и возможную частоту повторения любых возникающих в нем переходных явлений.

Разъемы. Основные виды отказов разъемов связаны с плохим взаимным согласованием гнездовой и штырьковой частей и воздействием влаги. Для лучшего аксиального согласования очень полезны направляющие штырьки, придающие правильное положение колодкам разъема перед соприкосновением штырьков и гнезд. Разработаны новые методы защиты разъемов от проникновения влаги.

Механические проблемы. Коррозия, загрязнение и утечка являются основными причинами отказов механических систем. Если соприкасающиеся неоднородные металлы не анодированы или не пассивированы, то при наличии влаги между ними начинается электрохимическое взаимодействие. Вследствие так называемого эффекта дыхания, возникающего при изменениях температуры, влага из атмосферы проникает внутрь аппаратуры в такие ее места, которые многие конструкторы считают непроницаемыми. Инженер по анализу отказов, обнаружив признаки коррозии, должен установить положение разнородных металлов в электрохимическом ряду и провести анализ продуктов коррозии для определения их химического состава. Полученная в результате этого информация оказывается очень ценной для выработки рекомендуемых корректировочных мер.

Загрязнение и утечка обычно вызываются нарушениями технологического процесса, но они могут быть и результатом механического действия движущихся частей. Утечка через герметичные уплотнения в высокоскоростных вращающихся машинах всегда была сложной проблемой, которая еще более усложнилась в связи с применением криогенных жидкостей. Вместо сложной герметизации иногда принимаются меры по предотвращению утечки. Резиновые уплотняющие кольца, применяемые в статических и динамических устройствах, часто теряют свою упругость. Инженер по анализу отказов обычно проверяет уплотняющие кольца с помощью склерометра, так как такие измерения помогают обосновать предложение применять уплотнения типа металл — металл для систем, подлежащих длительному хранению. Проведение в лаборатории анализа отказов, возникающих при циклических испытаниях на срок службы, может быть очень полезным для определения эффектов расширения пределов допусков на узлы движущихся частей. Увеличение вязкости смазочных веществ на основе нефти при низких температурах является другой причиной неисправностей. Применение новых методов наложения сухой смазки на металлические поверхности в некоторых случаях устраняет эту причину отказов.

Усталость самолетных конструкций стала важным видом отказов в связи с большим сроком эксплуатации самолетов гражданской авиации. Этот вид отказа стал также часто наблюдаться в военных самолетах в связи с возросшей сложностью эксплуатационных условий, обусловленной увеличением скоростей и маневренности. Применение новых материалов усложнило эту проблему, так как значительное повышение статической прочности не всегда сопровождается одновременным улучшением усталостных характеристик материалов.

5.6в. Практические примеры

«После более чем десятилетнего периода интенсивных исследований проблем надежности только немногие анализы отказов открыли химические и физические явления, с которыми мы не были знакомы».

Л. Вуд

Выявление точной причины отказа не представляет особых трудностей, если отказавшее изделие доставлено в лабораторию. Приводимые ниже примеры являются типичными в работе лаборатории анализа отказов. Более сорока дополнительных интересных примеров можно найти в справочниках по анализу отказов.

Пример 5.1

Ракета отказала в полете; анализ телеметрических данных показал, что в приборном отсеке упало давление. Ракета упала в океан и погрузилась на глубину 3400 м, поэтому попыток извлечь ее оттуда не предпринималось. По данным о скорости потери давления можно сделать заключение, что причиной неисправности был либо регулятор давления, либо шаровой клапан системы кондиционирования воздуха. Лабораторией анализа отказов были получены новые образцы обоих изделий для испытаний и решения проблемы.

Были проведены три испытания воздушного клапана. В первом испытании внешние условия запуска имитировались путем повторных соединений и разъединений клапана с кабельной мачтой. После завершения каждого цикла выполнялись функциональные испытания, но утечка не была обнаружена. Во втором испытании в клапан был насыпан песок, пропущенный через сетку с плотностью 30 меш, и поршень перемещался в крайнее положение, соответствующее закрытому состоянию клапана. Такая операция была повторена девять раз, и опять утечка не была обнаружена. Третье испытание имело целью определить влияние высыхания смазки на поршне. Были обследованы клапаны, находившиеся на длительном хранении, хотя их смазываемые поверхности были сухими, клапаны работали нормально. После этих испытаний можно было сделать заключение, что клапан не был причиной аварии ракеты.

Регулятор давления использовался для выпуска азота из гироскопа азимута в атмосферу для поддержания давления в отсеке во

время полета на приблизительно постоянном уровне. Образцы регулятора были испытаны на срок службы и на воздействие вибраций. Кроме того, перед испытанием на срок службы была проведена проверка зависимости давления от скорости потока. Измерения проводились при возрастающих и уменьшающихся скоростях потока для того, чтобы определить гистерезис. Цикл испытания на срок службы выполнялся с регулятором, смонтированным в камере объемом $0,03 \text{ м}^3$. Для впуска воздуха использовалось калиброванное отверстие, а к регулятору был подсоединен вакуумный насос для имитации изменений атмосферного давления во время полета. Регулятор прошел 12750 циклов испытаний. Два образца были установлены на вибростенде для одновременных функциональных испытаний и испытаний на воздействие вибраций. Регуляторы испытывались при изменяющейся частоте вибраций и ускорениях 5, 10 и 20 g. После окончания испытаний анализ данных показал, что, хотя и наблюдалось некоторое изменение давления, работа регулятора находилась в установленных пределах.

Затем регуляторы были разобраны, и оказалось, что твердое анодированное покрытие стенок цилиндра полностью разрушено вблизи пальца клапанного штока. Этот палец, служащий для соединения штока с анероидом, запрессован в отверстие в штоке. Все пальцы выступали из штоков, в одном случае даже на 0,1 мм. Так как размеры стенок цилиндра изменяются от образца к образцу, то вполне возможно, что палец максимальной длины при минимальном диаметре цилиндра мог вызвать застревание штока, что и явилось причиной отказа. Было сделано заключение, что этот вид отказа был возможной причиной потери давления при летных испытаниях ракеты. Поставщик уменьшил диаметр штока в том месте, где в него входит палец, и длину пальца. Было проведено более тяжелое испытание, в процессе которого отказов не наблюдалось.

Пример 5.2

Счетчик предстартового времени ракеты не сработал ввиду того, что первичная батарея после ее задействования не дала нужного напряжения. Эта батарея одноразового применения в задействованном состоянии была снята с ракеты и включена на нагрузку для полной разрядки. Затем батарея была передана в лабораторию анализа отказов для выяснения причины неисправности. Была проведена проверка внешней проводки на отсутствие обрывов цепей; никаких нарушений в ней обнаружено не было. После снятия корпуса из нержавеющей стали батарея была тщательно разобрана представителем поставщика, прибывшим в лабораторию для участия в испытаниях. Удельный вес электролита (гидрат окиси калия) оказался равным 1,3007 при 25°C , т. е. в допустимых пределах. Спектрографический анализ электролита обнаружил в нем следы алюминия, кремния, олова, свинца, меди и железа.

Были обследованы два отстойника, поглощающих избыточный электролит, и в обоих была обнаружена жидкость. Это свидетельствовало о том, что все элементы батареи были правильно активированы. Этот факт подтвердился при последующем вскрытии элементов. Проверкой генератора газа и диафрагм резервуара с медными трубочками подтверждена нормальная работа батарей; не было обнаружено и утечки электролита. Термостаты для подогрева батарей были осторожно освобождены от пенопластового покрытия и помещены для испытания в температурную камеру. Это испытание показало, что температура термостата, регулирующего температуру подогревателя батареи, отличается при замкнутом и разомкнутом состояниях на $9,5^{\circ}\text{C}$, тогда как по техническим условиям эта разность не должна превышать $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$. Анализ пусковых данных установил, что подогреватель батареи вышел из строя перед подачей команды на задействование батареи. На основании этого было сделано заключение, что низкое напряжение батареи вызвано ненормальной работой термостата, вследствие чего температура электролита батареи упала ниже допустимого уровня. Перерасчет термостата поставщиком и 100 %-ное функциональное испытание в процессе сборки батареи позволили устранить этот вид отказа.

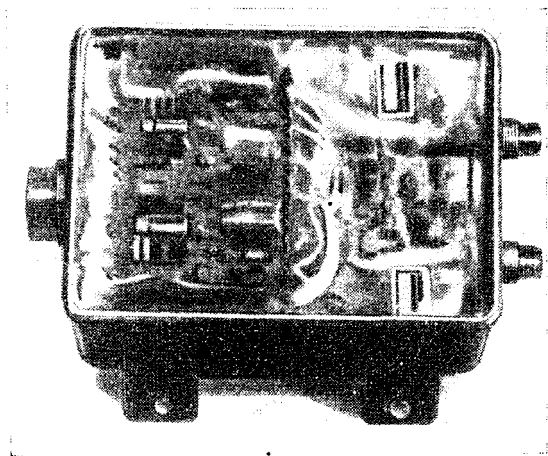
Пример 5.3

В управляемом снаряде была применена мостовая схема соединения пирозапалов из взрывающихся проволочек. Система состояла из генератора одиночных импульсов высокой энергии, передающей линии и мостика из взрывающихся проволочек. При испытаниях снаряда возникли две проблемы. В отдельных случаях импульсы не поступали на мостик из взрывающихся проволочек; в других случаях проволочки не испарялись, а только плавилась. Дефектная система была направлена в лабораторию анализа отказов. Генератор импульсов был отсоединен, а все его элементы подверглись электрическим испытаниям. На рис. 5.13 генератор импульсов показан в состоянии частичного демонтажа. При испытаниях не было обнаружено ни одного дефекта, только один электролитический конденсатор имел повышенную утечку.

В результате детального изучения схемы и методики испытаний было установлено, что при испытаниях системы управляемого снаряда на поляризованный танталовый конденсатор подавалось очень небольшое обратное напряжение. Чтобы выяснить, может ли это напряжение вывести конденсатор из строя, была составлена схема подачи обратного напряжения на 10 образцов конденсатора. После каждого часа испытания конденсаторы заряжались нормальным напряжением; скорость зарядки измерялась на осциллографе. Этот процесс продолжался в течение 10 часов. К концу этого периода у семи конденсаторов было обнаружено прерывистое короткое замыкание. Три конденсатора совсем не заряжались. Так как конденсатор должен быть заряжен перед срабатыванием генератора одиноч-

ных импульсов, то было сделано заключение, что неисправность конденсатора могла быть причиной непоступления импульсов на некоторые взрывающиеся проволоочки при испытаниях управляемого снаряда.

Чтобы выяснить, почему проволоочки только плавилась, а не испарялись, был собран макетный вариант системы. К системе был подключен осциллограф для наблюдения формы напряжения в раз-



Фиг. 5.13. Частично демонтированный генератор импульсов.

личных ее точках при возбуждении импульсом. Это позволило установить, что в передающей линии возникает отраженная волна, вызывающая повышенную потерю энергии в кабеле и уменьшение энергии, поступающей на мостик из взрывающихся проволочек. При использовании нормальной передающей линии на мостик подавалось больше энергии. Применение дополнительной диодно-резисторной схемы для предотвращения попадания обратного напряжения на конденсатор в сочетании с нормальной передающей линией исключило возникновение отказов.

5.7. ЛАБОРАТОРНЫЕ ОТЧЕТЫ

После окончания каждого исследования лабораторией составляется подробный отчет о проведенном анализе. Эти отчеты должны содержать все детали методики испытаний и список использованного оборудования. Результаты измерений должны быть представлены в табличной форме вместе со схемой испытательной установки. В отчете кратко излагается история отказа вместе с анализом его влияния на выполнение задачи изделием. Такой анализ позволяет

классифицировать отказы как критические, важные или второстепенные. Документальные фотографии в отчете, показывающие местонахождение неисправности и позволяющие установить ее причину, всегда представляют большую ценность. Выводы и рекомендуемые корректировочные меры обычно помещаются в начале отчета для удобства руководителей, которые не имеют времени, чтобы прочитать весь отчет.

5.7а. Распределение отчетов. Копии лабораторных отчетов направляются ответственному инженеру-разработчику и членам комиссии по анализу сообщений о неисправностях. Дополнительные копии отчетов предусматриваются для руководителей проекта и заказчика, а также для межведомственного центра по обмену информацией, если проект разрабатывался для вооруженных сил США.

5.7б. Отчеты поставщика. Иногда бывает необходимо возвращать отказавшие узлы и изделия поставщику, чтобы использовать при анализе отказов опыт и знания его специалистов. Поставщики выражают вполне законное недовольство тем, что они редко получают достаточную информацию о деталях отказа, которая необходима им для установления точной его причины. С другой стороны, некоторые поставщики очень долго не присылают своих отчетов и не дают в них объективной оценки из-за боязни ухудшить свою репутацию. Чтобы предотвратить такое положение, фирма «Martin» включила следующий пункт в заказ на поставку:

«Технические отчеты должны быть подготовлены и отправлены в тот же день, когда возвращается отказавшее изделие. В отчете должны быть указаны: 1) конкретная причина отказа; 2) сопутствующая причина (если имеется); 3) рекомендуемые корректировочные меры по конструкции рабочей инструкции, обслуживанию и т. д.; 4) элементы, использованные для ремонта узла; 5) любые другие данные, которые могут способствовать повышению надежности изделия.

Получение такого отчета является обязательным условием для оплаты Ваших счетов».

5.8. КОРРЕКТИРОВОЧНЫЕ МЕРЫ

«Каждый отказ следует считать важным, пока не будут приняты меры по предотвращению причин его возникновения».

Л. Бол

Очевидно, не имеет смысла выявлять причину отказа, если корректировочные мероприятия не будут выполнены в полном объеме. Возможно, что лучший способ решения этой задачи состоит в том, чтобы поручить эту работу комиссии по анализу сообщений о неисправностях. Как указывалось выше, эта комиссия образуется из представителей всех заинтересованных подразделений. Расследова-

ние неисправности не может быть закончено до тех пор, пока все члены комиссии не признают, что необходимые корректировочные меры приняты. Такой метод обеспечивает повышение эффективности работ по улучшению изделия.

Полезно посылать эксплуатационному персоналу копии сообщений о неисправностях, в которых дается описание корректировочных мер. Таким путем можно побудить их лучше выполнять свою работу, так как они будут видеть ее результаты.

5.9. АНАЛИЗ ОТКАЗОВ САМОЛЕТОВ

Управление гражданской авиации США содержит штат инженеров по расследованию аварий самолетов. Эти инженеры являются специалистами по самолетным конструкциям, двигателям, системам, радиоэлектронной аппаратуре и обслуживанию самолетов. Прибывшие к месту аварии специалисты разбиваются на несколько групп. В зависимости от характера аварии могут быть образованы группы по опросу свидетелей, по просмотру конструкции самолета, обследованию двигателей и т. д.

Иногда работа групп может быть закончена на месте аварии, но чаще испытания или продолжение исследований элементов или компонентов производятся на заводе-изготовителе или в испытательной лаборатории.

5.9а. Изучение повреждений корпуса самолета. Тщательное изучение обломков корпуса самолета дает много информации о состоянии самолета в момент касания земли и иногда может помочь восстановить полную картину аварии. Если обломки самолета разбросаны по большой площади, то лишь небольшая часть их будет охвачена пожаром на земле, который обычно возникает при падении самолета. Однако, если самолет упал на землю почти под прямым углом с небольшим разбросом осколков, большая часть алюминиевых, магниевых и мягких частей может быть поглощена пожаром, что сделает расследование менее результативным.

Первое, что нужно сделать, это опознать как можно больше отсеков самолета, элементов и частей и отметить их точное положение на карте расположения обломков. На такой карте иногда отмечают несколько сотен объектов, так как положение небольших элементов, деталей внутреннего оборудования и т. п. может дать ключ к установлению точной картины возникновения аварии, если самолет скользил по земле на протяжении большого расстояния. На карте расположения обломков должны быть также отмечены следы удара самолета о поверхность земли и деревья или наземные объекты, поломанные и снесенные непосредственно перед первым контактом с землей. Карту проще всего построить, если вначале нанести базовую линию, которая начинается в точке первого соприкосновения самолета с землей и продолжается на необходимое расстояние. Пос-

ле этого можно производить измерения вдоль линии, вправо и влево с использованием минимального количества приборов и обученного персонала. Если обломки находятся на небольшой площади, то при наличии соответствующего оборудования лучше пользоваться популярными координатами. Эта карта полезна не только тем, что она дает членам группы по обследованию конструкции начальное представление об аварии, но и позволяет проверить, находится ли весь самолет полностью в зоне аварии.

После того как карта расположения обломков подготовлена, обломки можно использовать для дальнейшего обследования. Часто бывает желательно собрать вместе все части крыла, фюзеляжа, хвостового оперения и т. д., чтобы по ним можно было установить соответствующую картину повреждения. Иногда бывает необходимо полное или частичное моделирование.

Обследование обломков конструкции самолета состоит в тщательном изучении каждого куска. Обломки осматриваются для обнаружения на них следов соприкосновения с землей, пожара в воздухе (копоть или налет расплавленного металла), повреждений от пожара на земле, взрыва, коррозии, усталостных отказов, столкновения в полете с посторонними объектами (птицы, провода, деревья и т. д.), аэродинамического флаттера, посторонних веществ и многих других обстоятельств. Обломанные края корпуса обследуются с целью установления следов пластического течения и растрескивания покраски или других признаков, указывающих на то, что аварию можно объяснить «отказом, вызванным перегрузкой», а также признаков усталости материалов. Если подозревается, что причиной аварии был редко встречающийся в полете отказ конструкции, то поиски признаков усталости производятся особенно тщательно. С высокой точностью должно определяться направление, в котором разлетались связывающие элементы или части самолета, и их взаимное расположение. Это необходимо для того, чтобы отделить повреждения, случившиеся в воздухе, от повреждений при падении на землю и для установления последовательности аварии.

Все гидравлические цилиндры и механические приводы обследуются для установления их состояния в момент аварии, что позволит определить положение закрылков, шасси, органов управления, триммеров и т. д. Все элементы системы управления, включая механические части и звенья, усилители и поверхности органов управления, осматриваются с целью обнаружения отказов и определения, функционировали или нет органы управления во время падения самолета. При обследовании учитываются все балансные веса, тщательно осматриваются шарнирные подшипники, тяги закрылков и другие части, подверженные повреждению при аэродинамическом флаттере.

Обогреватели, система кондиционирования воздуха, система огнетушителей, груз и другие возможные источники токсичных га-

зов обследуются с целью обнаружения повреждений или неисправностей. Все выходы из самолета (двери, аварийные выходы, смотровые отверстия, двери грузовых отсеков, щитки обтекателей и т. д.) должны быть тщательно осмотрены; даже если из-за последствий пожара это сделать очень трудно.

Угол, под которым самолет вошел в землю, и положение самолета в момент соприкосновения с землей определяются путем исследования корпуса самолета, относительного положения вмятин и других следов приземления, отмеченных на карте разброса осколков. Кроме перечисленных объектов обследования, должны быть осмотрены все места в самолете, которые известны как неудобные для обслуживания. Все обнаруженные детали точно документируются в письменной форме и фотографируются. Важность хороших четких фотографий трудно переоценить.

5.9б. Оперативная группа. Оперативная группа создается для выяснения всех фактов, относящихся к истории полета, истории экипажа и к вероятной трассе полета. История полета включает в себя планирование и обеспечение полета, метеорологические условия на трассе, предыдущие посадки, состояние радиосвязи, полетный вес, место последней посадки и многие другие аналогичные факты. Все эти сведения тщательно изучаются и оцениваются с целью установления их связи с аварией.

Другая важная и интересная фаза расследования, выполняемого обычно оперативной группой, — это анализ радиосообщений. Так как большинство радиопереговоров между самолетом и аэропортами регистрируется, то группа тщательно изучает эту информацию. Иногда члены экипажа передают сообщения об аварии, но ввиду их возбужденного состояния эти сообщения бывают неразборчивы. Часто сообщения оказываются искаженными из-за повреждения аппаратуры. В таких случаях сообщение записывается на ленту в виде коротких групп слов и повторяется через каждые несколько секунд. С помощью специальной звукоанализирующей аппаратуры, способной отфильтровать помехи и некоторые полосы частот, исследователи могут выделить отдельные слова или смысловые сочетания звуков, что иногда позволяет выяснить смысл сообщения.

Очень ценным является новый прибор — диктофон, устанавливаемый в кабине экипажа и записывающий все разговоры на петлю из магнитной ленты. По истечении 30 мин. он стирает ранее записанную информацию и начинает записывать новые разговоры. Диктофон выключается при падении самолета, и последняя получасовая запись остается в защищенном от ударов кожухе. Она оказывает большую помощь при восстановлении картины событий, приведших к аварии.

Все гражданские самолеты, летающие на высотах более 7500 м, должны быть оборудованы самописцем данных полета. Этот при-

бор записывает воздушную скорость, высоту, время, вертикальное ускорение и азимут. К сожалению, при использовании таких самописцев часто возникает ряд проблем. В одном случае была неправильно заправлена алюминиевая фольга, на которой регистрируются данные, поэтому записанная информация оказалась неполноценной. В двух других случаях вся фольга оказалась использованной до возникновения аварии.

5.9в. Изучение показаний свидетелей. Основная задача группы опроса свидетелей состоит в выявлении всех очевидцев аварии и получении их показаний с целью выяснения фактов, которые помогут работе других групп. Показания, получаемые от свидетелей вскоре после аварии, очень часто бывают более точными, чем данные, полученные позднее. Поэтому должны быть приняты все меры к тому, чтобы обеспечить получение показаний свидетелей как можно быстрее. При необходимости используется техника для того, чтобы доставить свидетелей в те пункты, откуда они наблюдали самолет, и помочь им связать положение трассы его полета с близлежащими зданиями, горами, деревьями и т. д. Затем путем измерения соответствующих углов и расстояний часто оказывается возможным определить азимут и высоту полета самолета.

5.9г. Исследование радио- и электрооборудования. Группа по исследованию радио- и электрооборудования проверяет установку и показания всех приборов, относящихся к системе навигации самолета. Эти данные регистрируются и оцениваются, а приборы, если это возможно, подвергаются функциональным испытаниям. Другое направление работы группы — проверка записей, относящихся к обслуживанию электро- и радиооборудования, чтобы определить, с какими трудностями пришлось столкнуться экипажу и в какой степени он полагался на эти приборы ко времени аварии.

Если подозревается, что причиной аварии могли послужить отказ или неисправность электрооборудования, то различные электро- и радиоприборы отсоединяются и подвергаются обследованию для выявления отказов или неисправностей. Прежде всего группа должна выяснить, подавалось ли питание в электросеть перед аварией. Часто применяемый для этого метод состоит в разборке вращающихся электрических машин, таких, как умформеры и электродвигатели, и осмотр их якорей для обнаружения характерных бороздок на коллекторах. В случае пожара в воздухе особое внимание должно быть обращено на систему электрооборудования, пока она не будет исключена из рассмотрения как возможная причина аварии. Признаки перегрева или обгорания вблизи электрических приборов и проводки свидетельствуют о неисправности электрической системы. Если подозревается неисправность электропроводки, то проверяются все подключения, ответвления, клеммы, предохранители, выключатели и приборы защиты, чтобы выяснить, не являются ли они причиной аварии. Другой метод состоит в из-

влечении жгутов проводов и проверке их на целостность или наличие замыканий с проводами соседнего жгута.

5.9д. Обследование двигателей. Группа по обследованию двигателей ответственна также за выявление всех возможных неисправностей или отказов в системах, связанных с группой двигателей: подачи топлива, масла и приборов управления. Большое число проверок должно быть проведено как можно быстрее, так как они помогут направить внимание на действительную причину аварии. Очень важное значение имеет угол установки лопастей винта, позволяющий определить мощность, развиваемую двигателем. Углы лопастей винта упавшего самолета обычно могут быть определены с точностью $\pm 2^\circ$ на основании изучения признаков ударов на шарнирах лопастей или других частях узлов лопастей.

Скорость вращения двигателя может быть определена по прибору контроля скорости воздушного винта. Имея данные об углах лопастей, скорости самолета и скорости вращения винта, изготовитель двигателя может выдать достаточно достоверные данные о мощности, которую развивал двигатель при падении самолета. Скорость самолета может быть легко вычислена по известному передаточному числу от двигателя к винту, установке регулятора, расстоянию между вмятинами, сделанными винтом в почве, и числу лопастей винта.

К другим элементам, проверяемым на ранней стадии, относятся масляные фильтры, запальные свечи и камеры сгорания двигателя. Проверка последних обычно выполняется с помощью калибра, очень удобного для этой цели. Само собой разумеется, что, когда возможно, берутся пробы топлива для последующего анализа. После первого осмотра на месте аварии, если позволяют обстоятельства, все части двигательной группы отправляются на завод для более детального демонтажа и обследования. Иногда двигатели остаются в рабочем состоянии, и тогда проводятся стендовые испытания для определения их целостности. Вторая задача, выполняемая группой обследования двигателей, — это анализ записей по их обслуживанию и бортового журнала.

5.9е. Моделирование конструкции. Структурное моделирование того или иного отсека самолета часто оказывается очень эффективным средством выяснения причины аварии или неопровержимой демонстрации того, что предполагаемое явление, которое могло стать причиной аварии, действительно произошло. Это особенно верно при пожаре в воздухе, столкновениях в воздухе и взрывах.

Работа по моделированию очень трудоемкая и медленная, но можно использовать различные методы для ускорения восстановления разрушенных, изношенных и скрученных частей. На многих частях можно обнаружить их номера, которые следует сверить с каталогом. В ряде случаев поломанные части можно подогнать к другим опознанным элементам. Вначале части крыла отделяются

и складываются в одном месте, части фюзеляжа — в другом, хвоста — в третьем и т. д. После этого начинается работа по опознанию частей и сборке их в узлы. Части систем управления и кабельная проводка складываются отдельно от других для облегчения исследования.

5.9ж. Предотвращение аварий. Анализ аварий самолетов в значительной мере является искусством, требующим усилий квалифицированного, опытного персонала, имеющего склонности к такой работе. Терпение, настойчивость, здравый смысл и логика, опирающиеся на глубокие инженерные знания, являются наиболее эффективными средствами, которыми располагает исследователь. За последние годы значительно увеличилась дальность полета самолетов, их вес, что повлекло за собой усложнение конструкции. Более высокие скорости полета новых самолетов привели к тому, что при аварии и падении они очень сильно разрушаются. Вследствие этого определение причин отказов в полете чрезвычайно усложняется. Все эти факторы делают необходимой разработку четких мер по предотвращению аварий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Auer R. L., Transistor Process Control through Failure Analysis. Trans. 1963 Western Region Quality Control Conf., pp. 161—168.
2. Bevington J. R., Failure Analysis Program at the Component Level, Semiconductor Reliability, vol. 2, p. 111—117.
3. Kimball E., Failure Analysis, Proc. Eighth. Natl. Symp. Reliability Quality Control, pp. 117—128.
4. Kimball E., Failure Analysis Laboratories, Trans. Fifth Ann. West Coast Reliability Symp., ASQC, 1964.
5. Kimball E., Is Hindsight Becoming 20—20? Evaluation Eng., pp. 15—17. September—October, 1962.
6. Kimball E., Product Improvement, Proc. Sixth Natl. Conv. Mil. Electron., pp. 319—326.
7. Kimball E., Weapon System Failure Analysis, Quality Assurance, pp. 40—44. November, 1962.
8. Landers R. R., Reliability and Product Assurance, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1963, pp. 418—427.
9. McWhorter J. L., Airplane Accident Investigation, Tennessee Law Rev., vol. 28, № 2, pp. 122—152.
10. Nelson R. S., Authority and Responsibility of the Central Reliability Group, Master's Thesis, San Fernando Valley State College, pp. 70—73.
11. Packard C. C., Reducing Reliability Risks through Failure Analysis, Semiconductor Reliability, vol. 2, pp. 91—99.
12. Southern P. F., A Practical Defect Analysis Program, Semiconductor Reliability, vol. 2, pp. 106—110.

Предисловие редактора второго тома русского издания справочника	5
Глава 1. Зоргер П. Х. Оценка надежности	
1.1. Введение	11
1.2. Определение термина «надежность»	11
1.3. Надежность, потенциально свойственная изделию	12
1.4. Подход к определению надежности	13
1.5. Статистический подход к анализу	14
1.6. Типы отказов	23
1.7. Применение метода худшего случая	26
1.8. Анализ функциональной надежности	41
1.9. Эмпирические методы оценки надежности схем	41
1.10. Методы эквивалентных схем	43
1.11. Описание программ анализа схем	50
1.12. Примеры расчета надежности	61
1.13. Заключение	68
Глава 2. Барбе М. Накопление и систематизация данных о надежности	
2.1. Описание структуры и объем	70
2.2. Терминология поиска информации и теория индексирования	72
2.3. Внутренние источники данных	77
2.4. Структура первичных данных	79
2.5. Получение данных от внешних источников и обмен информацией	83
2.6. Классификация и хранение данных в информационных системах ручного поиска	83
2.7. Структура и хранение данных в информационных системах с автоматическим поиском	98
2.8. Технические средства информационно-поисковых систем	116
2.9. Использование накопленных данных	123
Глава 3. Фогел Л. и Фогел А. Система сбора данных по надежности SOFEC	
3.1. Введение	126
3.2. Организация и представление данных для инженеров-разработчиков	127
3.3. Представление данных для административного руководства	155
3.4. Заключение	159
Глава 4. Смайли Р. Программы испытаний	
4.1. Общие положения	161
4.2. Виды испытаний	162
4.3. Планирование испытаний	202
4.4. Испытательное оборудование	223
4.5. Испытательные лаборатории	237
4.6. Проведение испытаний	240
Глава 5. Кимбол Е. Анализ неисправностей и отказов	
5.1. История и цели	259
5.2. Ответственность за отказы	261
5.3. Регистрация данных об отказах	265
5.4. Обработка данных об отказах	282
5.5. Лаборатории анализа	286
5.6. Лабораторные методы	287
5.7. Лабораторные отчеты	296
5.8. Корректировочные меры	297
5.9. Анализ отказов самолетов	298

Редактор Л. Якименко. Художник С. Бычков. Художественный редактор В. Варлашин.
Технический редактор Н. Толстякова. Корректор Т. Пашковская.

Сдано в производство 26/XI—69 г. Подписано к печати 19/II—70 г. Бум. № 1 60×90¹/₁₆ = 9,50 бум. л. Печ. л. 19. Уч.-изд. л. 22,30. Изд. № 20/5215. Цена 1 р. 50 к. Зак. 800.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР». Москва, 1-й Рижский пер., 2

11-я типография Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Москва, Нагатинская улица, д. 1