

З

СПРАВОЧНИК

ПО НАДЕЖНОСТИ

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

ТОМ

III

Перевод с английского
Ф. С. СОЛОВЕЙЧИКА

Под редакцией
Б. Е. БЕРДИЧЕВСКОГО

ИЗДАТЕЛЬСТВО · МИР ·

МОСКВА
1970

Эта книга — третья 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 третьем томе справочника изложены методы обеспечения надежности при проектировании и производстве, требования к обслуживаемости, вопросы инженерной психологии с точки зрения обеспечения надежности. Отдельная глава посвящена организационным вопросам обеспечения надежности и контроля качества (планирование сроков работы, организация сбора и анализа данных по надежности, вопросы контроля надежности и качества, структура служб обеспечения надежности и контроля качества). Рассмотрены вопросы поставок и договоров, а также экономические аспекты программы обеспечения качества.

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

ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ РАЗРАБОТКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОЛУЧЕНИЕ НАДЕЖНЫХ СИСТЕМ

В. Хёрд

Walter L. Hurd, Jr.

Reliability and Quality Engineering Division Manager
Missile System, Lockheed Missile and Space Company
Sunnyvale, California

В настоящей главе рассмотрена роль конструкторской службы в создании и апробировании конструкций, которым присуща требуемая надежность. Часто упускаются из виду и забываются очевидные истины; поэтому имеет смысл привести вначале основные известные положения.

1. Конструктор разрабатывает конструкцию и отвечает за обеспечение всех требуемых характеристик, включая надежность.

2. Конструкция каждого изделия обладает присущей ей потенциальной надежностью.

3. Потенциальная надежность конструкции может быть реализована только в случае изготовления изделия в полном соответствии с конструктивными требованиями. Однако полностью реализовать потенциальную надежность удастся редко, так как условия производства, испытаний, хранения и эксплуатации часто отличаются от расчетных. В результате этого достигнутая или фактическая надежность бывает меньше потенциальной.

4. Разработка любого сложного изделия должна обеспечивать очень высокую его потенциальную надежность, чтобы можно было передать потребителю изделия с заданной или требуемой фактической надежностью.

5. Персонал службы надежности по отношению к конструктору должен проводить объективную независимую политику «контроля и балансирования», но при этом с конструктора не должна сниматься ответственность за обеспечение надежности.

Очевидно, задача обеспечения максимальной потенциальной надежности в процессе разработки наилучшим образом решается при наличии сильных компетентных конструкторской службы и службы надежности. Однако если предприятие стоит перед выбором между сильной компетентной конструкторской службой со слабой службой надежности и слабой конструкторской службой с сильной компетентной службой надежности, то достижение высокой конструктивной надежности наилучшим образом обеспечивается первым вариантом.

Обеспечение в сложной системе высокой внутренне присущей конструкции надежности может оказаться весьма дорогостоящим

и потребовать больших затрат времени, хотя затруднения с выпуском продукции и проблемы, возникающие во время эксплуатации в связи с необходимостью обеспечения и поддержания требуемого фактического уровня надежности, могут вызвать еще большие затраты. В самом деле, если конструкция не обладает высокой внутренне присущей ей надежностью, то может оказаться невозможным получить требуемую величину фактической надежности в условиях эксплуатации независимо от затрат времени и средств.

Рассмотрим вопрос о цене ненадежности. При уменьшении достигнутой надежности оперативной ракетной системы на 10% для обеспечения одной и той же степени поражения цели потребуются увеличение по меньшей мере на 10% фактического количества боевых ракет. Для этих ракет нужны дополнительные пусковые площадки (шахты или подводные лодки), испытательная аппаратура, оборудование для пуска, обслуживающий персонал и вспомогательное оборудование, что связано с большими затратами денежных средств и времени.

Требования к надежности определяются результатами сравнительного анализа цены надежности и цены ненадежности. Очевидно, что принятое решение должно быть согласовано с заказчиком, так как в конечном счете он покрывает все расходы. В настоящей главе на основе логического подхода рассматриваются методы конструирования и разработки надежных систем. Кроме того, описываются методы, процедуры и практические вопросы, с которыми приходится сталкиваться при решении проблемы обеспечения надежности на этапе конструирования.

1.1. РОЛЬ ЭТАПА КОНСТРУИРОВАНИЯ

Значение работ по обеспечению надежности при конструировании прямо пропорционально значению, придаваемому функциям конструкторской службы. Для областей, характеризующихся быстрым техническим прогрессом, например при разработке аппаратуры космической техники вообще и радиоэлектронной аппаратуры в частности, существенным является наличие сильной компетентной конструкторской службы. В структуре фирм, работающих в этих направлениях, конструкторская служба обычно считается определяющей.

Этап конструирования имеет также важное значение для изготовителей дорогостоящей потребительской продукции (например, автомобилей, конторского оборудования, предметов домашнего обихода), станков и инструмента и во многих других аналогичных областях производства. В фирмах, выпускающих указанную продукцию, конструкторские службы обычно представляют собой сильные, укомплектованные квалифицированным персоналом организации. Этап конструирования играет важную роль во всех про-

мышленных областях, хотя имеет меньшее значение в фирмах, выпускающих простые изделия или изделия, характеризующиеся стабильной апробированной конструкцией.

По мере ускорения технического прогресса многие фирмы и целые отрасли промышленности вынуждены избавляться от благодушного настроения и трезво взглянуть на будущее. Конкретные действия в таких случаях обычно начинаются с проявления повышенного интереса к организации работ по исследованиям и разработкам, приводящего к новым конструкторским концепциям. Современная тенденция безусловно состоит в возрастающем интересе к конструкторским проблемам и повышении их роли. По-видимому, уместно привести здесь некоторые определения.

Исследования. Научная или инженерная деятельность фирмы, связанная с разработкой нового изделия или новых важных методов конструирования существующих изделий.

Разработка. Инженерная деятельность фирмы по внедрению и осуществлению исследовательской идеи. Иногда разработка сочетается с исследованиями, а в других случаях — с конструированием, определяя в результате конструкторский проект или конструкторскую разработку.

Конструирование. Инженерная функция, заключающаяся в применении конструкторских методов к решению конкретных задач. В результате выполнения этой функции выпускаются чертежи и технические условия на комплектующие изделия, используемые в данной программе. Служба надежности наиболее тесно связана с конструкторской службой.

Конструкторская служба ставит перед собой задачу создания конструкций со следующими характеристиками.

Функциональная пригодность. Конструкция при воплощении ее в изделие должна обеспечивать удовлетворительное выполнение функций, для которых она предназначена.

Надежность. Конструкция, воплощенная в изделие, должна обеспечивать удовлетворительное выполнение заданных функций не только сразу после изготовления и при благоприятных условиях, но также постоянно удовлетворять всему диапазону функциональных требований в течение требуемого периода времени в установленных пределах окружающих условий. Если предусмотрена возможность ухода и обслуживания, то это должно быть учтено в конструкции.

Технологичность. Конструкция должна обеспечивать экономичное изготовление изделия имеющимися производственными средствами и силами организаций-смежников (поставщиков), которые предполагается привлечь к участию в работе.

Своевременность. Детализирование чертежей должно быть завершено, а сами чертежи выпущены в установленные графиком сроки. Эти сроки могут быть определены договором, предельными

сроками изменения модели или деятельностью конкурирующих фирм.

Конкурентоспособность. Конструкция должна находить сбыт. На возможность сбыта, кроме упомянутых выше факторов, оказывают влияние стоимость, внешний вид и многие другие факторы.

Предполагается, что по возможности конструктор будет применять общепринятые методы конструирования. В тех случаях, когда конструктивные задачи не могут быть решены путем использования апробированных и известных конструктивных методов, конструктор применяет свои собственные методы, заимствует конструктивные методы, применяемые в других отраслях промышленности, или использует некоторые новые современные материалы и процессы. Обычно работа конструкторов по своему характеру является творческой; поэтому им часто бывает трудно противостоять желанию применить что-либо новое, несмотря на то, что существует апробированный метод, обеспечивающий требуемую эффективность и надежность. Хорошо известна восприимчивость конструкторов по отношению к усилиям инженеров рекламного отдела, поставщиков деталей и узлов, пропагандирующих достоинства своих новых изделий. Одна из важных обязанностей руководства конструкторскими работами заключается в создании системы, стимулирующей использование конструктором апробированных конструкций вместо неапробированных.

В связи с тем что часто оказывается невозможным максимально выполнить весь комплекс иногда противоречивых требований, конструктору приходится принимать компромиссные решения. Задавая необычно жесткие допуски или внося в спецификацию какой-либо «экзотический» материал, он может добиться повышения надежности ценой ухудшения технологичности. Отказавшись от полного цикла испытаний конструкции при наихудших сочетаниях окружающих условий и воздействии старения, конструктор может пойти на риск и сконструировать изделие с пониженной надежностью, но зато он может выпустить чертежи в установленные планом сроки. Некоторые из этих компромиссных решений почти неизбежны; их принятие относится к функции конструкторской службы, которая располагает соответствующей информацией и имеет полномочия для принятия требуемых решений. Однако как сам факт принятия компромиссного решения, так и причины, лежащие в основе таких решений, должны быть полностью раскрыты конструкторской службой перед службой надежности и общим руководством.

1.2. РОЛЬ СЛУЖБЫ НАДЕЖНОСТИ

Если ставится задача, чтобы конструкция обладала высокой потенциальной надежностью, то меры для обеспечения надежности должны приниматься с начала разработки структурной схемы и

работа в этом направлении должна продолжаться в течение всего этапа разработки и конструирования вплоть до его завершения. Так как истинную надежность часто трудно выявить до завершения работы над конструкцией (это особенно справедливо для сложных конструкций), то необходимо, чтобы на протяжении всего периода ее создания персонал службы надежности проводил независимую объективную политику «контроля и балансирования» по отношению к конструктору с целью выполнения всех требований к надежности.

На ранних стадиях конструирования существует некоторая путаница между понятиями осуществимости и надежности. Разработка конструкции демонстрационного макетного образца, которая должна доказать осуществимость конструктивной идеи, проводится конструкторской организацией при дополнительной помощи службы надежности. Проводя анализ конструкции или составляя отчет о разработке, служба надежности может обнаружить ошибки или упущения и потребовать исправления отдельных ее частей. Однако отчет о разработке в основном составляется не для этой цели. С точки зрения надежности важны дополнительные требования к конструированию, выполнение которых гарантирует надежную работу изделия в течение установленного периода времени при заданных окружающих воздействиях и других рабочих условиях.

Служба надежности должна быть тесно связана с конструкторской службой. В различные моменты времени служба надежности проявляет себя как помощник, как «голос совести» или как инспекция. В качестве помощника служба надежности выполняет для конструкторской службы некоторые аналитические и статистические работы. Эти работы включают сбор и анализ поступающих по каналам обратной связи данных о разрабатываемых изделиях, макетных образцах и результатах испытаний. Служба надежности помогает конструкторской службе на различных стадиях конструирования путем предсказания и оценки внутренне присущей конструкции надежности.

Служба надежности воспринимается конструкторской службой как «голос совести» благодаря постоянному контролю с ее стороны и предоставлению информации об улучшении конструкции с точки зрения потенциальной надежности. Кроме того, тщательно исследуются все принятые компромиссные решения, влияющие на уровень надежности. В разд. 1.9 описаны методы контроля качества выполнения конструкторской работы.

Служба надежности осуществляет проверку выходных конструкторских материалов, что является необходимым условием дальнейшего проведения конструкторских работ. Одобрив применение конструктором тех или иных элементов и апробированных деталей, утверждая отчеты о разработке и, наконец, подписывая чертежно-конструкторскую документацию (чертежи, технические условия,

методики), служба надежности оказывает давление на конструкторскую службу в отношении выполнения требований к надежности.

К функциям службы надежности можно также отнести координацию программ испытаний конструкций; руководство независимыми программами испытаний на надежность; фактическое проведение всех испытаний; выбор систем контроля для отдельных частей конструкции, для которых установлен специальный срок службы, отличный от срока службы остальных частей, или имеются ограничения оперативного характера; составление технических условий на надежность, пригодных для поставщиков, и предъявление поставщикам требований по обеспечению надежности на основе анализа и утверждения документов по поставкам. Более детально эти функции рассмотрены в разделах 1.11 и 1.12.

1.3. УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ НЕОБХОДИМОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ СЛУЖБЫ НАДЕЖНОСТИ

Чем сложнее конструкторское задание, тем труднее обеспечить надежность. Для решения задач, с которыми приходится сталкиваться при разработке системы спутника «Телестар» или сложной глобальной системы связи, требуются значительные усилия как по линии конструирования, так и по линии обеспечения надежности. С другой стороны, если конструкция построена на элементарных технических принципах, проста, имеет довольно большие габариты и вес, а также нет необходимости производить конструкторские работы в сжатые сроки, то вполне удовлетворительными могут оказаться относительно небольшие усилия для обеспечения надежности.

Очевидно, большая работа по обеспечению надежности требуется в следующих случаях:

1. При конструировании любой очень сложной аппаратуры.
2. При конструировании аппаратуры, к которой предъявляются высокие требования в отношении надежности, особенно когда конструктор ограничен жесткими требованиями малого объема и веса.
3. При необходимости выполнения конструкторских работ в крайне ограниченные сроки, в частности при проведении в сжатые сроки программ по космической технике, когда процесс изготовления должен начаться до полного завершения проектных работ.

Можно руководствоваться общим правилом: чем больше ограничений накладывается на конструкцию и чем более жесткими они являются, тем более широкой должна быть требуемая программа обеспечения надежности. Одна из основных причин такой зависимости заключается в том, что под давлением этих ограничений конструктор может умышленно или неумышленно пренебречь требованиями в отношении надежности. Сильная служба надежно-

сти необходима как для оказания помощи, так и для контроля за деятельностью конструктора в вопросах, влияющих на надежность.

При разработке конструкций должны быть выработаны компромиссные решения по отношению к различным требованиям. Конструктор, не удовлетворяющий полностью требований в отношении функциональных характеристик, сроков разработки, стоимости, технологичности и других параметров, «расплачивается» за это гораздо быстрее и определеннее, чем при неполном выполнении требований к надежности, если нет сильной независимой службы надежности, способной привлечь немедленное и действенное внимание к любым недостаткам в конструктивных мерах по обеспечению надежности. В некоторых исключительных случаях может оказаться необходимым поступиться требованием к надежности ради получения нужных функциональных характеристик или других качеств конструкции, однако компромиссные решения такого рода должны приниматься обоснованно, нужно отдавать себе полный отчет о возможных последствиях.

Очень немногие конструкторы преднамеренно не хотели бы предусматривать меры, обеспечивающие требуемую надежность конструкций. Опасность заключается скорее в недосмотре, недостатке специальных знаний и самоуспокаивающем подходе. Рассмотрим эти вопросы более подробно.

Недосмотр. В некоторых случаях конструктор игнорирует какую-либо из бесчисленных деталей, которые являются неотъемлемой частью завершенной конструкции. Например, конструктор, зная, что в определенном месте требуется специальная отделка, не дает никаких указаний об этом на чертеже. Если этот недосмотр вовремя не обнаружить, то существенная часть изделия может отказать значительно раньше требуемого срока службы.

Недостаток специальных знаний. Ни один конструктор не может быть полностью компетентен во всех вопросах, связанных с его конструкцией, а также не располагает временем для проверки каждой детали. Он делает то, что в его силах, проверяет то, что считает необходимым, и вызывает экспертов по некоторым узкоспециализированным вопросам, таким, как расчет напряжений и тепловые режимы. Конструктор, например, может выбрать резиновое изделие с коротким сроком службы, которое в последний раз, когда существовала потребность в такой же детали, было лучшим из имевшихся в наличии. Между тем появились более совершенные материалы, которые выполняют свои функции так же хорошо или лучше, обладая в то же время сроком службы, превышающим требуемый для разрабатываемого устройства.

Самоуспокаивающий подход. На конструктора оказывает давление недостаток времени. Он искренне верит в то, что его конструкция будет удовлетворять всем требованиям, в том числе и требо-

ваниям в отношении надежности; однако для полной уверенности необходима дополнительная серия испытаний. Проведение испытаний может привести к задержке выполнения проекта относительно намеченного планом срока. Конструктор легко настраивается на то, что в действительности нет особой необходимости в проведении этих испытаний. Та же практика самоуспокаивающего подхода приводит к объяснению неудачных испытаний рассуждениями такого рода: «это была ошибка в методике испытаний», «это была одна из первых конструкций», «реальные окружающие условия никогда не окажутся близкими к этим жестким условиям».

Требования к надежности возрастают в тех случаях, когда последствия ненадежности становятся опасными, приводят к большим затратам времени и средств или угрожают национальной безопасности. В случае необходимости обеспечения высокой надежности нельзя полагаться лишь на добрые намерения или на случай. Должна существовать независимая политика контроля и балансирования в отношении каждой операции (включая и те операции, которые может осуществлять сама служба надежности, как, например, составление методик испытаний). Необходимо постоянно проявлять особое внимание к мелочам. Ни одну организацию, ни одного работника нельзя считать настолько идеальными или всемогущими, чтобы можно было отказаться от анализа или исследования результатов их деятельности.

1.4. ХАРАКТЕР КОНСТРУИРОВАНИЯ И ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ

Понятие «техническое конструирование» охватывает различные виды деятельности, общая цель которых заключается в выпуске комплекта конструкторской документации (чертежи, технические условия, методики, программы контрольных испытаний), содержащей информацию, позволяющую компетентному производственному персоналу выпустить изделия, удовлетворяющие всем конструктивным требованиям. Конечным продуктом технического проектирования является собственно комплект конструкторской документации. Все виды конструкторской деятельности независимо от трудности их выполнения или эффективности просто представляют собой этапы в выпуске и апробировании комплекта конструкторской документации.

В зависимости от характера изделия, предполагаемых способов его использования, требований заказчика и условий практической деятельности фирмы комплект конструкторской документации может быть простым, как, например, эскизный документ, или сложным, как, например, формальная система связанных между собой и контролируемых военным ведомством чертежей, технических условий, методик, программ заводских испытаний, планов заводского контроля, инструкций по эксплуатации с обеспечением формаль-

ных каналов обратной связи для получения данных о трудностях, наблюдавшихся в процессе эксплуатации, отказах и заменах элементов. Комплект конструкторской документации подробно рассматривается в разд. 1.5.

Для выполнения конструкторского задания руководство проектом должно принять или выработать четкие конструктивные цели. Эти конструктивные цели могут быть сформулированы заказчиком или общим руководством либо они могут быть выработаны внутри конструкторской организации и представлены (с изменениями или без них) общему руководству. Руководство конструкторскими работами распределяет различные виды работ для достижения установленных целей внутри конструкторской организации, пользуясь формальными или неформальными рабочими заданиями. Формулирование задания, распределение ресурсов для его выполнения, координация и объединение усилий различных конструкторских групп, оценка конструкторской продукции — все это входит в обязанности руководства конструкторской службой.

Конструкторы, работая над достижением заданных конструктивных целей, полагаются на свое профессиональное образование и приобретенный опыт, учитывают политику фирмы в отношении конструирования, используют технические материалы (например, руководства для конструкторов, справочники по материалам и процессам, перечни апробированных с точки зрения надежности деталей, справочники по схемотехнике), а также прибегают к услугам специализированных конструкторских групп, например групп анализа напряжений, тепловых расчетов, применения материалов и исследования технологических процессов. Во многих случаях конструктору приходится иметь дело с изделиями на этапах разработки экспериментальных макетов и опытных образцов и испытаний. Он должен также планировать выполнение полуформальных и формальных программ испытаний при различных окружающих условиях и предельных воздействиях, установленных техническими условиями (гл. 4, т. II).

Подход разработчика к решению задачи достижения заданных ему конструктивных целей в основном остается одинаковым при конструировании комплектующей детали, узла, подсистемы, системы или целого комплекса. Отличие заключается лишь в объеме конкретных действий, связанных с выполнением задачи. Для инженера в области надежности важно понимание целесообразной последовательности и объема работ, выполняемых разработчиком после получения им задания. Этими работами являются:

1. Разработка или выбор одного или более вариантов структурных схем конструкции.
2. Анализ выполнимости различных возможных структурных схем, который может быть проведен на основе использования опыта (личного или заимствованного), с помощью моделирования и

теоретического анализа, лабораторного экспериментирования и испытаний, создания макетов или сочетания указанных методов.

3. Выбор структурной схемы, базирующийся на результатах анализа возможных вариантов и сопоставлении вероятностей выполнения с помощью каждого из этих вариантов всех заданных требований. Такой выбор связан с необходимостью серьезного «надежностного» анализа конструкции. Обычно он требует одобрения вышестоящего руководителя.

4. Распределение, если это признано необходимым, требований к надежности по всей конструкции вплоть до уровня отдельных деталей.

5. Подготовка предварительных чертежей и технических условий на изготовление опытных образцов (включая в необходимых случаях размерные и функциональные требования координационного и корреляционного характера). Работа над такими предварительными чертежами и техническими условиями требует серьезного «надежностного» анализа конструкции.

6. Выпуск предварительных чертежей и технических условий на изготовление и поставку установочной серии изделий, предназначенной для проверки выполнимости всех конструкторских решений при производстве изделий, оценочных автономных испытаний и комплексных испытаний совместно с другими элементами системы.

7. Выработка требований к квалификационным испытаниям и участие в выработке требований к заводским испытаниям и контролю.

8. Проведение испытаний опытных образцов, квалификационных испытаний, а также при необходимости коррекций схемной и конструкторской документации.

9. Подготовка полного окончательного комплекта конструкторской документации. Таким образом завершается последний этап «надежностного» анализа материалов конструирования.

10. Рассмотрение и апробирование тех документов из комплекта конструкторской документации, которые не относятся непосредственно к конструированию.

11. Выпуск законченного комплекта конструкторских документов после одобрения всей разработки с точки зрения надежности и других требований. Передача комплекта для заводского использования или оформление передачи его заказчику.

После выпуска комплекта конструкторской документации конструктор продолжает решать ряд задач. Две из них — авторский контроль за реализацией конструкции и контроль за внесением изменений в конструкцию — тесно связаны между собой. Все предложения о внесении изменений в чертежи должны быть тщательно рассмотрены с точки зрения их влияния на потенциальную надежность, а также на другие характеристики. По мере приближения конструирования к концу контроль за внесением изменений должен

перейти непосредственно к высшему руководству, так как трудно сдерживать стремление многих конструкторских и производственных организаций вносить изменения. Желательно, чтобы в некоторый момент проект оказался в «замороженном» состоянии, после чего вносить какие-либо изменения по улучшению конструкции запрещается. После «замораживания» проекта обычно разрешается вносить лишь абсолютно необходимые изменения или весьма незначительные изменения, связанные с исправлением ошибок (см. гл. 4).

Авторский контроль за реализацией конструкции связан с контролем выполнения требований при изготовлении каждого данного серийного образца, производственной партии или изделия данного типа. Для успешного проведения авторского контроля необходимо снабдить контрольные экземпляры документации на изготовление деталей конструктивными требованиями, инструкциями по регулировке и по испытаниям. Любое отклонение в размерах, электрических, механических и других характеристиках между изготовленным и спроектированным изделиями должно быть обнаружено, зафиксировано и подвергнуто анализу с целью принятия совместных мер службами конструирования и надежности (а в случае необходимости и заказчиком).

Для инженера в области надежности большое значение имеет глубокое понимание и правильная оценка проблем, с которыми сталкивается конструктор, и методов их решения. В отношении требований к надежности он должен проявлять твердость и настойчивость.

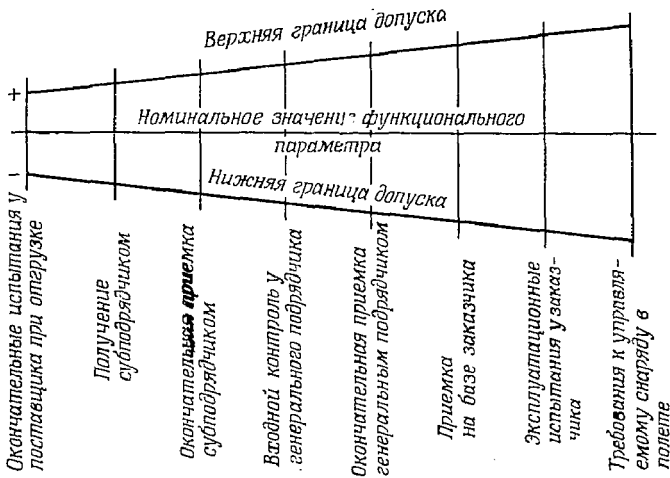
1.5. КОМПЛЕКТ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Рассмотрим состав полного комплекта конструкторской документации для сложной системы оружия, имеющей важное значение. В этом случае имеется заказчик; от одного до десяти головных подрядчиков, ведущих дела непосредственно с заказчиком; несколько головных субподрядчиков, ведущих дела с головными подрядчиками, и, наконец, поставщиков, работающих по заказам головных подрядчиков и субподрядчиков. Вообще головные подрядчики и субподрядчики ответственны как за конструирование, так и за выпуск изделий. Поставщики могут поставлять изделия непосредственно для использования в проекте своего заказчика или же для своего собственного проекта.

Комплект конструкторской документации для какого-либо основного элемента системы оружия обычно взаимосвязан с документацией по другим важным элементам. Существует также большое количество связей в документации по каждому элементу. В случае выполнения программы ускоренными методами, когда сроки разработки проекта и изготовления образцов в некоторой степени перекрывают друг друга, критическую важность приобретают проблемы

координации и корреляции. Комплект конструкторской документации базируется на оперативных и материально-технических требованиях заказчика и обычно включает в той или иной форме следующие документы:

Основные технические условия. В основных технических условиях должны быть сформулированы требования к характеристикам



Ф и г. 1.1. Расширяющееся поле допусков.

изделий, определены окружающие условия работы, установлены требования к надежности и указаны основные условия, связанные с материально-техническим снабжением, объемом комплекта запасных частей и вспомогательного оборудования.

Чертежи. В их состав входят координационные чертежи (отражают взаимосвязь между частями системы, разрабатываемыми различными головными подрядчиками), корреляционные чертежи (отражают взаимосвязь между конструктивными элементами в пределах ответственности головного подрядчика), производственные (рабочие) чертежи, чертежи, связанные с внешними поставками элементов, и чертежи специального испытательного оборудования.

Документы, определяющие порядок контроля параметров аппаратуры. В этих документах подробно указываются функциональные параметры с соответствующими допусками, контролируемым на различных стадиях производства и эксплуатации. На каждой важной стадии контроля допуски изменяются таким образом, что учитывается возможность дрейфа или иного ухудшения того или иного функционального параметра в зависимости от времени и условий работы. Эти регулируемые допуски называются расширяющимся полем допусков; меньший размер поля допусков задается для по-

Номер элемента	Характерный признак	Параметр	Допуск
4.	<p>3.3. Должна быть обеспечена безопасность в обращении с ракетным двигателем, который должен быть работоспособным в условиях данного испытания.</p> <p><u>ИСПЫТАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ</u></p> <p>4.1. Подвергнуть ракетный двигатель следующим испытаниям на воздействие температуры и влажности в течение 28 дней в соответствии с техническими условиями MIL-STD-354:</p> <p>4.1.1. Подвергнуть ракетный двигатель воздействию температуры и влажности в течение двух 14-дневных циклов по единой для армии и флота методике.</p> <p>4.1.2. Подвергнуть ракетный двигатель циклическому температурному воздействию в диапазоне между -30 и $+60^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности 95%.</p> <p>4.2. Должна быть обеспечена безопасность обращения с ракетными двигателями, которые должны быть работоспособны при проведении данных испытаний.</p>	<p>Безопасность в обращении и работоспособность (п. 3, MIL-STD-353)</p> <p>Безопасность в обращении и работоспособность (п. 3, MIL-STD-354)</p>	
5.	<p><u>ИСПЫТАНИЯ ДАВЛЕНИЕМ</u></p> <p>5.1. Испытать ракетный двигатель при циклических изменениях давления и подвергнуть его стабилизации следующим образом:</p> <p>5.1.1. Установить ракетный двигатель в соответствующей испытательной камере.</p> <p>5.1.2. Повысить давление от значения, соответствующего окружающим лабораторным условиям, до $4,6 \text{ кг/см}^2$ абсолютного давления со скоростью $0,15 \text{ кг/см}^2$ в 1 сек.</p> <p>5.1.3. Поддерживать абсолютное давление $4,6 \text{ кг/см}^2$ не менее 75 мин.</p> <p>5.1.4. Уменьшить давление от $4,6 \text{ кг/см}^2$ до значения, соответствующего лабораторным окружающим условиям, со скоростью $1,5 \text{ кг/см}^2$ в 1 сек.</p> <p>5.2. Измерить изменение давления в ракетном двигателе.</p>	<p>$0,15 \text{ кг/см}^2/\text{сек}$</p> <p>$1,5 \text{ кг/см}^2/\text{сек}$</p>	<p>$\pm 0,021 \text{ кг/см}^2$</p> <p>$\pm 0,07 \text{ кг/см}^2$</p> <p>Снижение давления не должно превышать $0,035 \text{ кг/см}^2$ в течение периода испытаний</p>

Фиг. 1.2. Образец страницы документа по контролю.

3.5.3.1. Моментный двигатель. Моментный двигатель должен работать при питании от задающего усилителя, как показано на фиг. 5. Возбуждение двигателя без подачи давления на систему не должно вызывать ухудшения работы или повреждения системы в течение последующего периода работы.

3.5.3.2. Сопrotивление обмоток двигателя. Сопrotивление каждой обмотки двигателя должно составлять 1000 ± 400 ом.

3.5.3.3. Индуктивность обмоток двигателя. Индуктивность каждой обмотки двигателя при измерении ее на клеммах соединителя инжекторного клапана не должна превышать 2,6 гн при 1000 ± 100 гц.

3.5.3.4. Предельная нагрузка. Обмотки моментного двигателя должны выдерживать не менее одной минуты предельную нагрузку 43 ма без ухудшения работы или неисправности.

3.5.3.5. Диэлектрическая прочность. Обмотки двигателя и обмотки преобразователя обратной связи должны выдерживать без повреждения напряжение 500 в переменного тока при коммерческой частоте, приложенное между клеммами обмотки и корпусом системы в течение периода не менее 10 сек.

3.5.3.6. Сопrotивление изоляции. Сопrotивление изоляции обмоток двигателя и обмоток обратной связи не должно быть менее 10 Мом при подаче напряжения 500 в постоянного тока между выводами обмотки и корпусом системы в течение периода не менее одной минуты.

3.5.3.7. Схема соединений. Схема электрических соединений и экранов должна соответствовать схеме, показанной на чертеже к таблице 1.

3.5.3.8. Полярность. Когда средний ток вывода F больше тока вывода H , истечение жидкости должно происходить от инжектора № 2, а сигнал обратной связи, снимаемый с вывода A , должен находиться в фазе по отношению к выводу D . Когда средний ток вывода H больше тока вывода F , истечение должно происходить от инжектора № 1, а сигнал обратной связи, снимаемый с вывода A , должен иметь сдвиг на 180° по отношению к выводу D .

3.5.3.9. Значения входных электрических параметров.

3.5.3.9.1. Напряжение возбуждения. Напряжение возбуждения обратной связи должно составлять $28,75$ в (эфф.) $\pm 5\%$ при частоте 800 ± 4 гц и гармонических искажениях, не превышающих 2%.

3.5.3.9.2. Требования к мощности в цепи обратной связи. Мощность в цепи обратной связи системы должна составлять $0,88 \pm 0,22$ вт (актив.) и $2,34 \pm 0,51$ вт (реактив.) с запаздыванием, если нагрузка в цепи обратной связи имеет сопротивление $10\ 000 \pm 300$ ом.

3.5.3.10. Значения выходных электрических параметров.

3.5.3.10.1. Искажения. Искажения сигнала обратной связи при закрытых обоих инжекторах не должны превышать 0,53% установленного напряжения возбуждения. Искажения в случае раздельной работы каждого преобразователя при использовании полной выходной шкалы не должны превышать 1,76% установленного напряжения.

Контрольная точка xxx	Редакция В
Страница 3 из 9	

Номер по каталогу	Номер элемента	Проверяемый параметр и условия испытания
	6.	<p data-bbox="306 358 550 386"><u>Случайные вибрации</u></p> <p data-bbox="279 399 994 594">6.1. Условия испытаний на вибрации (не должны продолжаться в общей сложности более 10 мин по каждой оси): Система должна быть подвергнута воздействию случайных вибраций по каждой из трех взаимно перпендикулярных осей в течение одной минуты. Виброускорение должно составлять 13,7 g (эфф.) в диапазоне частот от 20 до 2000 гц со спектральной плотностью в пределах 0,14 g²/гц и 0,047 g²/гц.</p> <p data-bbox="279 594 994 643">6.2. Работа системы должна происходить в замкнутом контуре в соответствии с фиг. 1.</p> <p data-bbox="279 643 994 691">6.3. Характеристики замкнутого контура в процессе воздействия вибраций.</p> <p data-bbox="330 699 770 727">6.3.1. Значения входных параметров:</p> <p data-bbox="355 735 994 813">6.3.1.1. Напряжение 28,75 в (эфф.) переменного тока на частоте 800 гц подается на первичные обмотки преобразователя в цепи обратной связи.</p> <p data-bbox="355 821 994 870">6.3.1.2. Нагрузка 10 000±300 ом на выходных обмотках преобразователя в цепи обратной связи.</p> <p data-bbox="355 878 994 1008">6.3.1.3. Командный входной сигнал несущей 800 гц со стопроцентной амплитудной модуляцией. В качестве модулирующего сигнала должно служить напряжение треугольной формы на частоте 0,025 гц с размахом (от пика к пику) 8 в.</p> <p data-bbox="355 1016 994 1065">6.3.1.4. Манометрическое давление 52,7 кг/см² во впускном отверстии системы.</p> <p data-bbox="330 1073 536 1101">6.3.2. Измерения:</p> <p data-bbox="355 1109 572 1136">6.3.2.1. Гистерезис.</p> <p data-bbox="355 1144 738 1172">6.3.2.2. Зона нечувствительности.</p> <p data-bbox="355 1180 598 1208">6.3.2.3. Нулевой ток.</p> <p data-bbox="290 1219 596 1247">6.4. Цепь обратной связи.</p> <p data-bbox="330 1255 650 1282">6.4.1. Входные параметры:</p> <p data-bbox="355 1291 994 1369">6.4.1.1. Напряжение 28,75 в (эфф.) переменного тока на частоте 800 гц, подаваемое на первичные обмотки преобразователя цепи обратной связи.</p> <p data-bbox="355 1377 994 1425">6.4.1.2. Нагрузка 10 000±300 ом на выходных обмотках преобразователя цепи обратной связи.</p>

Фиг. 1.4. Пример плана испытаний.

- 7.5.14. Используя ручное управление входными командными сигналами, получить на измерителе тока привода клапана минимальное значение тока.
- 7.5.15. Установить переключатель «в фазе — 180°» в противоположное положение и произвести регулировку входного сигнала с помощью ручного органа управления входными командными сигналами до получения минимального показания на измерителе тока привода клапана.
- 7.5.16. Установить селекторный выключатель напряжения на панели управления в положение обратной связи. Измеритель должен показывать нулевое напряжение.
- 7.5.17. Установить переключатель цепи обратной связи на панели управления в положение «обратно». Измеритель должен показывать нулевое напряжение.

Примечание. Если измеритель показывает напряжение в соответствии с п. 7.5.16 или 7.5.17, то необходимо повторить операции, указанные в п. 7.5.14 и 7.5.15.

- 7.5.18. Установить переключатели на панели управления в следующие положения:

<u>Переключатель</u>	<u>Положение</u>
В фазе — 180°	Выключено
Выбор напряжения	Выключено
Командный входной сигнал	Наготове
Обратная связь	Нормально

- 7.5.19. Установить отсечной клапан фреонового аккумулятора и отсечной клапан регулятора испытательного устройства в полностью закрытое положение.
- 7.5.20. Установить перепускной клапан главного насоса в положение «открыто».

- 7.5.21. Установить двухсторонний клапан коллектора испытательного устройства в полностью открытое положение.

- 7.5.22. Установить отсечной клапан фреонового аккумулятора испытательного устройства в полностью открытое положение и повышать давление с помощью регулятора предварительного наполнения аккумулятора с максимальной скоростью $35 \text{ кг/см}^2/\text{сек}$ с целью приложения давления минимум 105 кг/см^2 к впускному отверстию клапана в течение не более одной минуты.

- ОСД 112 7.5.22.1. Проверить отсутствие признаков остаточной деформации, поломок или течи, за исключением выпускного отверстия и впускных отверстий, где течь допустима. Записать результаты на карте данных испытаний.

- 7.5.23. Установить клапаны и настроить регуляторы испытательного устройства следующим образом:

<u>Клапан/регулятор</u>	<u>Положение/регулировка</u>
Клапан предварительного наполнения аккумулятора	Полностью закрыт
Отсечной клапан фреонового аккумулятора	Полностью закрыт
Регулятор предварительного наполнения аккумулятора	Полное уменьшение
Двухсторонний клапан на коллекторе	Закрыт

- 9.1.4. (продолжение)
Питание мостика переменного тока включено.
Линия подачи питания 800 гц включена.
Питание визикордера включено.
Питание низкочастотного генератора функций и питание цифрового индикатора вычислительного устройства включены.
- 9.1.5. Установить переключатель режима работы цифрового вольтметра в положение «автоматической».
- 9.1.6. Установить переключатель «пер. ток—выключено» на панели «+35 в» в положение «пер. ток». Заметить зажигание индикаторной лампочки. Записать результаты на карте данных испытаний.
- 9.1.6.1. Поворачивать ручку регулировки напряжения на панели «+35 в» до получения показания 35 ± 1 в на шкале прибора.
- 9.1.6.2. Установить селекторный переключатель напряжения на панели управления в положение «+35 в» и поворачивать ручку регулировки напряжения питания до получения показания $+35 \pm 0,5$ в на цифровом вольтметре. Записать результаты на карте данных испытаний.
- 9.1.7. Установить переключатель «пер. ток—выключено» на панели «-30 в» в положение «пер. ток». Заметить зажигание индикаторной лампочки. Записать результаты на карте данных испытаний.
- 9.1.7.1. Поворачивать ручку регулировки напряжения на панели «-30 в» до получения показания 30 ± 1 в на шкале прибора.
- 9.1.7.2. Установить селекторный переключатель напряжения на панели управления в положение «-30 в» и поворачивать ручку регулировки напряжения питания до получения показания $-30 \pm 0,3$ в на цифровом вольтметре. Записать результаты на карте данных испытаний.
- 9.1.8. Установить селекторный переключатель напряжения на панели управления в положение «+10 в». Убедиться в том, что цифровой вольтметр показывает $+10 \pm 0,5$ в. Записать результаты на карте данных испытаний.
- 9.1.9. Установить селекторный переключатель напряжения на панели управления в положение «-10 в». Убедиться в том, что цифровой вольтметр показывает $-10 \pm 0,5$ в. Записать результаты на карте данных испытаний.
- 9.1.10. Установить селекторный переключатель напряжения в положение «выключено».
- 9.1.11. Установить переключатель измеряемых величин цифрового вольтметра в положение «пер. ток».
- 9.1.12. Установить переключатель «выход—выключено» источника питания 800 гц в положение «включено».
- 9.1.13. Установить селекторный переключатель напряжения на 28,75 в.
- 9.1.14. Поворачивать ручки грубой и точной регулировки источника питания 800 гц до получения показания $28,75 \pm 0,25$ в (эфф.) на цифровом вольтметре. Записать результаты на карте данных испытаний.

Испытательная станция XXXXXX Испытательная установка		Конвертер безопасности в полете P/N XXXXXX и XXXXXX				Подготов- лено	Одобрено	Испытательная станция XXXXXX		
Наименование						Одобрено	Управле- ние поору- жения	Страница 4 из 4		Редакция
Характерный признак			Факторы, обуславливающие ошибку			Ошибка		Дата		
наименование провер- ки	номинальное значение	допуск T_2	наименование прибора	Точность T_1		Формула	Отно- шение T_2/T_1	Ошибка изме- рительной системы (ОИС)	Конечный предел считывания	
				полная шкала	кон- троль- ная точка					
Испытание на паде- ние напряжения	2,5 в пост. тока	Макс.	Осциллоскоп	N/A	±3,0%	$T_1 = \pm 3,0\%$ ОИС = $V_{ном} T_1 =$ $= \pm 0,075$ в пост. тока	N/A	±0,075 в пост. тока	2,42 в пост. тока, макс.	
	1,3 в пост. тока	Макс.	Осциллоскоп	N/A	±3,9%		$T_1 = 3,0\%$ ОИС = $V_{ном} T_1 =$ $= 0,039$ в пост. тока	N/A	±0,039 в пост. тока	1,26 в пост. тока, макс.
Время восстано- вления на выходе 3	60 мксек	Макс.	Счетчик СМС 226В	±1 цифра	+1,66%	$T_1 = \pm 1,66\%$ ОИС = $T_{ном} T_1 =$ $= \pm 1$ мксек	N/A	±1 мксек	59 мксек, макс.	
Тепловое испытание (+25°C)	+25°C	±6,5%	Счетчик СМС 226В	N/A	±0,25%	$T_1 = \pm 0,25\%$ ОИС = $T_{ном} T_1 =$ $= \pm 0,1^\circ\text{C}$	26	±0,1°C	+25 ± 0,1°C	
Тепловое испытание (-30°C)	-30°C	±25%	Счетчик СМС 226В	N/A	±0,25%	$T_1 = \pm 0,25\%$ ОИС = $T_{ном} T_1 =$ $= 0,03^\circ\text{C}$	100	±0,03°C	-30 ± 2,5°C	
Тепловое испытание (-4°C)	-4°C	±20%	Счетчик СМС 226В	N/A	±0,25%	$T_1 = \pm 0,25\%$ ОИС = $T_{ном} T_1 =$ $= \pm 0,03^\circ\text{C}$	80	±0,03°C	-4 ± 2,5°C	

Тепловое испытание (+50°C)	+50°C	±8%	Счетчик СМС 226В	N/A	±0,25%	$T_1 = \pm 0,25\%$ ОИС = $T_{ном} T_1 =$ $= \pm 0,15^\circ\text{C}$	32	±0,15°C	50 ± 2,5°C
Тепловое испытание (+30°C)	+30°C	±2,8%	Счетчик СМС 226В	N/A	±0,25%	$T_1 = \pm 0,25\%$ ОИС = $T_{ном} T_1 =$ $= \pm 0,12^\circ\text{C}$	11	±0,12°C	+30 ± 1,5°C
Тепловое испытание (+100°C)	+100°C	±5%	Счетчик СМС 226В	N/A	±0,25%	$T_1 = \pm 0,25\%$ ОИС = $T_{ном} T_1 =$ $= \pm 0,25^\circ\text{C}$	20	±0,25°C	+100 ± 6°C
Напряжение, выдер- живаемое диэлектри- ком	500в (эфф.)	Мин.	Источник высоко- го напряжения (киловольты) АС Б-2	±2,0%	±20%	$T_1 = \pm 20\%$ ОИС = $V_{ном} T_1 =$ $= \pm 100$ в (эфф.)	N/A	±100 в (эфф.)	500 в (эфф.), мин.
Испытание сопротив- ления изоляции	500 в пост. тока	Мин.	Источник питания Кейтля 241	N/A	±0,05%	$T_1 = \pm 0,05\%$ ОИС = $V_{ном} T_1 =$ $= \pm 0,25$ в пост. тока	N/A	±0,25 в пост. тока	500,25 в пост. тока, мин.
Сопротивление изоля- ции	100 Мом	Мин.	Мостик Кейтля 515	N/A	±0,1%	$T_1 = \pm 0,1\%$ ОИС = $R_{ном} T_1 =$ $= \pm 0,1$ Мом	N/A	±0,1 Мом	100,1 Мом, мин.

Фиг. 1.7. Сводная таблица результатов анализа ошибок испытательной аппаратуры.

ставщиков, а больший — для организаций, занимающихся оперативным использованием аппаратуры. Иногда не представляется возможным обеспечить нормальное сужение поля допусков при переходе от одной стадии контроля к другой, но при всех условиях нельзя допускать расширения поля там, где его нужно делать более узким (фиг. 1.1). На фиг. 1.2 показана одна страница документа по контролю параметров.

Технические условия. Комплект этих документов содержит технические условия на конструкции, разрабатываемые внутри данной организации; технические условия на конструирование, связанное с внешними поставками; технические условия на материалы и технические условия на технологические производственные процессы. Технические условия на конструирование должны быть согласованы с документацией по параметрам. Они должны содержать также раздел, посвященный требованиям к испытаниям. На фиг. 1.3 в качестве примера показана страница, взятая из технических условий на конструирование.

Планы испытаний и контроля. Программы заводских, полигонных и формальных испытаний. Планы испытаний должны предусматривать проверку конкретных функциональных, прочностных и других контрольных параметров. Они согласовываются с документами, определяющими допуски и порядок контроля параметров, и с техническими условиями. В них указываются порядок и место испытаний, требуемое испытательное оборудование и общая методика испытаний. Планы контроля предусматривают требуемый минимальный объем размерного контроля и неразрушающих испытаний, проведение которых необходимо для возможно более полного контроля процесса производства. Определяется контрольная аппаратура и ее размещение. Пример плана испытаний приведен на фиг. 1.4.

Методики испытаний представляют собой подробные последовательные инструкции для инженерно-технических работников или контролеров, проводящих функциональные и другие испытания. Весьма детально, включая точностные характеристики, описывается испытательная аппаратура. Специальный вид методик испытаний охватывает сроки и объем поверочных испытаний испытательной аппаратуры. Методики испытаний должны быть согласованы с планом испытаний, техническими условиями и с материалами по анализу ошибок испытательной аппаратуры. На фиг. 1.5 в качестве примера приведена выдержка из методики приемочных испытаний.

Инструкции по контролю представляют собой подробные инструкции для контролеров, проводящих контроль допусков и неразрушающие испытания в соответствии с планом контроля. Инструкции по контролю должны быть согласованы с планом контроля и чертежами. После достаточной проработки программы утверждены

3.4.2.13.1. Нагрузочное сопротивление стойки	Стандартный измеритель теплового потока	Амперметр переменного тока	Нагрузочное сопротивление	Допуск
	_____ Вольты	_____ Амперы	_____ Омы	— 230 ом

Для получения величины нагрузочного сопротивления напряжение, измеренное стандартным измерителем теплового потока, разделить на ток, измеренный амперметром переменного тока.

** 3.4.2.14. Замерить опережающий синус угла потерь с помощью фазометра (блок 1.2.1.3). Записать на картах данных испытаний.

3.4.2.14.1. Измеритель мощности нагрузки	Фазометр	Допуск
	_____	От —0,95 до +0,95

Примечание. Операции, указанные в п. 3.4.2.15—3.4.2.24, должны быть выполнены только в том случае, если данные по п. 3.4.2.13 вышли за пределы допуска вследствие недостаточного диапазона подстройки.

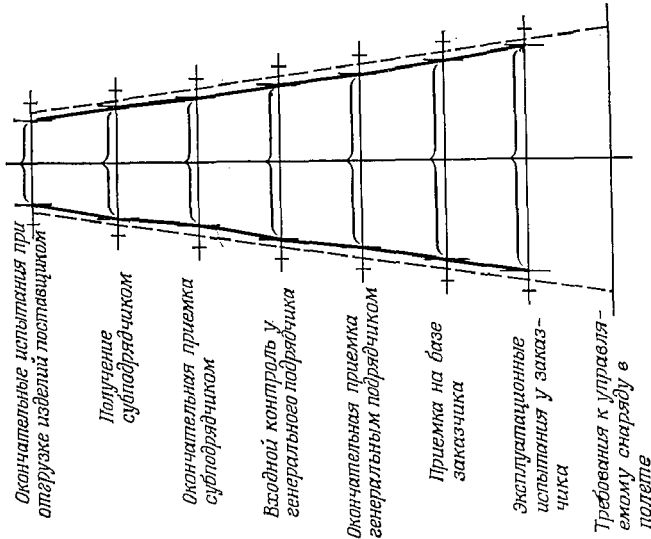
3.4.2.15. С помощью переменного сопротивления под миллиамперметром переменного тока на панели управления можно осуществлять подстройку нагрузочного сопротивления стойки приблизительно на 7,5%. Если не хватает диапазона подстройки, чтобы установить сопротивление нагрузки в соответствии с п. 3.4.2.13 на номинальное значение 230 ом, действовать, как указано ниже, а затем выполнить операции, указанные в п. 3.4.2.13 и 3.4.2.14.

3.4.2.16. На щитке управления (А6) установить переменное сопротивление под миллиамперметром переменного тока на середину диапазона.

3.4.2.17. На усилителе мощности (блок 1.2.1.13) установить переключатель питания в положение «прогрев в течение 30 сек».

ный комплект контрольных инструкций может быть использован в качестве плана контроля.

Аналитические отчеты об ошибках испытательной аппаратуры. Прежде всего они содержат теоретический анализ погрешностей испытательной аппаратуры. Допуски, предусмотренные методикой



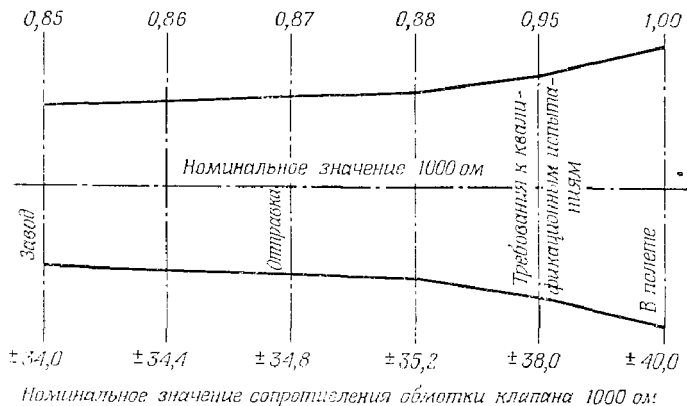
Фиг. 1.9. Поле допусков и соответствующее поле диапазона ошибок испытательной аппаратуры.

- — — = Поле допусков в соответствии с документом по параметрам.
 — — — = Диапазон ошибок испытательной аппаратуры для параметра в данной контрольной точке.
 { = Допуски контрольных точек для параметра, используемые в методике испытаний для данной контрольной точки.

испытаний, представляют собой допуски технических условий за вычетом ошибки испытательной аппаратуры. Это означает, что допуски, взятые по методике испытаний, всегда будут жестче допусков, установленных техническими условиями на испытания (фиг. 1.6). При проверке испытательной аппаратуры расчеты, связанные с анализом ее ошибок, сопоставляются с результатами экспериментальной проверки испытательной аппаратуры и в случае необходимости вносится поправка в величину ошибки. Некоторые исправления должны быть также произведены в методиках испытаний (фиг. 1.7 и 1.8). Обычно используется сужающееся поле ошибок испытательной аппаратуры, аналогичное полю допусков, описанному выше. Информация о поле ошибок испытательной аппаратуры (от поставщика до службы эксплуатации) позволяет выявлять ситуации, при которых большая ошибка испытательной аппаратуры может привести к фактической невозможности реализации требуе-

мого поля допусков. Это может явиться причиной браковки значительной части годных изделий. На фиг. 1.9 и 1.10 показаны типичные графики поля ошибок испытательной аппаратуры и поля допусков при последовательных испытаниях. На фиг. 1.11 приведена таблица критических допусков, при выходе за которые продукция должна быть забракована.

Большая часть комплекта технической документации составляется конструкторской службой; служба надежности и контроля



Фиг. 1.10. Поле допусков для инжекторного клапана.

качества продукции просматривает и согласовывает эти документы. На фиг. 1.12 в качестве примера приведена сводка рекомендаций службы надежности и контроля качества, сделанных при анализе программы испытаний на надежность для элементов. Остальная часть технической документации составляется службой надежности и контроля качества и согласуется с конструкторской службой. Такой порядок обеспечивает действенность политики контроля и балансирования. Составление и поддержание в рабочем состоянии полного комплекта технической документации требует больших усилий со стороны конструкторской службы и службы надежности и контроля качества продукции. Эти усилия определяют часть общей стоимости затрат на получение высокой потенциальной внутренне присущей сложной системе надежности.

Располагая полным комплектом технической документации и контрольно-испытательной аппаратурой, служба контроля имеет возможность соответствующим образом выполнить свои обязанности. Задача контроля состоит в том, чтобы определить, изготовлено ли изделие в соответствии с документацией во всех отношениях. Изделие, не отвечающее требованиям документации, не может быть

Наименование детали Клапан, узел инжектора		Чертеж № 2363057 Коррекция чертежей		Пост инспекции 13034		Редакция	
Страница 1 из 3							
Подготовлен				Дата		Выборка	
Классификация	Элемент	Данные, подлежащие проверке		Ссылка	Метод контроля	Таблица	Приемлемый уровень качества
M	*101	1,117 \pm ₀₀₂ ⁰⁰⁰ диаметр		11D	Микрометр	8А	1,5%
S	102	1,005 \pm ₀₀₂ ⁰⁰⁰ диаметр		11D	Микрометр	—	—
S	103	Диаметр должен быть перпендикулярен базисной поверхности М в пределах 0,001		11D	Индикатор	—	—
M	*104	0,330 \pm 0,010 размер		11D	Микрометр	8А	1,5%
S	105	0,250 \pm _{0,000} ^{0,005} размер		11D	Проходной калибр—пробка	—	—
S	106	Ориентация шпоночной канавки		9С	Визуальный	—	—
S	107	1,000 \pm 0,010		10С	Индикатор	—	—
S	108	0,187 диаметр, макс.		10В	Непроходной калибр—пробка	—	—
S	109	Базисная поверхность М должна быть плоской в пределах 0,001		8В	Индикатор	—	—
S	110	0,500 \pm 0,010		8С и 5D	Микрометр	—	—
S	111	0,375 диаметр, макс.		8А	Микрометр	—	—
M	*112	0,375 диаметр, макс.		8А	Индикатор 1870246	8А	1,5%
S	113	0,468 \pm 0,035		9С	Микрометр	—	—
S	114	$\frac{1}{4}$		5D и 5А	Проходной калибр—пробка	—	—

Это изделие является дефектным, если перечисленные требования не удовлетворяются.

Примечания: А. В данной классификации дефектов, разработанной технической инспекцией гарантии качества изделий, перечисляются те признаки, которые совместно с перечисленными ниже документами определяют общий контрольный критерий приемки:

- 1) чертежи и технические условия;
- 2) руководства и методики;
- 3) рабочие инструкции по гарантии качества изделий.

В. Звездочка перед номером элемента указывает на признаки по OCD.

Фиг. 1.11. Образец страницы с классификацией дефектов.

Деталь Иижекторный клапан Длительность испытаний 5 месяцев Отчет № 107 R-1

Номер детали 1963640 Отдел 58-63 Дата просмотра 15-6-62

Характер операций _____ Тип испытаний _____

Окружающие условия Документация Аппаратура Прочие

Описание	Было (представлено)	Есть (откорректировано)
----------	---------------------	-------------------------

Изменения в картах оценки результатов испытаний на надежность, требуемых инструкцией WS 2223

Уровень окружающих условий и длительность воздействия	1. Приемка — исследование при окружающих условиях по DCD 6063038 и параграфу 4.4 наставления 12259A. 2. Температура — 30°C в течение 6 час, 50°C в течение 4 час, относительная влажность 15%, возвращение к нормальным условиям. 3. Давление — перед пуском понижение до нормального в течение 20 сек. Скорость понижения 1,5 кг/см ² /сек. 4. Давление — отделение 1-й ступени, операции по наставлению 12259A. 5. Стендовое огневое испытание. Воздействие на наконечники клапанов. 6. Самопроизвольные электрические помехи.	1. Приемка — исследование при окружающих условиях по параграфу 4.6.WS 2223. 2. Температура — стабилизация при относительной влажности, контролируемой с целью предотвращения конденсации. —30°C в течение 6 час, +50°C в течение 4 час, возвращение к нормальным условиям. 3. Давление — перед пуском возвращение к нормальным окружающим условиям. Экспоненциальное понижение давления. Начальная скорость 3,50±0,07 кг/см ² /сек. 4. Давление — отделение 1-й ступени, см. WS 2223. 5. Стендовое огневое испытание—см. примечание 1. Примечание 1. Компоненты, получаемые от поставщиков, должны быть включены полностью в систему MOD 11 TVC для проверки при полномасштабных стендовых огневых испытаниях в соответствии с L.MSC 802501. 6. Исклучить полностью.
---	--	---

Фиг. 1.12. Сводка рекомендаций службы надежности и контроля качества по проведению испытаний на надежность.

принято, если конструкторский аппарат, служба надежности и контроля качества и заказчик не придут к согласованному выводу о том, что отклонения от документации не ухудшили надежность.

1.6. ВЛИЯНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ НА ПРОЦЕСС КОНСТРУИРОВАНИЯ

Требования, задачи и цели в отношении надежности формулируются заказчиком или вытекают из практики конкурентной борьбы. Четкую и определенную линию в отношении требований к надежности обычно ведут правительственные учреждения, например Министерство обороны и Национальное управление по авионавтике и космонавтике, особенно для систем оружия, космических систем и другой сложной аппаратуры. Высокие требования к надежности предъявляют к своим поставщикам также крупные заказчики таких промышленных отраслей, как автомобильная и гражданская авиация.

Требования в отношении надежности для потребительских товаров и промышленных изделий, поставляемых различным потребителям, определяются изготовителем на основе изучения реакции потребителя и анализа практики конкурирующих фирм. Конечно, фирма может быть вытеснена с рынка из-за установления чрезмерно высокой цены, если она будет добиваться нереально высокой надежности. Однако значительно большее число фирм оказывалось в затруднении из-за неприемлемо низкой надежности их продукции.

Требования к надежности независимо от того, предписаны ли они или выработаны самой организацией, не являются неприкосновенными и должны периодически подвергаться пересмотру. Пересмотр необходимости и обоснованности требований к конструкции (включая надежность) является основным элементом работы по техническому совершенствованию изделий. Отказ на первых стадиях выполнения программы от не диктуемых необходимостью, нереальных требований в области надежности может дать значительную экономию времени, усилий и средств, а также увеличить ресурсы, которые могут быть сконцентрированы для решения других важных конструктивных проблем.

При выполнении сложного проекта необходимо разбить все общие требования в области надежности, цели и задачи на отдельные частные цели и задачи, относящиеся к элементам проекта. Такое распределение целей и задач обычно выполняется на уровне комплексного руководства проектом или подготавливается для него службой надежности. Наименее жесткие возможные требования к надежности должны предъявляться к конструктивным элементам большой сложности или к тем элементам, в которых используются новейшие достижения технического прогресса. К элементам, являю-

щимся относительно простыми, в которых используются хорошо известные и апробированные конструктивные принципы, должны предъявляться наиболее жесткие требования по надежности.

Указанное распределение требований по надежности часто пересматривается ответственным руководством проекта. По мере приближения к завершению проекта руководство обычно вносит некоторые исправления в требования, основанные на относительном прогрессе в решении различных конструктивных задач. На конструкцию могут быть наложены некоторые специальные ограничения в отношении надежности, составляющие часть конструктивных требований. Может быть запрещено применение определенных материалов, деталей или методов, например:

- 1) некоторых натуральных или синтетических эластомеров с нежелательными характеристиками (например, неопрен);
- 2) некоторых электронных элементов, характеристики которых считаются неудовлетворительными при использовании в данной конструкции (например, реле, электролитические конденсаторы);
- 3) жидких ракетных топлив для баллистических снарядов, предназначенных для использования на подводных лодках;
- 4) олова, цинка и некоторых других металлов в электронных приборах в связи с образованием этими металлами кристаллических «усиков», которые могут вызвать отказы.

Служба надежности может также потребовать от конструктора следовать установившейся практике в области надежности, применять определенные материалы и детали и использовать некоторые конструктивные методы, как, например:

- 1) применять полупроводниковые приборы (транзисторы, диоды и т. п.) вместо электровакуумных приборов;
- 2) предусматривать резервирование в некоторых частях схемы;
- 3) использовать некоторые апробированные на практике методы конструирования при соединении неоднородных металлов с целью защиты от электролитических коррозионных процессов, которые могут возникнуть при определенных окружающих условиях;
- 4) использовать некоторые хорошо известные методы обеспечения электрической связи с целью контроля токов переходных процессов и устранения паразитных цепей;
- 5) облегчать в определенном соотношении режимы работы электронных элементов с целью уменьшения количества отказов при переходных процессах и повышения срока службы элементов.

Выраженные количественно требования, задачи и цели в отношении надежности составляют часть основных конструкторских заданий. Соображения надежности могут найти отражение также в конкретных ограничениях конструкторского характера (разрешение или запрет). Требования к надежности обоих указанных видов содержатся в исходных материалах, которые должен использовать конструктор.

1.7. УВЯЗКА ПРОГРАММ ИСПЫТАНИЙ

В процессе разработки бывает необходимо реализовать по меньшей мере пять программ испытаний общего типа, каждая из которых в свою очередь содержит отдельные виды испытаний и проверок. Эти программы испытаний на стадии разработки проводятся на уровне комплектующих деталей, узлов, подсистем и систем. К ним относятся:

Испытания на возможность выполнения. Эти испытания проводятся конструктором или испытательной службой по его заданию с целью подтверждения правильности выбранного конструкторского направления или выбора наиболее перспективного направления из нескольких возможных конструкторских направлений. Испытания на возможность выполнения обычно проводятся с минимумом формальностей.

Оценочные конструкторские испытания. Они включают испытания первых опытных образцов изделий в номинальных и граничных условиях, на которые рассчитаны разработанные изделия. Составляется методика испытаний и фиксируются результаты испытаний, однако формальные требования к подготовке и фиксации результатов испытаний незначительны. В зависимости от обстоятельств схема и конструкция изделия, испытательная аппаратура и методы испытаний в процессе испытаний корректируются.

Квалификационные испытания. Программа этих испытаний должна обеспечить формальную проверку соответствия конструкции техническим условиям. Если результаты испытаний указывают на необходимость конструктивных изменений, проводятся официально оформляемые коррективы с целью доводки конструкции.

Испытания на надежность. Различие между конструкторскими испытаниями и испытаниями на надежность не совсем ясно. Однако конструкторский персонал больше всего заинтересован в получении требуемых функциональных характеристик в соответствии с техническими условиями, а служба надежности интересуется результатами испытаний при граничных условиях и испытаниями на длительный срок службы. Персонал службы надежности при проведении своих испытаний выходит за пределы технических требований, используя более жесткие окружающие условия или увеличивая период испытаний (время или количество циклов). Увеличение жесткости условий испытаний проводится с целью определения запасов по характеристикам и выявления фактических отказов, позволяющих исследовать вероятные типы отказов и наметить возможные предупредительные и корректировочные меры.

Летные испытания. Данная категория испытаний относится к специальному виду испытаний самолетов, ракет-носителей и космических аппаратов. В то время как многие воздействия, специфичные для летных условий, можно весьма близко имитировать при наземных лабораторных или стендовых испытаниях, только в редких

случаях бывают известны все действительные воздействия и их сочетания. Хотя успешное проведение наземных испытаний позволяет сделать важные выводы, тем не менее конструкция изделия, предназначенного для работы в полете, может быть апробирована только при испытаниях в реальных условиях пуска и полета. Летные испытания беспилотных летательных аппаратов начинаются на очень ранней стадии разработки программы с целью выявления слабых мест конструкции. Можно ожидать появления отказов в полете в первый период работы. Для пилотируемых летательных аппаратов необходим другой подход. Он заключается в использовании любого возможного метода наземных испытаний до попытки совершить полет с человеком на борту, с тем чтобы отказы при летных испытаниях были доведены до минимума.

Очевидно, что требования к различным этапам и программам испытаний должны быть взаимно увязаны и скоординированы с целью получения максимального эффекта от различных программ и устранения пробелов, повторений и несогласованности. Несмотря на то что потребность в таком объединении и координировании планов и программ испытаний и связанные с этим преимущества очевидны, эту координацию затруднительно осуществить в программах испытаний, проводящихся в сжатые сроки, когда различные программы в значительной степени перекрывают друг друга.

Контроль и координация программ испытаний составляют один из основных элементов работы по обеспечению надежности. Указанная увязка планов испытаний разрабатываемых изделий предусматривается при планировании испытаний для контроля качества, периодических повторных квалификационных испытаний (основной продукции и продукции поставщиков), испытаний, проводимых заказчиком в условиях эксплуатации, и авторских надзорных испытаний изделий, возвращенных из эксплуатации.

Некоторые фирмы считают полезным проведение всех испытаний, связанных с разработками (за исключением лабораторных испытаний на ранней стадии разработки), службой надежности и контроля качества. Руководство испытаниями является функцией конструкторской службы, но высокая степень объективности достигается при проведении испытаний службой надежности.

Весьма подробно вопросы испытаний рассмотрены в гл. 4, т. II. Читателю, специально интересующемуся испытаниями, связанными с разработками, и испытаниями на надежность, рекомендуется тщательно изучить гл. 4, т. II.

1.8. ОБЫЧНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

В каждой отрасли техники используются свои практические методы конструирования, которые являются для нее характерными.

В данном разделе будут кратко рассмотрены некоторые из этих практических методов.

1.8а. Конструирование радиоэлектронных систем. Конструирование радиоэлектронных систем состоит в соединении в определенном порядке более или менее стандартных электронных элементов.

В связи с тем что конструктор схемы практически не может быть специалистом по всем типам схемных элементов, которые ему приходится применять, обычно создается специальная группа специалистов по комплектующим деталям. В составе этой группы имеются инженеры, специализирующиеся по транзисторам, диодам, конденсаторам, реле, проводам, потенциометрам и другим элементам. Эти группы специалистов работают в контакте с аналогичными группами на промышленных предприятиях.

Указанная группа специалистов по комплектующим деталям обычно составляет часть службы надежности. Ее функция заключается в контроле, связанном как с разрешением к применению элементов, так и с использованием разрешенных к применению элементов в нестандартных условиях и режимах. Разработчики схем должны использовать разрешенные к применению детали и комплектующие элементы и также получать разрешение на каждое специальное применение разрешенной детали в нестандартных условиях и режимах. Такой порядок объясняется необходимостью предотвратить использование в перенапряженном режиме апробированных деталей. Иногда, стремясь уменьшить вес и габариты устройства, конструктор допускает перенапряженные режимы. Если требуется обеспечить высокую надежность, при конструировании обычно стремятся облегчить режимы работы электронных элементов приблизительно на 50%; исключения допускаются лишь для случаев специального, полученного на высоком уровне разрешения.

Конструкторы электронных систем при разработке функциональных схем и схем соединений обычно полагаются на специалистов по компоновке, при получении экспертных рекомендаций по проблемам обеспечения требуемого теплового режима на лиц, занимающихся тепловыми расчетами, и при получении рекомендаций по заливке, пайке, сварке и другим технологическим процессам на специалистов по материалам и процессам.

1.8б. Расчет силовых конструкций. Конструкторам самолетов, управляемых снарядов, искусственных спутников не разрешается прибегать (из-за ограничений в габаритах и весе) к утяжелению конструкции, обычно допускаемому конструкторами неподвижных сооружений или изделий, предназначенных для передвижения по земле. Конструкторы космических аппаратов работают с дробными запасами прочности и для подтверждения правильности своих конструктивных расчетов в значительной степени полагаются на испытания с доведением образцов до разрушения. Они прибегают к

помощи специалистов по компонентам, имеющим опыт в применении болтов, заклепок, винтов и т. д. Для механических деталей несколько в меньшей степени применяются такие же методы контроля, как и описанные выше для электронных деталей.

1.8в. Конструирование гидравлических и пневматических систем.

Перед конструкторами гидравлических и пневматических систем возникает несколько общих проблем. Они обычно имеют дело с высокими давлениями и должны предусматривать в конструкциях меры безопасности против взрывов. Большое беспокойство вызывает у них проблема герметичности, всегда нужно иметь в виду возможность загрязнения и закупорки трубопроводов. При выполнении работ, связанных с космическими летательными аппаратами, конструкторы должны тщательно анализировать технические решения, с тем чтобы обеспечивать необходимые меры безопасности, удовлетворяя одновременно установленным для такой аппаратуры требованиям в отношении объема и веса.

1.8г. Конструирование механических элементов. В конструировании функциональных механических элементов накоплен значительно больший опыт, чем в конструировании электронных элементов, хотя уровень стандартизации все еще не высок. Стандартные электронные элементы и стандартные схемы, которыми располагает конструктор электронных систем, имеют небольшое количество механических эквивалентов. Конструкции многих функциональных механических элементов представляют собой модификацию или развитие ранее апробированных конструкций. Это облегчает принятие технических решений. Если необходимо использовать стандартные функциональные механические детали (например, шарикоподшипники) в условиях, существенно отличных от стандартных, то необходимо воспользоваться помощью специалистов по деталям для получения одобрения или неодобрения.

1.9. МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ

В этом разделе рассматриваются практические методы, используя которые конструктор может добиться получения высокой надежности. Другими словами, будут рассмотрены дополнительные меры, гарантирующие, что изготовленное изделие будет функционировать в течение заданного периода времени во всем диапазоне заданных окружающих условий, т. е. будет надежным.

Одним из способов повышения надежности, когда это допустимо с точки зрения ограничений в весе, объеме и стоимости, является создание больших запасов прочности конструкции. Для случаев расчета силовых конструкций это означает, например, что нужно рассчитать конструкцию на 4500 кг, когда максимальное усилие по техническим условиям составляет 450 кг. При конструировании ра-

диоэлектронной аппаратуры режимы работы электронных элементов облегчаются до такой степени, что обеспечивается их использование на 10—15% от номинальных значений параметров. При конструировании гидравлических или пневматических систем это означает, например, конструирование сосуда высокого давления, рассчитанного на удельное давление 70 кг/см^2 , при установленном максимальном удельном давлении 7 кг/см^2 . Такой метод конструирования является очень эффективным в тех случаях, когда конструктивные ограничения не влияют на его использование.

Для конструктора, стремящегося обеспечить высокую надежность, весьма полезными оказываются два подхода — упрощение и стандартизация. Чем проще конструкция, тем выше внутренне присущая ей надежность. Уменьшение количества деталей или числа различных типов используемых деталей представляет собой очевидный метод повышения потенциальной надежности электронного устройства. Стандартные элементы и схемы обычно проходят тщательную приработку, и вероятность появления каких-либо неприятных неожиданностей при их использовании очень мала. Так как обычно работа конструктора по природе своей носит творческий характер, то для того, чтобы принудить конструктора проектировать простые конструкции и максимально использовать стандартные детали и узлы, требуется сдерживающее начало. Необходимо иметь в виду, что каждое затейливое устройство все же можно заставить функционировать; однако чем выше сложность конструкции, тем обычно меньше ее надежность.

Конструктор должен проявлять интерес к факторам инженерной психологии. Следует заботиться о том, чтобы неправильная сборка или неправильное использование созданной конструкции были бы возможно более затруднительными. По возможности длина кабелей должна выбираться таким образом, чтобы можно было соединить с соответствующим разъемом только нужный кабель; разъемы должны отличаться по размерам, чтобы подходил только разъем соответствующего кабеля. Если поставлено условие возможности замены функционального узла, то проблемы, связанные с удалением и заменой его малоквалифицированным персоналом в эксплуатационных условиях, должны быть тщательно рассмотрены и решены оптимальным способом. Если конструкция такова, что возникают большие трудности при снятии детали и замене ее запасной частью, то значительно повышается вероятность того, что устройство не выполнит требуемых функций. В тех случаях, когда можно уронить болт крепления, гайку или винт в важную или недоступную часть устройства, то вероятность повреждения конструкции (при прочих равных условиях) значительно возрастает.

Важное значение для повышения надежности имеют обеспечиваемые конструкцией возможности проведения производственных и эксплуатационных испытаний и контроля. Разработчик функцио-

нальной схемы по возможности должен так выбирать принцип действия и схему устройства и его узлов, чтобы они могли быть подвергнуты полной неразрушающей функциональной проверке. Так, например, электрический выключатель может быть проверен в работе, тогда как такая же проверка предохранителя приводит к его разрушению. В данном случае преимущество «испытуемости» должно быть взвешено и сопоставлено с, вероятно, более высокой надежностью предохранителя. Обмотка электромагнита может быть повторно много раз проверена в работе; пирозапал является устройством одноразового действия. Очень важной характеристикой высоконадежной конструкции является также возможность проконтролировать ее основные размеры, отделку поверхностей и другие нефункциональные особенности вплоть до тех мест, где можно ожидать их ухудшения.

Необходимо отметить, что в отношении частой оперативной проверки сложных систем оружия существуют две школы. Так называемая школа «деревянных ракет» придерживается взгляда о необходимости проведения лишь очень редких проверок или исключения их, пока система оружия работоспособна. Вторая школа выступает за регулярные и частые функциональные проверки работоспособности системы оружия. Исследователи, принадлежащие к первой школе, исходят из того, что «проверка влечет за собой износ» и надежность системы оружия заметно понижается при каждой проверке. Фактически на практике прибегают к компромиссному решению, выражающемуся в проведении нечастых, но регулярных функциональных проверок по сокращенной программе.

Если конструкция требует применения специальных технологических процессов или необычных производственных методов, то эти требования должны быть четко указаны в чертежах и технических условиях. Кроме того, в них должны быть приведены предупредительные сведения относительно организации системы контроля производственных процессов и качества, с тем чтобы были сведены к минимуму возможность неблагоприятного влияния на надежность и качество особенностей характеристик оборудования, способов его установки и степени подготовки персонала. В качестве примера можно указать на конструкцию, которая должна быть изготовлена в чистом помещении при определенных условиях работы. В тех случаях, когда производственная организация этими условиями не располагает, они должны быть созданы либо должны быть приняты предупредительные меры, позволяющие устранить вредное влияние загрязненности помещения.

Обычно значительно легче сконструировать аппаратуру для благоприятных (мягких) окружающих условий, чем для жестких (предельных) условий. Одним из способов повышения надежности устройства является создание облегченных условий. Этого можно добиться путем обеспечения термостатирования или температурно-

го контроля, ослабления ударных нагрузок с помощью амортизации, уменьшения влажности при транспортировке, хранении и эксплуатации, применением в замкнутом объеме влагопоглотителей и т. п. Несмотря на то что изменение окружающих условий (обычно путем применения специальных контейнеров, в которых поддерживаются требуемые условия) обходится очень дорого и связано с дополнительными трудностями, тем не менее оно представляет собой выход из положения в тех случаях, когда невозможно найти приемлемое конструктивное решение для обеспечения надежности при работе во всем диапазоне предельных условий. Прежде чем выбрать путь конструирования, связанный с изменением окружающих условий, нужно попытаться тщательно оценить вероятность работы в предельных окружающих условиях.

Одним из важных методов, используемых для достижения высокой конструктивной надежности, является резервирование, хотя этот метод обладает определенными ограничениями. Легко убедиться в том, что выполнение некоторой функции с помощью одной из двух функциональных цепей имеет преимущество в отношении обеспечения надежности по сравнению со случаем работы только одной цепи. Резервирование может быть полным или частичным, т. е. может быть продублирована полностью вся схема или только отдельные ее части. Иногда автоматическое функциональное устройство дублируется с помощью ручного устройства (при участии оператора). Для повышения надежности электрической сети питания в госпитале устанавливается резервный генератор. Известную степень резервирования обеспечивают двигатели на многомоторном судне или самолете, повышая таким образом надежность. Для увеличения надежности системы может быть принято решение об использовании обслуживающего персонала в дополнение к полностью автоматизированным устройствам.

Следует иметь в виду, что резервирование как метод конструирования имеет определенные ограничения и не может рассматриваться как панацея от всех бед. Некоторые из этих ограничений заключаются в следующем:

1. Ограничения в габаритах и весе могут привести к двум дублированным схемам (или другим функциональным устройствам), в которых используются малогабаритные, менее надежные элементы, размещаемые в располагаемом объеме. При этих условиях надежность резервированной системы может оказаться даже меньше, чем надежность нерезервируемой системы.

2. Удары, вибрации или изменения температуры, которые могут вызвать выход из строя одной схемы или системы, вероятно, вызовут выход из строя обеих (резервированных) систем. При этих условиях необходимо лучше направить усилия конструктора на защиту от перегрева, ослабление вибраций и ударов или на другую защиту схемы или системы от воздействия окружающих условий.

3. Не всегда то, что кажется резервированием, оказывается им на самом деле. Так, например, две трубы, используемые для параллельной передачи жидкости (с необходимыми контрольными клапанами и т. п.), являются полностью резервированными *только* в том случае, если каждая труба в отдельности рассчитана на максимально требуемый поток жидкости. Можно привести и другой пример. Двухмоторный самолет, который при полете с одним двигателем не может обеспечить достижение требуемых высоты и скорости полета, теоретически менее надежен при полете над водной поверхностью, чем одномоторный самолет. Это объясняется тем, что вероятность отказа двигателя у двухмоторного самолета в два раза больше, чем у одномоторного.

Другой метод конструирования, направленный на повышение надежности, заключается в преднамеренном решении не рассчитывать конструкцию на самые худшие рабочие условия. Приняв такое решение, конструктор имеет возможность использовать менее сложную конструкцию, обладающую более высокой надежностью при всех, кроме наихудших возможных сочетаний, условиях. Вероятность столкнуться с самыми худшими сочетаниями окружающих условий статистически весьма мала, и конструктор поэтому может ожидать выигрыша в надежности.

Наконец, эффективный метод повышения надежности заключается просто в том, чтобы проявлять неизменное глубокое внимание ко всем случаям отказов и неувязкам в конструкции, сведения о которых поступают из отчетов о разработке, конструктивного анализа, приказов на изменения в чертежах (от службы контроля качества продукции и службы технической связи), формальных программ испытаний, отчетов о неисправностях и отказах при эксплуатации и материалов исследования причин отказов. Оперативные эффективные корректировочные меры могут в значительной степени повысить надежность.

Таким образом, существует несколько методов, с помощью которых можно повысить конструктивную надежность. В каждом случае эти методы необходимо всесторонне оценить, выяснить ограничения, влияющие на данную конструкцию. Конструктивные методы повышения надежности предусматривают: создание запасов прочности конструкции, облегчение режимов работы элементов, упрощение конструкции, использование стандартных деталей и узлов, учет факторов инженерной психологии, обеспечение ремонтпригодности и возможности проведения текущих испытаний и контроля, меры, позволяющие успешно выполнить специальные технологические процессы, обеспечение благоприятных окружающих условий работы устройства, обоснованное использование резервирования, и, наконец, учет материалов, содержащихся в оперативных отчетах по разработке, и принятие необходимых корректировочных мер для устранения вероятных причин ненадежной работы устройства.

1.10. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Анализ надежности конструкции включает в себя целый ряд функций, выполняемых службой надежности. Наиболее важными из них являются анализ конструкции связанный с прогнозированием надежности, и составление отчета о ходе разработки с точки зрения надежности.

Анализ, связанный с прогнозированием надежности, проводится с целью оценки потенциальной, внутренне присущей, конструкции надежности. К нему приступают, как только появляются конструктивные варианты (см. гл. 1, т. II). По мере совершенствования конструкции отчетные материалы обновляются. Анализ, связанный с прогнозированием надежности, обеспечивает основные исходные данные по надежности для конструирования; эти данные обсуждаются на технических совещаниях, проводимых в ходе разработки конструкции для выработки промежуточных технических решений.

Типичный отчет по анализу и прогнозированию надежности функционального электронного узла на начальном этапе конструирования может содержать следующие разделы.

Введение. В введении дается физическое и функциональное описание устройства. Объясняется практическое применение устройства с использованием графических иллюстраций.

Сводка основных выводов и рекомендаций. Это одна из основных частей отчета; ее текст должен быть либо подчеркнут, либо ее следует печатать на бумаге другого оттенка. Следует помнить, что целью анализа надежности является определение тех мест конструкции, которые нуждаются в улучшении, и предложение соответствующих корректировочных мер.

Блок-схема надежности. Схема показывает роль данного устройства при функционировании его в составе всей системы, а также основные функции самого устройства. В блок-схеме должны быть отражены все случаи схемного и функционального резервирования. (Светокопии основных графиков и схем должны быть включены в приложения.)

Оценка надежности системы. Анализ должен быть направлен на получение количественной оценки надежности устройства. В качестве исходных материалов используются данные о требуемой продолжительности работы устройства, интенсивности износных отказов, характеристики старения и надежности нестандартных деталей. (Материалы по детальному анализу должны быть оформлены в виде приложения.)

Надежность схемных элементов. В этом разделе отчета указываются источники данных по интенсивностям отказов схемных элементов, приводятся данные для конкретных элементов данного устройства и допущения, принятые при оценках интенсивностей отка-

зов элементов. Кроме того, здесь может приводиться дополнительная информация, необходимая для обоснования выбора типов элементов и режимов их использования, результаты анализа надежности какой-либо специальной нестандартной детали, сводка данных об анализе механических и других нагрузок на элементы изделия, описание используемого метода определения надежности элементов одноразового действия (например, пиропатронов), перечни изделий, которые могут работать только в течение определенного календарного времени или имеют определенный оперативный срок службы, с соответствующими ссылками на средства их контроля, указания по методике приработки и тренировки элементов, а также указания по входному контролю и другим способам контроля качества элементов внешней поставки.

Анализ видов отказов. Идентифицируются и описываются все вероятные первичные виды отказов, а также оценивается возможное влияние каждого из них на характеристики системы. Делаются замечания относительно предусмотренных в схеме и конструкции мер, направленных на предупреждение «цепных» отказов, т. е. отказов, которые в свою очередь вызывают новые отказы.

Анализ надежности в процессе производства. В этом разделе отчета описываются специальные меры и требования, необходимые для сохранения потенциальной надежности изделия в процессе производства. В него включаются требования по проверке правильности чертежей и однозначности даваемых в них указаний (обзор документации), методы контроля за выполнением требований относительно производственных условий, например поддержания требуемой чистоты помещений, способы проверки правильности выполнения специальных технологических производственных процессов, специальные требования и ограничения, связанные с испытаниями и контролем на разных стадиях производства, а также специальные требования по обращению с изделием и упаковке.

Анализ ремонтпригодности. В этом разделе приводятся данные о специальных методиках, предназначенных для обнаружения и устранения неисправностей, сведения о доступе к элементам с ограниченным сроком службы, требования к периодичности и объему профилактических осмотров и ухода, инструкции по обслуживанию и рекомендации по материально-техническому обеспечению запасными частями и материалами.

Выводы и рекомендации. В этом разделе приводится сводка всех рекомендаций, содержащихся в других разделах отчета, со ссылками на конкретные параграфы, в которых имеется подробная информация. Включаются также перечни конкретных рекомендаций по проведению коррекций.

По мере совершенствования проекта более глубокими становятся также материалы анализа надежности конструкции, приведенные в отчете. Более поздняя редакция отчета по прогнозированию на-

дежности должна содержать результаты совещаний по проекту и информацию о результатах корректировочных действий.

Хотя конструктивный анализ нельзя отнести полностью к точным наукам, тем не менее методы, используемые для анализа конструкций электронных устройств, довольно хорошо разработаны. Применяемые математические и статистические методы подробно описаны в гл. 4, т. I, и гл. 1, т. II. Прогноз надежности электронных систем включает определение числа и типов электронных элементов, выбор (по справочникам или по данным испытаний) показателей надежности для элементов, принятие определенных окружающих условий, установление пределов облегчения режимов работы элементов, определение степени резервирования схем и, наконец, оценку внутренне присущей конструкции надежности. Расчеты для систем средней и более высокой сложности обычно производятся на электронной вычислительной машине. Предсказанный на основе такого анализа показатель надежности хотя и не является точной величиной, но все же позволяет грубо оценить, близка ли надежность конструкции к требуемой надежности. Результаты анализа функциональных механических, гидравлических и пневматических конструкций обычно менее точны. Это объясняется тем, что по используемым элементам обычно имеется меньше данных. Анализ надежности силовых элементов основывается на оценке запасов прочности и преобразовании их с помощью соответствующей системы взвешивания в показатели надежности.

Показатель надежности, предсказанный для данной конструкции, приобретает особую ценность при сравнении различных конструктивных концепций, когда основной целью анализа является сопоставление относительных внутренне присущих сравниваемым конструкциям надежностей. Часто отчет об анализе и прогнозировании надежности является одним из основных источников описания проекта на ранней стадии конструирования наряду с циклограммами процесса функционирования, схемами, теорией процесса работы, указаниями о выполняемых функциях, прогнозируемыми видами отказов и подобной важной информацией. Он выполняет ценную вспомогательную функцию связи и координации между элементами проекта. Отчет с изложением материалов анализа и прогнозирования надежности вместе с информацией, заложенной в технической конструкторской документации (чертежах, технических условиях и методиках), дает основные данные для суждения о конструкции. Третьим основным источником данных служат составленные конструктором отчеты о ходе разработки с точки зрения надежности.

Отчеты о ходе разработки с точки зрения надежности приводят к наиболее успешным результатам в тех случаях, когда они выполняются конструкторской службой; при этом инженер по надежности планирует и организует работу, созывает необходимые совещания, берет на себя инициативу в составлении проектов отчета.

Для активной подготовки к совещаниям должны быть использованы контрольные листы по анализу конструкции с точки зрения надежности, которые подготавливаются и периодически проверяются инженером по надежности. В тех случаях, когда это возможно, в контрольных листах должны задаваться вопросы, ответы на которые должны быть информативными и не ограничиваться словами «да» или «нет». По комплексным системам анализ конструкции нужно проводить по крайней мере три раза (на начальном, промежуточном и окончательном этапах разработки). Поставщики, которые представляют свои собственные конструкторские разработки по проекту, также должны проводить начальный, промежуточный и окончательный анализы конструкции. Анализы на начальном и окончательном этапах разработки должны проводиться с участием конструкторов и персонала надежности подрядчика.

В некоторых вариантах схемы и конструкции мероприятия по обеспечению высокой внутренне присущей конструкции надежности обходятся дешевле и выполняются легче, чем в других проектах. Почти любая конструкторская идея может быть воплощена в надежную конструкцию при условии достаточных затрат денег, времени и усилий, однако для различных конструктивных вариантов степень трудности, с которой может быть обеспечена надежность, различна. Ее можно выявить на основе анализа конструкции. Очевидно, анализ конструктивных вариантов на начальном этапе разработки потенциально оказывает влияние на конструкцию, а последующие промежуточные и окончательный анализы имеют относительно меньшее влияние по мере приобретения проектом более законченного вида и меньшей возможности затрат времени на важные изменения.

В тех случаях, когда это возможно, анализ конструкции в отношении надежности должен сочетаться с анализом конструкции с других точек зрения, например технологичности и ремонтпригодности. Это диктуется необходимостью свести к минимуму затраты рабочего времени конструктора и разрешить вопросы, связанные с противоречивыми рекомендациями. Ниже приводятся некоторые соображения по содержанию отчета о ходе разработки. Пункты, помеченные звездочкой, могут быть включены в отчет по анализу технических требований к конструкции с точки зрения надежности.

* Анализ требований к работе устройства.

* Анализ требований к окружающим условиям.

Разрешение на применение апробированных деталей установленным образом.

Анализ схем и прогнозирование надежности.

Меры по обеспечению виброустойчивости и ударостойкости.

Меры по обеспечению теплоотвода.

Правильное применение неоднородных металлов с целью сведения к минимуму электролитических коррозионных процессов.

Правильное применение органических материалов с целью уменьшения ограничений срока службы при одновременном удовлетворении других конструктивных требований.

Исследование условий, способствующих образованию участков местного перегрева и «горячих точек».

Сведение к минимуму требований по регулировкам и подгонкам отдельных устройств при сборке их в систему, а также выборочных требований по подгонке параметров элементов в процессе производства.

Меры по обеспечению в необходимых случаях возможности проведения испытаний и контроля.

Меры по обеспечению ремонтпригодности.

Анализ потенциальных видов отказов и их влияния на работоспособность системы.

На совещании, посвященном обсуждению проекта, обычно должен председательствовать руководитель конструкторской службы или его представитель. Будучи председателем, он принимает окончательные решения по предложениям и предлагаемым изменениям. Председатель совещания является единственным лицом, которое может принимать в необходимых случаях компромиссные решения в отношении направления проектирования. Такие совещания позволяют оценить качество работы конструкторов, а полученная в результате информация помогает председателю в принятии необходимых компромиссных решений.

Практически инженер по надежности поступает наилучшим образом, когда вручает ответственному конструктору контрольный лист по анализу конструкции задолго до совещания. Инженер по надежности должен проработать контрольный лист совместно с конструктором с тем, чтобы выделить все вопросы, представляющие значительный интерес. В идеальном случае эти вопросы разрешаются до созыва совещания. Если персонал службы надежности не согласен с решением руководителя конструкторскими работами по вопросам, влияющим на надежность, то за службой надежности остается право воздержаться от одобрения или же она может действовать через вышестоящее руководство в зависимости от принятого в данной организации порядка.

Подготовка, требуемая для проведения совещания по обсуждению проекта, должна обычно привести к ясности в отношении большинства недостатков. Должны быть проведены дополнительные испытания и аналитические исследования, которые могли быть ранее упущены; конструктор должен получить консультацию специалистов по различным вопросам конструирования.

Правильно проведенный анализ конструкции может обеспечить важный вклад в достижение цели «выполнять работу без дефектов с первого раза». Необходимость составления отчета о ходе разработки создает противодействие давлению, оказываемому плановы-

ми сроками. Часто требования в отношении конструирования недооцениваются. По мере приближения предельного срока выполнения работы начинает оказываться давление, приводящее к быстрым «интуитивным» конструктивным решениям без требуемого исследовательского анализа. Формальная программа по анализу конструкции и составлению отчета о ходе разработки с точки зрения надежности является барьером для быстрых и необоснованных конструкторских решений, так как конструктор отдает себе отчет в том, что он должен представить своему руководству и персоналу службы надежности правильные ответы на вопросы, поставленные в контрольном листе.

Итак, анализ надежности конструкции представляет собой аналитический метод оценки или предсказания внутренне присущей конструкции надежности путем (в случае электронных устройств) выбора показателей надежности для схемных элементов и использования этих числовых величин для различных элементов, оценки влияния облегченных режимов работы, резервирования и других факторов. К анализу надежности конструкции необходимо приступать, как только появляются промежуточные варианты конструкции или разработанные схемы. Материалы анализа должны пересматриваться каждый раз после внесения значительных конструктивных изменений.

При обнаружении существенных конструктивных недостатков по требованию службы надежности проводятся корректировочные действия. Отчет о ходе разработки с точки зрения надежности дает важную информацию для совещаний, имеющих целью тщательное рассмотрение всех аспектов каждой конструкции при уделении особого внимания вопросам обеспечения надежности. Такие совещания планируются и проводятся конструкторской службой; при этом инженеры по надежности выступают как инициаторы, секретари, подготовляющие и фиксирующие все необходимые данные, пропагандисты и проводники сознательного подхода. В некоторых случаях на этих совещаниях принимаются компромиссные решения по конструкции. Персонал службы надежности может отказаться одобрить неприемлемые решения или опротестовать их по соответствующим каналам руководства.

Анализ надежности конструкции можно рассматривать как мероприятие по контролю качества выполнения конструкторских работ с целью оценки и определения соответствия разработки основным требованиям и оправдавшим себя принципам и практическим методам конструирования. В этом смысле анализ надежности конструкции связан с качеством проекта (внутренне присущая надежность), как контроль и испытания в процессе производства связаны с качеством изготовления (соответствие конструктивным требованиям) изделия. Для достижения высокой внутренне присущей надежности в сложных системах существенное значение приобретают

исследования и квалифицированный анализ надежности конструкции. Высокая внутренне присущая надежность является фундаментальным требованием, предъявляемым к изделиям, которые должны обладать высокой надежностью в эксплуатационных условиях.

К сожалению, конструкция с высокой внутренне присущей надежностью легко теряет заметную часть потенциальной надежности вследствие неправильного контроля конструктивных параметров, небрежного контроля вносимых изменений и использования чертежей и технических условий, в которых содержится произвольно истолковываемая информация и ошибочные примечания и требования или опущены важные требования. Анализ, проводимый для того, чтобы убедиться в том, что замысел конструктора является ясным, однозначно изложен в комплекте документации и полностью передан производственному персоналу и аппарату контролю качества, которые должны им руководствоваться в работе, называется проверкой однозначности документации. Эта проверка вместе с постоянной проверкой выпускаемых чертежей, конструктивных изменений и системой авторского контроля за правильностью изготовления разработанной конструкции играет существенную роль в предотвращении ухудшения надежности конструкции, обладающей потенциально высоким уровнем надежности.

1.11. ДРУГИЕ ФУНКЦИИ СЛУЖБЫ НАДЕЖНОСТИ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОНСТРУКЦИЮ

Существует несколько дополнительных мер по повышению надежности, которые в некоторой степени влияют на деятельность конструкторской организации. К ним относятся следующие.

Составление перечней схемных элементов с ограниченным календарным сроком службы. Эти элементы обычно ограничивают общий срок службы всей конструкции. Такие ограничения обуславливаются применением органических материалов (например, резины) или взрывчатых химических веществ. По возможности необходимо вносить конструктивные изменения для снятия ограничений. Если изменения не могут быть внесены, необходимо предусмотреть меры, позволяющие устройству работать при наличии ограничений. К ним относятся организация системы контроля и установление индивидуальных пределов для каждой детали с ограниченным календарным сроком службы. Очевидно, для элементов с ограниченным календарным сроком службы должны предусматриваться запасные части, поставку которых следует включать в планы материально-технического снабжения.

Составление перечней схемных элементов с ограниченным ресурсом работы. У этих функциональных элементов допустимый срок службы выражается временем работы, числом рабочих циклов или числом включений, меньшими, чем это требуется при реальных

условиях эксплуатации. Необходимые действия такие же, как в случае элементов с ограниченным календарным сроком службы.

Систематическое наблюдение за старением материалов осуществляется по программе детального исследовательского анализа материалов, находившихся длительное время в рабочем состоянии под нагрузкой. Анализ имеет целью раннее обнаружение признаков зарождающихся отказов, с тем чтобы иметь больше времени для предупреждения кризисного состояния и принять как быстрые, так и рассчитанные на длительный срок корректировочные меры. Результаты, полученные в результате систематического наблюдения за старением материалов, поступают к конструкторам в форме рекомендаций.

Проверка однозначности конструкторской документации. В период между анализом конструкторских материалов с точки зрения надежности и детальной проверкой практически выполненных чертежей, проводимой контролером, появляется необходимость в проведении проверки на надежность другого рода. Ее целью является подтверждение того, что замыслы конструктора ясно и полностью переданы техническому персоналу и контролерам, которые будут ими руководствоваться. Этот вид проверки известен под названием проверки на однозначность даваемых в конструкторских документах указаний. Недостаточно, чтобы замысел конструктора был ясен ему самому или другому конструктору, работающему в аналогичной области деятельности. Конструкторская документация должна быть проверена с точки зрения однозначности и полноты даваемых в ней указаний как в пределах каждого конструкторского документа, так и во взаимосвязанных между собой документах. Обильный материал для проверки однозначности проекта дают обычно требования, отраженные в технических условиях, и примечания к чертежам.

Надежность, обеспечиваемая в процессе производства. Согласно программе повышения надежности инженеры по надежности следят за реализацией проекта в экспериментальных цехах и наблюдают за составлением документации, связанной с переходом проекта в стадию производственного изготовления. К этой категории документов относятся плановые документы на изготовление, включая цеховые заказы, производственные чертежи и технические условия на технологические производственные процессы. Наблюдение за фактическим производственным процессом позволяет обнаружить существующие неопределенности или упущения и явные ошибки, допущенные при конструировании. К этим проблемам немедленно привлекается внимание конструкторов, которые должны возможно быстрее принимать решения. Только в случае, если конструкторская организация проявляет достаточный интерес и заботу о выполнении указанной функции, в результате деятельности по повышению надежности в процессе производства обеспечивается существенное повышение фактической надежности разработанных устройств.

Обратная связь между производством и конструкторской службой. Работа по обеспечению надежности включает в себя такую важную функцию, как сбор данных о параметрах устройств, данных функционального и размерного характера (включая весовые данные) по результатам испытаний и других проверок, выполняемых на ранней стадии производства. Эти данные затем обрабатывают по каждому контролируемому признаку и строят гистограмму. Результаты статистической обработки сопоставляются с установленными техническими условиями пределами, контрольными допусками и указаниями по нормировке параметров, размеров, весовых данных. Материалы такого рода обеспечивают конструктора информацией о действительных возможностях производства, о реальности установленных в конструкторской документации допусков. Это позволяет конструктору лучше приспособиться к производственным возможностям без ухудшения надежности, а возможно, и повысить надежность конструкции. В тех случаях, когда производственный процесс находится под строгим контролем в соответствии с техническими условиями, могут быть реализованы более жесткие допуски; когда контроль производственного процесса налажен не очень четко, допуски в действительности могут быть ослаблены по сравнению с указанными в документации. Более подробная информация по вопросу накопления и систематизации данных о надежности содержится в гл. 2, т. II.

Проверка и одобрение предложений о конструктивных изменениях. После выпуска полного комплекта конструкторской документации требуется проявить особое внимание к вопросам надежности при проверке предлагаемых изменений документации и выборе практических методов проведения изменений. Опыт конструирования изобилует многочисленными примерами, когда казавшиеся абсолютно желательными изменения проявляли себя совершенно неожиданным образом, приводя к заметному ухудшению как в функциональных характеристиках устройства, так и в его надежности. При высоких требованиях к надежности и возможных серьезных последствиях ненадежности следует принять за правило — для обеспечения безопасности не вмешиваться в испытанную и апробированную схему, конструкцию и т. д., если только в этом нет абсолютной необходимости. Если даже конструктивное изменение приемлемо, все же, принимая решение о его введении, необходимо проявлять большую осторожность. Внесение изменения должно быть спланировано таким образом, чтобы можно было осуществить необходимые поставки, внести изменения в планирование испытаний и контроля, в оборудование для испытаний и контроля, модифицировать инструкции по испытаниям и контролю, обеспечить наличие заменяющих материалов и удовлетворительно выполнить большое количество других работ.

Предложения о корректировочных действиях в результате изучения причин отказов. На этапе разработки конструкции служба надежности получает большое количество данных, источниками которых служат заводские отчеты по контролю, отчеты по отказам, замечания о недостатках, обнаруженных в эксплуатационных условиях, и фактические материалы по исследованиям причин отказов изделий. В результате анализа этих данных в конструкторскую службу направляются предложения по исследованию и принятию конструктивных мер для предотвращения возможности повторения отказов. Быстрая доброжелательная реакция на эти предложения является важным условием повышения надежности конструкции.

Существуют и другие функции службы надежности, влияющие в некоторой степени на конструкцию. Большинство из них требуют не очень больших усилий (такие, как непрерывная выборочная проверка точности выполнения конструкторских чертежей), хотя являются существенными. Функции, имеющие очень важное значение, детально рассмотрены выше. При выполнении этих функций персонал службы надежности по отношению к конструкторам придерживается политики «контроля и балансирования»; все эти функции немислимы без глубокого внимания к мелочам, являющегося необходимым условием получения и поддержания высокой внутренней присущей надежности в сложной системе.

1.12. ДЕМОНСТРАЦИЯ НАДЕЖНОСТИ, ОТЧЕТНОСТЬ И ИССЛЕДОВАНИЯ

В данном разделе описываются некоторые функции службы надежности, которые связаны лишь эпизодически с конструированием. В некоторых случаях правительственные и промышленные организации предъявляют требование продемонстрировать надежность; это требование включается в контракт или заказ на поставки. Случаи предъявления требований о демонстрации надежности обычно охватывали функциональные элементы или простые функциональные узлы. При высокой стоимости поставляемого изделия или высокой стоимости испытаний, требуемых для демонстрации надежности, недопустимо сильно удорожается демонстрация любого важного показателя надежности с какой-либо значимой степенью достоверности. Когда демонстрация надежности фактически является требованием к поставкам, служба надежности играет ведущую роль в переговорах о точных сроках и условиях проведения демонстрации. Кроме того, персонал службы надежности как организации-заказчика, так и организации-поставщика обычно принимает участие в испытаниях, связанных с демонстрацией надежности. Испытания, проводимые с целью демонстрации надежности, обычно привлекают пристальное внимание руководства, так как на карту ставится существенная часть прибыли.

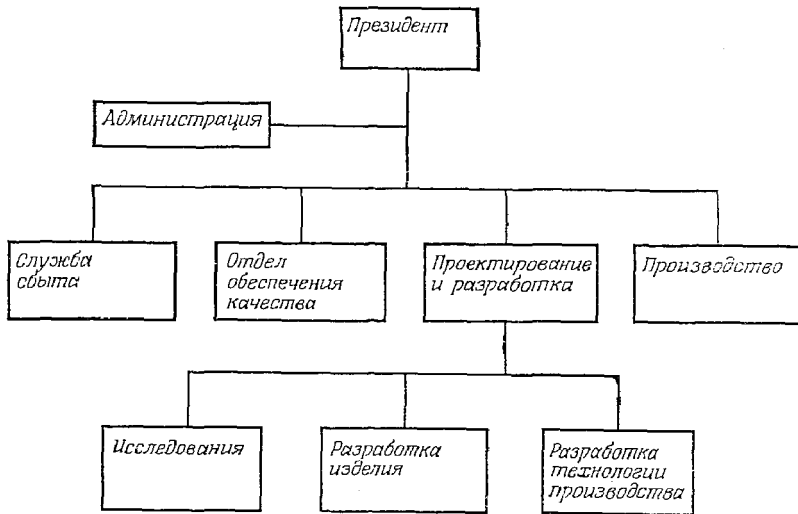
Служба надежности, производя оценку потенциальной надежности на основе анализа материалов конструирования, может по собственной инициативе или по требованию руководства постоянно следить за ростом надежности по мере выполнения и совершенствования программы разработки. Такая оценка повышения надежности требует применения как статистических, так и инженерных методов. Для определения степени повышения надежности производится оценка результатов испытаний, проводимых в наземных и летных (при необходимости) условиях. В случае появления отказов и принятия корректировочных мер в виде изменений в документации или других действий оценка целесообразности корректировочных мер и их влияния на повышение надежности представляет собой одну из самых сложных проблем при оценке и отчетности о росте показателей надежности. Этот вопрос рассматривается более подробно в гл. 1, т. II.

Теория надежности относится к техническим областям знаний и опирается на ряд дисциплин. Эти дисциплины, конечно, не находятся в застывшем состоянии; для любого улучшения службы надежности, для поиска более совершенных методов получения, поддержания и измерения надежности требуются время и ресурсы. Некоторые области такого поиска включают исследования усовершенствованных статистических методов, поиск новых улучшенных методов и применений техники неразрушающих испытаний, исследования новых принципов создания и усовершенствования функциональных и контрольных приборов, исследование методов повышения точности калибровки и лучшего определения сроков проведения калибровки, изучение способов повышения потенциальной надежности и оценки влияния новых методов конструирования, как, например, с введением микроминиатюризации и использованием молекулярной электроники, на надежность. Существует много других областей исследований по вопросам надежности, которые могут оказаться весьма плодотворными. Часть этих исследований связана с использованием результатов исследовательской деятельности по надежности, проводимой специализированными организациями в эксплуатационных условиях, таких, как Американское общество по контролю качества и Общество по неразрушающим испытаниям.

1.13. УПРАВЛЕНИЕ КОНСТРУИРОВАНИЕМ И РАЗРАБОТКАМИ

Существуют две основные организационные формы конструирования и разработки: централизованная и децентрализованная. Если фирма состоит из нескольких более или менее самостоятельных производственных отделений, то эти отделения могут иметь собственные организации (отделы и пр.), предназначенные для выполнения функций конструирования и разработки.

На фиг. 1.13 приведена типичная организационная структура конструирования и разработки централизованного типа. На фиг. 1.14

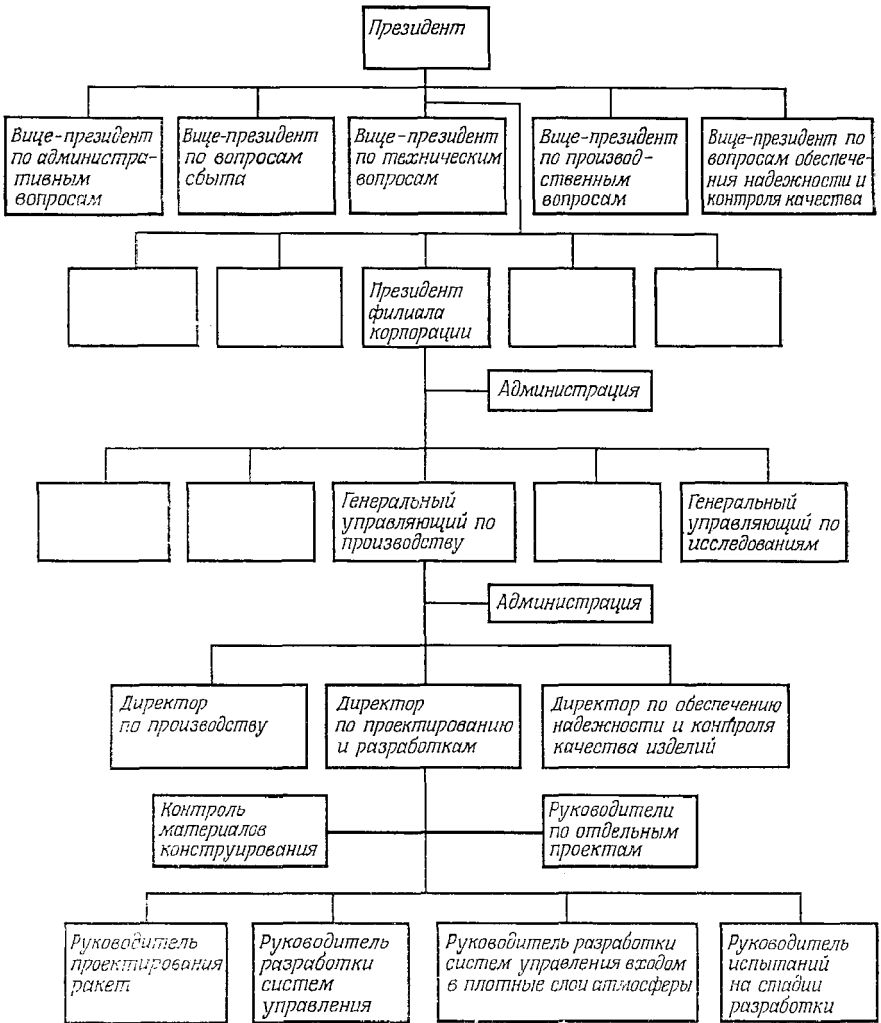


Фиг. 1.13. Схема централизованной организации проектирования и разработки.

показан пример глубокой децентрализации конструирования и разработки в крупной фирме.

Если организация имеет также отдельный исследовательский аппарат, то конструирование и разработка тесно связаны с исследовательскими работами. Часто конструкторский персонал и разработчики прибегают к консультациям специалистов-исследователей по вопросам разработки технологии производства, а также по таким вопросам, как анализ напряжений и тепловые расчеты. Когда в пределах одной конструкторской и разрабатывающей организации в работе находится несколько проектов, часто выделяются средства для распределения работ вместе с техническими заданиями среди других конструкторских и разрабатывающих организаций.

При заключении контрактов военного значения основные подрядчики обычно возводятся в ранг генеральных подрядчиков. Эти генеральные подрядчики часто имеют крупных субподрядчиков и основных поставщиков, выполняющих работу по их заказам. Субподрядчики и основные поставщики выполняют также свою собственную работу по конструированию и разработке. Генеральный подрядчик должен убедиться в том, что субподрядчики и основные поставщики способны квалифицированно выполнить свои работы по конструированию и разработке. Кроме того, в обязанности конструкторской и разрабатывающей организаций генерального подрядчика входят проверка и одобрение конструкторской работы, выполняемой субподрядчиками и поставщиками. Эта взаимосвязь между генеральным подрядчиком и подчиненными поставщиками обяза-



Фиг. 1.14. Схема децентрализованной организации проектирования и разработки.

тельно должна координироваться через соответствующие договорные каналы фирмы.

Одним из основных недостатков многих конструкторских и разрабатывающих организаций является недооценка важности полноты и упорядоченности комплекта конструкторской документации. Не всегда отдают себе отчет в том, что конечным результатом при выполнении технического задания является комплект апробированных документов, раскрывающих существо проекта. Эксперимен-

тальные работы, испытания на выполнимость проекта, анализ схем, напряжений, испытания на воздействие окружающих условий, изготовление макетов, производство опытных образцов, летные испытания — все это только этапы на пути к достижению поставленной цели, а эта цель воплощена в комплекте апробированных конструкторских документов. Недостаточное понимание важности конструкторской документации является нередко основной причиной ненадежности сложных проектов. В результате затрачиваются большие усилия конструкторов и разработчиков, а полезность этих усилий иногда сомнительна.

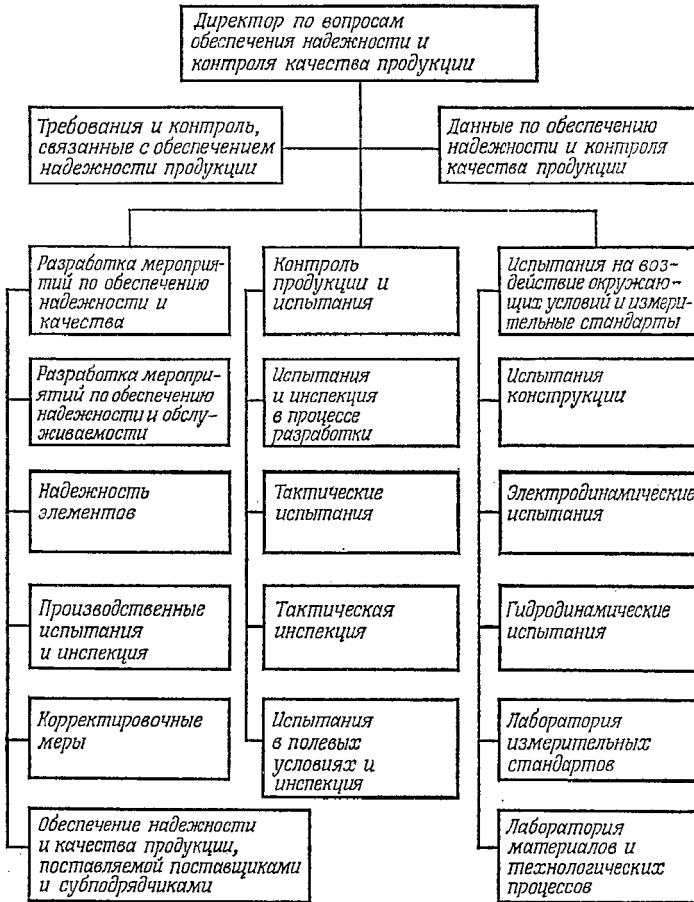
Хотя общеизвестно, что новая конструкторская задача будет интересовать конструктора больше, чем необходимость «ставить все точки над *i* и проводить черточки на всех *t*» в разрабатываемом проекте с целью качественного его завершения, тем не менее квалифицированное техническое руководство конструированием и разработкой будет настаивать на полном окончании всех работ по технической документации и проведении строгого контроля за изменениями в конструкторских документах.

1.14. УПРАВЛЕНИЕ СЛУЖБАМИ НАДЕЖНОСТИ

Как показано в разд. 1.1, создание служб надежности было обусловлено необходимостью проверки качества конструкции. Во многих организациях деятельность по обеспечению надежности впервые была начата конструкторами, которые имели свою точку зрения на контроль качества в том смысле, что они отдавали себе отчет о влиянии на надежность изделия конструкторских ошибок и упущений. Службы надежности зародились и выросли внутри конструкторских организаций.

Как параллельная организация служба технического контроля быстро развивалась, выполняя самостоятельные функции во многих организациях, когда отсутствовала эффективная служба надежности. Никогда не было и нет ясности в том, относятся ли некоторые функции к функциям службы надежности или к функциям технического контроля. В результате в одних фирмах эти службы объединились, в других стали конфликтовать между собой. В настоящее время во многих фирмах вопросами надежности занимается все еще конструкторская организация, особенно в тех фирмах, где требования к надежности продукции не являются чрезмерно суровыми. Иногда оказывается затруднительным, хотя, конечно, не невозможным, сохранять независимую и объективную линию, когда персонал по обеспечению надежности находится в подчинении конструкторских организаций.

В фирмах, выполняющих военные заказы, а также работы с жесткими требованиями в отношении надежности и качества, наметилась тенденция объединения подразделений надежности и контроля качества в службу обеспечения надежности и контроля



Фиг. 1.15. Типичная схема организации обеспечения надежности и контроля качества изделий.

качества продукции. На фиг. 1.15 приведена схема типичной организационной структуры службы обеспечения надежности и контроля качества. Более подробно вопрос об организации работы по обеспечению надежности и контролю качества рассматривается в гл. 6 данного тома.

1.15. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует заметить, что большинство отказов, имевших место при пусках управляемых ракет и искусственных спутников в США, не было вызвано неисправностью какого-либо «экзотического» устройства, конструкция которого ускорила прогресс современного уровня техники. Напротив, многие отказы были вызваны неисправно-

стью функциональных и конструктивных элементов ранее апробированной конструкции. Иногда элементы были изготовлены неправильно, а в других случаях имели место ошибки в работе персонала, как, например, при повороте или закреплении зажима или установке пирозапала. Нет такой мелочи, которая была бы слишком ничтожной для того, чтобы не оказаться возможной причиной отказа. Высокие потенциальная и практически достижимая надежности в значительной степени являются результатом глубокого и пристального внимания к мелочам.

В настоящей главе указаны обязанности конструктора в отношении выполнения требований к надежности. Рассмотрены причины, обуславливающие необходимость обеспечения высокой внутренней присущей надежности и отмечена целесообразность проведения службой надежности независимой политики «контроля и балансирования», позволяющей обратить особое внимание конструкторов на требования повышения надежности. Описаны методы конструирования надежных изделий, а также методы, процедуры и практические приемы, применяемые для обеспечения реализации потенциально закладываемой в конструкцию надежности. Наконец, рассмотрены различные типы конструкторских организаций и взаимосвязь между службами конструирования и обеспечения надежности при конструировании.

Итак, конструкторская организация несет главную ответственность за обеспечение внутренне присущей конструкции надежности; при этом служба надежности проводит независимую политику контроля и балансирования по отношению к конструкторской службе главным образом с целью убедиться в том, что конструкторская организация уделила вопросам надежности самое пристальное и глубокое внимание, какое только требуется. Кроме того, служба надежности выполняет некоторые самостоятельные функции для достижения тех же целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hurd W. L., Full Design Definition is Essential to Missile Reliability, Proc. Eighth Ann. Reliability Quality Control Natl Symp., Washington, D.C., 1962.
2. Hurd W. L., The Contribution of Design Analysis to Product Assurance, Proc. Seventeenth Ann. Am. Soc. Quality Control Conv., Chicago, III, 1963.
3. Lubelsky, Benjamin L., Reliability Techniques in Production, Seventh Military-Industry Missile and Space Reliability Symposium, San Diego, Calif., 1962.
4. Missile Systems Division Reliability Engineering Manual, Lockheed Missiles and Space Co Rept., 801178, Aug. 1, 1963.
5. Smiley R. W., Design Review and Field Feedback Trigger Product Improvement, Trans. Joint AIAA, SAE, ASME Aerospace Reliability Maintainability Conf., Washington, D.C., 1963.
6. Smiley R. W., Military Management of Missile - Quality Control/Reliability Programs, Proc. Ninth Natl. Symp. Reliability Quality Control, San Francisco, Calif., 1963.

УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К ОБСЛУЖИВАЕМОСТИ В ПРОГРАММАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Б. Л. Реттерер

B. L. Retterer

Manager, Techniques Research Program
Arinc Research Corporation, Annapolis, Maryland

2.1. ВВЕДЕНИЕ

Частота проведения работ по профилактическому обслуживанию обуславливается уровнем надежности, который может быть выражен, например, величиной интенсивности отказов. При оценке обслуживаемости следует учитывать такие факторы, как время, затрачиваемое на обслуживание, сложность технических проблем, решаемых при этом, стоимость, рабочая сила, вспомогательные средства и т. п., требуемые для восстановления рабочего состояния системы¹.

2.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Обслуживаемость представляет собой характеристику системы, определяющую возможности проведения работ по обслуживанию и уровень затрат. Обслуживание предполагает действие или ряд действий (управляющего или познавательного характера), требуемые для предупреждения появления отказов или для восстановления отказавшей аппаратуры до удовлетворительного рабочего состояния. К обслуживанию могут относиться следующие операции:

1. Сборка и разборка.
2. Осмотр, испытания и измерения (определение причин и места неисправностей).
3. Снятие и замена (ремонт).

¹ В стандарте MIL Std-778 термин «обслуживаемость» определен как совокупность качественных и количественных характеристик реализованной конструкции, позволяющих выполнять оперативные задачи с наименьшими затратами рабочей силы, при невысокой квалификации обслуживающего персонала, небольшом объеме и невысоком техническом уровне испытательной аппаратуры и вспомогательных средств в тех окружающих условиях, в которых будут выполняться работы по планируемому и непланируемому обслуживанию. (В Государственном стандарте СССР «ГОСТ 13377-67. Надежность в технике. Термины» термин «обслуживаемость» отсутствует. Имеется термин «ремонтпригодность», определяемый как «свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов». В этом понимании термин «ремонтпригодность» близок, но не идентичен термину «обслуживаемость». — *Прим. ред.*)

4. Проверка.
5. Очистка и смазка.
6. Обеспечение материалами (снабжение).
7. Составление отчетов.
8. Решение непредвиденных вопросов.
9. Выполнение административных обязанностей.

Операции 1—5 рассматриваются как производительные, а время, затраченное на их выполнение, классифицируется как активное время. Остальные операции являются непроизводительными и относятся к категории дополнительных затрат времени. Установлено, что из всех производительных операций наибольший вклад в активное время для исследованных радиоэлектронных систем вносят операции, указанные в п. 2, а именно осмотр, испытания и измерения. Отсюда следует, что в процессе конструирования системы необходимо обратить особое внимание на элементы аппаратуры, связанные с этими операциями, как, например, выводы для контроля параметров и индикаторы.

Работа по обслуживанию может проводиться в двух основных направлениях:

1. *Профилактическое обслуживание.* Это вид обслуживания, выполняемого с целью поддержания системы или аппаратуры в удовлетворительном рабочем состоянии путем проведения систематического осмотра, обнаружения и устранения зарождающихся отказов до их полного развития или до превращения в неустраняемые отказы.

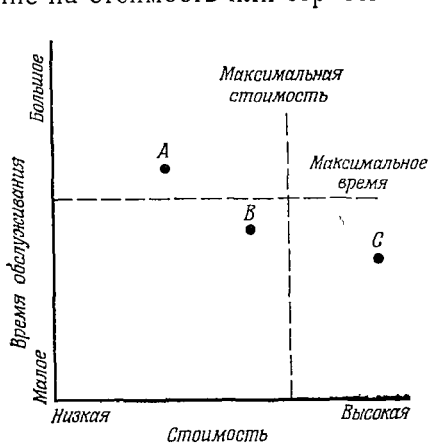
2. *Ремонтное (текущее) обслуживание.* Это вид обслуживания, выполняемого во внеплановом порядке с целью восстановления аппаратуры до рабочего состояния путем проведения ремонтных работ по безотлагательному устранению отказа, вызвавшего ухудшение характеристик аппаратуры.

Профилактическое (планируемое) и ремонтное (непланируемое) обслуживание может производиться в различных условиях в соответствии с размещением установок, входящих в систему, и в зависимости от используемых принципов обслуживания. Ниже указаны некоторые принципы обслуживания.

1. Ремонт на месте.
2. Снятие, ремонт, замена.
3. Снятие, замена запасной установкой, ремонт на базе.
4. Снятие, замена запасной установкой, ремонт на заводе.
5. Снятие, замена запасной установкой, выбрасывание дефектного узла.

Каждый из этих принципов может изменяться в зависимости от уровня элемента, подлежащего ремонту или замене. Это может быть деталь, модуль, узел, прибор, комплект аппаратуры или резервная система. Выбор соответствующего принципа и уровня элемента зависит главным образом от экономических факторов, но

в некоторых ситуациях необходимо учитывать стратегические соображения. К факторам, влияющим на указанный выбор, относятся интенсивность отказов, стоимость запасных частей, разборки, сборки, регулировки и юстировки, транспортировки, требования по обслуживанию вспомогательных средств и к испытательному оборудованию, а также другие факторы, которые могут оказывать влияние на стоимость или стратегические соображения.



Фиг. 2.1. Компромиссные решения, связанные с обеспечением обслуживаемости.

для организации, осуществляющей эксплуатацию, и 2) не должна быть превышена максимально приемлемая стоимость. Из графика видно, что только принцип *В* отвечает обоим поставленным условиям. Детальное рассмотрение вопроса о выборе принципа обслуживания выходит за рамки настоящей главы; читатель может обратиться к соответствующей литературе.

Как указано выше, работа по определению причин неисправностей обуславливает наибольшую долю активного времени обслуживания: порядок ее проведения в дальнейшем будет рассмотрен дополнительно. Работа по определению причин неисправности, которая влечет за собой изъятие дефектной детали, модуля и т. д., характеризуется взаимодействием человека и машины. Техник по обслуживанию, получив определенную информацию о рабочих характеристиках аппаратуры, проверяет различные элементы аппаратуры до тех пор, пока не обнаружит местонахождения дефекта. В процессе этой работы техник использует технические руководства, испытательную аппаратуру, специальные инструменты и т. п., получая дополнительные сведения. Процесс проверки может быть выполнен в динамических или статических, в рабочих или нерабочих условиях. Обычно лучшие результаты дает определение

В отношении того, какой принцип отвечает наилучшему решению, нельзя дать конкретных рекомендаций, так как каждая ситуация должна быть изучена отдельно путем анализа стоимости и стратегических факторов. Типичная компромиссная ситуация представлена на фиг. 2.1. Была произведена оценка трех различных принципов *А*, *В* и *С* относительно стоимости и времени обслуживания. Для данного случая на выбор предпочтительного принципа было наложено два ограничения: 1) не должно быть превышено максимально приемлемое время обслуживания

причин неисправностей в динамических условиях, однако для некоторых видов испытаний требуются статические условия. В частности, при испытаниях, для проведения которых требуется использование внешнего источника питания, как, например, в случае проверки сопротивлений, обычно бывает необходимо обеспечить статический режим работы. Статические условия проведения испытаний могут быть также обусловлены оперативными требованиями или ограничениями.

Проверка системы может осуществляться как в замкнутой, так и в разомкнутой схемах. В первом случае вся работа направлена на отыскание причин отклонения от нормы основных характеристик системы. Этот метод в принципе приближается к идеальному виду испытания, так как поддерживается реальный рабочий режим системы. Однако вследствие оперативных ограничений, а также в связи с трудностью определения в общей схеме характеристик каждого звена в отдельности часто оказывается необходимым исследовать функции каждого элемента системы. Так, например, проверка нейтрализации мощного высокочастотного усилителя требует приведения в нерабочее состояние части системы. Проверка как в замкнутой, так и в разомкнутой схемах влечет за собой проверку основных частей системы; в этом смысле она отличается от третьего метода, заключающегося в последовательном исследовании каждой из контрольных точек системы. Этот метод, если только он не основывается на логическом приближении (подразделение системы при каждом испытании на две части — исправную и неисправную) к неисправному элементу, может потребовать большой затраты времени в случае применения его для очень сложной системы.

Рассмотрим в качестве примера аппаратуру, состоящую из 5000 деталей. Для их последовательной проверки без логического приближения к месту неисправности, очевидно, потребуется провести более 2500 испытаний, если принять одинаковые интенсивности отказов для всех деталей. Пользуясь методом подразделения системы при каждом испытании на две части, можно следующим образом вычислить требуемое число испытаний:

$$N = \frac{\ln a}{\ln 2} = \frac{\ln 5000}{\ln 2} = 12,3 \approx 13. \quad (2.1)$$

Последовательный метод применим только в том случае, когда проведение таких испытаний поддается автоматизации.

Обслуживание многих систем, проводимое в настоящее время, предполагает участие в той или иной степени человека. Однако в связи с тем, что сложность систем продолжает возрастать, необходимо повысить возможности оператора с помощью вспомогательных средств. Непосредственную помощь оказал ряд испытательных приборов (осциллографы, электронные вольтметры и т. п.),

для применения которых требуется глубокое знание особенностей их эксплуатации и использования в системе. Они обладают большой универсальностью и относительно дешевы.

Возможности оператора повышаются при работе с аппаратурой, снабженной встроенными контрольно-измерительными приборами. Встроенные приборы могут быть реализованы в виде индикаторных ламп, индикаторов режимов или более сложных приборов для измерения параметров различных сигналов. Они снабжают оператора данными, характеризующими состояние различных схем в ряде узловых точек действующей системы. Необходимо сопоставить возможности, обеспечиваемые этими вспомогательными средствами, с дополнительным усложнением аппаратуры в случае их применения и связанной с этим более высокой стоимостью разработки и производства.

Близкой к классу встроенных контрольно-измерительных приборов является аппаратура для граничных испытаний. Эта испытательная аппаратура обеспечивает возможность проверки работы критических частей и элементов при крайних значениях параметров или крайних пределах изменения рабочих условий. Цель состоит в обнаружении элементов, характеристики которых за время работы могут изменяться до такой степени, что выйдут за пределы допусков. Из-за сложности данной аппаратуры и ограниченной ее полезности нельзя в общем случае считать получаемые результаты достаточными для оправдания требуемых капиталовложений.

Последним словом техники в области поверочной аппаратуры является полностью автоматизированная система контроля. Приборы такого рода значительно отличаются друг от друга в зависимости от степени автоматизации и сложности проверяемой системы. Обычно такие приборы не составляют часть системы и позволяют производить большое число проверок за короткий период времени. Эти приборы обеспечивают необходимые возбуждающие сигналы, а также измерения и запись получаемых в результате проверки значений контролируемых выходных сигналов. Большинство приборов работает в последовательном режиме, следуя заранее заданной программе, т. е. порядку запланированных проверок. При обнаружении отклонения можно приостановить дальнейшие проверки или продолжить работу и зафиксировать все отклонения в зависимости от используемого рабочего режима или принятой программы проверок. Наиболее совершенная автоматизированная аппаратура контроля полностью заменяет человека в процессе определения места и причин неисправностей. Однако для управления процессом и осуществления требуемой замены запасными частями еще необходим человек.

Персонал, занимающийся обслуживанием, также находится в зависимости от имеющихся в его распоряжении вспомогательных

средств для выполнения работ по обслуживанию. К таким вспомогательным средствам относятся: информация о схеме и технических данных обслуживаемых устройств, инструмент, специальные сборочные приспособления, арматура и общее рабочее место. Эти средства могут быть разными в зависимости от места проведения обслуживания. Они могут быть ограничены, например, минимально необходимым оборудованием на отдельных оперативных участках или тщательно подобранным оборудованием в главных ремонтных мастерских. Чем в большей степени в данном проекте предусмотрена зависимость от использования вспомогательных средств, тем больше вероятность того, что встретятся затруднения в поддержании аппаратуры в работоспособном состоянии на участке, не имеющем непосредственной связи с каналами снабжения. Из этого нельзя делать вывод, что такие вспомогательные средства не являются полезными. Однако всесторонняя оценка проекта позволяет во многих случаях ослабить требования к объему таких вспомогательных средств.

Проведенными ранее исследованиями установлено, что конструктивные характеристики аппаратуры в отношении обслуживаемости определенным образом связаны с требованиями к допустимой продолжительности обслуживания. На эту связь оказывают влияние следующие конструктивные особенности:

1. Средства, позволяющие проникнуть в аппаратуру (ключи, зажимы и т. п.).

2. Рабочее пространство внутри аппаратуры, т. е. доступность деталей и элементов.

3. Средства определения причин неисправностей: контрольные точки, маркировка, цветное кодирование и т. п.

4. Приборы для обслуживания (индикаторы неисправностей, встроенная контрольно-измерительная аппаратура и т. п.).

5. Техника монтажа.

6. Требования к регулировке (настройка, выверка и другие процессы, необходимые для обеспечения оптимального режима работы).

7. Требования безопасности (меры для устранения несчастных случаев, защитные приспособления и т. п.) при проведении обслуживания.

Требования к времени обслуживания могут быть значительно снижены, если усилия конструкторов будут направляться на упрощение обслуживания с полным пониманием влияния указанных факторов на обслуживание.

Персонал, занимающийся обслуживанием, представляет собой составную часть системы обслуживания, которая должна быть учтена при выработке общей концепции обслуживания. Были предприняты попытки предопределить обслуживаемость устройств с учетом ряда характеристик персонала. В число исследованных харак-

теристик входили опыт, сноровка, степень полученной подготовки, отношение к делу и связанные с ними данные. Оказалось, что из всех перечисленных характеристик только опыт может быть выражен апробированным соотношением. В табл. 2.1 приведены данные, характеризующие возможности обслуживания для различных уровней опыта работы. Все другие попытки классифицировать обслуживающий персонал по измеряемым признакам имели лишь ограниченный успех.

Таблица 2.1
Коэффициент опытности технического персонала

Количество месяцев, в течение которых накоплен опыт	Коэффициент опытности
5	0,31
10	0,44
15	0,61
20	0,74
25	0,91
30	1,05
35	1,14
40 и более	1,17

Данные, приведенные в табл. 2.1, представляют собой нормированные коэффициенты, характеризующие продолжительность работы техников с различными уровнями накопленного опыта по отношению к продолжительности выполнения операции техником, проработавшим 25—30 месяцев. Так, например, можно ожидать, что техник, имеющий опыт работы 5 месяцев и выполняющий задание за 3 часа, выполнит свое задание примерно за час после накопления им опыта работы в течение 25—30 месяцев, так как $3 \cdot 0,31 = 0,93$.

При конструировании аппаратуры важную роль играют антропометрические данные, которые должны быть учтены во всех случаях, когда имеет место взаимодействие человека с машиной. В заключение можно сказать, что для обеспечения правильного разделения функций между человеком и машиной необходимо глубоко исследовать возможности оператора и методы работы техника по обслуживанию.

2.3. ПАРАМЕТРЫ ОБСЛУЖИВАЕМОСТИ

В связи с наличием многих аспектов понятия обслуживаемости в настоящее время не представляется возможным выработать еди-

ный всеобъемлющий показатель качества. Напротив, для описания обслуживаемости требуется введение ряда параметров. Эта точка зрения в дальнейшем подтверждается при изучении различных последствий, связанных с работой по обслуживанию. К таким параметрам прежде всего относятся: 1) стоимость и 2) оперативная готовность. Эти параметры в свою очередь могут быть связаны с параметрами более низкого уровня, например количеством затраченных человеко-дней, временем простоя и стоимостью запасных частей. Приведенный ниже материал посвящен изложению некоторых вопросов, касающихся наиболее важных временных параметров обслуживаемости.

Проблема, связанная с измерением параметров обслуживаемости, обусловлена их зависимостью от конструкции, квалификации персонала и вспомогательных факторов. Только конструкция не меняется в рабочих условиях, тогда как персонал и вспомогательные факторы претерпевают непрерывные изменения. При превалировании этих переменных условий не представляется возможным устанавливать конкретные значения параметров. Поэтому сделанные наиболее вероятные оценки должны сопровождаться указаниями относительно ожидаемых изменений, которые может претерпевать тот или иной параметр. Эти оценки должны быть далее обусловлены подробными данными, касающимися персонала и вспомогательных факторов, связанных с требованиями по обслуживанию.

Наиболее важным измеряемым параметром обслуживаемости системы является время, затрачиваемое на обслуживание. При оценке этого параметра следует рассматривать время простоя системы и рабочее время техника. Время простоя можно определить как число календарных часов, в течение которых система не может эксплуатироваться, включая как активную, так и организационную составляющие времени обслуживания. Активное время простоя при обслуживании определяется как время, в течение которого совершается производительная работа над системой от момента осведомления о появлении отказа до момента нового включения аппаратуры в работу после восстановления ее исправности. Организационное время определяется календарным временем, затраченным на административную деятельность, на работу по обеспечению дополнительного снабжения (например, на поставки запасных частей из пунктов, находящихся вне базы) и на другие виды работ, которые не могут считаться производительными с точки зрения выполнения поставленной задачи. Время простоя часто зависит от типа задания, т. е. от того, проводятся ли ремонтные или профилактические работы.

Рабочее время техника представляет собой число человеко-минут (часов), затраченных при выполнении работ по обслуживанию. Этот показатель может быть также разбит на активное и органи-

зационное время, которые в свою очередь подразделяются далее с помощью категорий текущих и профилактических работ.

Двумя математическими величинами, характеризующими временные параметры, являются среднее и 95%-ный доверительный интервал, которые определяются следующим образом.

Среднее. Сумма совокупности значений, деленная на количество значений в совокупности.

95-процентный доверительный интервал, который охватывает 95% всех рассматриваемых результатов опытов. Так, например, если дано значение продолжительности обслуживания 80 мин, то это означает, что по крайней мере 95% заданий по обслуживанию будут выполнены в течение интервала между 0 и 80 мин.

Среднее время простоя \bar{M}_t включает время, относящееся как к ремонтным, так и профилактическим работам по обслуживанию. Соответствующее соотношение количественно можно выразить следующим образом:

$$\bar{M}_t = \frac{F_c \bar{M}_{ct} + F_p \bar{M}_{pt}}{F_c + F_p}, \quad (2.2)$$

где \bar{M}_t — среднее время простоя;

F_p, F_c — число заданий по профилактическому и ремонтному обслуживанию, приходящееся на 1000 час;

\bar{M}_{ct} — среднее время простоя при ремонтном обслуживании;

\bar{M}_{pt} — среднее время простоя при профилактическом обслуживании.

Среднее время простоя при профилактическом обслуживании можно приближенно оценить с помощью эмпирического выражения, устанавливающего связь между \bar{M}_{ct} и \bar{M}_{pt} :

$$\bar{M}_{pt} \approx \bar{M}_{ct} / 1,4. \quad (2.3)$$

Более точную оценку можно получить путем приложения критериев прогнозирования к выборке заданий по профилактическому обслуживанию или к результатам непосредственных измерений.

Если, согласно наблюдениям, продолжительности периодов обслуживания распределяются по логарифмически-нормальному закону, то 95%-ное доверительное значение $M_{\text{макс}}$ можно найти, взяв логарифмы для каждого значения. Результирующее распределение становится нормальным, что позволяет использовать данные обычным образом. $M_{\text{макс}}$ определяется формулой

$$M_{\text{макс}} = \text{antilog}(\overline{\ln M_{ct}} + 1,645\sigma_{\ln M_{ct}}), \quad (2.4)$$

$$\overline{\ln M_{ct}} = \frac{\sum_{i=1}^N \ln M_{cti}}{N} = \text{среднему от } \ln \bar{M}_{ct}, \quad (2.5)$$

где

$$\sigma_{\ln M_{ct}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\ln M_{cti})^2 - \left(\sum_{i=1}^N \ln M_{cti} \right)^2 / N}{N-1}}, \quad (2.6)$$

N — число заданий, принятое при вычислениях.

Были предложены два эмпирических соотношения для определения 95%-ного доверительного значения; они связывают эту величину соответственно со средним временем простоя и средним значением логарифма времени простоя

$$\ln M_{\text{макс}} \approx 1,5 \overline{\ln M_{ct}}, \quad (2.7)$$

$$\ln M_{\text{макс}} = \ln M_{ct} + 0,5. \quad (2.8)$$

Эти выражения оказываются полезными для приближенных оценок при отсутствии конкретных данных.

Проверка среднего может быть проведена с помощью двух критериев:

1. Значительно ли отличается наблюдаемое среднее от заданного значения?

2. Не превышает ли среднее заданное значение?

Критерием 1 целесообразно пользоваться при сравнении средних, полученных по двум совокупностям данных, например при сравнении предсказанных значений и данных, определенных в эксплуатационных условиях. Критерий t представляет собой базу для этого сравнения; выражение для него имеет следующий вид:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{1/N_1 + 1/N_2}}, \quad (2.9)$$

где \bar{X}_1, \bar{X}_2 — средние двух совокупностей данных;
 N_1, N_2 — соответствующие объемы выборок;
 S_p — принятая оценка дисперсии:

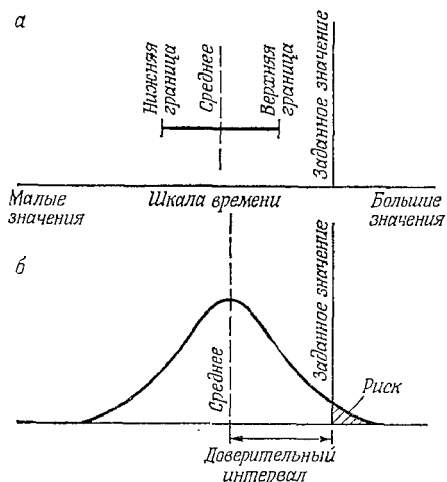
$$S_p = \sqrt{\frac{(N_1 - 1)S_1^2 + (N_2 - 1)S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}, \quad (2.10)$$

где S_1^2, S_2^2 — дисперсии для каждой совокупности данных

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 / N}{N-1}, \quad (2.11)$$

где X_i — время выполнения i -го задания в совокупности данных.

Для проверки принимается гипотеза о равенстве средних для обеих совокупностей данных. Сопоставление значений t , вычисленных с помощью приведенных выше формул и найденных из соответствующей таблицы, дающей значения t в зависимости от



Фиг. 2.2 Испытания на удовлетворение техническим условиям.

числа степеней свободы при данных коэффициентах доверия, позволяет решить, какую из гипотез необходимо принять. (См. гл. 4, в которой даны более подробные сведения о критерии Стьюдента t , и приложение А, где приводятся значения t .)

Критерий 2 применяется в основном при сравнении установленного контрактом среднего значения с значением, измеренным при проведении проверки в процессе обслуживания. Эта проверка связана с выяснением того, можно ли считать вычисленное среднее в статистическом смысле меньше заданного значения. Проведение проверки графически иллюстрируется на фиг. 2.2,а. Здесь заданное значение представлено вертикальной линией, проведенной справа. Задача состоит в том, чтобы определить, превышает ли опытное среднее или его возможное значение, определенное из интервала рассеивания, величину, заданную техническими условиями. Простого сравнения измеренного среднего с заданным значением недостаточно, так как среднее, вычисленное на основе выборки, является лишь оценкой истинного значения. Однако на основе выборочных данных можно определить интервал, в котором может лежать истинное среднее. Этот интервал показан на фигуре в виде расстояния между верхней и нижней доверительными границами, которые зависят от заданной точности оценки (доверия), объема выборки и рассеивания данных. В данном случае интерес представляет лишь верхняя граница, так как служба закупок должна быть уверена в том, что истинное среднее не превышает заданного значения. В связи с тем, что верхняя граница соответствует пределу практически важного интервала истинных средних, она будет рассмотрена ниже более подробно.

Установлено, что распределение средних значений выборки в общем случае подчиняется нормальному закону. Поэтому могут быть применимы соотношения, соответствующие этому виду распределения. Таким образом, верхнюю границу можно определить урав-

нением

$$ВГ = \bar{X} + Z\sigma_{\bar{X}}, \quad (2.12)$$

где $ВГ$ — верхняя граница;
 \bar{X} — среднее;
 Z — постоянная, определяющая коэффициент доверия;
 $\sigma_{\bar{X}}$ — стандартное отклонение среднего:

$$\sigma_{\bar{X}} = \sigma/\sqrt{N}, \quad (2.13)$$

где σ — стандартное отклонение данных выборки [см. (2.11)];
 N — объем выборки.

Величина Z является константой, определяемой заказчиком на основе требуемого коэффициента доверия. Некоторые типичные значения приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2
 Коэффициенты доверия и риска

Z	Коэффициент доверия, %	Коэффициент риска, %
1,645	95	5
1,282	90	10
1,036	85	15
0,842	80	20
0,674	75	25

Величины коэффициентов доверия и риска из табл. 2.2 могут быть истолкованы с помощью фиг. 2.2,б. Здесь верхняя граница доверительного интервала и линия, соответствующая заданному значению, проведены таким образом, что они совпадают. В данном случае значения коэффициентов доверия и риска получаются точными. Так, например, в случае Z , равной 1,282, на 90% можно быть уверенным в том, что истинное среднее значение меньше заданного значения. Соответственно существует 10%-ная вероятность того, что фактическое среднее значение больше заданной величины.

Выбор контрольного уровня всегда должен быть результатом компромиссного решения. Высокий коэффициент доверия требует использования большого объема выборки и лучшей обслуживаемости. При малом коэффициенте доверия, очевидно, увеличивается риск в том, что достигнутая обслуживаемость не будет отвечать предъявляемым требованиям. Описанные выше критерии непосредственно не применимы к 95%-ному доверительному интервалу. При проверке 95%-ного доверительного интервала используется соот-

ветствующее значение стандартной погрешности, определяемое уравнением

$$СП_{95} = 2,11\sigma/\sqrt{N}, \quad (2.14)$$

где $СП_{95}$ — стандартная погрешность для 95%-ного доверительного интервала;

σ — стандартное отклонение $\ln M_i$;

N — объем выборки.

На основании выборочных данных 95%-ное доверительное значение не может быть вычислено точно; однако может быть определен интервал значений в соответствии с выражением

$$\ln ВГ_{95} = \ln M_{\max} + Z(СП_{95}), \quad (2.15)$$

где $\ln ВГ_{95}$ — логарифм верхней границы для 95%-ного доверительного значения;

$\ln M_{\max}$ — логарифм 95%-ного доверительного значения;

Z — постоянная, определяющая коэффициент доверия.

Сравнение значения верхней границы, вычисленного с помощью уравнения (2.15), с логарифмом заданного 95%-ного доверительного значения позволяет определить степень согласия. Значения Z могут быть получены из табл. 2.2. Как и в случае со средним, согласие существует, если верхняя граница равна или меньше заданного 95%-ного доверительного значения.

Сравнение 95%-ных доверительных интервалов, полученных по двум совокупностям данных, может быть проведено с помощью соотношения

$$СП_{95d} = 2,11\sqrt{\sigma_1^2/N_1 + \sigma_2^2/N_2}, \quad (2.16)$$

де $СП_{95d}$ — стандартная погрешность разности для 95%-ного уровня значимости;

σ_1^2, σ_2^2 — соответствующие дисперсии логарифмических данных;

N_1, N_2 — соответствующие объемы выборок.

Проверка проводится путем вычисления отношения разности между 95%-ными доверительными значениями к стандартной погрешности разности

$$n_d = \left| \frac{\ln M_{\max.1} - \ln M_{\max.2}}{СП_{95d}} \right|. \quad (2.17)$$

Если вычисленное значение n_d меньше 2, то разница не является значимой. Значения от 2 до 3, по-видимому, являются вероятно значимыми, а значения, превышающие 3, определенно значимы.

Рассмотренный временной параметр может быть связан с другими параметрами, характеризующими систему или возможности аппаратуры и описанными в гл. 1, т. I. Возможности системы вклю-

чают реализацию таких оперативных требований, как надежность, работоспособность и обслуживаемость. Эти качества характеризуются готовностью, ремонтоспособностью и оперативной готовностью.

Готовность системы или аппаратуры есть вероятность того, что она будет работать удовлетворительно в любой момент времени при использовании в заданных условиях. Термин «готовность» является весьма распространенным как в промышленности, так и в военных организациях. Готовность может быть выражена в терминах технических условий или оперативного применения.

1. Внутренняя готовность A_i связана с временем работы и активным временем простоя:

$$A_i = \frac{\text{Время работы}}{\text{Время работы} + \text{Активное время простоя}}. \quad (2.18)$$

Это выражение можно представить в другом виде:

$$A_i = \frac{\text{СВДО}}{\text{СВДО} + \overline{M}_t}, \quad (2.19)$$

где СВДО — среднее время до обслуживания;

\overline{M}_t — среднее активное время простоя.

2. Оперативная готовность A_0 определяется таким же выражением, что и внутренняя готовность A_i , за исключением того, что активное время простоя заменяется полным временем простоя:

$$A_0 = \frac{\text{Время работы}}{\text{Время работы} + \text{Полное время простоя}}. \quad (2.20)$$

3. Эксплуатационная готовность A_u , кроме полного времени простоя, учитывает нерабочее время. Она определяется выражением

$$A_u = \frac{\text{Время работы} + \text{Нерабочее время}}{\text{Время работы} + \text{Нерабочее время} + \text{Полное время простоя}}. \quad (2.21)$$

Вычисленное по этому выражению значение готовности может оказаться очень большим для аппаратуры, работающей в течение коротких периодов времени и имеющей большие периоды нерабочего времени.

При использовании выражений для определения готовности необходимо проявлять осторожность, когда проводится сравнение значений, полученных для аппаратуры различных типов. Каждый показатель готовности необходимо сопровождать ясным указанием, поясняющим порядок вычисления полученного значения.

Ремонтоспособность представляет собой вероятность того, что, начиная с момента фактического ремонта, система будет отремон-

тирована в заданный период времени при данных затратах рабочей силы. Это определение полезно при анализе оперативной готовности системы. Указанная вероятность P_r определяется выражением

$$P_r = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-u^2/2} du, \quad (2.22)$$

где

$$u = (\ln M_t - \overline{\ln M_t}) / \sigma_{\ln M_t}. \quad (2.23)$$

Оценку P_r можно провести с помощью таблиц интегрального нормального распределения (см. гл. 4, т. I). В этих таблицах приведены значения u , вычисленные по формуле (2.23).

Оперативная готовность может быть определена как вероятность того, что в любой момент времени система или аппаратура либо работает удовлетворительно, либо готова для включения в работу по требованию в заданных условиях с учетом заданного допустимого времени предупреждения. Математически ее можно выразить следующим образом:

$$P_0 = P_a P_s, \quad (2.24)$$

где P_0 — оперативная готовность;

P_a — вероятность того, что система в оперативном отношении пригодна;

P_s — вероятность того, что система будет работать удовлетворительно в течение периода времени t .

Вероятность готовности P_a и вероятность «живучести» P_s могут быть связаны с частотой ремонта и интенсивностью отказов следующим образом:

$$P_a = u / (u + \lambda), \quad (2.25)$$

где u — средняя частота ремонта,

λ — средняя интенсивность отказов;

$$P_s = e^{-\lambda t}, \quad (2.26)$$

где t — время выполнения задания;

e — основание натуральных логарифмов.

Приведенные соотношения основаны на предположении, что используемые распределения являются экспоненциальными и что время, затрачиваемое на ремонт, не содержит административного или другого организационного времени. (Данные по другим распределениям см. в гл. 1 и 2, т. I.) Эти соотношения остаются справедливыми в пределах системы при условии удовлетворения указанным выше условиям и отсутствия резервирования отдельных частей.

Оперативная готовность системы при учете каждого элемента аппаратуры определяется формулой

$$P_0 = (P_1)(P_2) \dots (P_n) = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (2.27)$$

Пользуясь формулой (2.27) совместно с соотношениями (2.25) и (2.26), можно выразить показатель общей оперативной готовности системы через частоту ремонта и интенсивность отказов отдельных элементов аппаратуры. Эти выражения позволяют установить значения частоты ремонта (характеризующие цели обслуживания) для каждой составной части аппаратуры в системе при учете надежности и требований к общей оперативной готовности системы. Такая математическая модель основана на упрощении более строгого процесса, который можно описать с учетом сложности системы и количества факторов, подлежащих рассмотрению.

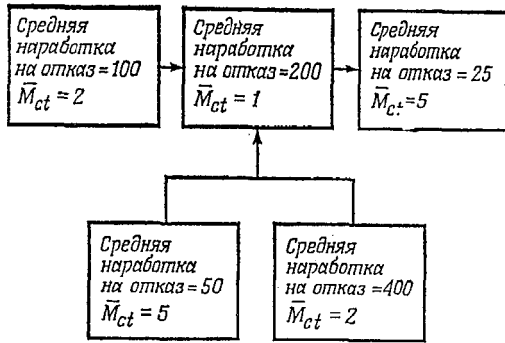
2.4. ОБСЛУЖИВАЕМОСТЬ И ЦИКЛ ЖИЗНИ СИСТЕМЫ

Обеспечение оптимальной системы обслуживания должно быть предметом особого внимания в течение всего цикла жизни аппаратуры, т. е. на этапах конструкторской разработки, производства и оперативного использования. Цель настоящего изложения заключается в обсуждении наиболее важных аспектов обслуживаемости, которые должны быть рассмотрены на всех основных этапах цикла жизни.

2.4а. Конструирование. Для удовлетворения всем требованиям технических условий к системе, не выходя за пределы бюджетной стоимости ее, часто оказывается необходимым прибегать к компромиссным решениям относительно основных параметров системы. Компромиссные решения такого рода приходится также принимать при выборе задаваемых уровней для каждого параметра. Для достижения заданной готовности нужно идти на компромисс между обслуживаемостью и надежностью. Требования выполнения задания могут обусловить минимальный уровень обслуживаемости, при нарушении которого компромиссное решение не может быть принято. В такой ситуации для достижения требуемого уровня обслуживаемости могут оказаться необходимыми компромиссы между основными составными элементами обслуживаемости (конструкция, персонал и вспомогательные средства) или между различными структурными схемами системы. В следующих разделах описываются методы, позволяющие выбрать соответствующие компромиссные решения.

В связи с тем что термин «готовность» отражает два фундаментальных подхода к оценке эффективности, представляется весьма полезным использовать его при анализе характеристик системы. Для иллюстрации использования понятия готовности при выборе компромиссных решений рассмотрим систему оружия А (фиг. 2.3).

Как видно из фигуры, система оружия A состоит из пяти подсистем, для которых предсказаны надежность и обслуживаемость.



Ф и г. 2.3. Система оружия A .

В табл. 2.3 приведены данные по средней наработке на отказ и среднему времени простоя, характеризующие готовность каждой подсистемы.

Готовность системы вычисляется путем перемножения готовностей отдельных подсистем:

$$A_s = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5. \quad (2.28)$$

Пользуясь этой формулой, получим для готовности системы оружия A следующее значение:

$$A_s = 0,98039 \cdot 0,99502 \cdot 0,83333 \cdot 0,90909 \cdot 0,99502 = 0,73534.$$

Т а б л и ц а 2.3
Г о т о в н о с т ь с и с т е м ы о р у ж и я A

Подсистема	Средняя наработка на отказ	\bar{M}_t	A
1	100	2	0,98039
2	200	1	0,99502
3	25	5	0,83333
4	50	5	0,90909
5	400	2	0,99502

Если обслуживаемость аппаратуры улучшена настолько, что отвечает уровню современного развития техники, и ее реализация не выходит за пределы бюджетных ограничений, но, несмотря на это, готовность системы не удовлетворяет установленным техническими

условиями требованиям, то для достижения желательной готовности можно попытаться повысить надежность. Для иллюстрации используем описанную выше систему оружия А. Данные табл. 2.3 показывают, что наименьшей готовностью обладает подсистема 3. Естественно сделать заключение, что повысить готовность всей системы можно за счет введения резервной к ней подсистемы. Готовность резервированной подсистемы 3 может быть вычислена следующим образом:

$$A_{3r} = 1 - (1 - A_3)^2, \quad (2.29)$$

где A_{3r} — готовность резервированной подсистемы. Подстановка значения для A_3 дает

$$A_{3r} = 1 - (1 - 0,83333)^2 = 0,97222.$$

Подстановка значения для A_{3r} в уравнение, определяющее готовность системы, дает

$$A_s = 0,98039 \cdot 0,99502 \cdot 0,97222 \cdot 0,90909 \cdot 0,99503 = 0,85790.$$

Введение резервирования подсистемы 3 привело в результате к увеличению готовности системы. Однако это увеличение достигнуто за счет дополнительного повышения стоимости и усложнения системы.

Другой метод увеличения готовности заключается в улучшении обслуживаемости системы путем компромисса между конструктивными параметрами и характеристиками, определяющими затраты на поддержание системы в рабочем состоянии. Для достижения такого компромисса используется другой подход к решению вопросов обслуживания: основные усилия направляются на поддержание системы в рабочем состоянии. В качестве примера предположим, что для системы оружия разработана сложная контрольно-измерительная аппаратура, предназначенная для обслуживания. Благодаря наличию этой аппаратуры затраты времени на обслуживание данной системы оружия снижаются наполовину. В табл. 2.4 приведена величина готовности, полученная при использовании контрольно-измерительной аппаратуры. Достигнутая благодаря применению описанного метода готовность оружия вычисляется следующим образом:

$$A_s = 0,99009 \cdot 0,99751 \cdot 0,90909 \cdot 0,95238 \cdot 0,99751 = 0,85296.$$

Здесь опять получен существенный выигрыш, и снова за счет увеличения стоимости системы. С использованием вспомогательной аппаратуры связано появление дополнительного отрицательного фактора, а именно повышение потенциальной ненадежности системы. Этот фактор может быть учтен аналитически при оценке указанного ухудшения готовности системы оружия.

Таблица 2.4

Готовность системы оружия А
(вместе со вспомогательным оборудованием)

Подсистема	Средняя наработка на отказ	\bar{M}_t	A
1	100	1,0	0,99009
2	200	0,5	0,99751
3	25	2,5	0,90909
4	50	2,5	0,95238
5	400	1,0	0,99751

Для выбора оптимального способа улучшения готовности необходимо провести оценку относительной стоимости каждого метода для приведенных выше примеров. Предположим, что каждый вариант аппаратуры обладает одинаковыми техническими возможностями по отношению к выполнению основных функций системы. Стоимости разработки указаны в табл. 2.5. Из приведенных в таблицах данных видно, что вариант II аппаратуры обладает наибольшей готовностью при наименьшем увеличении стоимости по отношению к основной структуре системы.

Итак, анализ конкретных характеристик, как показано в приведенном выше примере, позволяет провести детальное исследование различных вариантов состава аппаратуры. Сопоставление параметров, определяющих оперативные и другие ограничения, позволяет выбрать оптимальный вариант аппаратуры. В приведенном примере были рассмотрены лишь два варианта аппаратуры. Применение на практике аналитического метода оптимизации системы предполагает исследование большого числа вариантов.

Следует заметить, что в основе указанного примера лежат значения стоимости основной разработки, а влияние предложенных изменений на стоимость вспомогательной аппаратуры не показано. Когда поставки основываются на учете суммарных затрат, необходимых для обеспечения длительной эксплуатации системы, то должна быть вычислена суммарная стоимость для каждого варианта аппаратуры и выбор должен быть сделан на этой основе.

Описанная процедура позволяет установить требуемые уровни обслуживаемости, которые необходимо обеспечить, и связь их с вопросами надежности. Далее необходимо выбрать принцип обслуживания, удовлетворяющий предъявляемым требованиям к обслуживаемости.

Требования к обслуживаемости системы должны быть распределены по трем основным группам факторов (конструкция, персонал, вспомогательные средства). С этой целью необходимо выбрать

основной принцип обслуживания и разработать соответствующую математическую модель. Для распределения требований вначале можно использовать накопленный опыт работы с подобными системами, а также данные, приводимые в данной главе.

Таблица 2.5

Параметры системы оружия

Аппаратура	Стоимость разработки, долл.	Готовность
I. Основная структура системы	500 000	0,73524
II. Резервированная система	550 000	0,85790
III. Основная система плюс вспомогательная контрольно-измерительная аппаратура	560 000	0,85296

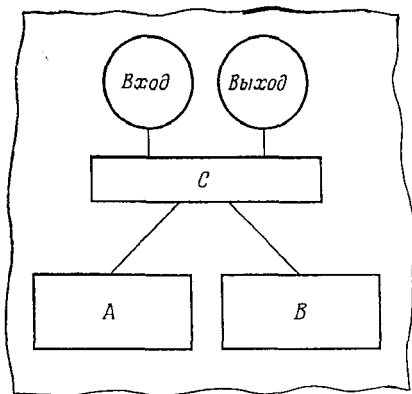
Составление технических условий по обслуживаемости подсистем, входящих в состав сложной системы, представляет собой трудную задачу. Типовые распределения значений времени простоя в общем случае подчиняются логарифмически-нормальному закону. В силу этого при определении частоты ремонта системы исключается возможность прямого суммирования частот ремонта (обратная величина среднего времени простоя) отдельных подсистем, что допустимо с интенсивностями отказов, используемыми при оценках надежности, если распределения принимаются экспоненциальными. Ниже дается краткий обзор некоторых из характерных проблем, а также вопросов, связанных с объединением или распределением значений времени простоя.

Пусть оценка обслуживаемости аппаратуры проведена по подсистемам. Задача заключается в том, как объединить эти частные показатели для получения общего показателя обслуживаемости. Рассмотрим в качестве примера аппаратуру D , структура которой представлена на фиг. 2.4. Элементы схемы, обозначенные как A и B , представляют собой самостоятельные основные функциональные блоки в составе аппаратуры D . Элемент C объединяет выходы A и B . Желательно провести оценку отдельно для каждого из элементов A , B и C и объединить полученные результаты в общем требовании к аппаратуре.

Элементы A и B рассматриваются как независимые. Следовательно, они должны анализироваться как две самостоятельные аппаратуры с помощью метода, описанного в предыдущих разделах. Если желательный показатель качества выражается средним временем простоя, то получим \overline{M}_{cta} и \overline{M}_{ctb} .

Элемент C не является независимым. Это требует несколько измененного подхода. Предположим, что элементы A и B представ-

ляют собой мгновенно заменяемые модули; исходя из этого предположения, проведем оценку показателя обслуживаемости элемента C . Оценка для элемента C будет проведена с учетом того факта, что он содержит два основных заменяемых блока A и B . Этот анализ позволяет определить вклад C в общие требования по обслуживаемости аппаратуры D . Однако величина \bar{M}_{ctC} для элемента C



Фиг. 2.4. Аппаратура D .

получена в предположении мгновенной заменяемости A и B , вклады которых в оценке отсутствуют. Так как любая операция по обслуживанию аппаратуры D начинается с C и переходит либо на A , либо на B , то необходимо рассмотреть метод комбинирования полученных трех значений. Количественно задача может быть сформулирована так: обслуживаемость аппаратуры D складывается из обслуживаемости элемента C и обслуживаемости элементов A или B . Вероятность обслуживания A или B зависит от ожидаемой интенсивности отказов этих

элементов. Таким образом, среднее время простоя аппаратуры D выражается следующим образом:

$$M_{ctD} = M_{ctC} + \frac{\lambda A \bar{M}_{ctA} + \lambda B M_{ctB}}{\lambda A + \lambda B}, \quad (2.30)$$

где

$$\lambda A, \lambda B = \frac{1}{\text{Средняя парботка на отказ (A,B)}} = \text{Интенсивность отказов.} \quad (2.31)$$

Возможность применения этого метода ограничена указанными выше допущениями; она сильно зависит от тщательности анализа обслуживаемости. Кроме того, она определяется тем, насколько распределения для каждой подсистемы сходны между собой. Легко заметить, что модель не учитывает всех аспектов задачи, а предназначена для формулирования общих положений.

После выработки основных требований к обслуживаемости системы и подсистем следующий необходимый этап работы заключается в разработке такой конструкции, которая отвечала бы предъявляемым требованиям. Сформулирован ряд руководящих положений по конструированию, которые служат конструктору источником информации при работе над достижением указанной цели. Ниже приводится перечень вопросов, позволяющих оценить обслуживаемость разработанной аппаратуры.

А. Контрольные вопросы для оценки обслуживаемости при разработке принципиальной и монтажной электрической схемы

1. Соответствуют ли требования к обслуживаемости и контрольно-измерительной аппаратуре основным принципам, принятым для системы?
2. Требуется ли данному устройству специального ухода и особого тщательного обращения?
3. Можно ли быстро установить данное устройство и включить в систему?
4. Обеспечивают ли заводские регулировки возможность не производить новые регулировки при замене блоков в системе или замене деталей в блоке в эксплуатационных условиях?
5. Какие регулировки необходимы после включения блока в систему?
6. Способны ли регулировки компенсировать все возможные отклонения от допусков?
7. Рекомендуется ли периодическая выверка или регулировка? Как часто?
8. Обеспечивают ли требования по обслуживаемости удовлетворение всех установленных условий, связанных с ограничениями времени готовности на различных стадиях эксплуатации, а также соответствуют ли они допустимому времени пребывания во включенном состоянии?
9. Сведено ли к минимуму число заводских регулировок?
10. Сведено ли к минимуму число регулировок в эксплуатационных условиях?
11. Расположены ли цепи и элементы с взаимными соединениями так, чтобы обеспечивалось минимальное количество входов и выходов на каждом этапе обслуживания?
12. Сведено ли к минимуму взаимное влияние между регулировками и параметрами схем?
13. Обладают ли конструкция и схема такими свойствами, что исключается повреждение аппаратуры в результате небрежного проведения регулировки или комбинации регулировок?
14. Относятся ли все элементы регулировки и индикаторы к типу устройств с нулем в середине шкалы отсчета?
15. Существует ли необходимость в периодических испытаниях? Как часто?
16. Достаточно ли контрольных точек? Имеется ли к ним доступ в установленном состоянии аппаратуры?
17. Какие требуются профилактические ремонты?
18. Какая требуется специальная контрольно-измерительная аппаратура?
19. Сведены ли к минимуму требования к контрольно-измерительной аппаратуре, используемой на заводе и при обслуживании,

и согласованы ли эти требования с требованиями к другим устройствам?

20. Какие требуется применить специальные методы при проведении ремонта, замене узлов или выверке изделия?

21. Размещены ли детали, узлы и блоки таким образом, что имеется достаточно места для применения испытательных зондов, паяльников и других инструментов?

22. Являются ли процедуры проверки, выверки и ремонта такими, что для их выполнения требуется минимальная квалификация обслуживающего персонала?

23. Требуется ли при обслуживании специальные инструменты или контрольно-измерительная аппаратура?

24. Можно ли обнаружить каждую неисправность (постепенного или катастрофического типа), которая может появиться в устройстве, с помощью предлагаемой контрольно-измерительной аппаратуры и стандартных методов испытаний?

25. Определены ли элементы, подверженные раннему износу?

26. Обеспечен ли легкий доступ к элементам, имеющим наибольшую интенсивность отказов, для проведения замены?

27. Смонтированы ли детали непосредственно на монтажной плате или они монтируются друг над другом?

28. Смонтированы ли блоки и узлы таким образом, что при замене одного из них не требуется снятие другого?

29. Используются ли в цепях, выведенных на контрольные точки, ограничивающие сопротивления, т. е. имеется ли вероятность того, что какой-либо элемент выйдет из строя при заземлении контрольной точки?

30. Можно ли легко заменить сигнальные лампочки? (Сигнальные лампочки не должны соединяться последовательно.)

31. Предусмотрены ли делители напряжения для контрольных точек в тех случаях, когда цепи рассчитаны более чем на 300 в?

32. Позволяет ли схема использовать кабели-удлинители во время обслуживания?

33. Расположены ли органы управления таким образом, что они четко видны и их можно привести в действие без разборки или снятия какой-либо части установки?

34. Находятся ли связанные между собой индикаторные устройства и органы управления на одной и той же панели аппаратуры?

35. Маркированы ли все блоки (если возможно, и детали) с указанием основных характеризующих их данных? Имеется ли на деталях клеймо с электрическими характеристиками?

36. Достаточно ли длина кабелей для проверки каждого функционирующего блока в удобном месте?

37. Используются ли для соединения кабелей с аппаратурой серийные штепсельные или самодельные приспособления?

38. Вставляются ли предназначенные для замены в полевых условиях модули, части и узлы в специальные гнезда или производится их припайка?

39. Предусмотрен ли комплект кабелей в запасном имуществе?

40. Обеспечивает ли проводка кабелей устранение возможности заедания их дверьми, крышками и т. п.?

41. Имеет ли особое обозначение каждый штырек на штепсельном разъеме?

42. Исключает ли конструкция вилок штепсельных разъемов их включение в не соответствующие им гнезда?

Б. Контрольные вопросы для оценки обслуживаемости при разработке конструкции и механических элементов аппаратуры

1. Являются ли все изделия (детали и узлы) доступными в визуальном и физическом отношении для монтажа, демонтажа и обслуживания?

2. Имеется ли доступ ко всем контрольным точкам, когда блок установлен соответствующим образом?

3. Доступны ли все органы регулировки в эксплуатационных условиях, когда блок установлен в рабочем положении?

4. Удалось ли избежать необходимости жесткой последовательности сборки или жесткой сложной последовательности разборки при ремонте и регулировке?

5. Исключает ли конструкция необходимость предъявления неральных требований по применению специальных вспомогательных средств для обслуживания, хранения или транспортировки?

6. Исключает ли конструкция необходимость предъявления существенно усложняющих работу требований в отношении специальных условий при обслуживании (например, требование о наличии наземных фургонов с источниками питания, устройство системы охлаждения, применение специальных первичных источников питания и т. п.)?

7. Обеспечивает ли конструкция нужную защиту обслуживающего персонала от несчастных случаев?

8. Может ли каждый узел устанавливаться в требуемом положении для обеспечения легкого проведения обслуживания?

9. Можно ли разместить узлы на стенде в любом положении без повреждения компонентов?

В. Вопросы по работе аппаратуры и ее обслуживанию, связанные с факторами инженерной психологии

1. Смонтированы ли индикаторы таким образом, что оператор может ясно видеть шкалы, указатели, стрелки и цифры?

2. Предусмотрены ли в визуальных системах индикации средства для указания рабочего состояния?

3. Устранена ли в визуальных индикаторах возможность получения неопределенной информации и необходимость выполнения сложной интерполяции?

4. Расположены ли органы управления в соответствии с привычками и традициями оператора?

5. Обеспечена ли функциональная или физическая согласованность между функционально связанными органами управления и индикаторами, например, в отношении направления движения или приближения друг к другу?

6. Позволяет ли конструкция органов управления оператору удобно взяться за соответствующую ручку, чтобы повернуть, показать или нажать на нее?

7. Обеспечивает ли конструкция консоли место для колен оператора, оптимальную площадь для записи, удобную высоту или оптимальные положения для органов управления и индикаторов?

8. Обеспечивает ли конструкция аппаратуры и ее размещение место для нескольких операторов (если они необходимы), которые могут работать, не мешая друг другу?

9. Учтена ли при компоновке и порядке размещения аппаратуры важность обеспечения равномерной загрузки рук оператора или приходится одной рукой выполнять много функций, тогда как другая остается свободной?

10. Предусмотрен ли подсвет шкал, панелей, подписей и пр.?

11. Устранена ли опасность ослепления оператора бликами, вызываемая, например, хорошо отполированными поверхностями, глянцевой эмалевой отделкой, крышками приборов, обладающими большим коэффициентом отражения света?

12. Расположены ли узлы и детали таким образом, что для ремонта или замены одних приходится снимать другие, усложняя таким образом процесс обслуживания?

13. Требуют ли зажимы крепления шасси и панелей применения специального инструмента, что мешает проведению обслуживания?

14. Обеспечивают ли полозья на корпусах шасси возможность вытягивать блоки для обслуживания?

Имеет ли этот механизм слишком большой люфт, не заедает ли он?

15. Предусмотрены ли ручки, достаточно ли легки шасси или блоки, чтобы можно было их вынимать и передвигать без особого напряжения?

16. Предусмотрены ли калибровочные риски для органов управления регулировкой и калибровкой при обслуживании? (Регулировки, проводимые отверткой, часто оказываются слишком чувствительными.)

17. Совпадают ли коды и символы, указанные на аппаратуре и в инструкциях по эксплуатации?

18. Предусмотрено ли освещение для техника по обслуживанию?

Соблюдение руководящих положений при разработке схем и конструкций является необходимым условием успешной конструкторской деятельности. Оно позволяет реализовать требования по обеспечению обслуживаемости аппаратуры. Однако имеется, кроме того, необходимость в количественной оценке характеристик обслуживаемости системы в процессе конструирования с целью получения некоторой уверенности в том, что требования будут выполнены. Для решения этой задачи предложено несколько методов. Ниже изложен метод, разработанный для наземной электронной аппаратуры. Он устанавливает соотношение между независимыми переменными элементами — конструкцией A , персоналом B , вспомогательными средствами C — и зависимой переменной величиной — временем обслуживания T . Это соотношение можно выразить следующей функцией:

Время = f (конструкция, персонал, вспомогательные средства). (2.32)

С помощью методов регрессионного анализа, использованного применительно к фактическим данным о продолжительности обслуживания, было получено следующее эмпирическое уравнение:

Время = $\text{antilog}(3,54651 - 0,02512A - 0,03055B - 0,01093C)$. (2.33)

В этом уравнении A , B и C представляют собой показатели, характеризующие значения соответствующих независимых переменных. Оценка этих показателей должна быть проведена для данной конкретной задачи по обслуживанию. Подстановка в уравнение измеренных значений позволяет получить оценку ожидаемого времени выполнения задания по обслуживанию.

Информация о величинах независимых переменных получается с помощью контрольных листов, разработанных для каждой переменной. На фиг. 2.5 показана часть контрольного листа, составленная для переменной, характеризующей конструкцию. Каждый вопрос в контрольном листе может быть оценен показателем от 0 до 4 в зависимости от конструктивных особенностей, влияющих на выполнение конкретного задания по обслуживанию. Ответы на все вопросы контрольного листа, базирующиеся на использовании конструкторской информации (чертежи и соответствующие технические данные), обеспечивают количественное измерение показателей для данного задания. Повторное применение метода заполнения контрольных листов к серии типовых заданий по обслуживанию позволяет получить сравнительную оценку обслуживаемости аппаратуры.

В качестве примера применения метода рассмотрим табл. 2.6, в которой приведены результаты выборочных вычислений. В пер-

1. а. Доступ, достаточный для выполнения визуального осмотра и манипуляций (электрического и механического характера).
б. Доступ, достаточный для визуальных, но не манипуляционных операций.
с. Доступ, достаточный для манипуляционных, но не визуальных операций.
д. Доступ, недостаточный для выполнения визуальных и манипуляционных операций.
2. а. Внешние замки или зажимы поддаются захвату, не требуются специальные инструменты, а для открытия достаточно лишь небольшая часть оборота.
б. Внешние замки или зажимы удовлетворяют двум из указанных выше трех критериев.
с. Внешние замки или зажимы удовлетворяют одному из указанных выше трех критериев.
3. а. Для выполнения операции не требуются контрольные точки.
б. Контрольные точки обеспечены для всех требуемых испытаний.
с. Контрольные точки обеспечены для большинства требуемых испытаний.
д. Контрольные точки не обеспечены для большинства требуемых испытаний.
4. а. Блоки или узлы вставного типа.
б. Блоки или узлы вставного типа с механической опорой.
с. Блоки запаянного типа.
д. Блоки запаянного типа с механической опорой.
5. а. Все элементы снабжены полной четко видимой маркировкой.
б. Все элементы снабжены полной маркировкой, но часть ее не видна.
с. Вся информация видна, но некоторые элементы не полностью маркированы.
д. Часть информации не видна и некоторые элементы не полностью маркированы.
6. а. Для выполнения задания не требуется внешняя испытательная аппаратура.
б. Требуется один образец испытательной аппаратуры.
с. Требуется несколько образцов (два или три) испытательной аппаратуры.
д. Требуется четыре или больше образцов испытательной аппаратуры.

Ф и г. 2.5. Часть контрольного листа для конструкции.

вом столбце приведено число оцененных заданий. Во втором столбце указаны элементы аппаратуры, считающиеся дефектными. Числа, приведенные в столбцах *A*, *B* и *C*, определены из контрольных листов для каждого задания на основе конструкторской информации. Последний столбец содержит значения ожидаемого времени обслуживания, вычисленные по уравнению (2.33). Для облегчения пользования этим уравнением на фиг. 2.6 представлена номограмма, позволяющая решить его графическим путем.

Приведенные в примере значения времени обслуживания могут быть использованы непосредственно для определения частоты ремонта аппаратуры. Сравнение вычисленных значений частоты ремонта с требованиями, предъявленными в начале разработки, позволяет сделать вывод о степени выполнения требований по обслуживаемости, обеспечиваемой данным вариантом конструкции. При наличии расхождений процедуру можно повторить через некоторое

время после изменения конструкции для определения улучшения, обусловленного внесенными конструктивными усовершенствованиями.

2.46. Производство. Технические условия на обслуживаемость современной аппаратуры военного назначения требуют проведения демонстрации обслуживаемости системы путем выполнения ряда

Таблица 2.6

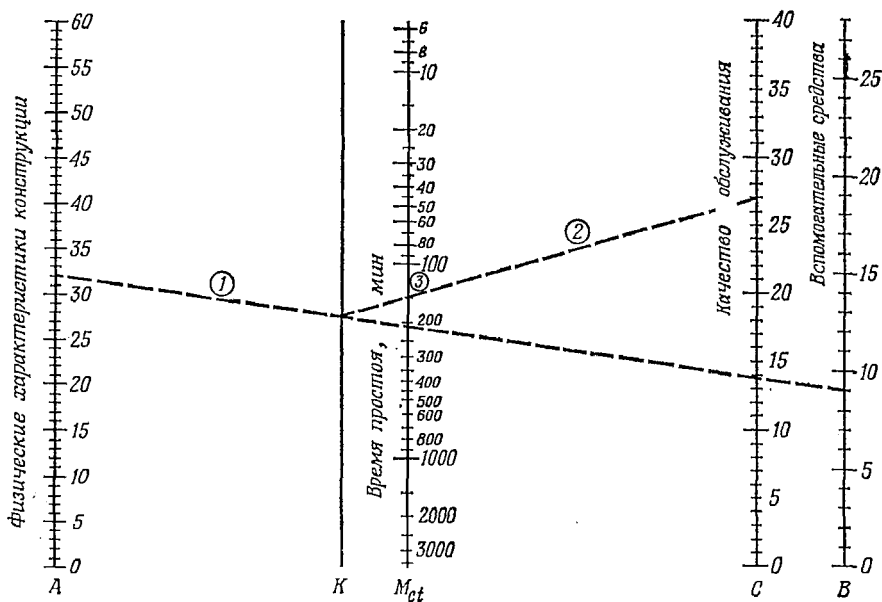
Расчет обслуживаемости аппаратуры связи

Задание	Деталь	A	B	C	Время
1	0618	18	22	17	172,4
2	K101	44	26	20	26,8
3	T102	24	22	16	124,9
4	V101	40	22	20	44,8
5	V102	40	22	20	44,8
...
47	V503	53	26	26	13,7
48	V504	35	21	17	69,2
49	V505	36	21	18	63,7
				Сумма	2508,2
				Среднее значение	51,2

типовых заданий по обслуживанию. Такая процедура предусматривает использование самой обслуживаемой аппаратуры, контрольно-измерительной аппаратуры и технического персонала в условиях, аналогичных ожидаемым в эксплуатационной обстановке. Ситуация, требующая проведения обслуживания, создается искусственно путем включения в аппаратуру отказавших элементов или какими-либо еще действиями, обуславливающими неисправность системы. Измерение в этих условиях времени выполнения по обслуживанию дает реальную оценку обслуживаемости, которая будет иметь место при оперативном использовании. Задания по обслуживанию выбираются в соответствии с ожидаемой интенсивностью отказов заменяемых элементов.

В качестве примера выполнения данной процедуры проведены вычисления, результаты которых сведены в табл. 2.7. Были учтены типы примененных в аппаратуре схемных элементов и их количество. Данные о надежности представлены средними значениями интенсивности отказов элементов. Произведение количества использованных элементов и интенсивностей отказов дает ожидаемое число отказов на 1000 час работы. В этом примере путем суммирования данных об ожидаемых отказах различных типов элементов было установлено, что можно ожидать появления 6931 отказа аппаратуры на каждые 1000 час работы. Это число, используемое в ка-

честве базового, позволяет определить долю отказов в процентах для каждого типа схемных элементов. Процентные значения в свою очередь позволяют установить количество отказов элементов в заданной выборке приборов, в рассматриваемом случае равной 50. Зная номенклатуру элементов, используемых в аппаратуре, можно составить программу экспериментальной проверки обслужи-



Ф и г. 2.6. Номограмма для определения времени простоя.

Указания

1. Провести линию от А до В.
2. Из точки пересечения с линией К провести линию до С.
3. Время простоя определяется пересечением линии КС с линией $M_{ст}$.

ваемости, соответствующую реальным условиям эксплуатации аппаратуры.

Реализация программы испытаний требует тщательного внимания при создании условий, аналогичных ожидаемым в процессе эксплуатации. Необходимо учесть вопросы, связанные с работой техников (опыт и общая квалификация), вспомогательными испытательными средствами (инструмент и контрольно-измерительная аппаратура) и техническими данными. При этом следует решать не только задачи, связанные с выбором подходящих условий, но и осуществлять контроль во время проведения испытаний, чтобы быть уверенным в том, что эти условия не нарушаются. В результате испытаний получают данные по обслуживанию; их анализ позволяет оценить обслуживаемость системы. Как было указано выше,

технические условия, выдвигаемые некоторыми заказчиками, предлагают использовать полученные таким образом результаты испытаний для определения степени выполнения при разработке требований к обслуживаемости системы.

Таблица 2.7

Выбор задания

Класс деталей	Количество	Средняя интенсивность отказов, %/1000 час	Ожидаемое число отказов на 1000 час работы	Вклад в общее число ожидаемых отказов, %	Число отказов для выборки объема 50	Число отказов, учитываемое в программе испытаний
Вентиляторы (двигатели)	44	0,189	0,083	1,30	0,65	1
Конденсаторы	505	0,010	0,051	0,80	0,40	0
Диоды	19	2,983	0,567	8,87	4,44	4
Разъемы	261	0,032	0,084	1,31	0,66	1
Реле	74	0,359	0,266	4,16	2,08	2
Катушки	71	0,033	0,023	0,35	0,18	0
Резисторы	1517	0,015	0,228	3,57	1,79	2
Переключатели	176	0,045	0,079	1,24	0,62	1
Трансформаторы	85	0,133	0,113	1,77	0,89	1
Лампы	301	1,567	4,717	73,81	36,91	37
Прочие	101	0,178	0,180	2,82	1,41	1
Итого:	3154		6,3910	100,00		50

2.4в. Оперативное использование (эксплуатация). В период оперативного использования аппаратуры можно получить данные в основном трех категорий: время, характеристики окружающих условий, стоимостные данные. Эти данные представляют собой результаты измерений характеристик аппаратуры и определения квалификации персонала и играют важную роль в планировании обслуживания и определении технических возможностей системы. Данные, характеризующие состояние аппаратуры, возможности персонала и вспомогательные системы, а также реальные окружающие условия, необходимые для выделения факторов, влияющих на обслуживаемость, и обеспечения информации, требуемой для совершенствования конструкции. Стоимостные данные относятся к затратам, связанным с обслуживанием и поддержанием аппаратуры в исправном состоянии. Эти данные играют важную роль в формулировании реалистичных требований технических условий и служат основой для принятия компромиссных решений при определении оптимального соотношения между обслуживаемостью и другими параметрами системы.

Метод сбора данных, который требует наименьших затрат, заключается в составлении отчетов о работе по проведению обслуживания аппаратуры тем же техническим персоналом, который проводит обслуживание. Основным недостатком этого метода является сомнительная точность. Персоналу, занятому обслуживанием, часто затруднительно делать беспристрастные выводы, а главные проблемы не всегда являются для него очевидными.

Другим методом получения нужных характеристик является интервьюирование персонала на участках эксплуатации аппаратуры. Соответствующая работа может быть проведена либо путем бесед с персоналом, либо с помощью опросных анкет, которые должны заполняться эксплуатационным персоналом. Для получения желательных данных необходимо разработать формы опросных анкет и бланки. Выбор характерного участка эксплуатации должен быть предметом особого внимания. Следует разработать инструкции по заполнению анкет. Ограниченность описанного метода сбора данных заключается обычно в невозможности получить данные, касающиеся времени обслуживания.

Методика изучения данных по времени обслуживания требует наличия беспристрастного наблюдателя для фиксирования значений времени от начала до конца выполнения задания по обслуживанию. Кроме значения времени, может быть дано описание вида работы, выполненной при этом по каждому элементу задания. Эти элементы могут соответствовать крупному делению на отдельные этапы или конечным действиям в зависимости от уровня желательного дробления. Необходимо также установить, какие задания и их элементы подлежат измерению; это позволяет наблюдателю избежать потерь времени на сбор ненужных данных. При выполнении задания несколькими техниками необходимо каждому технику присвоить свой код, а элементы выполняемого задания должны быть записаны для каждого техника.

Выборочный метод сбора информации заключается в том, что работа людей или машин оценивается путем наблюдения в выборочные моменты времени, а не непрерывно. Выполнение исследования с помощью выборочного метода состоит в основном из пяти следующих операций:

1. Определение категорий для классификации работы.
2. Определение числа наблюдений, требуемого для получения заданной степени точности.
3. Выбор по случайному закону моментов наблюдения.
4. Разработка необходимых бланков.
5. Наблюдение и запись данных.

Выборочный метод может быть использован для сбора данных либо о работе техников по обслуживанию, либо о состоянии аппаратуры. Они могут включать сведения по периодам:

- 1) обслуживания аппаратуры;

- 2) обучения на рабочем месте;
- 3) выполнения административных обязанностей;
- 4) непроизводительных затрат времени;
- 5) выполнения временных обязанностей.

Эти виды деятельности могут быть подразделены далее для получения желательной степени детализации. Например, обслуживание аппаратуры можно подразделить по его виду на текущее (ремонтное) или профилактическое или по типу аппаратуры (основной, вспомогательной испытательной и т. п.). Состояние аппаратуры можно подразделить на рабочее, резервное, нерабочее и выключенное.

Для определения требуемого числа наблюдений необходимо прежде всего установить, какие категории деятельности вероятнее всего потребуют наименьших затрат времени, а затем определить процент времени, в течение которого существует каждая категория. Необходимый объем выборки может быть определен с помощью следующего соотношения:

$$\text{Допустимая ошибка} = X_c \sqrt{pq/N}, \quad (2.34)$$

где X_c — доверительный интервал, выраженный в единицах стандартных отклонений;

p — процент времени существования данного вида деятельности;

$$q = 1 - p;$$

N — число наблюдений.

Допустимая ошибка представляет собой величину разности между процентом, определенным по выборке, и фактическим процентом существования, которую можно допустить. Доверительный интервал определяется шириной области нормального распределения, измеренной числом стандартных отклонений и охватывающей требуемый уровень достоверности (например, в пределах ± 2 укладывается приблизительно 95% всех наблюдений). Для 95%-ного уровня достоверности из формулы (2.34) можно определить

$$N = 4pq \text{ (допустимая ошибка)}^2. \quad (2.35)$$

Число наблюдений, которые необходимо сделать за день, находится путем деления полного объема наблюдений на число дней, выделенных для исследования. (Должно быть выделено достаточное время, с тем чтобы количество ежедневных наблюдений не обременяло чрезмерно наблюдателя.) Моменты времени для наблюдений выбираются случайным образом; для каждого дня устанавливается различная последовательность моментов наблюдений. Для обеспечения случайности каждого из отдельных наблюдений может быть выбран любой обоснованный метод (например, выбор написанных на листках чисел из шляпы или выбор из таблиц слу-

чайных чисел). Моменты времени, выбранные с помощью такой процедуры, представляют собой моменты, когда выполняются наблюдения и регистрируется работа, которую в данный момент выполняет техник или аппарата.

Программа сбора данных в эксплуатационных условиях должна тщательно планироваться и контролироваться. Первым шагом работ является детализация основных целей программы и установление ограничений. Затем необходимо разработать формы таблиц для записи требуемой информации. В зависимости от намечаемых для использования методов сбора данных необходимо составить либо программу подготовки наблюдателей, либо программу обучения эксплуатационного персонала. Наконец, следует разработать методику сбора данных и контроля за выполнением программы.

Бланки для регистрации должны быть тщательно разработаны, чтобы была уверенность в получении сведений о всех относящихся к делу фактах в соответствии с выработанными руководящими положениями и ограничениями. Важно обеспечить по возможности простоту и ясность бланков, с тем чтобы были исключены случаи неправильного истолкования и потери информации. Планируемые методы анализа должны быть выбраны такими, чтобы зафиксированные на бланках данные можно было легко использовать.

Весь персонал, принимающий участие в сборе данных, должен пройти тщательную подготовку для усвоения основных принципов оценки обслуживаемости и получения навыков в точном отсчете и записи требуемых данных. Если данные должны быть получены от персонала, проводящего обслуживание аппаратуры, то этот персонал должен быть хорошо подготовлен с точки зрения умения пользоваться бланками по сбору данных и информирован о необходимости соблюдения полноты и точности в своих отчетных материалах.

Для выполнения программы по сбору данных необходимо заранее разработать все процедуры отчетности. Должна быть предусмотрена возможность предварительного анализа сразу по получении данных. Необходимо использовать поэтапные отчеты и периодические проверки для определения текущего состояния выполнения программы. Кроме того, нужно просмотреть первые отчеты с точки зрения возможного совершенствования формы или методики их составления.

Окончательному анализу данных должна предшествовать фильтрация всех данных в отношении их соответствия решаемой задаче, точности и полноты. Чтобы убедиться в правильности вычисленных параметров обслуживаемости, необходимо определить основной закон распределения данных. Затем можно выработать удовлетворительные критерии и с их помощью произвести правильную оценку оперативных условий обслуживания.

2.5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные выше методы на основе количественных критериев обеспечивают достижение поставленных целей в отношении обслуживаемости систем путем эффективного планирования работ на этапе конструирования, соответствующего руководства работами и оценки их результатов. Математическое моделирование и процедура пропорционального распределения позволяют преобразовать общие требования к системе в конкретные требования для подсистем. Методы прогнозирования дают возможность направлять процесс конструирования на обеспечение требуемой степени обслуживаемости. Соответствие техническим условиям демонстрируется путем оценки обслуживаемости системы на основе проведения испытаний и оценки в эксплуатационных условиях. Вообще эти методы представляют основное направление в исследовании обслуживаемости на количественной основе.

Указанные методы нашли отражение в текущих программах; накопленный опыт позволяет наметить пути дальнейшего усовершенствования этих методов. Существующие в настоящее время методы разработаны главным образом применительно к электронным системам. Однако с теми же проблемами обслуживания приходится встречаться также при разработке механических, гидравлических и подобных систем. Для увеличения точности и обеспечения легкости применения необходимо дальнейшее усовершенствование методов.

Для определения оптимального соотношения между конкретными конструктивными характеристиками и временем обслуживания с целью обеспечения лучшего руководства на этапе конструирования требуются более точные выражения. Необходимо получить соотношения, включающие в качестве критерия, кроме времени, стоимость.

В настоящее время достигнут значительный прогресс в разработке методов количественного анализа обслуживаемости. Однако остается большая программа работ по охвату всех аспектов проблемы ясной и четко определенной методикой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Micro-module Equipment Maintenance and Logistics Program (Final Report), Contract DA-36-039-SC-85980, Radio Corporation of America, June 1963.
2. Maintainability Engineering (Final Report), Contract AF30(602)—2057, RCA Service Company, A Division of Radio Corporation of America RADC-TDR-63-85, Feb. 5, 1963.
3. Federal Electric Corporation, Advanced Concepts in the Development of a Numerical Maintainability Design Procedure for Shipboard Electronic Equipment and Systems, Bureau of Ships, Contract Nobsr, Nov. 13, 1959.
4. Cooper J. L. et al., Guide to Integrated System, Design for Maintainability, Northrup Corporation, ASD-TR-61-424, October 1961.
5. Military Specification, Maintainability Requirements for Aerospace Systems and Equipment, MIL-M-26512C (USAF), Mar. 23, 1962.

РОЛЬ ФАКТОРОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ НАДЕЖНОСТИ

Д. Меїстер

D. Meister

Head, System Research Section
Systems Effectiveness Department, Bunker-Ramo Corporation
Canoga Park, California

3.1. ВВЕДЕНИЕ

Инженерная психология — наука о том, как следует конструировать аппаратуру, выбирать условия, при которых должен работать оператор, и методы работы операторов при оптимальном учете человеческих возможностей и ограничений. Специалисты по инженерной психологии прежде всего интересуются: конструктивными характеристиками аппаратуры, процессами эксплуатации и обслуживания, характеристиками окружающих условий (шум, температура, рабочее место и т. п.). Вместе с тем они также интересуются техническими данными аппаратуры, вопросами связи и снабжения запасными частями и вспомогательными материалами и организационными вопросами, так как каждый из этих факторов взаимодействует с остальными и влияет на возможность оператора.

Инженерная психология как признанная научная дисциплина зародилась сравнительно недавно. Она получила развитие во время и после второй мировой войны, когда значительное усложнение аппаратуры привело к необходимости учитывать при конструировании возможность использования аппаратуры оператором. До этого инженеры в промышленности пытались изменять навыки человека и применяемые им методы работы с целью приспособления его к выполняемым функциям. Однако с появлением сложных систем оружия, вызывающих предельное напряжение человеческих сил, было признано, что повышение эффективности системы человек — машина может быть достигнуто легче путем модификации машины, а не путем повышения возможностей человека.

Начиная с 1947 г. наблюдается заметное расширение исследований в области инженерной психологии. В настоящее время в этой области работают в США примерно около 2000 человек; среди них — инженеры, психологи, физиологи, врачи и антропологи. Инженеры решают проблемы, связанные с выбором надлежащих технических характеристик аппаратуры; психологи исследуют концепции поведения; физиологи и медицинские работники рассматривают биологические и физиологические аспекты; антропологи сосредотачивают внимание на антропометрических вопросах.

Между надежностью и инженерной психологией как областями науки существует естественная связь. Обе эти области связаны с прогнозированием, измерением и улучшением характеристик систем: инженер в области надежности добивается этого, изменяя схему и конструкцию аппаратуры, специалист в области инженерной психологии воздействует на те технические факторы, которые оказывают влияние на возможности оператора. Во многих фирмах специалисты по инженерной психологии входят в состав групп по надежности или конструкторских групп или работают в их интересах. В других фирмах в функции инженера по надежности и конструктора входит выполнение работы, относящейся по существу к области инженерной психологии. Существует ряд обоснованных соображений, показывающих взаимосвязь надежности и инженерной психологии.

1. Все аппаратурные системы включают в себя как аппаратуру, так и персонал в их взаимодействии (отсюда термин — «система человек — машина»). Следовательно, при оценке надежности системы инженеры должны анализировать оба элемента. Нельзя рассматривать отдельно надежность аппаратуры и надежность, обусловленную психофизиологическими факторами.

2. На этапе конструирования инженер по надежности направляет и проверяет конструкторскую работу с точки зрения надежности. Поэтому он должен знать, какие принципы инженерной психологии должны быть отражены в проекте для обеспечения максимальной надежности. Даже в настоящее время психофизиологические факторы при конструировании аппаратуры недостаточно учитываются. Это приводит к усложнению систем, трудностям в эксплуатации и обслуживании, к увеличению интенсивности отказов и среднего времени простоя. Недооценка принципов инженерной психологии непосредственно приводит к снижению надежности.

3. Введение какой-либо новой составляющей в оценку надежности снижает показатель этой надежности, если только составляющая не характеризует неизменно надежный элемент. Если при оценках надежности инженер по надежности учитывает только факторы, характеризующие отказы аппаратуры, не связанные с действиями персонала, то предполагается, что характеристики работы оператора приняты оптимальными (вероятность безотказной работы оператора $r=1,00$). Так как известно, что в действительности надежность работы оператора безусловно ниже, чем это могло бы быть в идеальном случае, то инженер по надежности должен учесть в своих оценках характеристики оператора. В противном случае оценки окажутся грубо ошибочными, *какими они часто и бывают.*

О влиянии оператора на надежность свидетельствует большое число отказов аппаратуры, возникающих по вине человека. Частота отказов по вине человека составляет обычно от 20 до 80% всех слу-

чившихся отказов, отраженных в отчетной документации. Поэтому анализ интенсивностей отказов только с точки зрения отказов самой аппаратуры упускает из виду важный источник ненадежности системы.

4. Технические условия для аппаратуры военного назначения требуют, чтобы в программе обеспечения надежности были отражены принципы инженерной психологии в конструировании систем. Так, например, согласно техническим условиям MIL-R-27542A, факторы инженерной психологии должны быть учтены при составлении программы обеспечения надежности, а технические условия Управления баллистических снарядов ВВС 58-10 требуют, чтобы был произведен анализ возможных отказов аппаратуры, обусловленных ошибками человека.

Некоторые инженеры по надежности считают, что человек выполняет свою работу в соответствии с правилами, резко отличающимися от правил функционирования аппаратуры. Это является, возможно, следствием того, что взаимосвязь психофизиологических факторов часто выражается менее точно и труднее поддается количественной оценке, чем соотношения между характеристиками аппаратуры. Последнее объясняется двумя основными причинами:

1. Оператор представляет собой значительно более сложную систему, чем любая машина, работающая или мыслимая в будущем. В настоящее время не может быть построена ни одна машина, способная полностью продублировать работу органов чувств и высшую нервную деятельность человека, например восприятие, опознавание и принятие решений.

2. Оператору внутренне свойственна меньшая стабильность по сравнению с машиной. На него оказывает влияние значительно большее число факторов. Работа оператора зависит от его физиологического состояния, степени усталости, воздействий окружающих условий (например, шума), продолжительности обучения, побудительных мотивов и стимулирования и других многочисленных факторов.

Однако роль оператора можно рассчитывать так же, как элемент аппаратуры, т. е. путем использования входных и выходных параметров. Это дает возможность инженеру по надежности и специалисту в области инженерной психологии для описания характеристик человека и машины пользоваться общим языком и применять один и тот же математический аппарат при исследовании работы человека и машины.

3.2. ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ

Прежде чем продолжить более детальное изложение принципов инженерной психологии, необходимо кратко рассмотреть основные положения, на которых базируются эти принципы. Подобно тому

как читатель не может правильно представить себе сущность работы радиолокатора без некоторого знакомства с электромагнитными явлениями, он не может уяснить характеристики работы человека без ознакомления с основными психофизиологическими концепциями.

Для понимания поведения оператора необходимо исследовать три параметра: *входной сигнал*, *внутреннюю реакцию* и *отклик на выходе*. Входной сигнал S представляет собой любое изменение в окружающих условиях, воспринимаемое оператором. Зажигание индикаторной лампочки, появление отметки на экране радиолокатора, выход из строя машины после того, как она была запущена, звук заводской сирены — все это примеры сигналов.

Внутренняя реакция O (оператора, так как эта реакция происходит в нем) представляет собой восприятие и обработку оператором физического сигнала S . Запоминание, процесс решения и интерпретация факторов являются примерами внутренних реакций. Отклик на выходе R представляет собой действие, обусловленное внутренней реакцией оператора O на входной сигнал S . Речь, включение переключателя, запись, удар по мячу — все это примеры откликов на выходе.

Поведение человека характеризуется комбинацией этих трех элементов: $S \rightarrow O \rightarrow R$. Сложное поведение определяется наличием многих цепей $S-O-R$, переплетенных между собой и продолжающих действовать совместно. Каждый последующий элемент в цепи $S-O-R$ функционирует в зависимости от успешного срабатывания предшествующего ему элемента. Человек допускает ошибки в тех случаях, когда какой-либо элемент цепи оказывается неисправным, например:

1) физическое изменение окружающих условий не воспринимается оператором как сигнал S ;

2) оператор не может различить между собой несколько сигналов S ;

3) сигнал S воспринимается, но его значение неправильно понято;

4) сигнал S правильно понят, но правильный выходной отклик не известен оператору;

5) правильный отклик R на S известен, но находится за пределами физических возможностей оператора;

6) правильный отклик R находится в пределах возможностей оператора, но выполняется неправильно или в не требуемой последовательности.

Применительно к конструированию аппаратуры вышеизложенное означает следующее: для того чтобы оператор был в состоянии откликнуться соответствующим образом, сигналы должны восприниматься оператором и требовать отклика, который оператор способен произвести. Следовательно, характеристики аппаратуры и

поставленная задача (сигналы) — не только органы управления и индикаторы, но и весь комплекс работы, подлежащий выполнению, — должны быть приспособлены к возможностям оператора; в противном случае он не сможет с ними справиться. Всем известны физиологические ограничения человека, которые препятствуют успешной работе. Так, например, импульсы высокочастотного радиолокатора и звуковой локационной установки для того, чтобы оператор мог их воспринять, должны быть преобразованы в видимые и слышимые сигналы; человек не способен глазом обнаруживать сигналы, подаваемые инфракрасными или рентгеновскими лучами; нельзя ожидать, что оператор поднимет одной рукой аппаратуру весом 340 кг. Многие другие менее очевидные ограничения также могут препятствовать эффективной работе.

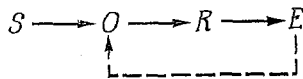
Чем в большей степени конструкция аппаратуры учитывает реальные возможности оператора, тем легче осуществлять ее эксплуатацию. Поэтому при конструировании аппаратуры необходимо учитывать ограничения, налагаемые человеческим ростом, весом и временем реакции на сигналы. Окружающие воздействия (шум, температура и т. п.) также могут действовать как сигналы и влиять на способность оператора откликнуться соответствующим образом. Когда такие факторы оказывают на работу оператора отрицательное влияние, их необходимо изменить или устранить.

Однако для четкой работы системы недостаточно оператору проявить реакцию, которую он считает правильной. Он должен получить какое-либо подтверждение или сведения о последствиях его отклика по каналу обратной связи. Не имея возможности видеть результаты своих действий, оператор не может быть уверен в их правильности. Следовательно, он не научится правильно реагировать или же его реакция будет характеризоваться большой изменчивостью.

Последствия, вызванные откликами оператора, влияют на окружающие условия, параметры процесса и другие факторы и воспринимаются им как некоторое изменение окружающей обстановки. С этим изменением ассоциируются некоторые передаваемые по каналу обратной связи сигналы. Так, например, следствием пушечного выстрела является поражение цели; поражение цели свидетельствует о том, что стрелок взял правильный прицел на цель. Канал обратной связи может дать косвенное свидетельство в виде изменения на индикаторах аппаратуры (например, зажигается зеленая индикаторная лампочка, что свидетельствует о том, что цель поражена); изменение может восприниматься непосредственно, например, в случае, когда за изображением цели наблюдают визуально с помощью оптических приборов, которые увеличивают его в размере.

Правильность сведений, получаемых по каналу обратной связи, определяется интерпретацией оператором сигналов обратной свя-

зи. Некоторые сигналы связаны с успешными исходами, другие — с неудачными исходами. Когда оператор опознает сигналы, связанные с успешными или неудачными исходами, то у него имеется достаточно сведений для принятия решения о продолжении или прекращении отклика R на сигнал S . Этот процесс показан на фиг. 3.1, где буквой E обозначены окружающие условия, а пунктирной стрелкой — сигнал обратной связи.



Фиг. 3.1. Схематическое представление обратной связи.

Для конструктора надежной аппаратуры это означает, что аппаратура должна обеспечивать оператора и входными сигналами и сигналами, передаваемыми по каналу обратной связи. Конструкция аппаратуры должна быть поэтому проанализирована с целью выявления правильности и полноты информации об окружающих условиях, которой она обеспечивает оператора. Задача состоит в том, чтобы обеспечить получение оператором максимальной информации по каналу обратной связи в соответствии с необходимым для него объемом сведений (без перегрузки его каналов восприятия). Конструктор должен совершенствовать свою конструкцию в соответствии с требованиями к информации, вытекающими из поставленной задачи. Он должен предусмотреть средства для ввода этой информации, снабдив аппаратуру требуемыми индикаторами.

К сожалению, при конструировании даже современной аппаратуры потребность оператора в получении информации часто игнорируется главным образом из-за стремления к автоматизации (сделать аппаратуру защищенной от неумелого или неосторожного обращения).

3.3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ МЕЖДУ ЧЕЛОВЕКОМ И МАШИНОЙ

Начальным моментом всякого проекта является распределение функций между аппаратурой и оператором. Характеристики аппаратуры и роль, предназначаемая оператору, определяются объемом и характером функций, подлежащих выполнению.

Данная функция должна выполняться аппаратурой, оператором или в результате их совместных действий в зависимости от того, в каком случае эта функция в эксплуатационных условиях будет выполнена более эффективно. Для определения этого должно быть проведено сравнение характеристик машины и оператора. Соответствующие данные приведены в табл. 3.1. Следует заметить, что описанные качества относятся к категории типовых. Ценность их

для данной аппаратуры или конкретной задачи определяется конкретными условиями использования системы. Так, например, очевидно, что машины обладают несравнимо большей силой, чем люди; однако это соображение теряет смысл в случае, когда сила, которую нужно приложить, составляет лишь 2 кг.

Из данных табл. 3.1 видно, что трудно дать простой ответ на вопрос о том, передать ли выполнение данной функции машине или человеку. Было предложено [10] одно важное правило, которое заключается в том, что если в процессе эскизного проектирования системы конструктор не может заранее запрограммировать все входные и выходные факторы какой-либо функции, то выполнение этой функции нужно возложить на оператора, так как только человек обладает гибкостью, необходимой для принятия решений, связанных с неожиданными событиями.

На работу человека оказывают влияние столько случайных факторов, что эффективная реакция человека может соответствовать надежности, которая изменяется от 0 до 0,9999. В связи с этим трудно вывести обобщающие соотношения, охватывающие различные типы систем и решаемые ими задачи. Это приводит к тому, что соображения, которые можно использовать в соотношениях, характеризующих работу системы человек — машина, в значительной степени носят качественный характер.

Так как ответ на вопрос о том, кому передать выполнение функции — человеку или машине, частично зависит от характера системы и выполняемой работы, а частично от формулировки поставленного вопроса, то анализ психофизиологических факторов необходимо провести для каждой конкретной конструкторской ситуации. Должны быть рассмотрены стоимость, вес, безопасность, уровень развития техники. Более того, анализ одиночных функций системы человек — машина не позволяет решить вопрос оптимальным образом; для его разрешения требуется рассмотрение множества соотношений. Поэтому до анализа конкретной задачи не представляется возможным дать рекомендации о принятии решения: выбрать автоматизированный вариант, использовать операторов или же выбрать сочетание этих двух вариантов, а в случае последнего решения — дать рекомендацию, при каких обстоятельствах его использовать.

Использование человека в системе дает несколько весьма определенных преимуществ, особенно в том случае, когда его роль сводится к контролю выполнения боевого задания и проведению обслуживания на борту летательного аппарата. Показано [11], что надежность космической системы с техником по обслуживанию на борту значительно выше, чем у той же системы, снабженной средствами автоматического обслуживания.

При принятии решений могут оказаться полезными следующие соображения:

Таблица 3.1

Сравнение характеристик человека и машины

Характеристика	Человек	Машина
Гибкость	Способен разобраться в маловероятных альтернативных ситуациях, неожиданных событиях. Высокая степень гибкости	Ограниченная гибкость, неожиданные события не могут быть правильно оценены, если решения не обусловлены программой
Способность к обобщению	Способен классифицировать события по определенным классам, выделять сходные черты и отбрасывать противоречивые характеристики	Нулевая или очень ограниченная способность. Может реагировать только на заданные физические воздействия
Способность к обучению	Предыдущий опыт может быть использован для изменения последующего поведения	Не меняется, если не вносятся изменения в аппаратуру
Чувствительность	Чувствителен в широких пределах к различного рода входным воздействиям. Может реагировать на многие виды физических воздействий одновременно. Чувствителен к малым потокам энергии	Данный прибор чувствителен только к тем видам входного воздействия, на которые он рассчитан. Пороговые значения в общем случае более высокие, чем у человека. Однако может воспринимать количества энергии, выходящие за пределы человеческого спектра восприятий
Стоимость	Необходимый объем подготовки зависит от сложности задачи	Быстрый рост стоимости по мере возрастания сложности
Вес	Легкий	Для воспроизводства человеческих функций вес должен быть чрезвычайно большим
Чувство нового	Способен воспринимать необычную информацию и сообщать о событиях и наблюдениях, не связанных непосредственно с выполнением программы	Чувство нового отсутствует при обнаружении случайных сведений или незапрограммированной взаимосвязи между функциями
Способность к проверке	Плохая	Хорошая
Изнашиваемость	Должны быть выполнены условия безопасности	Изнашивается
Способность к управляющим действиям	Способен выполнять сложные точные управляющие действия (манипуляции), требуемые в процессе обслуживания	Для выполнения сложных задач машина должна быть чрезвычайно дорогой и сложной

Характеристика	Человек	Машина
Надежность	При нормальном функционировании может допускать ошибки. Однако надежность аппаратуры, управляемой вручную, как правило, выше по сравнению с более сложной автоматической аппаратурой	При исправном состоянии работает без ошибок; однако надежность автоматической аппаратуры ниже, чем ручной, в связи с большим количеством элементов
Колебания в эффективности работы	Сильно меняется от дня к дню	Малые
Время реакции	Относительно большое. Наименьшее время реакции человека составляет ~ 200 мсек	Обычно ограничено временем срабатывания реле; запаздывание исчисляется микросекундами
Физическое усилие	Относительно малое без содействия машины	В принципе практически беспределно
Однообразие или усталость	Выполнение повторяющейся работы вызывает увеличение ошибок. Требуется время для отдыха. Время максимально эффективной работы 8—10 час	Способна длительно выполнять многие операции без уменьшения эффективности. Должны учитываться лишь физические ограничения, например перегрев, коррозия или механический износ
Требования в отношении условий окружающей среды	Может эффективно действовать только в очень узких пределах воздействий окружающей среды. Жесткие физиологические требования по поддержанию жизнедеятельности организма	Может допускать большие колебания в условиях окружающей среды, которые ограничиваются только конструктивными соображениями
Способность слежения	Сравнительно низкие характеристики слежения в каждом конкретном случае, хотя и удовлетворительные в широком диапазоне ситуаций. Может изменять рабочие характеристики для получения наилучших характеристик системы в любой ситуации	Хорошие характеристики слежения. Однако для слежения в широком диапазоне ситуаций требуется значительное усложнение машины
Емкость каналов связи	Ограниченная. В течение данного периода времени может оперировать определенным максимальным количеством информации	Может быть сделана произвольно большой. Емкость ограничивается только конструкцией

Продолжение табл. 3.1

Характеристика	Человек	Машина
Работа при перегрузке	В некоторых случаях может выполнять работу при перегрузке лучше машин; допускает временные перегрузки, не выходя полностью из строя	При перегрузке может полностью выйти из строя; при фиксированном максимальном объеме информации перегрузка ведет к временному прекращению работы системы
Выживание	Заинтересован в выживании. Ситуации, характеризующиеся возможной опасностью, вызывают напряжение всех сил, что ведет к ухудшению характеристик	Отсутствие «понимания» опасности. При появлении опасности характеристики не ухудшаются
Вычислительные способности	Сравнительно медленный и плохой вычислитель	Превосходный вычислитель с большим быстродействием
Способность запоминания	Плохая краткосрочная память Превосходная долгосрочная память	Превосходная краткосрочная память Весьма дорогостоящая долгосрочная память
Дедуктивная логика	Не всегда можно ожидать следования оптимальной стратегии Правильные предпосылки иногда ведут к неправильным выводам	Превосходная дедуктивная логика, может вывести все теоремы из набора постулатов. Способна хранить и использовать оптимальную стратегию для заранее запрограммированных наиболее вероятных ситуаций
Индуктивная логика	Может переходить от конкретных случаев к общим правилам и законам	Неспособность к индуктивной логике
Отвлечение внимания	Легко отвлекается при посторонних воздействиях	Нельзя отвлечь посторонними воздействиями

1. В тех случаях, когда выполнение системой поставленной задачи зависит от факторов, вносящих значительную неопределенность (могут произойти неожиданные события и может потребоваться принятие решений), необходимость в наличии оператора является наибольшей.

2. Частота ошибок, совершаемых человеком, находится в функциональной зависимости от ограничений и требований, накладываемых на оператора. В тех случаях, когда для решения поставленной

задачи оператор вынужден работать на пределе своих возможностей, частота ошибок существенно увеличивается и может потребоваться автоматизация выполнения соответствующих функций.

3. Частота ошибок, совершаемых человеком, пропорциональна числу последовательно взаимодействующих человеческих звеньев в системе. При всех других равных условиях частота ошибок человека прямо пропорциональна продолжительности выполнения задач и процессов, числу органов управления и индикаторов, которые нужно приводить в действие, и числу каналов связи, решений и расчетов, требуемых для функционирования системы. Все это означает, что чем больше операторов в системе и чем больше они нагружены работой, тем выше вероятность ненадежной работы. С другой стороны, избыточность операторов, выполняющих одни и те же функции, так же как и избыточность аппаратуры, рассматриваемая в теории надежности, имеет тенденцию повышать вероятность безошибочного выполнения работы.

4. Как показывает опыт, при всех других равных условиях надежность аппаратуры с высоким уровнем автоматизации, например автоматизированной контрольно-измерительной аппаратуры, быстро ухудшается в эксплуатационных условиях; поэтому целесообразно предусмотреть в системе дополнительные или «страхующие» функции, выполняемые человеком.

Один из способов решения вопроса о том, произвести ли распределение функций или пойти на компромисс, заключается в определении относительной надежности аппаратуры или системы для двух случаев (человек или машина). Это определение может быть осуществлено путем сравнения ожидаемой надежности при выполнении функции человеком с ожидаемой надежностью при автоматическом выполнении той же функции.

Предположим, что желательно сравнить после завершения всех приготовлений надежность системы ручного пуска управляемого снаряда с надежностью системы автоматического пуска. (В приводимом ниже примере приняты гипотетические характеристики работы аппаратуры.)

Пример 3.1

Последовательность операций при ручном пуске

$$\begin{array}{l}
 \text{Приготовление закончено, напряжение подано} \rightarrow \\
 \quad 0,9999 \quad \times \\
 \text{Система готова к пуску, зажигается зеленая лампочка} \rightarrow \\
 \quad 0,9999 \quad \times \\
 \text{оператор воспринимает это} \rightarrow \\
 \quad 0,9998 \quad \times \\
 \text{оператор принимает решение о пуске} \rightarrow \text{оператор нажимает кнопку} \\
 \quad 0,9990 \quad \times \quad 0,9997 \quad = \\
 \quad \quad \quad = 0,9983
 \end{array}$$

Последовательность операций при автоматическом пуске

$$\begin{array}{r}
 \text{Приготовления закончены, напряжение подано} \rightarrow \\
 \quad \quad \quad 0,9999 \quad \quad \quad \times \\
 \text{реле пуска включено} \rightarrow \text{реле включает схему пуска} \\
 \quad \quad \quad 0,9999 \quad \quad \quad \times \quad \quad \quad 0,9999 \quad \quad \quad = \\
 \quad \quad \quad = 0,9997
 \end{array}$$

Из рассмотрения относительной надежности для двух указанных последовательностей работы видно, что вариант автоматического пуска управляемого снаряда является более надежным. Однако это не единственный фактор, который следует учесть. Маловероятно, чтобы решение об автоматизации основывалось лишь на рассмотрении относительной надежности. Любое решение должно учитывать последствия отказов элементов системы и должно поэтому сопровождаться анализом типов отказов и их возможного влияния не только для аппаратуры, но и для человека. Так, например, оператор принимает решение о том — нажимать кнопку пуска или нет, на основе инструкций, полученных от вышестоящего командования, хотя бы и горела зеленая лампочка, указывающая на завершение приготовлений. Автоматическая схема не обладает такой способностью принимать решения, а предусмотреть ее обошлось бы необычайно дорого.

Очевидно, необходима качественная оценка относительных значений интенсивности отказов. Что выигрывает или теряет конструктор при введении человека в систему — вот основной вопрос, на который необходимо дать ответ. Нельзя ответить на этот вопрос путем подсчета интенсивностей отказов; необходимо исследование всех возможных видов откликов, требуемых от системы в различных более или менее вероятных ситуациях.

3.4. УЧЕТ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ

Для конструктора аппаратуры психофизиологические факторы часто представляются в виде принципов или руководящих правил; если выполнено каждое правило, то конструкция с точки зрения оператора считается удовлетворительной. Однако в случае некритического отношения к этим принципам при конструировании автоматически нельзя получить изделие высшего качества. Конструирование работоспособного изделия, которое удобно обслуживать, должно базироваться на систематическом анализе взаимосвязи между требованиями к выполнению поставленной задачи и ограничениями, присущими оператору.

Конструктор часто представляет себе инженерную психологию как область, имеющую дело главным образом с органами управле-

ния и индикаторными устройствами в кабине пилота, так как инженерная психология была обычно связана с конструированием самолетов. Однако инженерная психология имеет отношение ко всем видам аппаратуры, приводимой в действие и обслуживаемой вручную (последняя включает в себя практически всю существующую аппаратуру), независимо от того, идет ли речь о наземной аппаратуре, вспомогательных средствах (кирпич и известка), испытательной и контрольно-измерительной аппаратуре, бортовой аппаратуре на беспилотных летательных аппаратах.

Рассмотрение принципов и учет основных требований инженерной психологии должны начинаться и систематически проводиться одновременно с конструированием, так как до принятия окончательного решения на предварительных этапах обычно разрабатывается несколько вариантов проекта. Каждый вариант может исходить из решения, которое является определяющим в отношении работоспособности и обслуживаемости. Конструктор, ожидающий выпуска последней синьки для того, чтобы начать исследование факторов инженерной психологии, не сможет найти правильного соответствующего решения.

Применение принципов инженерной психологии и проверка отражения этих принципов в проекте должны базироваться на анализе требований к системе с точки зрения психофизиологических факторов. Этот анализ осуществляется в несколько стадий, описанных ниже.

3.4а. Распределение функций. На начальном этапе процесса конструирования осуществляется распределение функций между аппаратурой и операторами. Если инженер по надежности выступает в качестве консультанта или критика по вопросам конструирования с учетом факторов инженерной психологии, то он должен в первую очередь задать конструктору следующие вопросы:

1. Какие функции должна выполнять аппаратура и какие операторы?

2. Чем мотивируется целесообразность (обоснование) такого распределения?

3. Обосновано ли принятое распределение при всех оперативных ситуациях?

Конструктор мог случайно не исследовать все аспекты этого распределения. Поэтому необходимо выяснить, какое распределение было принято в качестве основы при конструировании и чем оно обосновано.

3.4б. Автоматизация. Даже при отсутствии соответствующих требований конструктор стремится к автоматизации всякий раз, когда современный уровень развития техники позволяет ее осуществить. Как было указано выше, чрезмерная автоматизация часто является причиной неоправданного усложнения аппаратуры, приводящего к повышению интенсивности отказов и средней продолжи-

тельности простоев. Конструктор должен быть предупрежден о том, что в случаях, когда нельзя ожидать значительного ухудшения характеристик или опасности для персонала и аппаратуры при эксплуатации вручную, автоматизация работы аппаратуры должна быть исключена.

3.4в. Задачи оператора. До начала работы над проектом конструктор должен знать, какие задачи предстоит решать оператору при управлении аппаратурой. Инженер по надежности должен определить, знаком ли конструктор с этими задачами и учел ли он соответствующие требования в своем проекте.

3.4г. Напряженность в работе оператора. При выполнении некоторых требований к решению поставленной задачи оператор приближается к пределу своих возможностей; при этом количество совершаемых ошибок неизбежно увеличивается. Как конструктору, так и инженеру по надежности должны быть известны возможности оператора с тем, чтобы можно было учесть их в требованиях к выполнению задачи, исключив их влияние, или соответствующим образом приспособить конструкцию. Ниже приводятся условия, приводящие к напряженности в работе оператора.

1. Оператор должен выполнять индивидуальные операции с высокой скоростью или точно в определенные моменты времени. Необходимость принятия решения в крайне короткий период времени.

2. Индивидуальные операции, выполняемые оператором, должны координироваться с другими операциями, выполняемыми другим оператором.

3. Оператор должен быстро сравнить два или больше показаний индикатора. Решения должны приниматься на основе информации, получаемой от нескольких источников.

4. Оператор должен различать два или больше изображений на индикаторе.

5. Оператор должен быстро перестраиваться, изменяя порядок использования индикаторов.

6. Чрезмерно длинная последовательность операций, требуемых для выполнения задачи.

7. Недостаточная обратная связь аппаратуры с оператором для определения правильности его действий.

8. Решения должны быть приняты на основе информации из нескольких источников.

9. Время, требуемое для принятия решения, чрезвычайно мало.

10. Одновременно должны быть приведены в действие с высокой скоростью два или больше органов управления.

3.4д. Информация, обеспечиваемая аппаратурой. Как указывалось выше, аппаратура обеспечивает оператора и обслуживающий персонал информацией, требуемой для выполнения их работы. Эту информацию можно разбить на три категории:

1. *Информация по каналу обратной связи.* Например, при включении оператором переключателя для подачи напряжения на схему зажигается лампочка, что свидетельствует о том, что схема возбуждена (не реле, а схема).

2. *Информация, связанная с профилактическим обслуживанием.* Конструктор должен проанализировать вопросы, связанные с требуемым профилактическим обслуживанием конструируемой им аппаратуры, и определить целесообразность специальных систем сигнализации при необходимости выполнения работы по калибровке и обслуживанию аппаратуры силами операторов.

3. *Информация о признаках неисправности.* Многие принципы инженерной психологии имеют также отношение к обслуживанию. Они учитывают реакцию техника по обслуживанию на получаемые сведения о характеристиках неисправной аппаратуры. Для правильного осуществления обслуживания техник должен быть в состоянии обнаружить неисправность и определить ее причину, а затем снять и заменить вышедший из строя элемент. В первом случае задача конструктора — предоставить технику достаточную информацию для обнаружения и определения неисправностей; во втором случае — обеспечить доступ к деталям (см. гл. 2 данного тома).

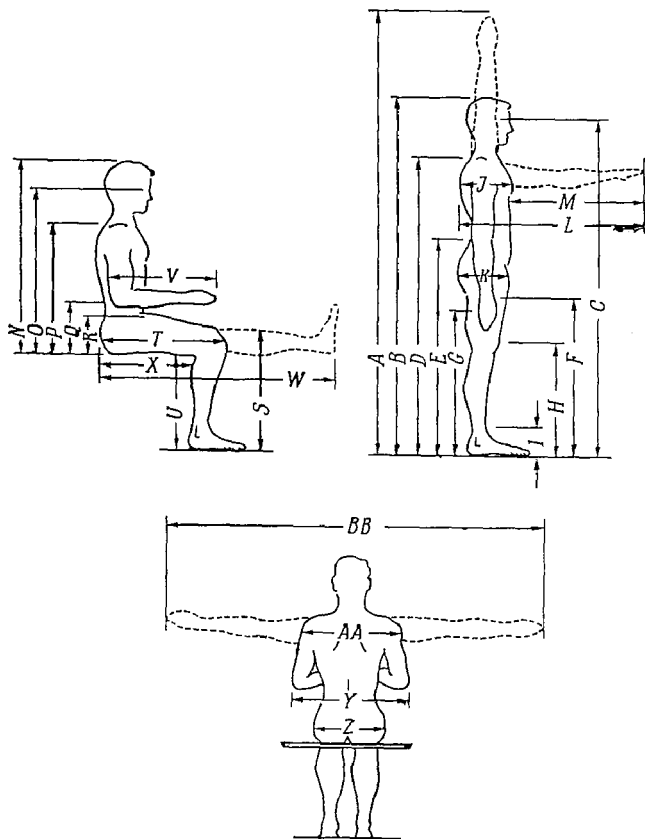
Конструктор может обеспечить обслуживающий персонал необходимой информацией для обнаружения и определения причин неисправности путем анализа схем, чертежей и других проектных материалов с точки зрения определения наиболее вероятных и наиболее критических для системы неисправностей. (Обеспечение этой информацией может оказаться довольно затруднительным, однако большую помощь должен оказать анализ типов отказов и их влияния на надежность.) Для выявления неисправностей конструктор может попытаться создать специальные индикаторные устройства, показывающие, что неисправность появилась или находится в процессе зарождения.

3.4е. Доступ к элементам аппаратуры. Следующей по важности за проблемой обнаружения и определения причин неисправностей является проблема обслуживаемости, заключающаяся в обеспечении доступа к вышедшему из строя элементу, чтобы можно было снять и заменить его без повреждения соседних элементов. Конструктор должен просмотреть свои чертежи и оценить возможность добраться руками к важнейшим модулям и достаточность места, позволяющего закрепить крышки требуемым количеством винтов и т. д.

3.5. УЧЕТ ПРИНЦИПОВ ИНЖЕНЕРНОЙ ПСИХОЛОГИИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ

Ниже рассматриваются некоторые принципы конструирования, учитывающие факторы инженерной психологии. Инженер по надежности должен исходить из этих принципов при анализе матери-

алов проекта. Значительная часть излагаемого материала заимствована из военного стандарта MIL-STD-803A-1 [12]. В качестве дополнительных источников информации читатель может использовать библиографию, приведенную в конце главы.

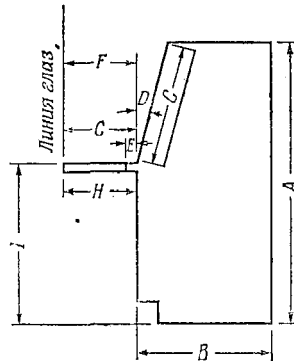


Фиг. 3.2. Размеры тела в положениях сидя и стоя.
(Численные значения приведены в табл. 3.6.)

3.5а. Расположение приборов на панели управления. 1. Органы управления и индикаторы должны быть расположены в соответствии с последовательностью операций, требуемых при эксплуатации аппаратуры. Если порядок этих операций не является постоянным, то необходимо разместить вместе те органы управления и индикаторы, которые приводятся в действие совместно или выполняют связанные между собой функции.

Стандартные размеры стойки

(Все значения даны в миллиметрах, если нет других указаний)



Тип стойки	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1. Для положения сидя и стоя, с обзором заднего плана сверху в положении стоя	1570	Опт.	650	13—15°	100	460	400	460	900	860
2. Для положения сидя, с обзором сверху	1210 1470	Опт.	530	13—15°	100	460	400	460	660 900	860
3. Для положения сидя, без обзора заднего плана сверху	1420 1660	Опт.	730	13—15°	100	460	400	460	660 900	860
4. Для положения стоя, с обзором сверху	1570	Опт.	650	13—15°	100	460	400		900	860
5. Для положения стоя, без обзора сверху	1780	Опт.	850	13—15°	100	460	400		900	860

A — максимальная общая высота стойки от пола;

B — глубина у основания;

C — минимальный вертикальный размер наклонной панели;

D — угол наклона панели (в градусах от вертикали);

E — минимальная глубина полочки для карандашей;

F — расстояние от линии глаз до основания панели;

G — минимальный размер горизонтальной панели до края полочки для карандашей;

H — минимальный зазор для колен;

I — минимальная высота горизонтальной панели и полочки для карандашей от пола;

J — максимальная ширина стойки (не показана).

2. При размещении органов управления и индикаторов необходимо исходить из того, что визуальные индикаторы должны располагаться в центре панели, а органы управления — по периферии.

3. Каждый орган управления должен располагаться возможно ближе к индикатору, отображающему результаты действия этого органа управления.

Таблица 3.3

Расположение органов управления и индикаторов

Вид работы	Оператор в положении стоя, высота от уровня пола, на котором стоит оператор, мм		Оператор в положении сидя, высота от сидения оператора, мм	
	индикаторы	органы управления	индикаторы	органы управления
Обычный	максимум	1830	1110	890
	минимум	1020	200	200
Прецизионный	максимум	1730	890	760
	минимум	1270	400	200

4. Наиболее важные и часто используемые органы управления должны располагаться в наиболее удобном положении для обеспечения легкого доступа и работы правой рукой.

5. Функционально подобные или идентичные органы управления и индикаторы должны быть расположены в одной и той же последовательности от панели к панели.

6. Стойки с контрольно-измерительной аппаратурой должны быть спроектированы в соответствии со стандартными размерами, приведенными в табл. 3.2.

7. Органы управления и индикаторы должны быть расположены в соответствии с указаниями, приведенными в табл. 3.3.

8. Рекомендуется применять следующие цветные коды для контрольно-измерительной аппаратуры:

- а) экстерьер стойки, зеленый;
- б) интерьер стойки, серый;
- в) панели стойки, серый;
- г) буквенные обозначения, черный;
- д) органы управления, черный или серый.

9. Панели управления должны выполняться в соответствии с принципами *модульного* конструирования. Модуль образуется путем группировки органов управления и индикаторов на основе учета их взаимосвязи при выполнении какой-либо функции системы. При модульном конструировании функциональные группы распола-

гаются в блоке соответствующего цвета. Контраст модуля темного цвета с фоном светлого тона помогает понять взаимосвязь органов управления и индикаторов, что способствует правильной работе.

3.5б. Характеристики органов управления и индикаторов

Органы управления

1. Направление движения органа управления всегда должно быть правым (по часовой стрелке) при возрастании показателей и левым (против часовой стрелки) при их уменьшении.

2. Для достижения высокой точности в широком диапазоне регулировок необходимо пользоваться многопозиционными переключателями.

3. Для переключений, требующих двух дискретных положений, должны использоваться только тумблеры.

4. Переключатели, играющие критическую роль, должны иметь защиту от случайного включения.

5. Требования к выбору органов управления приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Требования к выбору органов управления

	Кнопка управления	Тумблер	Многопозиционный переключатель	Ручка управления
Основания для выбора	Требуется мгновенный контакт	Нужны два дискретных положения	Нужны три или большее число фиксированных положений	Требуется точная регулировка
Желательные характеристики	Вогнутая поверхность, индикация нажатого положения		Не более 24 позиций	
Размеры: максимум	Диаметр, не оговаривается	Плечо 50 мм	Длина указателя * Ширина указателя 25 мм	Охват ручки пальцами 100 мм
минимум	Диаметр 12,7 мм	Плечо 12,7 мм	Длина указателя 25 мм Ширина указателя *	Охват ручки пальцами 10 мм
смещение	3 мм	30°		

* Характеристики оператора не накладывают никаких ограничений.

Индикаторы

1. На индикаторах должна отображаться только информация, необходимая оператору для выполнения задания, и только с той степенью конкретизации и точности, которая требуется для работы. Требования к декодированию и производству вычислительных операций по этой информации должны быть минимальными.

2. Начало отсчета по шкале должно лежать на нуле. Градуировка должна быть кратной 1, 2 или 5 единицам с десятичными множителями. Числа должны возрастать в направлении по часовой стрелке, слева направо или в направлении снизу вверх. Для нумерации основных градуировочных отметок должны быть использованы целые числа. Нельзя допускать более девяти промежуточных отметок; их число по возможности должно быть меньше. Все цифры должны быть написаны вертикально. Стрелка должна лишь подходить к самой короткой отметке на шкале, но не перекрывать ее, и располагаться как можно ближе к поверхности экрана. Индикаторы должны различаться цветом, размерами, местонахождением или формой.

3. Цветным кодам световых индикаторов должны приписываться следующие значения:

красный: отказ в работе системы или неисправность;

красные вспышки — аварийные условия, несчастный случай с персоналом или повреждение аппаратуры;

янтарный: предельное состояние, приближение опасных условий;

зеленый: характеристики системы не выходят за пределы допусков, команда о продолжении работы;

белый: действие или проверка продолжаются.

4. Вместо обычных индикаторных лампочек желательно использовать табло с надписями или графическими символами.

3.5в. Шильдики. На шильдиках должно быть дано в первую очередь описание функций аппаратуры и, только при крайней необходимости, приводятся ее технические характеристики. Текст должен быть как можно более кратким и доступным для понимания. Он должен быть написан крупными буквами, ориентирован горизонтально, чтобы можно было читать слева направо и ни в коем случае не вертикально. Сокращения должны применяться только в случае крайней необходимости.

Следует применять следующие размеры букв и цифр:

Высота, мм	Расстояние от наблюдателя, мм
2,3	500 или меньше
4,3	500—900
8,6	900—1800
17,3	1800—3600'
28,7	3600—6000

3.5г. Уровни освещенности и шума. Уровни освещенности и шума могут оказывать решающее влияние на работу оператора. Данные по требуемым уровням освещенности приведены в табл. 3.5. Аппаратура, предназначенная для использования в условиях, в которых для обслуживания требуется постоянное присутствие персонала, осуществляющего связь голосом, не должна создавать шум, уровни которого¹ превышают значения, определенные для состояния А (см. таблицу на стр. 111). Аппаратура, предназначенная для регулярной эксплуатации персоналом на оперативных позициях, не должна создавать шум, уровни которого превышают значения, определенные для состояния В. Аппаратура, предназначенная для использования в служебных кабинетах, конференц-залах и т. п., особенно когда пользование телефоном является решающим условием работы, не должна создавать шум, уровни которого превышают значения, определенные для состояния С.

Таблица 3.5

Уровни освещенности

Тип помещений или условия работы	Уровень освещенности, люкс	Тип освещения
Очень трудные и длительные визуальные задания при работе с объектами, обладающими небольшим контрастом; требуется высокое быстродействие и чрезвычайно высокая точность	1100 или больше	Дополнительное освещение; специальная установка, например настольная лампа
Работа с мелкими деталями, хорошая контрастность, необходима тщательная работа, скорость не существенна	600 или больше	Дополнительное освещение
Помещения дежурного персонала, командные пункты, продолжительное чтение, сборка	300 или больше	Местное освещение, потолочное, непосредственно над головой
Коридоры, туалеты, лестничные клетки, случайное чтение, туалет, силовые установки	120 или больше	Общее освещение
Аварийные обстоятельства	60 или больше	Общее или дополнительное освещение

3.5д. Размещение элементов. 1. В тех случаях, когда это возможно, аппаратура должна иметь модульную конструкцию с таким расчетом, чтобы вес снимаемых блоков не превышал 20 кг, и мон-

¹ Измеренные в децибеллах на расстоянии 0,9 м от аппаратуры.

Условия	Уровни шума (дБ) для полос частот (Гц)			
	20-75	75-150	150-300	300-600
A	100	89	82	76
B	79	68	59	52
C	76	64	55	48
Условия	600-1200	1200-2400	2400-4800	4800-10000
A	73	70	68	67
B	48	45	43	42
C	43	40	38	37

тироваться в виде выдвигаемых блоков на катках или направляющих.

2. Все блоки, конструкция которых предусматривает возможность их снятия и замены, должны быть снабжены ручками или другими приспособлениями для их переноса. Эти ручки или приспособления должны быть расположены над центром тяжести блока.

3. Детали должны быть смонтированы в виде упорядоченной решетки на «двумерной» поверхности, а не установлены друг над другом.

4. Большие блоки, снятие которых затруднительно, должны быть смонтированы таким образом, чтобы они не мешали удобному доступу к другим элементам.

5. Блоки не должны размещаться в выемках, сзади или под силовыми элементами и т. д.

6. Конструкция аппаратуры должна соответствовать антропометрическим стандартам, приведенным на фиг. 3.2 и в табл. 3.6.

3.5ж. Требования безопасности.

1. К конструкции предъявляется требование, чтобы элементы, с которыми приходится часто иметь дело, держатели или контрольные точки не размещались близко к выступающим клеммам или движущимся частям.

2. Необходимо обеспечить наличие защитных ограждений или экранов для предотвращения возможности соприкосновения персонала с опасными частями аппаратуры, а также неумышленного включения приборов.

3. Жизненно важные или хрупкие части аппаратуры должны размещаться таким образом, чтобы была исключена возможность схватиться за них руками или стать на них ногами, ходить по ним или переезжать тележками; они не должны также располагаться

Таблица 3.6

Размеры человеческого тела в положениях стоя и сидя, мм

Параметр	Минимальное значение для 90%-ного доверительного интервала	Среднее	Максимальное значение для 90%-ного доверительного интервала
В положении стоя			
А. Зона вертикальной досягаемости руки	1950	2124	2294
В. Рост	1650	1755	1857
С. Высота глаз над полом	1544	1643	1743
Д. Высота плеча	1341	1435	1529
Е. Высота локтя	1031	1105	1179
Ф. Высота запястья	787	851	917
Г. Высота среднего (межфалангового) сустава пальцев	704	762	823
Н. Высота коленной чашечки	467	513	556
І. Высота лодыжки	125	142	173
Ј. Глубина грудной клетки	203	231	264
К. Толщина на уровне таза	193	224	259
Л. Зона передней досягаемости руки	754	820	889
М. Глубина передней досягаемости руки	584		
В положении сидя			
N. Высота в положении сидя	859	912	965
О. Высота глаз	747	800	851
Р. Высота плеча	541	592	638
Q. Высота согнутого локтя	188	231	274
R. Высота бедра	122	142	165
S. Высота колена	511	551	592
T. Длина бедра	556	599	645
U. Высота подколенной ямки	424	432	463
V. Длина предплечья с кистью	447	480	513
W. Длина ноги	1001	1085	1171
X. Расстояние от ягодицы до подколенной ямки	450	480	510
AA. Ширина плеча	491	455	493
Y. Ширина между локтями	386	440	503
Z. Наибольший диаметр бедер	323	356	391
ВВ. Размах рук	1674	1798	1920

вблизи участков, где проводится интенсивная работа по обслуживанию.

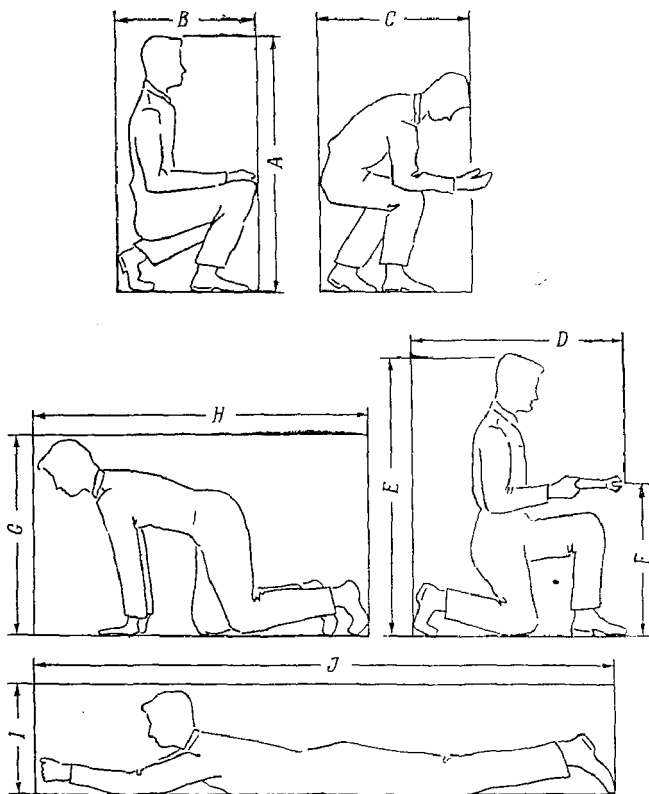
4. Всегда, когда это возможно, в конструкции не должны использоваться хрупкие материалы.

5. Лампы и другие легкоосъемные элементы должны быть закреплены зажимами, защелками, накидными гайками и пр.

6. Должно быть обеспечено достаточно места для выполнения работы в соответствии со стандартами, приведенными на фиг. 3.3 и в табл. 3.7.

3.53. Разъемы и держатели.

1. Для закрепления аппаратуры следует использовать лишь минимальное количество держателей и их типов. Лучше иметь меньше держателей крупных размеров, чем много держателей малых размеров.



Ф и г. 3.3. Размеры проветров.
(Числовые значения приведены в табл. 3.7.)

2. Держатели необходимо размещать таким образом, чтобы их можно было снимать, не удаляя другие элементы аппаратуры.

3. Разъемы должны находиться на достаточном расстоянии друг от друга с тем, чтобы можно было крепко взяться за них при сочленении и разъединении (20 мм при обнаженных пальцах и 30 мм при обнаженных руках или пальцах в перчатках).

4. Должна быть предусмотрена невозможность ложного соединения разъемов путем применения:

- а) разъемов различных размеров или типов, если используются похожие смежные кабели;
 б) кабелей различных размеров;
 в) специальных направляющих штырьков и замков;
 г) вилок и штепсельных розеток различных размеров.

Таблица 3.7

Размеры просветов, мм

Размер	Максимальный	Оптимальный	В арктических условиях
Рабочее пространство при сидении на корточках			
А. Высота	1220		1300
В. Ширина	685	915	1020
Оптимальный размер при наблюдении за индикатором		685—1090	
Оптимальный размер при контрольных операциях		480—860	
Рабочее пространство при нагибании			
С. Ширина	915	1020	1120
Оптимальный размер при наблюдении за индикатором		890—1220	
Оптимальный размер при контрольных операциях		610—990	
Рабочее пространство при стоянии на колене			
Д. Ширина	1070	1220	1270
Е. Высота	1420		1500
Ф. Высота рабочей точки		685	
Оптимальный размер при наблюдении за индикатором		710—1120	
Оптимальный размер при контрольных операциях		510—890	
Рабочее пространство в положении ползания на коленях			
Г. Высота	790	915	965
Н. Длина	1500		1580
Рабочее пространство в распростертом положении			
I. Высота	430	510	610
J. Длина	2440		

3.5и. Доступ к элементам.

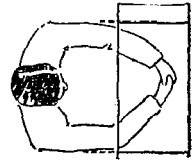
1. По возможности аппаратура должна быть открыта для обслуживания; основные блоки и узлы должны быть снабжены съемными корпусами. Следует обеспечить доступ, исключаящий необ-

Размеры, необходимые для доступа к аппаратуре

Минимальные размеры отверстий для доступа двумя руками

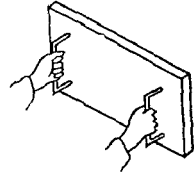
Проникновение двумя руками на глубину от 150 до 635 мм:

легкая одежда	130 мм по высоте и 200 мм по ширине или $\frac{3}{4}$ глубины проникновения*
арктическая одежда	180 мм по высоте и 150 мм по ширине плюс $\frac{3}{4}$ глубины проникновения
Проникновение на всю длину руки (до плеч) двумя руками	Ширина 500 мм Высота 100 мм



Вставление ящика, взятого за две ручки спереди

Зазор 10 мм вокруг ящика при достаточных зазорах у ручек



Вставление ящика, взятого руками с боков:

легкая одежда

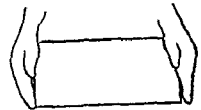
Ширина — ширина ящика плюс 120 мм

Высота — 130 мм или 10 мм вокруг ящика*

арктическая одежда

Ширина — ширина ящика плюс 180 мм

Высота — 220 мм или 40 мм вокруг ящика*



Примечание. Если руки охватывают и низ ящика, то необходимо добавить 40 мм по высоте при легкой одежде и 75 мм при арктической одежде.

Минимальные размеры отверстий для доступа одной рукой: ширина на высоту

Пустая рука до запястья:	95 мм, диаметр или сторона квадрата
голая рука, согнутая	
голая рука, выпрямленная в перчатке или рукавице	57×100 мм или диаметр 100 мм
в арктической рукавице	100×150 мм или диаметр 150 мм
	125×165 мм или диаметр 165 мм



Рука, сжатая в кулак, до запястья:

голая рука	90×130 мм или диаметр 130 мм
в перчатке или рукавице	115×150 мм или диаметр 150 мм
в арктической рукавице	180×220 мм или диаметр 220 мм



* Смотря по тому, что больше.

Рука, держащая предмет диаметром 50 мм, до запястья:

голая рука

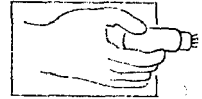
100 мм, диаметр или сторона квадрата

в перчатке или рукавице

150 мм, диаметр или сторона квадрата

в арктической рукавице

180 мм, диаметр или сторона квадрата



Рука, держащая предмет диаметром свыше 25 мм, до запястья:

голая рука

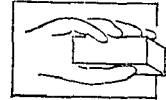
Зазор 45 мм вокруг предмета

в перчатке или рукавице

Зазор 65 мм вокруг предмета

в арктической рукавице

Зазор 99 мм вокруг предмета



Рука до локтя:

легкая одежда

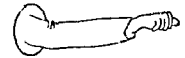
100×114 мм или диаметр 114 мм

арктическая одежда

180 мм, диаметр или сторона квадрата

с предметом

Зазоры указаны выше



Рука до плеча:

легкая одежда

130 мм, диаметр или сторона квадрата

арктическая одежда

220 мм, диаметр или сторона квадрата

с предметом

Зазоры указаны выше.



Доступ пальцем до первого сустава

Доступ к кнопке:

голая рука

Диаметр 32 мм

рука в перчатке

Диаметр 38 мм



Доступ двумя согнутыми пальцами:

голая рука

Диаметр 50 мм

рука в перчатке

Диаметр 63 мм



Вставление электронной лампы (лампа берется рукой, как показано справа):

миниатюрная лампа

Диаметр 50 мм

крупногабаритная лампа

Диаметр 100 мм



ходимость в снятии одних элементов для подхода к другим. Пространство для доступа должно быть предусмотрено на тех же панелях аппаратуры, на которых расположены соответствующие органы управления и индикаторы, и дальше от потенциально опасных мест. Нижний край ограниченного пространства доступа должен от-

стоять не меньше чем на 610 мм, а верхний край — не выше чем на 1520 мм от пола или рабочей платформы (см. табл. 3.8).

2. Компоновка и монтаж элементов внутри аппаратуры должны отвечать следующим требованиям:

а) должны быть обеспечены соответствующий доступ и пространство вокруг держателей, если их необходимо закрывать гаечным ключом;

б) элементы, которые нуждаются в обслуживании и ремонте на месте, должны находиться по высоте в пределах, соответствующих расстоянию между бедром и плечом;

в) все крупные, тяжелые или неудобные в обращении блоки должны располагаться, когда это практически возможно, таким образом, чтобы их можно было выкатывать или выталкивать (путем монтажа на скользящих направляющих, шарикоподшипниках и т. д.), а не поднимать;

г) блоки, требующие более частого обслуживания, должны быть наиболее доступными;

д) неэкранированные электронные лампы должны отстоять друг от друга на расстоянии, соответствующем 1,5 диаметра лампы;

е) резисторы и места пайки должны отстоять друг от друга на расстоянии не менее 5 мм;

ж) паяные соединения, клеммы, реле и т. п. должны отстоять друг от друга на расстоянии не менее 6,4 мм;

з) расстояние между вставными элементами должно быть равно длине, соответствующей наиболее длинной вставке, плюс 12,7 мм.

3.6. ИНЖЕНЕРНАЯ ПСИХОЛОГИЯ И ПРОИЗВОДСТВО

Инженер по надежности должен интересоваться ролью психофизиологических факторов в производстве, поскольку

1) приблизительно от 20 до 50% или даже больше всех отказов аппаратуры происходят по вине человека;

2) от 50 до 80% всех отказов, происходящих по вине человека, появляются в результате плохой организации производства на заводах и монтажно-наладочных работ в полевых условиях.

Отказы аппаратуры, появляющиеся в результате плохой организации, заметно ухудшают надежность системы: высокая надежность, достигнутая благодаря совершенствованию конструкции, может быть сведена к нулю из-за некачественного изготовления этой конструкции (см. гл. 4 данного тома). К снижению надежности могут приводить следующие факторы:

1. Не соответствующее назначению рабочее место и плохой порядок на нем.

2. Плохое освещение, высокая температура и высокий уровень шума.

3. Некачественная конструкция приспособлений, ручных инструментов и контрольно-измерительной аппаратуры с точки зрения инженерной психологии.

4. Грубое обращение при транспортировке, хранении или контроле оборудования.

5. Неправильная организация и планирование работы и нечеткая передача информации о полученных результатах.

6. Плохие рабочие инструкции и чертежи или их отсутствие.

7. Недостаточное или плохое руководство.

8. Плохой подбор и подготовка работников или отсутствие заинтересованности в работе.

Все эти факторы способствуют совершению ошибок. Иначе говоря, вероятность появления ошибок увеличивается с ростом неудовлетворительных характеристик процесса производства системы. Так, например, если рабочий производит сборку неправильно из-за того, что информация, обеспечиваемая чертежом, не отвечает современным требованиям или выражена неясно, то вина кроется в системе, не обеспечивающей правильной, современной и ясной информацией.

Типичные для производственных рабочих виды ошибок, вероятно, известны всем инженерам по надежности. Эти ошибки можно свести к двум основным типам.

1. Отклонения от схемной, конструкторской или технологической документации при изготовлении и сборке: использование некачественных, неподходящих материалов или деталей, неправильный монтаж схем, некачественная пайка или сварка, применение недопустимых усилий при соединениях деталей, повреждение деталей инструментом (образование вмятин, царапин и т. п.), разрезка материалов по неправильным размерам.

2. Игнорирование требований по проверке аппаратуры, что приводит к браковке удовлетворительно работающей аппаратуры или к приемке неудовлетворительно работающей аппаратуры.

Ошибки второго типа являются одной из основных причин попадания в руки потребителей дефектной аппаратуры. Согласно произведенной оценке, причиной 25% всех отказов аппаратуры по вине человека в пяти управляемых снарядах явились производственные ошибки; поэтому эта аппаратура должна подвергаться окончательной приемочной проверке.

Если предпосылка о том, что ошибки по вине человека в значительной степени обусловлены дефектами системы производства, правильна, то реально неэффективно пытаться исправить эти ошибки (после их свершения). Затраты времени на выявление таких ошибок или причин отказа путем введения контроля вплоть до первоначального источника (например, в одной системе эти затраты составляют приблизительно восемь часов на отказ) являются недопустимыми даже в том случае, когда количество отка-

зов не слишком велико. Стандартные методы проведения корректировочных действий на заводе часто направлены на исправление сделанных ошибок и полностью игнорируют мероприятия по предотвращению их появления. Инженер по надежности может добиться гораздо большего успеха путем систематической оценки характеристик производственного процесса с целью определения слабых мест. Ниже описан ряд методов, которые могут оказаться полезными.

3.6а. Анализ отчетов. Проводится систематический анализ всех отчетов, составленных по отказавшим и переделанным на заводе изделиям с целью определения доли их в процентах, обусловленной ошибками человека, и выявления характерных типов ошибок. К сожалению, в связи с запаздыванием во времени между появлением отказа или забракованием изделия и получением отчета инженером по надежности, а также в связи с тем, что в отчете, как правило, не указывается отдел или цех завода и конкретное лицо, ответственное за возникновение отказа, отчеты по отказам в лучшем случае представляют информационный интерес. Другая трудность заключается в том, что работники, составляющие отчеты по отказам, неохотно возлагают ответственность за отказ на самих себя или других лиц, предпочитая вместо этого объяснить отказ функциональной причиной. В то же время описание отказа обычно носит неопределенный и неточный характер.

3.6б. Наблюдение за производственным процессом. Наблюдение за производственным процессом заключается в слежении за выполнением производственных операций в процессе изготовления изделия, сборки и проверки. При этом инженер по надежности делает свои выводы относительно различных характеристик наблюдаемого производственного процесса. Эти характеристики, к которым относятся окружающие условия, характеристики персонала, методы работы, материально-техническое снабжение, конструкция аппаратуры, информационные каналы, связанные с работой, и качество руководства, могут быть исследованы с помощью опросных контрольных листов, заполняемых инженером. Наблюдение за изделием по мере продвижения его через отдельные стадии производственного процесса гарантирует рассмотрение каждого важного аспекта этого процесса, а также обеспечивает соответствующую информацию, по которой можно сделать обоснованные выводы.

После накопления информации с помощью контрольных листов и ее анализа необходимо представить на рассмотрение руководства производством рекомендации. Должны быть предприняты усилия, чтобы руководство приняло меры по устранению недостатков, замеченных в процессе производства. По истечении 30—60 дней необходимо повторить процедуру в том же отделе или цехе, чтобы убедиться в изменении положения в результате реализации предложенных рекомендаций.

3.6в. Обучение, направленное на улучшение качества изделия. Наблюдение за производственным процессом должно быть, очевидно, дополнено опросом отдельных рабочих. Однако на проведение индивидуальных бесед приходится затрачивать слишком много времени. Более эффективный метод заключается в обучении, связанном с улучшением качества изделия. Этот метод сочетает обучение с групповыми беседами, преследующими цель сбора данных.

Курс обучения, связанный с улучшением качества изделия, рассчитан на 4 часа, по 1 часу в день; курс предназначен специально для производственного персонала отделов и цехов. Каждая группа насчитывает не более 25 рабочих при желательном среднем составе в 15 рабочих. Началу занятий предшествует десятидневная проверка ошибок, допущенных в данном цехе или отделении. Необходимую информацию можно получить из отчетов по приемо-сдаточным испытаниям и переделкам, а также путем анализа случаев брака и ошибок производственного персонала, обнаруженных при проведении проверки. Эти данные используются при оценке эффективности обучения. Через 30 дней после окончания курса обучения проводится сравнительная проверка производственных ошибок и брака. Разница между количеством и характером ошибок до и после обучения дает меру эффективности обучения.

В процессе обучения поощряются свободные высказывания и обсуждения. Устанавливаются демократические порядки, при которых насколько это возможно устраняются любые проявления традиционных взаимоотношений между педагогом и студентами. На первых занятиях разъясняется вся система прохождения обучения. Поощряются выступления слушателей о проблемах, с которыми они столкнулись, и условиях, которые, по их мнению, мешают эффективности производства. В качестве материала для стимулирования дискуссии используются ошибки, обнаруженные в результате десятидневной проверки, однако при проведении дискуссии ни к кому не предъявляются какие-либо обвинения. На занятиях слушатели выносят на обсуждение свои собственные проблемы. Они фиксируются специально выделенным лицом, и слушателям дается обещание исследовать каждую проблему по существу. Анонимность информирующих лиц сохраняется полностью.

Для обеспечения доброжелательного отношения к проведению обучения со стороны руководителей производства последним также разъясняется вся система обучения. Им не разрешается посещать первые три занятия, но они приглашаются посетить последнее занятие с тем, чтобы они могли высказать свою готовность поддержать программу обучения персонала и проанализировать проблемы, требующие решения.

Почти во всех цехах и производственных отделах, в которых проводилось обучение, уменьшение ошибок благодаря обучению оказалось чрезвычайно большим, достигая 60%. Однако эффект

оказался относительно кратковременным; курс обучения должен повторяться предпочтительно через трехмесячные интервалы времени. Значение описанной выше системы обучения, направленной на улучшение качества изделий путем уменьшения производственных ошибок, заключается не только в повышении квалификации работников, но и в выявлении производственных проблем, которые при других обстоятельствах остались бы скрытыми. К этим проблемам привлекается внимание руководства, и они подвергаются дальнейшему исследованию.

3.7. РОЛЬ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Хотя исследование психофизиологических факторов не включается в типовую программу проведения испытаний на воздействие окружающих условий и долговечность, тем не менее эти факторы однозначно учитываются при проверке работоспособности аппаратуры в полевых условиях.

При правильном проведении полевых испытаний приходится иметь дело со всей системой в целом, а это автоматически влечет за собой рассмотрение психофизиологических факторов.

При испытаниях аппаратуры в полевых условиях, как правило, впервые удастся исследовать систему в целом и благодаря этому показать, что психофизиологические факторы, влияющие на характеристики аппаратуры, правильно или неправильно проанализированы и учтены в конструкции в процессе разработки.

Нет необходимости для полевых испытаний разрабатывать специальную программу с целью исследования психофизиологических факторов. Если в программу технической оценки включены испытания всех элементов системы в условиях, близких к условиям оперативного использования ее, то для исследования психофизиологических факторов необходимо лишь обеспечить возможность специалисту проводить наблюдения и регистрацию результатов испытаний. В процессе проведения испытаний специалист в области инженерной психологии выполняет следующие наиболее важные операции:

1. Измерение шума и уровней освещенности на различных участках работы вспомогательных испытательных средств и оценка их пригодности для использования оператором. Как оказалось, во многих случаях не была обеспечена достаточная освещенность и не были установлены глушители шума.

2. Оценка пригодности аппаратуры, установленной на испытательной площадке, с точки зрения принципов инженерной психологии, рассмотренных выше. Раньше такая оценка проводилась по чертежам. Теперь появилась возможность исследовать аппаратуру «в металле». Целью этой оценки является определение факти-

ческой пригодности аппаратуры для эксплуатации оператором. В случае непригодности необходимо определить, какие следует провести модификации для ее улучшения. Эта работа требует систематического исследования аппаратуры специалистом по инженерной психологии с помощью стандартного контрольного листа, применяемого для изучения психофизиологических факторов.

3. Аналогичная оценка состояния контрольно-измерительной и испытательной аппаратуры, в частности оценка доступа к аппаратуре и факторов безопасности.

4. Периодические анализы и опросы с целью выявления потенциальных проблем, которые могут возникнуть у потребителя. Проводится опрос работников, занятых проведением испытаний, с целью определения их отношения к характеристикам используемой ими аппаратуры с точки зрения учета инженерно-психофизиологических факторов.

5. Наблюдение за основными операциями в ходе испытаний с целью определения причин ошибок и задержек в работе вследствие несовершенства конструкции и методов выполнения операций, непригодности технических данных или недостаточной подготовки персонала.

6. Исследование повторяющихся ошибок оператора и проблем, связанных с отказами по вине человека во время проведения испытаний. Такого рода исследования аналогичны описанным выше периодическим осмотрам, но они направлены на решение специфических проблем.

7. Оценка надежности работы оператора путем наблюдения за испытаниями и фиксирования количества ошибок операторов при проведении этих испытаний.

Внимание инженера, работающего в области инженерной психологии, который принимает участие в испытаниях работоспособности системы в полевых условиях, должно быть обращено на проблемные вопросы. Иначе говоря, ему должно быть дано задание определить, на каких участках существуют проблемы, связанные с психофизиологическими факторами, и дать рекомендации по их решению. В этом отношении его действия аналогичны действиям инженера по надежности, интересующегося вопросами механического и электрического функционирования подлежащей испытаниям аппаратуры.

3.8. ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЧЕЛОВЕКА

Надежность работы человека определяется как вероятность того, что работа или поставленная задача будет выполнена успешно персоналом на любой заданной стадии работы системы в течение заданного минимального времени (при условии наличия требова-

ния относительно времени). Следует обратить внимание на сходство данного определения с обычным определением надежности аппаратуры. Однако понятие успешного выполнения работы не совпадает с понятием безошибочной работы. Это скорее работа без ошибок, оказывающих значительное влияние на правильное выполнение поставленной задачи.

Выше был затронут вопрос о необходимости оценки и прогнозирования надежности работы человека инженером по надежности. Количественная оценка надежности работы человека требуется в том случае, когда необходимо включить надежность работы человека в программу оценки надежности аппаратуры с целью обеспечения получения правильной картины общей надежности системы. При попытках предсказать и оценить надежность работы человека желательно определить следующее:

1. При анализе процессов желательно знать вероятные ошибки человека, которые могут быть совершены при выполнении каждой одиночной операции, входящей в процесс. Так, например, пусть операция заключается в фокусировке сканирующего устройства. Следует определить наиболее вероятные основные ошибки, которые могут быть совершены при выполнении данной операции. Если эти данные известны, то можно предусмотреть в конструкции аппаратуры или в процессах средства, обеспечивающие компенсацию этих возможных ошибок (при условии, что это выполнимо с экономической точки зрения).

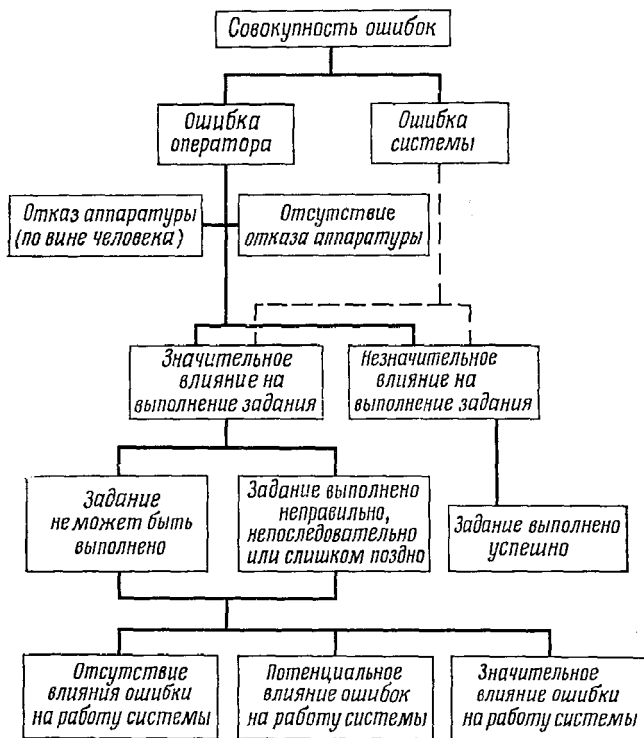
2. Желательно предсказать наиболее значительные и наиболее частые ошибки, которые могут появиться при эксплуатации и обслуживании данной аппаратуры, подсистемы и системы.

3. Желательно также определить ожидаемую частоту отказов по вине человека для аппаратуры, подсистемы и системы. Это поможет уточнить явления, на которых следует сосредоточить наибольшее внимание.

4. Не каждая ошибка фактически влияет на работу системы; многие ошибки носят обратимый характер, если к ним приковано внимание оператора. Поэтому необходимо предсказать не только вероятность того, что ошибки будут сделаны, но также какие ошибки окажут значительное влияние на работу системы, и вероятность того, что работа, несмотря на ошибки, будет выполнена оператором успешно.

Инженер по надежности, несомненно, будет стремиться к тому, чтобы при прогнозировании надежности и ее оценке учитывалось влияние работы человека, так как любое измерение характеристик работы аппаратуры должно включать оценки характеристик оператора. Однако при обычных оценках надежности через величины среднего времени наработки на отказ часто умышленно исключаются отказы по вине человека. Более того, даже в том случае, когда эти оценки включают данные об ошибках по вине человека, все

особенности влияния ошибки человека на систему не учитываются. Многие ошибки, совершенные по вине человека, не влияют на функционирование аппаратуры, но влияют на выполнение поставленной задачи.



Фиг. 3.4. Классификация ошибок: тип ошибки и ее влияние.

Как видно из фиг. 3.4, все ошибки, совершенные человеком, не являются равноценными, так же как все отказы аппаратуры не одинаковы с точки зрения их влияния на систему. Различные ошибки могут иметь разные источники. В некоторых случаях ошибки происходят по вине оператора, в других случаях они являются следствием некачественной разработки системы и плохих условий эксплуатации. Ошибки первого типа, которые называются ошибками оператора, имеют место при

- 1) невыполнении части поставленной задачи или какой-либо из операций процесса;
- 2) непрерывном выполнении задачи или какой-либо из операций процесса;
- 3) выполнении задачи или какой-либо из операций процесса в неправильной последовательности;

4) выполнении ненужной задачи или какой-либо операции процесса.

При накоплении в системе ошибок от двух источников общую ошибку системы человек — машина можно значительно уменьшить путем снижения величины большей ошибки, так как снижение величины меньшей ошибки оказывает незначительное влияние на общую ошибку системы. Следует учитывать тот факт, что в оперативной ситуации существует тенденция увеличения ошибки, источником которой является человек. Поэтому значительного уменьшения ошибки можно добиться путем введения конструктивных изменений в систему, обеспечивающих уменьшение именно этого вида ошибок.

Ошибки системы обуславливаются следующими причинами:

1. Элементы системы (персонал, аппаратура, методы, технические данные, материально-техническое обеспечение и связь) непригодны или не обладают требуемыми характеристиками.

2. Некачественные методы организации.

Ошибок в системе можно, например, ожидать, когда оператор выполняет задачу неправильно в связи с получением им неправильных методических указаний. Дефект в этом случае относится к системе. Среди ошибок оператора необходимо также различать ошибки, влияющие на функционирование аппаратуры (отказы по вине человека), и ошибки, не оказывающие такого влияния (отказы не по вине человека). Ошибки, влекущие за собой отказы по вине человека, являются необратимыми, так как аппаратура, оказавшаяся неисправной или характеристики которой вышли за пределы допусков, как правило, не может самовосстановиться. Ошибки же, которые не приводят к отказу аппаратуры, часто могут иметь обратимый характер.

Совокупность ошибок должна быть также дифференцирована по степени влияния на выполнение задания всей системой. Одни ошибки вызывают в результате невыполнение поставленной задачи (оказывают значительное влияние на выполнение задачи), другие же ошибки не приводят к такому результату. При некоторых ошибках появляется риск, что может произойти отказ системы, тогда как ошибки другого рода просто вызывают задержку в выполнении задачи.

Даже при большом влиянии ошибки на выполнение задачи отдельным элементом системы влияние этой ошибки на работу всей системы может оказаться незначительным или быть потенциальным (увеличение риска отказа системы). Это объясняется тем, что влияние элементов на выполнение всей задачи постепенно «затухает» при переходе к более крупным участкам системы. Это связано с тем, что последующие операции в процессе выполнения общей задачи часто компенсируют влияние отдельных элементов.

Поэтому нельзя однозначно отождествлять ошибку человека с надежностью работы человека, так как необходимо знать степень

влияния этой ошибки, прежде чем определить связь ее с надежностью работы. Аналогичная проблема возникает при определении того, насколько «благоприятны» для совершения ошибок условия выполнения данной задачи. Характер ошибки и ее влияние зависят от трудности выполнения задачи и степени напряженности оператора, с которой приходится выполнять эту задачу.

Несмотря на привычки следовать «здравому смыслу», когда внимание сосредоточивается в первую очередь на том, чтобы не сделать видимых ошибок, а не на том, чтобы объективно правильно реагировать на сигналы, деятельность человека при четкой проработке задачи является в высокой степени надежной. Это справедливо по крайней мере для простых задач.

Как показали опыты, оператор, имеющий среднюю подготовку по набивке перфокарт, делает не более четырех ошибок на каждые 1000 кодовых строк; квалифицированные операторы вычислительных машин для банковских операций после года обучения обрабатывают 5000 строк без единой ошибки. Для простых или элементарных задач при очень небольшой подготовке частота ошибок меньше чем 10^{-2} . После года обучения эта цифра снижается до 10^{-3} .

Относительно малой является также частота ошибок для категории отказов по вине человека, в основе которых лежат ошибки, связанные с плохой организацией производства. Ниже приведены выборочные оценки частот ошибок различного типа, полученные на основе исследования 23 000 производственных дефектов [20].

<i>Ошибка</i>	<i>Частота ошибки</i>
Нарушение порядка размещения проводников	0,0006
Не установлен элемент	0,00003
Неправильное подсоединение элементов	0,001
Использование другого элемента вместо требуемого	0,0002
Перегрев элемента при пайке	0,001
Излишний припой	0,0005
Отсутствует пайка	0,00005
Использование элемента с неправильными номинальными значениями параметров	0,0002
Оставление проводника незакрепленным	0,00003
Разбрызгивание припоя	0,001
Недостаточность припоя	0,002
Некачественная пайка	0,07

Ошибки случаются часто, но разнообразие их в каждом производственном процессе обычно мало. Например, при производстве сложного радиовзрывателя выявлено меньше 30 типов ошибок, совершенных человеком, причем только 8 из них заметно повлияли на появление отказов.

Инженеры по надежности чаще всего проявляют интерес к анализу отказов, вызванных ошибками человека. Эти отказы классифицируются по их источникам следующим образом:

1. Конструкторская ошибка, связанная с психофизиологическими факторами. Аппаратура сконструирована таким образом, что вызвала появление ошибки оператора, что в свою очередь привело к отказу аппаратуры. Пример: требование чрезмерно точной ручной регулировки приводит к практической невозможности удерживать характеристики аппаратуры в пределах заданных допусков.

2. Ошибка изготовления. Упущение при изготовлении аппаратуры, что является причиной несоответствия ее параметров указанным в чертежах или технических инструкциях. Примеры: использование другого материала вместо нужного, неправильное соединение элементов в схеме, некачественная пайка.

3. Ошибка контроля. Приемка аппаратуры с характеристиками, вышедшими за пределы допусков, или браковка аппаратуры с характеристиками, находящимися в пределах допусков.

4. Ошибки при установке и обслуживании. Упущение при установке или ремонте аппаратуры, обусловившее несоответствие ее параметров с указанными в чертежах или технических инструкциях. Примеры: неверное соединение проводов или неправильное подключение к клеммам.

5. Эксплуатационная ошибка. Отклонения от методики эксплуатации, принятой в качестве обязательной. Примеры: исключение требуемых операций, добавление ненужных операций, выполнение операций не в установленном порядке.

6. Неправильное обращение. Нарушение требований при транспортировке, хранении или обращении с аппаратурой. Примеры: небрежная транспортировка, удары хрупкой аппаратуры.

В этот перечень не включены обычные конструктивные недостатки, несмотря на то, что их источником являются ошибки конструктора, за исключением тех случаев, когда они имеют своим следствием отказы по вине оператора. При включении в этот перечень обычных конструктивных недостатков пришлось бы считать причиной почти всех отказов недоброкачественную работу человека.

Целью анализа отказов по вине человека является определение и устранение причин, приводящих к ошибкам, обуславливающим появление отказов. Однако глубокое исследование каждого отказа обычно требует чрезвычайно больших затрат времени. Поэтому, если количество исследуемых отказов не является весьма малым, при проведении анализа отказов по вине человека необходимо прежде всего исследовать наиболее частые отказы. При этом следует использовать данные о проценте отказов по вине человека, относящихся на конкретную подсистему или аппаратуру, цех, отдел или участок. Если же такие данные отсутствуют, необходимо воспользоваться показателями, определяющими интенсивность различных

типов отказов (см. приведенный выше перечень). Трудности в получении точных данных об отказах по вине человека часто возрастают из-за стремления скрыть соответствующие данные, описать отказы в чрезвычайно сжатой форме и нежелания указывать в качестве источника отказа некачественную работу человека.

Анализ отказов, происходящих по вине человека, находится на уровне первых ориентировочных исследований. Поэтому с его помощью можно лишь выявить участок работы или тип отказа, с которыми связана проблема. Корректировочные действия, направленные на уменьшение отказов по вине человека, должны базироваться на систематических исследованиях операций, выполняемых на данном участке, и условий, способствующих появлению ошибок. Ввиду того что источником наибольшей части отказов по вине человека является производство аппаратуры, необходимо использовать методы исследования, описанные в разд. 3.6.

Один из способов определения влияния отказов по вине человека на надежность системы заключается в получении двух показателей надежности системы — одного, учитывающего все отказы (в том числе отказы, вызванные ошибками в работе человека), и другого, не учитывающего отказы по вине человека. Сравнение этих показателей дает степень ухудшения надежности за счет отказов по вине человека.

Отказы по вине человека происходят главным образом на ранней стадии испытаний, связанных с разработкой. Они достигают здесь максимума, а затем уменьшаются по мере продолжения работы. По окончании испытаний, связанных с разработкой, частота появления дефектов по вине человека должна уменьшиться до приемлемого значения и ошибки должны носить случайный характер.

Следует, конечно, определить, что следует понимать под приемлемой частотой ошибок. Существует мнение, что, после того как некоторые связанные с разработкой факторы, обуславливающие появление ошибок человека, эффективно устраняются путем переделки конструкции и уточнения инструкций, что подтверждается испытаниями, отказы по вине человека появляются в результате случайных ошибочных действий оператора, например из-за небрежности. Это согласуется с нашим опытом лишь частично.

Так, например, для одной системы оружия были сделаны оценки частоты ошибок по вине человека через последовательные интервалы времени, начиная от этапа разработки и кончая этапом эксплуатации. Эти оценки показали поразительную стабильность результатов. По данным наблюдений за период ~5 лет наблюдалось примерно 35 000 отказов, причем количество отказов по вине человека составило от 20 до 30%.

Колебания процента отказов по вине человека объясняются специфическими причинами. Если данные по отказам взять только из производственной области, то отказы по вине человека могут со-

ставить примерно 70—80%. Если же анализировать данные, собранные только на испытательных участках, то эта величина может упасть до 10%. Процент отказов по вине человека увеличивается при установке и монтаже большого количества аппаратуры; там же, где деятельность выражается только в проведении текущих проверок и периодического обслуживания, процент отказов по вине человека уменьшается. Процентное значение изменяется в зависимости от количества работающей аппаратуры и типа проводимых испытаний. Не считая таких систематических колебаний, изменения в доле отказов по вине человека от месяца к месяцу являются незначительными, если только существенно не меняется какой-либо фактор, влияющий на всю обстановку.

Процент ошибок редко носит случайный характер, так как он обычно связан с непосредственной рабочей обстановкой. Так, например, в рассмотренной системе ошибки изготовления, контроля и неправильного обращения в значительной части были совершены на заводе (что и следовало ожидать), а ошибки, связанные с неправильной установкой, — на испытательном участке. Ошибки из-за неправильного обращения были сделаны в обоих случаях. Ошибки изготовления не были совершены в процессе испытаний, ошибки оператора редко наблюдались на заводе. Тип и причина ошибки зависят от условий, при которых она совершается.

Уместно сделать небольшое предостережение. При классификации данных по отказам различными исследователями, проводящими анализ одних и тех же материалов, могут иметь место значительные колебания в величине процента отказов по вине человека при отсутствии общего принципа дифференциации отказов по вине человека. Для получения наиболее достоверных результатов анализа необходимо, чтобы квалифицированные исследователи просматривали каждый отчет по отказам независимо друг от друга и относили данные либо к категории отказов по вине человека, либо к категории других отказов. После сравнения результатов анализа все данные по отказам, по которым исследователи не пришли к согласию, нужно либо не относить к категории отказов по вине человека, либо подвергнуть дальнейшему исследованию. Полученная этим методом информация о доле отказов по вине человека будет обладать большей достоверностью.

Различные отказы по вине человека оказывают разное влияние на работу системы. Против использования данных об отказах по вине человека при оценках надежности можно возразить на том основании, что маловероятно повторение уже совершенной ошибки; поэтому оценки надежности, основанные на таких данных, не могут быть использованы для целей прогнозирования. Эти рассуждения, по-видимому, основаны на предположении, что, в то время как блоки аппаратуры подобны между собой (за исключением колебаний, обусловленных различиями в контроле качества) и, следова-

тельно, отказ данного типа может быть вызван одним и тем же функциональным процессом, состав, квалификация и поступки персонала сильно меняются. Разумно ли при таких обстоятельствах предполагать, что ошибки будут повторяться? В действительности имеется тенденция повторения ошибок данного типа лишь в том случае, если обуславливающие их факторы не устранены.

Существуют ошибки двух типов, которые должны учитываться при анализе качества работы системы. К ошибкам первого типа относятся критические по своим последствиям ошибки, вызывающие *катастрофический* отказ системы. Примерами ошибок этого типа могут служить неправильное соединение двух кабелей из-за ошибки при выборе штепсельных разъемов, вызывающее выход из строя генератора, или ошибочное включение переключателя в кабине пилота, вызывающее пожар реактивного двигателя, что приводит к аварии самолета. Катастрофические ошибки указывают на наличие конструктивных недостатков в системе; если их не устранить, то неблагоприятная ситуация может повториться.

К ошибкам другого типа относятся ошибки, не вызывающие катастрофических последствий; подобные ошибки могут вызвать отказ только при напряженных рабочих условиях. Сюда можно отнести, например, слабое паяное или сварочное соединение или применение не полностью соответствующего требованиям материала, что при некоторых условиях может вызвать выход характеристик за пределы допусков. Необходимо предотвратить такие ошибки, которые остаются незамеченными в процессе контроля, но могут оказывать в некоторых ситуациях заметное влияние на работу системы. Этим объясняется повышенный интерес к вопросам повышения квалификации и эффективности системы контроля.

Катастрофические отказы по вине человека случаются редко; значительно чаще имеют место отказы, вызванные недостатками производства. Статистические данные об этих дефектах важны не как источник информации об отказе, имеющем индивидуальную основу, так как по обнаруженным отказам, очевидно, уже были приняты меры. Их важное значение состоит в том, что обнаружение большого количества подобных дефектов позволяет оценить реальную ситуацию и предсказать ожидаемое количество ошибок и дефектов данного типа. Статистические данные характеризуют общий уровень производства и общую атмосферу работы.

Надежность работы человека можно выразить через вероятность появления ошибок оператора в последующих событиях или испытаниях. Метод, с помощью которого производится эта оценка, аналогичен методу оценки надежности аппаратуры. Вероятностная оценка качества работы оператора определяется отношением r/n , где r — число успешно выполненных заданий, а n — общее число испытаний. Однако это отношение представляет собой лишь оценку, основанную на имеющихся конкретных данных, и не может

рассматриваться как фактическая вероятность P_T . Чтобы получить доверительный интервал для P_T , используя результаты экспериментальной оценки отношения r/n , можно воспользоваться уравнением

$$\sum_{i=r}^n \binom{n}{i} p^i q^{n-i} = 1 - \alpha, \quad (3.2)$$

где α — достоверность того, что истинная вероятность P_T лежит в интервале от p до 1;

p — нижняя граница P_T (истинной, но неизвестной надежности):

$$q = 1 - p.$$

Более подробно используемые статистические методы изложены в гл. 4, т. I, и в книге [23]. На основе данного уравнения составлена табл. 3.9 для различных сочетаний r и n ; таблица позволяет просто определить значения нижних границ вероятностей.

Пример 3.2

Если число испытаний $n=15$ и число успешных исходов $r=10$, то

$$p = \frac{1^{\frac{1}{5}}}{1.5} = \frac{2}{3} = 0,67$$

и $p=0,524$ при коэффициенте доверия 80%. В интервале от 0,524 до 1,00 содержится истинная, но неизвестная вероятность с коэффициентом доверия 80%.

Разработана также математическая модель для количественного определения ошибок, весьма близкая модели, используемой при анализе надежности. Эта модель описывается математическим выражением следующего вида:

$$Q_i = 1 - (1 - F_i P_i)^{n_i}, \quad (3.3)$$

где P_i — вероятность того, что операция будет выполнена таким образом, что будет совершена ошибка i ; F_i — вероятность того, что при совершении ошибки i произойдет отказ; n_i — число аналогичных операций, при которых может быть совершена ошибка i ; Q_i — вероятность появления отказа в результате совершения ошибки i . Если появление отказа обуславливается сочетанием двух ошибок, то

$$P_i = P_1 P_2, \quad (3.4)$$

где P_1 и P_2 — соответствующие вероятности совершения этих ошибок.

Общая вероятность появления отказа определяется выражением

$$Q_T = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - Q_k), \quad (3.5)$$

где Q_T — вероятность того, что в результате совершенных человеком одной или большего числа ошибок, относящихся по крайней мере

к одному из n классов ошибок, возникнут условия для появления отказа.

Следует заметить, что виды отказов, для которых наиболее близко подходит данная модель, обуславливаются ошибками, определяемыми в контрольных отчетах по отказам аппаратуры как «непропаивное соединение» или «плохая сварка»; другими словами, это отказы, обусловленные ошибками, совершенными в процессе повторяющихся ручных производственных работ. Для применения модели необходимо иметь оценки P_i для различных видов ошибок и оценки F_i для разных видов изделий.

Прогнозированию надежности работы человека до сих пор препятствовало отсутствие достаточного количества достоверных данных о частоте ошибок, совершаемых человеком. Во многих описаниях методов прогнозирования надежности работы человека предполагается, что имеются необходимые данные по частоте ошибок, тогда как на самом деле таких данных очень мало. Все предсказания надежности основываются на статистических данных по отказам и соображениях подобия системы, на которой базируются эти данные, и системы, для которой производится прогнозирование надежности.

В случае отсутствия статистических данных по частотам ошибок уровень предсказаний вряд ли окажется выше догадок эрудированных людей. Это может служить еще одним примером аналогии в задачах, которые встречаются в инженерной психологии и теории надежности.

Методы оценки при прогнозировании надежности работы человека основываются, как и в случае надежности аппаратуры, на правиле перемножения вероятностей. Вероятность для всего задания может быть получена путем перемножения вероятностных оценок (определенных описанным выше образом) для отдельных операций задания в предположении их независимости друг от друга.

Пример 3.3. Операция 1: P_1 , операция 2: P_2 , операция 3: P_3 ,
 $P_{\text{задания 1}} = P_1 \times P_2 \times P_3 = P_{1,2,3}$.

Аналогичным образом комбинируются вероятностные оценки для отдельных заданий 2, 3, ..., n , в результате чего получаются вероятности успешного выполнения комбинации этих заданий. Комбинирование указанным образом вероятностей выполнения заданий позволяет осуществить прогнозирование надежности работы человека для всей системы. Эта задача представляется весьма трудоемкой, если не используется электронно-вычислительная машина. При этом необходимо иметь в виду, что результат расчета зависит от точности определения вероятностных оценок для отдельных операций; если последние определены неправильно, то весь расчет является сомнительным.

До последнего времени отсутствовали оценки вероятности ошибок для работ, выполняемых человеком. Однако в последнее вре-

мя американским исследовательским институтом по заказу Министерства обороны США была предпринята попытка обработать данные по результатам 164 лабораторных психологических исследований, связанных с вопросами контроля и использования индикаторов, с целью получения частот ошибок человека, которыми можно воспользоваться для целей прогнозирования.

В табл. 3.10 приведены данные, характеризующие интенсивность отказов, возникших в результате ошибок в работе человека (надежность работы человека), наряду с размерными параметрами органов управления и характеристиками индикаторов. Приведенные в таблице цифры представляют собой *вероятность правильного использования* органа управления или индикатора, имеющего указанные размеры. В связи с тем что исследования, на которых основана данная таблица, были выполнены в лабораторных условиях, приведенные цифры следует рассматривать как ориентировочные. Существенно то, что на основании данных этой таблицы можно сопоставить надежность работы человека со значениями надежности работы аппаратуры.

Таблица 3.10 может быть использована двумя способами:

1. В качестве руководства при выборе конкретного типа органа управления и индикатора. Предполагается, что конструктор будет стремиться выбрать такие органы управления и индикаторы, которые обеспечивают наибольшую вероятность надежной эксплуатации.

Так как каждый орган управления и индикатор имеет известное число размерных параметров, а каждый параметр связан с оценкой надежности работы человека, то необходимо использовать отдельные параметрические показатели надежности для получения общей оценки степени надежности работы человека с данным органом управления или индикатором. Это осуществляется путем перемножения отдельных параметрических показателей надежности, как показано в приводимом ниже примере.

Пример 3.4

Элемент: ручка управления.

Параметр	Значение	Надежность
Длина ручки	152,4—228,6 мм	0,9963
Величина перемещения ручки	30—40°	0,9975
Сопротивление управлению	2,27—4,54 кг	0,9999
Произведение		0,9937

По этим данным конструктор может определить, обеспечит ли данная комбинация размерных параметров органа управления до-

Данные по надежности работы человека

<i>Параметр</i>	<i>Надежность</i>
Круговые шкалы	
Диаметр шкалы, мм:	
25,4	0,9996
40,7—45	0,9997
70	0,9993
Тип шкалы:	
подвижная шкала	0,9966
подвижная стрелка	0,9970
с цветным кодом	0,9999
Тип указателя:	
горизонтальная полоса, ноль в начале шкалы	0,9990
треугольная или вертикальная метка в начале отсчета	0,9987
Рассогласие между отметками, мм:	
меньше 1,27	0,9975
больше 1,27—6,4	0,9986
больше 6,4—51	0,9996
Масштаб шкалы:	
1 : 1	0,9999
1 : 5	0,9991
1 : 10	0,9980
Число единиц на шкале:	
50—100	0,9996
200	0,9984
400	0,9962
600	0,9952
Число шкал и масштабов:	
1 или 2×1	0,9999
2×2; 2×4; 4×4	0,9997
4×10; 6×4	0,9990
8×4; 9×5	0,9975
Возрастание показаний шкалы:	
справа налево	0,9996
слева направо	0,9999
Счетчики	
Размер (длина), мм:	
25,4	0,9990
25,4—50,8	0,9998
70 и выше	0,9995
Число барабанов или разрядов:	
1—3	0,9997
4—5	0,9993
7 и выше	0,9985
Шильдики	
Просветы между цифрами:	
2	0,9998
3	0,9994

Параметр	Надежность
4 или 5	0,9992
6 или 7	0,9991
Слова:	
1 или 2	0,9999
3—5	0,9995
6—11	0,9985
Размер печатных знаков (высота), мм:	
5	0,9997
3,2	0,9994
Сигнальные лампы	
Диаметр, мм:	
меньше 6,4	0,9995
6,4—12,7	0,9997
12,7—25,4	0,9999
Число сигнальных ламп в работе:	
1 или 2	0,9998
3 или 4	0,9975
5—7	0,9952
8—10	0,9946
Индикация:	
перемигающая (мигающая)	0,9998
непрерывная	0,9996
Линейные шкалы	
Размер (длина), мм:	
76	0,9997
152	0,9998
228	0,9996
Тип шкалы:	
подвижный указатель	0,9977
подвижная шкала	0,9970
с цветным кодом	0,9999
Направление отсчета по шкале:	
горизонтальное	0,9998
вертикальное	0,9995
Расстояние между отметками шкалы, мм:	
2,54 или меньше	0,9975
2,54—6,4	0,9992
6,4 или больше	0,9982
Число делений шкалы:	
50—100	0,9998
200	0,9988
400	0,9999
Возрастание показаний шкалы:	
слева направо (или снизу вверх)	0,9998
справа налево (или сверху вниз)	0,9992
Масштаб шкалы:	
1 : 1 или 1 : 2	0,9999
1 : 5	0,9995
1 : 10	0,9985

Индикаторы кругового обзора

Число отметок дальности:	
1 или 2	0,9980
3—5	0,9997
6—10	0,9999
10—20	0,9990
20 и выше	0,9983
Метод оценки азимута:	
оценка без вспомогательных средств	0,9975
использование наложения	0,9990
использование указателя	0,9995
Диаметр экрана осциллоскопа, мм:	
76	0,9990
101,6 и больше	0,9999
Угол видимости (между оператором и поверхностью экрана), град:	
0—45	0,9999
45—80	0,9995
Время экспонирования цели, сек:	
3	0,9990
5	0,9995
больше 5	0,9999

Полукруговые шкалы

Радиус, мм:	
12,7—19	0,9996
19—25,4	0,9997
25,4—50,8	0,9993
Тип шкалы:	
подвижный указатель	0,9981
подвижная шкала	0,9978
цветное или зональное кодирование	0,9999
Длина дуги шкалы, град:	
25	0,9937
50—100	0,9950
200	0,9964
Расстояние между отметками шкалы, мм:	
меньше 1,27	0,9965
1,27—2,54	0,9933
2,54—12,7	0,9955
12,7—25,4	0,9969
25,4—50,8	0,9962
Масштаб шкалы:	
1:1 или 1:2	0,9999
1:5	0,9995
1:10	0,9985
Возрастание показаний шкалы:	
слева направо	0,9999
справа налево	0,9996

Штурвалы, используемые как органы управления

Диаметр, мм:	
76,2	0,9970
102	0,9990
203	0,9975
305	0,9985
Управляющее усилие, кг:	
меньше 2,27	0,9985
2,27—4,54	0,9972
Направление движения органа управления и указателя на индикаторе:	
прямое	0,9992
обратное	0,9975
Время запаздывания между поворотом органа управления и перемещением указателя на индикаторе, сек:	
меньше 1,5	0,9980
более 2,0	0,9965
Отношение перемещений органа управления и индикаторного указателя, оборот/дюйм перемещения указателя:	
1 : 1	0,9975
2 : 1	0,9990
3 : 1	0,9992

Ручки управления

Длина ручки, мм:	
152,4—228,6	0,9963
305 —458	0,9967
533,4—686	0,9963
Пределы перемещения ручки, град:	
5—20	0,9981
30—40	0,9975
40—60	0,9960
Противодействие управляющему усилию, кг:	
2,28— 4,54	0,9999
4,54—13,61	0,9992
Фиксатор ручки управления:	
имеется	0,9990
отсутствует	0,9950
Время запаздывания между перемещением ручки управления и перемещением указателя на индикаторе, сек:	
0,3	0,9967
0,6—1,5	0,9963
3,0	0,9957
Отношение перемещений органа управления и индикаторного указателя (расстояние):	
1 : 1 или 1 : 3	0,9936
1 : 4 или 1 : 6	0,9967
1 : 15	0,9950
1 : 30	0,9967

<i>Параметр</i>	<i>Надежность</i>
Взаимосвязь между движением органа управления и индикаторного указателя (направление движения):	
прямое	0,9998
обратное	0,9970
Круглые ручки управления (маховички)	
Размер (диаметр), мм:	
меньше 12,7	0,9995
12,7—76,2	0,9997
76,2 или больше	0,9994
Сопротивление перемещению, г:	
малое до умеренного (113 или меньше)	0,9995
большое (170—454)	0,9998
Взаимосвязь перемещений органа управления и индикаторного указателя:	
по часовой стрелке для возрастания показаний	0,9999
против часовой стрелки для уменьшения показаний	0,9995
Отношение перемещений органа управления и индикаторного указателя (для осциллоскопов), миллиметры перемещения указателя, приходящиеся на оборот органа управления:	
25,4 или меньше	0,9999
50,8—152,4	0,9997
152,4 или больше	0,9996
Отношение перемещений органа управления и индикаторного указателя (для измерительных приборов). часть пройденной указателем шкалы, приходящаяся на оборот ручки:	
меньше 1/4	0,9999
1/4—1/2	0,9997
больше 1/2	0,9996
Условия захвата ручки:	
поверхность с накаткой	0,9999
гладкая поверхность	0,9997
Фиксатор:	
имеется	0,9999
отсутствует	0,9996
Съемные рычаги и рукоятки (включая гаечный ключ или плоскогубцы)	
Длина:	
длинная	0,9990
короткая	0,9920
Плоскость движения:	
вертикальная	0,9992
горизонтальная	0,9999
Амплитуда управляющего движения, град:	
5—10	0,9964
10—20	0,9970
30—40	0,9975
40—60	0,9985

Параметр	Надежность
Сопrotивление управлению при работе рукой, кг:	
0,91—2,27	0,9999
4,54—9	0,9992
Сопrotивление управлению при работе рычагом, кг:	
0,91—2,27	0,9990
4,54—9	0,9999
9—13,6	0,9995
Направление движения:	
прямое	0,9999
обратное	0,9985
Отношение перемещений органа управления и индикаторного указателя:	
1 : 1	0,9957
1 : 3	0,9970
1 : 6	0,9983
1 : 15	0,9975
1 : 30	0,9985
Кнопки	
Размер:	
миниатюрные	0,9995
диаметр 12,7 мм или больше	0,9999
Число кнопок в группе:	
А. Один столбик или ряд:	
1—5	0,9997
6—10	0,9995
11—25	0,9990
В. Два столбика или ряда:	
1—5	0,9997
6—10	0,9995
11—25	0,9990
С. Матрица:	
6—10	0,9995
11—25	0,9995
25 или больше в ряду	0,9985
Число кнопок, нажатых в группе:	
2	0,9995
4	0,9991
8	0,9965
Расстояние между краями кнопок, мм:	
3,2—6,4	0,9985
9,6—12,7	0,9993
12,7 или больше	0,9998
Зашелка:	
имеется	0,9998
отсутствует (контакт размыкается при отпускании)	0,9995
Поворотные многопозиционные переключатели	
Размер (диаметр), мм:	
25,4—76,2	0,9997
76,2 или больше	0,9995

Параметр	Надежность
Число позиций:	
3— 6	0,9997
6—12	0,9992
12 или больше	0,9975
Расстояние между позициями, град:	
меньше 15	0,9975
15—30	0,9998
больше 30	0,9996
Тип индикации:	
точечная	0,9995
линейная	0,9996
стрелочная	0,9999
Расстояние между краями смежных переключателей, мм:	
12,7	0,9988
19—25,4	0,9995
25,4 или больше	0,9997
Рычажные выключатели (тумблеры)	
Размер	
миниатюрный	0,9997
нормальный и большой	0,9999
Количество положений:	
2	0,9999
3	0,9991
Направление выключения:	
вертикальное	0,9999
горизонтальное	0,9996
Угол выключения, град:	
20	0,9997
40	0,9998
90	0,9999
Количество выключателей в группе:	
А. Один столбик или ряд:	
1— 5	0,9998
6—10	0,9996
11—25	0,9990
В. Двойной столбик, двойной ряд:	
1— 5	0,9998
6—10	0,9996
11—25	0,9992
С. Матрица:	
6—25	0,9996
25 или больше	0,9988
Расстояние между центрами выключателей, мм:	
12,7 или меньше	0,9993
19	0,9998
25,4 или больше	0,9999
Соединение кабелей с помощью штепсельных разъемов	
Вес кабеля:	
легкий (2,27 кг или меньше)	0,9997
тяжелый (свыше 2,27 кг)	0,9992

Продолжение табл. 3.10

Параметр	Надежность
Способ фиксирования:	
отсутствует	0,9987
автоматический	0,9990
до 1/4 оборота	0,9992
больше 1/4 до 1 оборота	0,9995
зажим	0,9997
с помощью штырька или резьбы	0,9999
Количество штырьков в разъеме:	
0,1,2 или использование замков	0,9998
3 или 4	0,9990
5 или больше	0,9986
Разъединение кабелей	
Вес кабеля:	
легкий (2,27 кг или меньше)	0,9999
тяжелый (свыше 2,27 кг)	0,9997
Способ фиксирования:	
отсутствует	0,9999
автоматический	0,9999
меньше 1/4 оборота	0,9998
больше 1/4 оборота	0,9999
зажим	0,9995
штырь	0,9997
резьба	0,9999
Нацеливание объекта по заданному направлению	
Вес объекта, кг:	
11,4 или меньше	0,9998
13,6—32	0,9997
34—46	0,9993
больше 46	0,9991
с вспомогательной аппаратурой	0,9994
Размеры объекта, м ³ :	
0,085 или меньше	0,9998
0,113—0,227	0,9997
0,283—0,425	0,9992
больше 0,425	0,9989

Примечание. Примем, что надежность устного распоряжения или выполнения записи равна 0,9998, а надежность всех более сложных мыслительных операций (распознавание, принятие решения и т. д.) равна 0,9990.

статочную надежность или же более удовлетворительной окажется какая-либо другая совокупность параметров. По-видимому, конструктор выберет орган управления с набором параметров, обеспечивающим получение наивысшего показателя надежности.

2. С помощью данных, приведенных в табл. 3.10, возможно также провести анализ составленных методик работы с аппаратурой с целью предсказания вероятности появления ошибок при выполнении задания. Для этого необходимо проанализировать отдельно каждую операцию задания и расчленив ее на элементы, характе-

ризирующие входной сигнал, внутреннюю реакцию и выходной отклик, как показано в следующем примере.

Пример 3.5

Зажигается зеленая лампочка *X*. Оператор приводит в действие кнопку *Y*.

Элементом входного сигнала здесь является лампочка *X*, надежность восприятия входного сигнала обусловлена следующими характеристиками:

<i>Параметры</i>	<i>Надежность</i>
Диаметр 6,4—12,7 мм	0,9997
Количество включенных лампочек 3 или 4	0,9975
Индикация непрерывная	0,9996
Произведение	0,9968

Следует заметить, что для того, чтобы сделать реальную оценку вероятности совершения ошибки, связанной с данной лампочкой, необходимо иметь некоторые сведения о конструкции аппаратуры, в которой используется данная сигнальная лампочка. Надежность работы человека, охватывающей внутренний процесс распознавания лампочки оператором, принята равной 0,9990. Это значение для всех внутренних реакций выбрано произвольно; несомненно, что это снижает оценку надежности многих простых умственных процессов. Выходным откликом в данном случае служит действие кнопки *Y*, обладающей следующими характеристиками:

<i>Параметры</i>	<i>Надежность</i>
Миниатюрные габариты	0,9995
Один столбик	0,9997
Расстояние между крайними положениями 10—12,7 мм	0,9993
Отсутствие фиксации	0,9998
Произведение	0,9983

Для получения общей оценки надежности работы человека при данной операции производится перемножение значений надежности восприятия входного сигнала, реакции человека и выработки выходного отклика (возможность применения правила перемножения объясняется тем, что указанные элементы поведения действуют последовательно).

Пример 3.6. Лампочка (0,9968) × Внутренний процесс (0,9990) × Кнопка (0,9983) = 0,9941.

Аналогичный подсчет должен быть выполнен для всех операций. Таким образом, путем последовательного перемножения вероятностей успешного выполнения отдельных операций можно получить общую надежность работы человека при выполнении данного задания. Следует заметить, что этот показатель надежности работы

человека не включает в себя каких-либо показателей надежности аппаратуры. Для определения надежности всей системы при выполнении данной операции необходимо перемножить показатели надежности работы человека на оценки показателей надежности работы аппаратуры.

Итак, в настоящей главе была сделана попытка обратить внимание на необходимость установления контактов между инженером по надежности и специалистом в области инженерной психологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kraft J. A., A 1961 Computation and Brief History of Human Factors Research in Business and Industry, *Human Factors*, 3, pp. 253—283 (1961).
2. Feigenbaum A. V., The Management and Engineering Approach to Product Quality, Proc. Ninth Natl. Symp. Reliability Quality Control, pp. 1—5, 1963.
3. Cooper J. I., Human-initiated Failures and Malfunction Reporting, IRE, Trans. Human Factors Electron., vol. HFE, pp. 104—109, September 1961.
4. Shapero A. et al., Human Engineering Testing and Malfunction Data Collection in Weapon System Test Programs, Wright Air Develop. Div. Tech. Rept., 60—36, February 1960.
5. Reliability Program Requirements for Aerospace Systems, Subsystems and Equipment, United States Air Force, May 21, 1963.
6. Proposed Reliability Program for Ballistic Missile and Space Systems, Air Force Ballistic Missiles Division, June 15, 1959.
7. Bracha V. J., The Air Force Reliability Program: MIL-R-27542, Proc. Eighth. Natl. Symp. Reliability Quality Control, pp. 17—23 (1962).
8. Berry P. C., Wulff J. J., A Procedure for Predicting Reliability of Man—Machine Systems, *IRE Natl. Conv. Record*, pp. 112—120, March 1960.
9. Swain A. D., Wohl J. G., Factors Affecting Degree of Automation in Test and Checkout Equipment, Dunlap and Associates Report TR-60-36F, Stanford, Conn., March 1961.
10. Shapero A. et al., A Method for Functions Analysis and Allocations (Final Report), Contract AF 33 (616)—6541, Stanford Research Institute, Menlo Park, Calif., August 1961.
11. Grodsky M. A., Risk and Reliability, *Aerospace Eng.*, 21, pp. 28—33, January, 1962; Pitts P. M., Function of Man in Complex Systems, pp. 34—39.
12. Human Engineering Design Criteria for Aerospace Systems and Equipment, Part 1, Aerospace System Ground Equipment, Space Systems Division, Air Force Command, Jan. 27, 1964.
13. Meister D., Human Reliability Production Audit, Proc. Ninth Natl. Symp. Reliability Quality Control, pp. 184—192, 1963.
14. Meister D., Motivational Training for Production Personnel, Western Regional Conference, American Society for Quality Control, Seattle, Wash., 1962.
15. Personnel Subsystem Testing for Ballistic Missile and Space Systems, AFBMD 60-1, Air Force Ballistic Missile Division, Los Angeles, Calif., Apr., 22, 1960.
16. Meister D., Individual and System Error in Complex Systems, American Psychological Association Convention, St. Louis, Mo., 1962.
17. Chapman A., Garner W. R., Morgan C. T., *Applied Experimental Psychology*, John Wiley, Inc., N. Y., 1949.
18. Brady J. S., Application of a Personnel Performance Metric, Rept. 6101-001-MU-000, Space Technology Laboratories, Los Angeles, Calif., Dec. 7, 1961.
19. Klemmer E. T., частное сообщение.
20. Rook L. W., Reduction of Human Error in Industrial Production, Rept. SCTM 93-62 (14), Sandia Corporation, Albuquerque, N. M. June, 1962.
21. Rook L. W., A Method for Evaluating the Human Error Contribution to

- System Degradation, Presented as part of a Symposium of human-error quantification at the sixth Annual Meeting of the Human Factors Society, N. Y., 1962.
22. Van Buskirk R. C., Huebner W. J., Human-initiated Malfunctions and Systems Performance Evaluation, Rept. AMRL-TDR-62-105, Behavioral Sciences Laboratories, Aerospace Medical Division, September 1962.
 23. Killoid D. K., Lipow M., Reliability: Management, Methods and Mathematics, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1962.
 24. Williams H. L., Reliability Evaluation of the Human Component in Man-Machine Systems, Elec. Manuf., pp. 78—82, April 1958.
 25. Munger S. et al., An Index of Electronic Equipment Operability (Data Store), Rept. AIR, C43-1/62-RP (1), American Institute for Research, Pittsburgh, Pa., Jan. 31, 1962, for U.S. Army Signal Corps on Contract № Da-36-039-SC-80555.
 26. Air Force System Command, AFSCM 80-3, Handbook of Instructions for Aerospace Personnel Subsystem Designers (HIAPSD).
 27. Air Force System Command, AFSCM 80-5, Handbook of Instructions for Ground Equipment Designers (HIGED).
 28. Air Force System Command, AFSCM 80-6, Handbook of Instructions for Aircraft Ground Support Equipment Designers (HIAGSED).
 29. Baker C. A., Grether W. F., Visual Presentation of Information, WADC Tech. Rept. 54—160, August 1954.
 30. Ely J. H., Thomson R. M., Orlansky J., Layout of Workplaces, Ch. V of Joint Services Human Engineering Guide to Equipment Design, WADC Tech. Rept. 56—171, November 1957.
 31. Ely J. H., Thomson R. M., Orlansky J., Design of Controls, Ch. VI of Joint Services Human Engineering Guide to Equipment Design, WADC Tech. Rept. 56—172, November 1956.
 32. Fogel L. J., Biotechnology, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1963.
 33. Javitz A. E. (ed.), Human Engineering in Equipment Design, Elect. Manuf., Gage Publ. Co., N. Y., 1952.
 34. Lincoln R. S., Human Factors in Attainment of Reliability, *IRE Trans. Reliability Quality Control*, **RQC-9**, pp. 97—103, April 1960.
 35. Majesty M. S., Personnel Subsystem Reliability for Aerospace Systems, Proc. IAS Natl. Aerospace Systems Reliability Symp., pp. 199—204, 1962.
 36. McCormick E. J., Human Factors Engineering, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., N. Y., 1964.
 37. Meister D., The Problem of Human-initiated-failures, Proc. Eighth Natl. Symp. Reliability Quality Control, 1962, pp. 234—239.
 38. Meister D., Methods of Predicting Human Reliability in Man-Machine Systems, *Human Factors*, 6, № 6, p. 621—646, 1964.
 39. Morgan C. T., Cook J. S., Chapanis A., Lund M. W. (eds.), Human Engineering Guide to Equipment Design, McGraw-Hill Book Co., N. Y., 1963.
 40. Peters G. A., Hussman T. A., Human Factors in Systems Reliability, *Human Factors*, 1, № 2, pp. 38—50 (1959).
 41. Rabideau G. F., Prediction of Personnel Subsystem Reliability Early in the System Development Cycle, Proc. IAS Natl. Aerospace Systems Reliability Symp., pp. 191—198, 1962.
 42. Rigby L. V., Cooper J. I., Spickard W. A., Guide to Integrated System Design for Maintainability, ASD Tech. Rept., 61—424, October 1961.
 43. Van Cott H. P., Altman J. W., Procedures for Including Human Engineering Factors in the Development of Weapon Systems, WADC Tech. Rept. 56—488, October 1956.
 44. Willis H. R., The Human Error Problem, American Psychological Association Meeting, St. Louis, Mo, September (Martin—Denver Rept. M-62-76).
 45. Woodson W. E., Conover D. W., Human Engineering Guide for Equipment Designers, 2d ed., Univ. of California Press, Berkeley, Calif., 1964; есть русский перевод: У. Вудсон, Д. Коновер. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. изд-во «Мир», 1968.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Дж. А. Маршик
James A. Marshik

Senior Quality Control Engineer, Aeronautical Division
Minneapolis-Honeywell, Minneapolis, Minnesota

4.1. ВАЖНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Высокая надежность изделий может быть достигнута только в случае обеспечения успешного перехода от этапа конструирования к производству изделия. Все лица, работающие над обеспечением надежности, должны отдавать себе отчет в том, что результат их усилий оценивается по показателям работы действующей аппаратуры. Ни теоретическая обоснованность конструкторского замысла, ни высокий уровень конструкторской разработки не спасут положения, если процесс изготовления изделия не обеспечит его надежной работы.

В настоящей главе рассматриваются вопросы взаимосвязи между конструированием изделия и его производством. Материал этой главы может быть использован при конструировании, производстве, контроле качества и решении вопросов обеспечения надежности. Предлагаемые методы относятся главным образом к сложным изделиям, хотя рассматриваются также модифицированные методы и для более простых изделий. Рекомендуется использование плана обеспечения качества и надежности для организации необходимых мероприятий по успешному воплощению проекта в производстве. Так как план обеспечения качества и надежности охватывает также вопросы организации других видов деятельности, а не только производства, то он будет прежде всего рассмотрен в настоящей главе.

Следует заметить, что термины «качество» и «надежность» часто употребляются здесь совместно для того, чтобы подчеркнуть существующую между ними определенную взаимосвязь. Качество продукции в общем случае определяется как ее соответствие действующим техническим условиям в момент проведения оценки. Надежность характеризует способность изделия отвечать заданным требованиям в процессе эксплуатации.

В известном смысле проблема надежности фактически представляет собой проблему качества. Результаты, полученные в процессе приемо-сдаточных испытаний изделия, могут находиться в пределах, установленных техническими условиями, и тем не менее указывать на скрытую тенденцию к постепенному или внезапному изменению. Эта скрытая тенденция к изменению и составляет сущ-

ность проблемы надежности. Так как отмеченная тенденция уже существует в момент проведения контроля, то в период приемки заданное качество нельзя считать достигнутым. К сожалению, обычный порядок контроля не позволяет обнаружить эту тенденцию. Применение в этом случае слова «надежность» вместо слова «качество» означает, что надежность связана с дефектами, обусловленными скрытыми изменениями. Эти дефекты нельзя вскрыть традиционными методами контроля качества.

4.2. РАЗРАБОТКА ПЛАНА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ

Фирмы постоянно внедряют в производство новые конструкции. Большинство связанных с этим действий оказывает влияние на качество и надежность готовой продукции. В обеспечении успешного выполнения этих работ принимает участие много отделов. Специальные усилия, направленные на организацию выполнения этих работ, привели к столь успешным результатам, что данный опыт можно рекомендовать фирмам, использующим соответствующие методы работы.

Отражение соответствующих работ в плане обеспечения качества и надежности данного конкретного изделия гарантирует необходимую ответственность и обеспечивает координацию, требуемую для направления всех служб организации на достижение поставленных целей. При составлении плана обеспечения качества и надежности и соответствующей документации может выявиться необходимость в дополнительных процедурах.

В составлении плана обеспечения качества и надежности в основном принимают участие конструкторские, производственные группы, служба контроля качества и служба обеспечения надежности. Разработчиками плана являются представители службы контроля качества и службы обеспечения надежности. План составляется также с учетом данных, получаемых от следующих отделов и служб: руководства программой, группы сбыта или группы по заключению контрактов (отдел, непосредственно связанный с потребителем); отдела испытаний; отдела вспомогательной аппаратуры; производственного отдела; отдела технического контроля (отдел, осуществляющий приемку продукции); отдела измерительных приборов (электрические измерения); отдела калибров (механические измерения); инструментального отдела.

4.2а. План обеспечения качества и надежности. При разработке плана обеспечения качества и надежности необходимо учитывать и использовать следующие факторы, методы и материалы: каналы связи и взаимоотношения с заказчиком; программа обеспечения надежности в процессе разработки и конструирования; анализ технических условий заказчика; программа испытаний опытных образ-

цов; анализ технических условий на изготовление; технологичность и возможности контроля; специальные технологические процессы; потенциальные проблемы качества и надежности; приборный парк; средства проверки, требуемые данные по сбыту; системы обучения и подготовки персонала; определение источника снабжения и кон-

Поларис

Узел карданного подвеса Mk 2

Фирма «Ханнуэлл»

Система сбора и контроля данных

По каждому узлу карданного подвеса ракеты «Поларис» приходится собирать большой объем как качественных, так и описательных данных. Описываемая в этом разделе система контроля данных предназначена для выполнения необходимых действий по сбору данных. В системе предусматривается также контроль технической документации в том смысле, что гарантируется внесение необходимых изменений в методики проверки узла карданного подвеса и его основных элементов.

Предусматривается ведение журнала контроля данных по каждому узлу карданного подвеса. Собранные данные легко можно перенести в журналы. Учитываются также «специальные» данные, которые часто необходимы для инженерных исследований.

Под «рабочим формуляром» подразумеваются любые документы внутреннего пользования, в которых регистрируются характеристики узла в целом и его отдельных элементов. Во многих из этих форм отражены количественные данные и расчеты.

Программа ведения рабочих формуляров по ракете «Поларис» составлена таким образом, чтобы номера рабочих формуляров соответствовали номерам инструкций по эксплуатации. Рабочие формуляры ведутся службой контроля качества как для производственного отдела, так и для отдела технического контроля. Данная методика устанавливает порядок контроля.

VI-5

Фиг. 4.1. Выдержка из плана выполнения программы сбора данных по узлу карданного подвеса Mk2 ракеты «Поларис».

троль покупаемых и поставляемых изделий; испытания на воздействие окружающих условий; отчеты по отказам и результаты их анализа; анализ данных об изменении характеристик во времени; программы тренировки аппаратуры; отчеты по вопросам качества и надежности, выпускаемые для внутреннего пользования и для представления заказчику; система обеспечения гарантий качества; проверка документации; методики контроля соответствия матери-

При изготовлении сложных изделий приходится сталкиваться с целым рядом специальных требований к качеству и надежности. В этом случае необходимо составить оперативное руководство, включив в него как специальные, так и стандартные процедуры по обеспечению качества и надежности. На фиг. 4.1 и 4.2 приведены выдержки из такого руководства, иллюстрирующие содержание специальных программ. Многие специальные программы непосредственно дают ответ на требования заказчика; в других описываются специальные рабочие методы оптимизации качества и надежности.

Здесь следует подчеркнуть, что при внедрении новой конструкции в производство планирование является необходимым условием. Работа, проведенная на начальных стадиях производственного процесса, в значительной степени влияет на качество готового изделия, обуславливая либо его надежную работу, либо его отказ. План обеспечения качества и надежности представляет собой эффективное средство для координации всех этих работ.

4.3. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

Технологичность представляет собой свойство конструкции изделия, обеспечивающее возможность изготавливать изделие в производственном процессе. Термин «технологичность», или «серийность», означает возможность производить копии, дублировать оригинал. Следует отметить, что подлежащий дублированию оригинал не представляет собой какой-то единственный физический образец изделия. Напротив, «оригинал» представляет собой обобщенное понятие. Это некоторый комплект конструкторских технических условий, схем и чертежей, которые допускают определенную свободу и накладывают ограничения, относящиеся скорее к характеристикам совокупности устройств, чем к одиночным устройствам. Если конструкцию можно изготовить относительно легко при низкой стоимости и хорошем качестве, то о ней говорят, что она технологична.

Обычно старание и усердие приносят щедрые плоды. К сожалению, это положение несправедливо для поточной производственной линии. Характеристики изделия, над которыми производственной организации приходится работать наиболее напряженно, обычно оказываются именно теми характеристиками, которые могут вызвать наибольший брак и переделки и чаще всего могут оказаться причиной отказов в процессе эксплуатации. Сравнение данных по отказам в условиях эксплуатации с данными об отклонениях при приемке, отказах, браке и переделках на заводе обычно показывает поразительно близкое совпадение между соответствующими характеристиками.

Поэтому высокая технологичность играет важную роль не только в отношении максимального уменьшения стоимости и обеспечения своевременной поставки изделий; она характеризует высокую надежность. Как правило, если производственные трудности и затраты уменьшаются, эксплуатационная надежность повышается. Эта обратная зависимость является важным стимулом для обеспечения высокой технологичности.

Однако для достижения высокой технологичности требуется уделить особое внимание каждой характеристике изделия и взаимосвязи между этими характеристиками. Соответствующие исследования необходимо начинать на самой ранней стадии работ. Как только конструктор наметил возможные пути выполнения требований к изделию, он должен рассмотреть все вопросы, связанные с его технологичностью. Наиболее конкретным источником информации служит накопленный опыт. Часто инженер-конструктор может выбрать наиболее удачный метод конструирования, проконсультировавшись с опытным инженером-технологом. Особое внимание должно быть уделено разработке комплекта документации стандартных инженерных решений, отражающих опыт многих инженеров.

Инженер-производственник должен играть активную роль при выборе предпочтительного инженерного решения. Он лучше других знает оборудование и производственные процессы. Квалификация и знания инженера-производственника также играют важную роль на этой стадии работ.

Относительно новая практика привлечения инженеров-производственников к работе по конструированию была использована при разработке сложных изделий. Эти же инженеры руководят производственным процессом, когда начинается заводское изготовление изделия. Подобная практика создает стимулы для того, чтобы инженеры-производственники оказывали влияние на проект в направлении обеспечения высокой степени технологичности. Такая организация работ значительно сокращает сроки, так как инженеры-производственники знакомятся с изделием и разрабатывают производственные процессы одновременно с разработкой проекта.

Полное взаимопонимание между инженером-конструктором и инженером-производственником может также предотвратить неэкономную практику конструирования, заключающуюся в использовании при выборе допусков чрезмерно больших значений коэффициента запаса. По традиции конструкторы учитывают фактически требуемый допуск, а затем ужесточают его, чтобы быть уверенными в том, что поточная линия производства будет по крайней мере удовлетворять первоначально установленным пределам. Подход, основанный на использовании коэффициентов запаса, эффективен в случае легко достигаемых характеристик и совершенно непригоден, если ужесточенные допуски вызывают более напряжен-

ное ведение процесса производства. Выбор допусков может быть осуществлен на основе вычисления корня квадратного из суммы квадратов¹ или какого-либо модифицированного варианта этого метода. Обычно установление допусков по методу вычисления квадратного корня из суммы квадратов преследует экономические цели, однако для некоторых усовершенствованных изделий этот метод применяется и в связи с тем, что требования к их изготовлению могут превзойти возможности современного уровня техники.

Установление допусков по методу вычисления корня квадратного из суммы квадратов особенно целесообразно, когда с помощью простой проверки можно убедиться в нереальности наилучшей комбинации.

Возможности контроля изделия должны рассматриваться как элемент технологичности. Возможность быстро и эффективно определить, удовлетворительна или неудовлетворительна данная характеристика, имеет важное значение для обеспечения качества и надежности.

¹ Характеристики узла могут зависеть от характеристик входящих в него деталей. Эти характеристики узла обычно регулируются путем ограничения допусков деталей таким образом, чтобы наилучшая из возможных комбинация деталей обеспечивала получение удовлетворительного узла.

Вероятность получения наилучшей комбинации невелика для двух деталей и еще больше понижается при возрастании числа независимых характеристик. Метод вычисления суммарного допуска как квадратного корня из суммы квадратов частных допусков служит для прогноза фактических пределов изменения независимой переменной.

Каждой независимой переменной приписывается эквивалентная мера дисперсии процесса, представляющая собой квадрат среднеквадратичного отклонения. Каждое из этих отклонений возводится в квадрат (т. е. определяется дисперсия), а все квадраты складываются. Корень квадратный из этой суммы представляет собой среднеквадратичное отклонение процесса для зависимой переменной в тех же единицах. Статистически метод определения квадратного корня из суммы квадратов эквивалентен сложению дисперсий.

Когда фактический процесс неизвестен, для оценки вероятной дисперсии зависимых характеристик часто используются допуски на деталь. Так, например,

$$A = (B \pm 1) + (C \pm 1) + (D \pm 1) + (E \pm 1).$$

$$\text{Предел изменения } A = \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2} = \sqrt{4} = \pm 2.$$

Ожидаемый предел изменения A составляет ± 2 , а не ± 4 , как это получилось бы при традиционной практике установления допусков. Очевидно, данный метод можно применить в обратном порядке, установив и возведя в квадрат предел изменения A и выполнив условие, чтобы сумма квадратов допусков независимых переменных не превышала величину квадрата допуска A .

Описанный метод теоретически справедлив для нормального распределения, но практически применим и при других распределениях. Здесь преследуется цель только познакомить читателя с сущностью этого метода, какие-либо рекомендации по его применению не даются. На практике нередко приходится встречаться с трудными условиями производства, и применение рассматриваемого метода исключает завышенный коэффициент запаса, который конструктор, по-видимому из-за некомпетентности, выбирал для конструкций, пользуясь традиционными методами установления допусков.

4.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Технические возможности технологического процесса представляют собой внутреннее его свойство, обеспечивающее возможность получения характеристик изделий в пределах установленных допусков. Окончательным показателем служит процент принятых изделий, который может обеспечить данный процесс при установлении соответствующих допусков и условий. Информация о технических возможностях технологического процесса обычно рассматривается как конечный результат специального исследования, однако нельзя ограничиваться только этим. При изложении данного вопроса вначале мы коснемся информации о технических возможностях технологических процессов, которая может быть на предприятии даже без принятия специальных мер для ее получения.

Большой объем информации о технических возможностях процесса можно получить на основе статистических данных о результатах контроля, наличии брака и переделках. Обычно записи такого рода связаны с нарушениями технологического процесса. Для целей данного анализа нас интересуют также и правильное протекание технологического процесса. По данным о количестве изделий, изготовленных и принятых за определенный период при применении данного технологического процесса, а также данным об имеющихся нарушениях технологического процесса можно оценить процент принятых изделий. Часто количество сданной продукции оказывается уже подсчитанным в процессе контроля стоимости или отражено в записях результатов контроля качества.

Однако собранная таким образом информация не является информацией о технических возможностях технологического процесса в истинном смысле. Она отражает более широкий круг факторов, чем потенциальные возможности технологического процесса, а именно общий опыт, который, по-видимому, ценнее, чем информация о «чисто» технических возможностях процесса. Даже если данные носят качественный характер, большой объем данных компенсирует недостаточную их эффективность. Специальные исследования технических возможностей технологических процессов связаны с большими затратами времени и средств. Использование же статистических данных об отбраковке продукции позволяет получить документированный материал о технических возможностях технологического процесса и обеспечивает экономию времени и денежных средств. Примером таких данных, полученных на основе изучения прошлого опыта, могут служить данные о зависимости процента принятых изделий от размеров наружного диаметра кольца с различными допусками, полученные на станке определенного типа и при использовании данного материала. Эти данные приведены ниже.

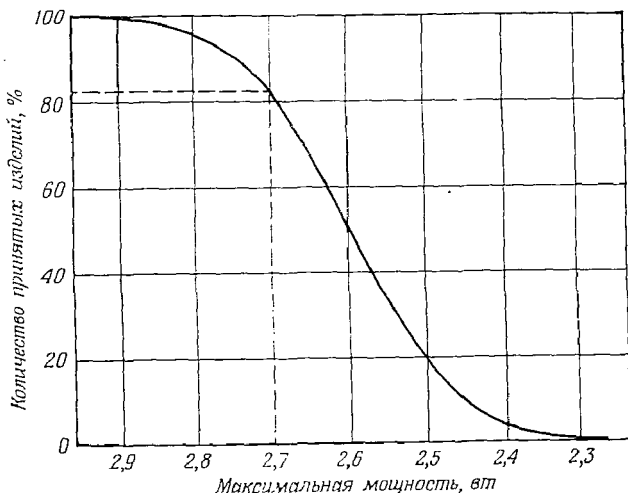
Наружный диаметр кольца с заданным номинальным значением диаметра и различными допусками, мм	Процент принятых изделий
1,905±0,127	99,1
1,905±0,076	99,1
1,905±0,051	98,5
1,905±0,025	97,0
1,905±0,013	94,0
Допуск меньше ±0,013 не рекомендуется	—
3,175±0,127	99,8
3,175±0,076	99,8
3,175±0,051	99,2
3,175±0,025	98,0
3,175±0,013	95,0
Допуск меньше ±0,013 не рекомендуется	—

Проведение специальных исследований технических возможностей технологического процесса оправдано в случае возникновения проблем или наличия особых соображений. В качестве примера рассмотрим этот вопрос применительно к некоторому элементу системы. Инженеры-конструкторы пришли к выводу, что тепловые характеристики поплавкового гироскопа можно улучшить за счет снижения мощности гиromотора. Для определения реально возможной величины этого уменьшения требовалось установить технические возможности процесса изготовления гиromотора. Синхронный гиromотор первоначально был рассчитан на максимальную потребляемую мощность 3 вт. Расчет фактических значений мощности для большей группы гиromоторов показал, что мощность распределены по нормальному закону со средним значением 2,6 вт и стандартным отклонением 0,11 вт. Это распределение было использовано для построения графика зависимости ожидаемого процента принятых изделий от допустимой мощности, представляющего собой кривую функции нормального распределения (фиг. 4.3).

График, изображенный на фиг. 4.3, показывает ожидаемый процент принятых изделий при заданной максимальной мощности. Как видно, особых затруднений в приемке гиromоторов с максимальной мощностью 3 вт не возникает. Однако, если максимальную мощность уменьшить до требуемого уровня 2,7 вт, то процент принятых изделий упадет до 82%. Существующий процесс уже не будет обеспечивать экономичное производство в соответствии с более жесткими требованиями. Улучшить процесс изготовления гиromоторов удалось путем усовершенствования метода изоляции пластин при соединении их в пакет и улучшения способа снятия заусенцев, позволяющего предотвратить металлическое соединение пластин. Прогресс, достигнутый в процессе усовершенствования, определялся

таким же образом, как и в первоначальном исследовании, т. е. путем анализа статистических данных.

Хотя график, изображенный на фиг. 4.3, относится к частному случаю, форма его типична для всех процессов с нормальным распределением. Как видно, кривая является довольно пологой сверху и снизу. На концах кривой можно воздействовать на технические возможности технологического процесса при незначительном умень-



Фиг. 4.3. Предполагаемый процент принятых изделий при заданной максимальной мощности потерь.

шении процента принимаемых изделий. Однако при дальнейшем ограничении допусков осуществляется переход на крутую часть кривой и процент принимаемых изделий резко снижается. Инженер-конструктор и инженер-технолог должны учитывать это обстоятельство.

4.5. АВТОМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Исследование технических возможностей технологического процесса обычно связано с большими затратами; поэтому в прошлом к нему прибегали лишь в крайних случаях. Однако с помощью цифровых вычислительных машин можно значительно сократить и затраты труда и средств и при этом выполнить обширные программы анализа технических возможностей технологического процесса, что невозможно достигнуть при ручных методах обработки данных. В течение ряда лет с большим успехом применялась автоматиче-

Неделя		Отдел		Группа		Устрой-ство		Блок		Тип данных	Номер из-делия (последние три цифры)			Специальные исследования				Номер карты	
3	6	1	5	1	1	2	7	0	2	8	1	3	7	0	0	0	1	0	1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
E-27 Модуль усилителя постоянного тока — функциональное испытание — станция 2																			
Мисл-гания	Описание и замечания										1-е показание			2-е по-казание	3-е по-казание				
	1	Усиление: вход закорочен					Выход $\pm 0,015$ в (макс.)					0	0	4					
2	+1 мв					+0,095—0,105 в					0	9	9						
											24	25	26						
3	+2 мв					+0,190—0,210 в					1	9	8						
											27	28	29						
4	+3 мв					+0,285—0,315 в					3	0	1						
											30	31	32						
5	+5 мв					+0,475—0,525 в					5	0	7						
											33	34	35						
6	+10 мв					+0,95—1,05 в					1	1	8						
											35	37	38						
7	+15 мв					+1,42—1,58 в					1	5	3						
											39	40	41						
8	+30 мв					+2,80—3,20 в					3	1	8						
											42	43	44						
9	-1 мв					-0,095—0,105 в					0	9	7						
											45	46	47						
10	-2 мв					-0,190—0,210 в					1	9	4						
											48	49	50						
11	-3 мв					-0,285—0,315 в					2	9	8						
											51	52	53						
12	-5 мв					-0,475—0,525 в					5	1	0						
											54	55	56						
13	-10 мв					-0,95—1,05 в					1	0	2						
											57	58	59						
14	-15 мв					-1,42—1,58 в					1	5	1						
											60	61	62						
15	-30 мв					-2,80—3,20 в					3	0	9						
											63	64	65						
16	Суммарный ток: вход закорочен					0,010 а (макс.)					0	0	8						
											66	67	68						
17	+5 мв					0,012 а (макс.)					0	0	9						
											69	70	71						
18	+30 мв					0,020 а (макс.)					0	1	7						
											72	73	74						
19	-5 мв					0,012 а (макс.)					0	0	9						
											75	76	77						
20	-30 мв					0,020 а (макс.)					0	1	6						
											78	79	80						

Фиг. 4.4. Типичная карта входных данных программы автоматического анализа данных

ская программа, разработанная одним из отделений фирмы «Ханнуэлл». В качестве примера такого исследования технических возможностей технологического процесса здесь описывается программа под названием «автоматический анализ данных» (Automated Data Analysis, ADA).

4.5а. Сбор данных по программе ADA. В программе ADA используется стандартная форма сбора информации для ввода в вычислительную машину (фиг. 4.4). Предусмотрена возможность построения 20 характеристик на каждом бланке. Может использоваться любое число бланков. Каждая характеристика описывается в соответствующем месте. Данные кодируются таким образом, что каждая запись состоит из трех цифр (от 000 до 999). Для регистрации данных вместе с необходимыми условными обозначениями используются все 80 позиций стандартной перфокарты. Установленные пределы кодируются так же, как и данные, и записываются на стандартном бланке. Графа для нижнего установленного предела обозначена цифрой 7, для верхнего — цифрой 9; графа для фактических данных обозначена цифрой 8. Индексы и коды в верхней части бланка соответствуют данным и условиям работы вычислительной машины.

4.5б. Табулирование необработанных данных. Заполненные бланки переводятся на перфокарты и проверяются. Производится табулирование необработанных данных. Оно заключается в упорядоченном перечислении всех пробитых цифр, представленных горизонтальным рядом чисел. Соответствующие столбцы в таблице (фиг. 4.5) определяют числа в тех же единицах, что и на карте входных данных (фиг. 4.4). Табулирование данных позволяет представить в удобной форме результаты измерений всех рассматриваемых характеристик изделия и разместить данные, записанные на большом числе бланков, на одной странице. Каждый выходящий за установленные пределы отсчет фиксируется, и составляется перечень таких отсчетов в виде отдельной таблицы, автоматически печатаемой выходным устройством вычислительной машины.

4.5в. Анализ данных на вычислительной машине. Наиболее важным в программе ADA является анализ технических возможностей технологического процесса. Информация вводится в цифровую вычислительную машину с помощью перфокарт вместе со специально разработанной программой обработки данных. Получаемые на выходе результаты анализа приведены на фиг. 4.6. Каждая строка таблицы представляет собой полный анализ 100 испытаний по одной технической характеристике. Данные по столбцам включают:

Столбцы 1—3. Условные обозначения: кодированный номер прибора, номер карты и номер испытания.

Столбцы 4—6. Число наблюдений N для данных, указанных в столбцах 1—3, среднее значение \bar{x} для этих данных и среднеквадратичное отклонение σ .

Регулятор Фирма «Ханиуэлл», г. Миннеаполис Отделение авионавигации										Необработанные				
Неделя	Отдел	Группа	Устройство	Блок	Тип данных	Идентификатор	Специальные исследования	Тип	Карта	1	2	3	4	
8 испытаний	16		1	2	1				1	625	545	001	625	
	16		1	2	2				1	850	800	150	850	
	19	16	00	01	02	3	147	1115	0	1	810	750	060	770
	19	16		1	2	3	179	1115	1	1	790	730	060	770
	19	16		1	2	3	185	1116	1	1	790	720	070	760
	19	16		1	2	3	186	1115	1	1	770	690	080	780
	19	16		1	2	3	192	1111	1	1	790	720	070	770
	19	16		1	2	3	196	1115	1	1	760	720	040	755
	19	16		1	2	3	224	1111	1	1	770	700	070	760
	19	16		1	2	3	238	1115	1	1	780	710	070	800
19	16		1	2	3	242	1111	1	1	760	720	040	790	
19	16		1	2	3	263	1111	1	1	790	710	080	750	
19	16		1	2	3	284	1111	1	1	770	750	040	760	
19	16		1	2	3	301	1115	1	1	790	700	090	790	
19	16		1	2	3	318	1115	1	1	770	710	060	760	
20	16		1	2	3	326	1115	1	1	780	710	070	800	
11 испытаний	20	16	00	01	02	3	329	1115	0	1	800	720	060	800
10 испытаний	20	16	00	01	02	3	329	1115	0	1	800	720	060	800
12 испытаний	20	16	00	01	02	3	329	1115	0	1	800	720	060	800
	19	16		1	2	3	336	1111	1	1	750	730	020	760
	16		2	1	1				1	350	350	053	000	
	16		2	1	2				1	550	550	071	090	
	18	16	2	1	3	425	13		1	455	447	062	020	
	20	16	2	1	3	57	1613		1	400	452	062	024	
	20	16	2	1	3	159	1213		1	466	470	065	019	
	20	16	2	1	3	299	1113		1	440	442	063	001	
	18	16	2	1	3	317	1213		1	447	441	061	027	
	18	16	2	1	3	334	1213		1	434	433	062	018	
	20	16	2	1	3	337	1213		1	462	454	064	002	
	20	16	2	1	3	362	1213		1	449	459	062	039	
	20	16	2	1	3	364	1213		1	464	460	061	013	
	18	16	2	1	3	369	1213		1	439	437	059	038	

Фиг. 4.5. Типичная таблица (табулограмма) необработанных

данные																			
Служба контроля качества																			
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
575	001	625	575	001	410	410	410	650	650	650	650	160	160	160	001				
800	150	850	800	150	490	490	490	790	790	790	790	190	190	190	999				
			740																
730	040	810	840	070	450	450	450	676	674	674	676	178	180	177					
730	040	810	710	100	451	451	451	664	672	670	674	178	178	178					
730	030	770	730	040	445	455	445	669	666	666	666	180	181	180					
720	060	760	720	040	448	448	448	677	677	677	677	177	180	177					
720	050	800	730	070	446	451	448	678	677	677	677	178	179	178					
715	040	775	700	075	449	449	449	667	674	668	675	177	177	177					
720	040	770	720	050	452	452	452	680	682	670	690	176	180	179					
720	080	780	710	070	454	454	454	679	685	673	679	176	178	176					
710	080	780	720	060	448	448	448	665	668	665	667	177	180	178					
710	040	780	720	060	452	452	452	675	675	671	678	179	180	180					
720	040	780	740	040	451	451	451	678	670	668	680	180	181	181					
720	070	800	710	090	454	454	454	679	679	677	670	177	177	176					
730	030	790	720	070	455	454	454	680	679	675	675	178	180	177					
740	060	780	720	060	452	452	452	670	683	681	680	178	180	177					
700	100	790	700	090	656	656	656	693	680	680	681	178	179	177					
700	100	790	700	090	656	656	656	693	680	680	681	178	179	177					
700	100	790	700	090	656	656	656	693	680	680	681	178	179	177					
720	040	780	720	060	450	450	450	670	674	670	673	175	176	174					
085	000	000	136	001	001	230	350	350	053	135	080	000	000	001	001				
115	020	080	196	999	999	999	550	550	071	196	100	020	080	999	999				
108	005	005	140	530	485	370	448	449	062	140	094	004	004	530	485				
092	001	020	144	520	490	350	435	448	061	142	087	001	019	520	485				
108	005	020	152	470	490	340	466	470	064	150	097	000	020	460	485				
105	005	010	140	500	485	340	439	441	060	150	092	004	020	500	485				
107	005	030	140	560	485	360	443	445	061	140	088	002	032	550	485				
103	005	005	140	560	485	400	430	429	060	140	088	002	013	560	485				
103	005	030	145	520	490	370	459	451	061	142	090	004	023	520	485				
097	005	005	141	560	485	380	444	453	060	142	100	002	004	540	485				
108	005	005	144	540	485	390	457	454	060	140	096	002	002	540	485				
099	005	005	142	540	485	370	432	433	060	145	086	002	008	590	485				

данных программы автоматического анализа данных.

Столбцы 7—9. Нижнее и верхнее значения характеристики и размах допусков.

Столбцы 10—12. Пределы, соответствующие 3σ , и размах, равный 6σ .

Столбцы 13—15. Пределы, соответствующие 4σ , и размах, равный 8σ .

Столбец 16. Ответы на следующие шесть основных вопросов о процессе (утвердительный ответ обозначается цифрой 1, отрицательному ответу соответствует пробел):

- 1) $6\sigma \leq \text{размаху установленных допусков?}$
- 2) $8\sigma \leq \text{размаху установленных допусков?}$
- 3) $\underline{x} - 3\sigma \geq \text{установленному нижнему пределу?}$
- 4) $\underline{x} - 4\sigma \geq \text{установленному нижнему пределу?}$
- 5) $\overline{x} + 3\sigma \leq \text{установленному верхнему пределу?}$
- 6) $\overline{x} + 4\sigma \leq \text{установленному верхнему пределу?}$

Столбцы 17—18. Сдвиг среднего значения характеристики процесса; цифра 9 в столбце 17 указывает на сдвиг к левой, или нижней, границе установленного номинального значения; сдвигу к правой, или верхней, границе соответствует пробел. В столбце 18 показан процент допусков, при которых произошел сдвиг среднего значения характеристики процесса в данном направлении.

В последних 10 столбцах дается распределение данных, характеризующих процесс. Установленный интервал допусков разделен на шесть равных частей (столбцы 3—8). В столбцах 2 и 9 указывается число испытаний, в которых данные находились в интервалах $(+3\sigma, +4\sigma)$ и $(-4\sigma, -3\sigma)$, а в столбцах 1 и 10 — число испытаний, в которых данные находились за пределами $+4\sigma$ и -4σ . Общая сумма каждого столбца показывает, сколько раз переменная находилась в пределах данного интервала значений.

4.5г. Графическое представление данных, полученных по программе ADA. Пользуясь выходными данными основной программы ADA, можно получить графическое представление распределения каждой переменной. Этот график представляет собой две вертикальные опорные линии, определяющие соответственно нижний и верхний установленные пределы. Нижний предел, соответствующий 3σ , среднее \bar{x} и верхний предел, соответствующий 3σ , обозначаются цифрами 1, 2 и 4 соответственно; они располагаются надлежащим образом относительно фиксированных линий, характеризующих положение установленных пределов. Если все три характеристики процесса лежат внутри установленных пределов, то можно считать, что характеристики имеют хорошее распределение (см. таблицу на стр. 163).

4.5д. Допущение о нормальном законе распределения. Программа ADA основана на допущении о нормальном законе распределения процесса. Дальнейшим развитием программы ADA является

автоматическая проверка на нормальность распределения. Было введено автоматическое вычисление третьего и четвертого моментов распределения, дающих дополнительную информацию о характере распределения. Обычно распределениям, отличающимся от нормального, соответствует больший разброс данных. Поэтому при анализе данных иногда берется коэффициент запаса, учитывающий возможное отклонение распределения от нормального.

Графическое изображение выходных данных

Испы- тание	Нижний установлен- ный предел		Верхний установ- ленный предел		
1		1	2	4	Хорошее распределение
2	1	2		3	Сдвиг к нижней границе
3	1		2		3 Процесс имеет слишком большое рассеивание
4			7		Процесс очень хороший, имеет пренебрежимо малое рассеивание

4.6. КОНТРОЛЬ ЗА ХОДОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

В широком смысле слова контроль за ходом технологического процесса охватывает совокупность всех методов, необходимых для производства изделий. Рассмотренный выше анализ технических возможностей технологического процесса, а также анализ отказов и корректировочные действия, которые будут описаны ниже, являются примерами постоянного контроля технологического процесса. Однако в строгом смысле под контролем технологического процесса следует понимать замкнутую цепь обратной связи между заданными характеристиками изделий и технологическим процессом, обеспечивающим их получение. Контроль заключается в измерении характеристик на месте при осуществлении немедленного воздействия на ход технологического процесса в случае необходимости.

Контроль за ходом технологического процесса важен как с точки зрения обеспечения качества, так и с экономической точки зрения. Он дает возможность обеспечить изготовление высококачественных изделий. Контроль, осуществляемый после того, как изделие уже изготовлено, не может улучшить качество отдельных его элементов. Такой контроль может лишь повысить качество комплексного изделия путем изъятия наихудших или дефектных элементов. Контроль за ходом технологического процесса обладает тем преимуществом, что дает возможность обнаружить отклонения в ходе

процесса, когда качество изделия еще можно улучшить путем немедленного воздействия на элементы процесса.

Основными элементами производственного процесса являются технические условия или требования, оборудование, материалы, рабочая сила и зафиксированные письменно или незафиксированные, но используемые на практике приемы и методы, определяющие конкретное использование первых четырех элементов. Соответствие отдельных элементов предъявляемым требованиям и правильное взаимодействие между ними определяют состояние контроля. Нарушение или отсутствие контроля может привести к появлению недостатков в одном или нескольких элементах или неправильному соотношению между элементами.

Для эффективного контроля за ходом технологического процесса необходимо:

1. обнаруживать отклонение от нормы или неудовлетворительное состояние процесса; 2) принимать решения о необходимости внесения изменений; 3) вносить необходимые изменения в процесс.

Методы контроля технологического процесса могут быть самыми различными в зависимости от конкретного применения. В тех случаях, когда возникают затруднения в проведении контроля, целесообразно использовать статистические методы, базирующиеся на фиксации и анализе результатов специальных испытаний и измерений. Использование этих методов для процессов, контроль которых не вызывает затруднений, может оказаться слишком дорогостоящим. В качестве примера контроля процесса далее будет описан метод, который можно применить к целому цеху или сборочному участку. Этот метод не является строгим, однако он экономичен и позволяет получить очень благоприятное соотношение между совершенствованием процесса и стоимостью контроля.

4.6а. Индивидуальный контроль качества как метод контроля технологического процесса. Метод индивидуального контроля качества (ИКК) был разработан в одном из отделений фирмы «Ханиуэлл» для организации выборочного контроля отдельных рабочих. Этот метод можно использовать как при оценке уровня квалификации, так и при проверке характеристик, которые непосредственно оговариваются техническими условиями. Методика заключается в следующем:

1. На каждого рабочего заводятся специальные бирки, опускаемые в ящик, для каждого технологического процесса, ведущегося в данный момент в цехе. На участках с относительно постоянным числом работающих в ящике будут находиться бирки с фамилиями всех операторов, участвующих в процессе производства на этом участке.

2. Инспектор перемешивает бирки в ящике и случайным образом выбирает бирку. Он проверяет работу, которую только что закончил оператор, чья фамилия указана на вынутой бирке.

3. Инспектор подробно осматривает определенное количество изготовленных изделий. Обнаруженные расхождения с документацией и другие замечания по качеству доводятся до сведения руководителя производственного участка для принятия необходимых корректировочных мер.

4. На рабочем месте оператора ведется специальная карта, на которой отмечаются результаты контроля.

5. Характеристики плана могут изменяться путем добавления в ящик бирок с фамилиями операторов, имеющих плохие показатели.

Метод контроля технологического процесса, очевидно, направлен на контроль такого элемента процесса как рабочая сила. Однако он может служить также для выявления других несовершенных элементов процесса производства, так как оператор охотно укажет факторы, вызывающие затруднения. Эффективность метода оценивается процентом дефектных партий, выявленных при последовательном контроле партий, и связана главным образом с его психологическим воздействием, однако он все же достаточно эффективен. Во многих случаях его применения процент продукции, сданной с удовлетворительной оценкой, в результате контроля превышал 95%. Число инспекторов, привлекаемых к индивидуальному контролю качества, может колебаться, несколько не влияя на сам метод.

4.66. Статистические методы контроля технологического процесса. Статистические методы контроля технологических процессов оказываются наиболее эффективными в тех случаях, когда характер процесса оправдывает производимые затраты. Такой контроль необходимо применять в следующих типичных случаях: 1) когда приемлемость продукции можно определить лишь с помощью точного контроля технологического процесса. В качестве примеров таких процессов можно назвать точечную сварку или сварку швом; 2) при большом объеме производства, когда при отсутствии контроля возможно заметное ухудшение качества или увеличение стоимости; 3) при предельном использовании технических возможностей технологического процесса.

Наиболее распространенной формой контроля количественных характеристик процесса является карта средних значений \bar{x} и карта размаха R . Имеются также контрольные карты для доли дефектной продукции (p -карты) и контрольные карты для числа дефектов, приходящихся на каждое изделие (c -карты).

4.7. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ

Для примера рассмотрим упрощенное соотношение между конструированием изделия и его производством. При идеальном или совершенном производстве изделие обладало бы надежностью, по-

тенциально присущей данной конструкции. В действительности же идеальные или совершенные производственные процессы не существуют. Поэтому надежность изготовленного изделия не может превышать (а фактически она будет ниже) потенциально присущей данному изделию надежности, которая представляет собой верхний предел надежности. Чем совершеннее производственный процесс, тем более полно реализуются потенциальные возможности изделия.

Строго говоря, в процессе производства нельзя полностью предупредить снижение надежности, потенциально присущей данной конструкции, его можно лишь свести к минимуму. Однако потенциально присущую изделию надежность можно повысить, используя информацию, полученную в процессе производства. Это позволяет повысить теоретически достижимый верхний предел и фактическую надежность изделия.

Разрыв между потенциальной и фактической надежностью оказывается весьма значительным. Анализ информации об отказах в период эксплуатации показывает, что значительная часть общего числа отказов обусловлена в основном процессом изготовления продукции. Число таких отказов часто составляет 40—85% от общего числа отказов. Сама по себе цифра 60% эксплуатационных отказов, обусловленных процессом изготовления, без указания общей интенсивности отказов, еще не характеризует неудовлетворительный уровень надежности изделий; она указывает, что отказы, обусловленные производством, требуют очень серьезного внимания. Поэтому для производства надежной продукции необходимо:

1. Добиться максимальной реализации надежности, потенциально присущей конструкции. Решение этой задачи связано с большими трудностями. Оно требует применения эффективного контроля всего производственного процесса, начиная от выработки требований и кончая отгрузкой изделия. Основная часть этой главы посвящена методам такого контроля.

2. Оптимизировать соотношение между потенциально присущей конструкции надежностью и процессом конструирования. Решение этой задачи достигается в значительной степени путем использования опыта, накопленного на начальной стадии производственного процесса, и результатов, полученных из отчетов, проведения корректировочных действий и информации, получаемой по каналу обратной связи. Средства, позволяющие достигнуть улучшений, рассмотрены в разд. 4.15—4.19.

4.8. КОНТРОЛЬ ЗА ИЗМЕНЕНИЯМИ, ВНОСИМЫМИ В ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ЧЕРТЕЖИ

Технические условия и чертежи представляют собой основной источник информации о характере изделия и критериях его приемки. Производственный персонал не очень охотно встречает любые

изменения в этих документах, тем не менее некоторые изменения оказываются необходимыми, так как они позволяют совершенствовать продукцию. Если подходить реально, то задача здесь должна состоять не в том, чтобы полностью исключить изменения технической документации, а в том, чтобы свести их к минимуму. Полагая, что изменения необходимы, следует принять меры для регулярного получения выпусков технической документации и внедрения в производство изменений, внесенных в документацию.

Неблагоприятные результаты пренебрежения эффективными методами контроля за внесением изменений могут быть различными: от финансовых потерь при обнаружении дефектного изделия и его отбраковке до серьезных проблем, связанных с ухудшением надежности при эксплуатации изделия. Основные требования к эффективному контролю за изменениями просты, однако для выполнения программы контроля требуется исключительная точность на каждой операции. Термин «документ» относится к чертежам, техническим условиям, распоряжениям на внесение технических изменений и ко всем другим аналогичным документам, выпускаемым конструкторским или техническим отделом.

К основным элементам программы контроля за внесением изменений относятся следующие три требования: 1) правильное распределение новой документации, в которую внесены все изменения; 2) изъятие устаревшей документации; 3) гарантия эффективности контроля. Хотя только первые два требования сформулированы четко, все эти задачи решаются совместно для обеспечения правильной информацией всех подразделений, занимающихся производством и приемкой изделий. Выполнение третьего требования обеспечивает воплощение в конкретных изделиях изменений, внесенных в документацию.

4.8а. Методы распределения документов, внесение изменений и изъятие устаревших материалов. Необходимо принимать меры для распределения документов по всем участкам, на которых они необходимы, и произвести четкое определение этих участков. Для выполнения этой работы могут оказаться полезными заготавливаемые заранее листки рассылки. На охватываемых участках должен поддерживаться строгий порядок пользования документацией. Желательно иметь картотеки для документов с ограниченным доступом, завести карточки выдачи документов, в которых указывается, кому выдан тот или иной документ и заносится дата проверки. На документах должны проставляться специальные штампы, позволяющие определить правильное местонахождение документа и показывающие, что в документ внесены соответствующие изменения. При приемке продукции можно пользоваться только документами, на которых стоит такой штамп. Наличие штампа на документах, в которые внесены изменения, дает право инженерам и другим лицам при необходимости пользоваться копиями чертежей или техниче-

ских условий. Копии документов, в которые не внесены необходимые изменения, должны быть снабжены штампом «Изменения не внесены—запрещается пользоваться при приемке продукции». Документы, в которые не вносятся необходимые изменения, никогда не должны помечаться какими-либо знаками, а любые другие документы, помеченные какими-либо знаками, должны быть четко выделены в особую группу. Тщательное вычеркивание чернилами всех номеров и заглавий на каждой странице документа представляет собой один из способов маркировки документа. Вычеркивание должно производиться таким образом, чтобы можно было прочитать первоначальную информацию.

Вред, который может принести пользование устаревшей документацией в производстве или на участках контроля, очевиден. При получении новой документации служащий, отвечающий за текущее состояние документации, должен обеспечить уничтожение соответствующего старого документа. В том случае, когда какой-либо документ устарел, служащий обязан разыскать держателя документа и заменить устаревший документ новым.

При дополнительных затратах можно добиться осуществления более строгого контроля, если вся старая документация будет передаваться в центральное бюро по изъятию устаревшей документации с перечнем всех новых документов, подлежащих официальной рассылке. По мере выпуска новых материалов это бюро информируется об устаревшем материале, который должен быть принят от каждого участка, занимающегося выпуском или хранением документов. Неполучение документа в назначенное время приводит к затрате сил на поиски этого документа. Нумерация отдельных документов обеспечивает более полный контроль, однако во многих случаях достаточный контроль можно осуществлять и не прибегая к присвоению документам порядковых номеров.

Эффективным экономичным компромиссным решением, промежуточным между методом, при котором необходимо полностью полагаться на служащего, выполняющего обязанности по индивидуальной рассылке документации, и организацией бюро по изъятию устаревшей документации, является использование сопроводительной записки (фиг. 4.7). Сопроводительная записка представляет собой форму, заполненную в двух экземплярах через копирку; она сопровождает каждый пакет, содержащий один или несколько новых документов. Форма имеет исходящий номер. В сопроводительной записке перечисляются все документы новой рассылки, содержащиеся в пакете, с отметкой о проверке и графой, в которой служащий отмечает прохождение каждого документа в соответствующих папках. Наряду с перечислением каждого нового документа дается перечень устаревших документов, которые должны быть уничтожены. Здесь также предусмотрена графа для отметки о местонахождении документа. После обработки пакета с докумен-

тами служащий подписывает форму и передает один экземпляр в бюро по изъятию устаревших документов. Один экземпляр остается в качестве регистрационного документа на данном участке. Работа по изъятию документации должна дать уверенность в том, что ящики очищены от устаревших документов, а формы получены в течение определенного времени после рассылки.

Несмотря на то что необходимо некоторое время на проведение отметок в форме, проверку ящиков и изъятие старых документов, описываемый здесь метод, кроме обеспечения общего порядка в процессе рассылки документов, обладает следующими важными достоинствами:

1. Создается психологический стимул для четкой работы служащего, отвечающего за прохождение документов.

2. Отсутствие какого-либо номера в сопроводительной записке показывает, что по каким-то причинам данный документ не был получен. Неполученный пакет может быть дослан, и, несмотря на то, что изменения будут получены несколько позже, обеспечивается возможность предотвратить наличие расхождений в течение длительного времени и обнаружить случаи нарушения порядка распространения документов. Группа распространения документов получает сигнал о недосылке документов, когда не поступает заполненный бланк. Таким образом осуществляется двойной контроль, исключающий непоступление новой документации.

3. Сбор группой распространения документов заполненных бланков обеспечивает централизованный учет вносимых изменений. Для службы контроля качества это является реальным подтверждением того, что в области документации поддерживается должный порядок. (Однако желательна дополнительная проверка.) Правительственным инспекторам и представителям фирмы заказчика также часто бывает необходимо глубже ознакомиться с состоянием технической документации: описанная система учета может оказать им нужную помощь.

При переходе от одного исправления документации к другому может обнаружиться необходимость сохранения устаревшего документа. Это бывает особенно необходимо в тех случаях, когда эффективность изменений выявляется уже после их проведения. В этом случае старый и новый варианты должны храниться вместе, и на обоих документах должен быть проставлен штамп «Этот документ относится к...» и дано соответствующее описание применимости каждого документа. Так, например, на старом документе может быть написано: «Этот документ относится к системе с серийными номерами от 1107 до 1291 включительно». На новом документе может быть следующее: «Этот документ относится к системе с серийными номерами выше 1291». На видном месте должен быть проставлен штамп, определяющий тематику документа и какое-либо специальное его применение. Конкретные указания по простановке

штампов и специальному обращению с документом могут даваться в сопроводительной записке при рассылке.

Для анализа отказов и выполнения других заявок справочного характера, связанных с обращением к старым конструкциям изделий, необходимо организовать центральный архив или хранилище устаревших документов. На этих документах должен быть поставлен штамп «Устаревший документ — только для справок» или какая-либо другая соответствующая надпись. Обычно этот архив должен находиться за пределами производственной территории. В том случае, когда корректировка старых документов проводится на производственном участке в связи с ремонтом изделий, очень важно, чтобы на них был поставлен штамп «Устаревший документ».

4.86. Реализация технических изменений. Существует несколько способов отметки о реализации технических изменений. Может проставляться дата, порядковый номер или просто даваться пометка об изъятии всех устаревших деталей. Во многих фирмах технические изменения классифицируются по группам. Каждая такая классификация отражает характер вносимых изменений и требования к способу реализации изменений. Так, например, для типичной системы следует пользоваться одной из следующих девяти стандартных групп технических изменений:

Группа 1. Изменения обязательны для всех устройств. Необходимо прекратить отправку продукции. Системы, находящиеся в эксплуатации, должны быть переоборудованы.

Группа 2. Изменения обязательны для всех неотправленных приборов. Необходимо прекратить отправку.

Группа 3. Изменения обязательны для всех приборов, не прошедших окончательных приемочных испытаний.

Группа 4. Изменения обязательны для всей новой продукции. Устройства, производство которых уже начато, могут иметь старую конструкцию.

Группа 5. Детали нового типа должны быть использованы в течение 30 дней. Детали старого типа должны быть изъяты через 30 дней.

Группа 6. Детали нового типа должны применяться после того, как будут исчерпаны детали старого типа. Детали старого типа не должны применяться после того, как начнется применение деталей нового типа.

Группа 7. Все новые детали должны изготавливаться в соответствии с указаниями о технических изменениях. Могут применяться детали старого типа.

Группа 8. Уточнение или изменение записей. Продукция не меняется.

Группа 9. Специальный порядок. Разъяснение этого порядка должно быть дано в распоряжении о технических изменениях.

Перечисленные девять групп классификации обеспечивают в широких пределах необходимые действия по внесению технических изменений. Система, подобная данной, позволяет показать заинтересованным лицам, которым известен принятый код, относительную важность того или иного технического изменения. Группа обеспечения качества должна осуществлять указанные меры по каждой группе технических изменений. Реализация этих изменений возможна лишь при условии использования точной и неустаревшей документации. Практически целесообразно иметь одну группу технической документации для производственного персонала и одну для инспекторов службы контроля качества, если частота обращения к документам оправдывает такое дублирование. Если обработка документов ведется только в одном месте, то лучше возложить ответственность и контроль за архивом на службу контроля качества. Хотя вести архив может любой квалифицированный служащий, однако в некоторых случаях при более глубокой организации дела возможно более оперативное решение вопросов обеспечения качества и надежности. Кроме того, обязанность инспектора службы контроля качества защищать «честь фирмы» способствует улучшению отношений с правительственными инспекторами и представителями фирмы заказчика.

4.9. КОНТРОЛЬ ЗА ИЗМЕНЕНИЯМИ ДРУГИХ ДОКУМЕНТОВ

Контроль, аналогичный контролю технических условий и чертежей, должен быть распространен и на другие документы, оказывающие влияние на качество и надежность продукции. К ним относятся: детальные методики испытаний, детальные инструкции по приемочному контролю, инструкции по технологическим процессам и сборке, рабочие инструкции и методики согласования, заказы на поставку изделия, договоры с субподрядчиками, инструкции по обслуживанию контрольно-измерительной аппаратуры, технические условия на контрольно-измерительную аппаратуру и инструмент.

Необходимо рассмотреть включение этих документов в ту же систему рассылки и контроля, в которую включены технические условия и чертежи.

4.10. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПРАВИЛЬНОСТИ КОМПЛЕКТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

Ранее подчеркивалась необходимость увязывать порядок проверки отдельных элементов с окончательной сборкой. Кроме того, важно, чтобы окончательная сборка была связана с порядком приемочных испытаний, даже если эти испытания не вносят изменений в конструкцию изделия. Существует несколько относительно простых методов контроля правильности комплектации, которые при-

годны как для простых изделий, так и для сложных устройств, например таких, как электронные модули, гироскопы, акселерометры, электродвигатели, счетно-решающие устройства и другие приборы. Методы контроля более сложных изделий, которые обычно содержат большое число элементов, будут рассмотрены отдельно.

Контроль за правильностью комплектации элементов становится уже обычным требованием заказчика к сложной аппаратуре. В некоторых случаях заказчик требует представления полного отчета о результатах контроля по каждому элементу изделия.

4.10а. Простые методы контроля. Один из наиболее простых методов контроля сводится к указанию даты изготовления изделия (в кодированном или обычном виде). На заводе ведется журнал технических изменений, в который заносятся даты их реализации. Знание даты изготовления данного изделия позволяет работникам предприятия установить соответствие его комплектации требованиям технической документации.

Одним из недостатков этого метода является то, что после каждого изменения конструкции, схемы или параметров необходимо изменять маркировку. Это не представляет серьезной проблемы, если маркируется день изготовления; проблема возникает в том случае, если указывается неделя или месяц изготовления. Кроме того, потребитель при сообщении об отказе обычно называет номер прибора и серийный номер, а не дату изготовления. Для изделий с серийными номерами целесообразно использовать другие методы маркировки. Метод кодирования даты очень удобен для элементов с большими габаритами, не имеющих серийных номеров, так как их маркировка стоит недорого. Наличие даты или соответствующего кода удовлетворяет представителей фирмы заказчика, занимающихся контролем качества и вопросами обеспечения надежности. Маркировка означает, что изготовитель по крайней мере располагает элементарной информацией для передачи проблемы (если она возникнет) в соответствующую производственную группу для ее разрешения. Отсутствие маркировки означает, что каждый элемент изделия всегда будет находиться «под подозрением» в случае возникновения каких-либо неполадок.

Другим методом, связанным с нанесением кодированной даты, является нанесение на изделие буквы, присвоенной последней корректировке чертежей. При этом необходимо также вести журнал регистрации или иметь копии всех распоряжений о корректировке чертежей и технических условий. Это более эффективный метод контроля правильности комплектации, чем нанесение кодированной даты. Однако в случае возникновения затруднений нанесение кодированной даты позволяет легко определить, для каких периодов производства они характерны. Проставляемый ежемесячно код даты вместе с буквой, присвоенной последней корректировке, представляет собой простое решение, позволяющее также выделить пе-

риоды производства, в которые возникают какие-либо затруднения. Ниже приводится пример такого кодирования:

Корректировка	Месяц	Год
А	Январь, А	1965, А
В	Февраль, В	1966, В
С	Март, С	1967, С

Код СВА означает, что корректировка С проводилась в феврале 1965 г. Возможно использование и других знаков, если буквы или цифры могут привести к путанице.

Определенный контроль за правильностью комплектации можно обеспечить, помещая на фирменной дощечке прибора номер блока, серийный или групповой номер. Указывать номер блока рекомендуется только при значительных изменениях. В этом случае также нужно вести журнал регистрации. В журнал должны заноситься все эффективные незначительные изменения. Слабое место этой системы кроется в трудности определения, какие изменения являются «значительными» и какие «незначительными».

Серийные номера представляют собой эффективное средство контроля: при этом также необходимо вести журнал регистрации. Контроль с помощью серийных номеров связывает конкретный прибор с заводскими данными на случай анализа отказов и точности измерений. При работе с серийными номерами возникает трудность, заключающаяся в том, что во многих фирмах прибору не присваивается заводской номер до тех пор, пока он не готов к отправке. Фирменные дощечки прикрепляются непосредственно перед отгрузкой, на них наносятся серийные номера в последовательном порядке. Основное возражение против присвоения серийных номеров в начале процесса сборки мотивируется тем, что заказчик может заподозрить, что какой-либо прибор, отгрузка которого произведена не в порядке очередности, потребовал значительной переделки и ремонта. Контроль и в этих условиях может быть обеспечен; необходимо добавить лишь одну контрольную операцию. Еще один метод заключается в хранении заводских данных в пакете вместе с прибором до присвоения ему серийного номера. Пакет помечается тем же серийным номером, что и прибор, и связь между ними легко устанавливается. Однако если произойдет путаница с пакетами до их маркировки, то будет иметь место неразбериха. Более надежный метод заключается в присвоении каждому прибору заводского серийного номера, отштампованного или выгравированного в потайном месте или под фирменной дощечкой. Все данные о приборе и его элементах связываются с этим заводским серийным номером, а

при прикреплении фирменных дощечек ставится дополнительная метка вместе с серийным номером. Этот метод обладает еще одним до некоторой степени ограниченным достоинством: маркировка прибора сохраняется и в тех случаях, когда фирменные дощечки сняты или переставлены. Хотя последний метод приемлем для сложных изделий, все же лучше, если таким изделиям присваивается постоянный серийный номер в начале сборки; при этом номер должен быть изображен рельефно и четко. Это сведет к минимуму вероятность ошибок.

4.106. Контроль за правильностью комплектации сложных изделий. При рассмотрении вопроса о контроле за правильностью комплектации сложных изделий приняты следующие допущения:

1. Контроль основан на использовании серийного номера изделия.

2. Существует возможность определить требуемый порядок корректировки каждого элемента отдельной системы. Предусмотрены меры, позволяющие изучить и одобрить любые изменения, необходимые для изделий, выпускаемых после определенной даты.

3. Порядок корректировки каждого фактически используемого элемента отражается документально и сообщается заказчику вместе с данными о порядке внесения изменений в документацию для системы.

4. Ряд наиболее важных деталей маркируется серийным номером. Имеются данные, подтверждающие внесение изменений в эти элементы.

5. Программы приемочных испытаний составляются и обозначаются в зависимости от внесенных изменений. В результате этих испытаний получают количественные данные.

6. Весь ремонт, потребовавшийся в процессе производства, учитывается документально.

Контроль порядка внесения изменений в документацию на изготовление отдельных элементов вызывает наибольшие трудности вследствие большого количества деталей. Контроль может осуществляться путем анализа записей, выполненных вручную; однако необходимый объем работы можно значительно уменьшить с помощью полуавтоматической программы при использовании простейшего оборудования для обработки перфокарт. Для типичной программы характерно выполнение следующих операций:

1. *Подготовка главного комплекта перфокарт.* Этот комплект карт для обработки данных при контроле правильности комплектации предназначен для кодированного описания действующей документации для первого образца (головной серии), который должен быть изготовлен при использовании действующей системы контроля. Все действующие чертежи, технические условия и общий перечень деталей подвергаются пересмотру и список комплектующих деталей записывается на перфокартах.

2. *Создание комплектов карт для каждого последующего изделия.* Так как главный комплект карт подготовлен для первого изделия, то комплект для следующих серийных изделий представляет собой копию главного комплекта с добавлением карты с изменениями, внесенными в изделие с данным серийным номером. Для последующих изделий главный комплект систематически модифицируется по мере внесения технических изменений. Модификация осуществляется довольно просто, если контроль основан на использовании серийного номера. При некоторых изменениях могут использоваться детали устаревшего типа до тех пор, пока они могут быть поставлены. В этом случае имеющееся количество деталей устаревшего типа учитывается в плане. Изменения в главном комплекте карт обычно носят ограниченный характер в периоды между выпусками изделий и зависят от масштабов технических изменений. Модификация главного комплекта осуществляется путем изъятия устаревшей карты и замены ее картой с новой информацией. С целью уменьшения размера комплекта на одной карте можно указывать несколько номеров деталей. Модифицированный главный комплект дублируется, а к дубликату добавляются карты с серийными номерами. Этим обеспечивается комплект карт для изделия с требуемыми модификациями.

3. *Подготовка и реализация плана контроля правильности комплектации.* Комплект карт для данной системы обрабатывается на табуляторе с целью получения плана контроля для деталей, которые будут использованы в конкретной системе. На фиг. 4.8 представлен типовой план такого контроля. Форма имеет два столбца, где записываются данные о запланированной и фактической корректировке. Монтажник (сборщик) устанавливает деталь с буквой, соответствующей запланированной дате корректировки, и в столбце фактических данных записывает дату корректировки используемой детали.

Однако если у сборщика отсутствует деталь, соответствующая правильной комплектации, то в этом случае необходимо провести инженерный анализ. Такое положение создается в том случае, когда в соответствии с планом затребована деталь устаревшего типа, но в наличии имеются только детали нового типа, так как несколько деталей устаревшего типа повреждены или забракованы. Обычно деталь нового типа считается приемлемой для использования, но в каждом отдельном случае на основе плана контроля комплектации должен быть проведен инженерный анализ производимого изменения. Так, например, две взаимосвязанные детали устаревшего типа могут работать хорошо, а две детали нового типа могут работать еще лучше. Однако при поставке для совместной работы одной детали устаревшего типа, а другой детали нового типа могут получиться совершенно неудовлетворительные результаты как с точки зрения рабочих характеристик, так и с точки зрения надежности.

Фирменный номер 1205		22.07. 1963		Серийный номер узла		Составил _____		Проверил _____	
1 — детали, поставляемые внешними организациями 2 — детали, требующие присвоения серийного номера 3 — детали, поставляемые внешними организациями и требующие присвоения серийного номера				● обозначает выборочный номер детали. Указать используемый номер и число деталей. AR обозначает неопределенное количество. Указать используемое количество.					
Номер по схеме сборки	Номер узла по спецификации Главного управления вооружения ВМС	Число деталей в узле ●	Фирменный номер детали	Номер детали по спецификации Главного управления вооружения ВМС ●	Наименование детали по спецификации Главного управления вооружения ВМС	Отметка о внесении изменений в технические чертежи Главным управлением вооружения ВМС		Серийный номер деталей, поставляемых внешними организациями	Примечания
						планируемое изменение	фактическое изменение		
1	1979286	D	1979286	P	1978054	Направляющая	OA		
2	1979286	D	1979286	P	1978055	Амортизатор	OC		
3	1979286	D	1979286	P	1978056-2	Уплотнение	OC		
4	1979286	D	1979286	P	1978057	Направляющая	OC		1
5	1333069	D	1980602	A	1979286	Ограничительный стопор	OE		
6	1979286	D	1979286	P	1979295	Пружина	OC		
7	1979286	D	1979286	P	1979296	Пружина	OA		
8	1333039	D	1980602	P	1979323	Гайка	OB		1
9	1979286	D	1979286	P	1979352	Гайка	OA		1
10	1979286	D	1979286	P	1979385	Направляющая головки	OB		
11	1333069	D	1980602	A	1980001-1	Крепление подшипника	OD		3
12	1333069	D	1980602	P	1980003	Укороченный валик	OC		3
13	1333069	D	1980602	P	1980004-2	Укороченный валик	OE		3
14	1979286	D	1979286	P	1980006-052	Винт	OF		
15	1979286	D	1979286	P	1980043	Кронштейн	OE		
16	1333069	D	1980602	P	1980226	Шарнир подшипника	OC		
17	1333063	D	1980602	A	1980242	Ленточная направляющая			3
18	1333069	D	1980602				ON		
19	1979286	D	1979286	P	1980626-1	Шарнир поворота	OJ		
20				P	2076841	Кольцо			

Ф и г. 4.8. Страница из журнала накапливаемых данных (производство ракеты «Поларис»).

Во всех случаях о фактически использованной детали в связи с корректировкой делается отметка в столбце фактических данных.

4. Печать выходных данных о фактической комплектации системы. Форма плана контроля с фиксированием фактических данных пригодна для регистрации элементов, комплектующих систему. Обычно желательно иметь более компактную форму, особенно когда сведения о комплектации необходимо передавать заказчику. Для печати выходных данных комплект перфокарт для системы видоизменяется таким образом, чтобы включить данные о фактически использованных деталях. На подготовленной форме печатается таблица, показанная на фиг. 4.9. В случае сложной системы для печатания всех данных требуется несколько страниц. Подготовленной формой можно не пользоваться, если таблице предшествует страница с соответствующими объяснениями.

4.10в. Использование методов контроля за правильностью комплектации. Для применения описанного здесь метода необходимо приспособить его к данному изделию или конкретному требованию. Для некоторых изделий фактическое состояние комплектации бывает невозможно отразить так просто, как показано в примере на фиг. 4.9, и для печати данных может потребоваться больше места. Программа может быть изменена таким образом, чтобы можно было печатать данные по одной детали в одной строке или печатать данные поперек стандартного листа размером 215×280 мм. Можно предусмотреть выдачу на печать дополнительных данных непосредственно под основной записью, когда для некоторых деталей требуется более полное описание.

В некоторых случаях может оказаться целесообразным, чтобы все детали, принятые аппаратом комитета по наблюдению за боевой техникой, были обозначены номером комитета. Если необходим также дополнительный контроль, то номера представителей комитета могут использоваться в качестве дополнительной информации. Соответствующий код на перфокарте позволит провести сортировку и выдачу на печать данных только по деталям, принятым аппаратом комитета. Сборщик обязан занести все обозначения деталей с номером комитета в столбец фактических данных.

Могут быть записаны и некоторые другие данные, например название фирмы-изготовителя детали или отдельные параметры некоторых деталей. Выдача на печать подробных выходных данных по результатам контроля комплектации может использоваться для решения ряда производственных задач.

В некоторых случаях описанная основная система может содержать настолько обширный материал, что в нем теряется информация о технических изменениях. Эта проблема решается просто: нужно выводить на печать неизменяемый основной перечень данных для каждой готовой системы. Для каждой системы необходимо добавить приложение, подтверждающее, что «комплектация этой си-

Фирма «Ханиуэлл», отделение авионавтики

Состояние чертежей для комплектующих узлов

Узел карданного подвеса ракеты «Поларис»

Серийный номер МНА 4001

№ детали	Наименование	Корректировка чертежей	№ детали	Наименование	Корректировка чертежей
2104105	Провод крепления	B	2104164	Сепаратор подшипника	A
2104167	Гайка, плоская	C			
2104193	Подушка	D	2104186	Крышка в сборе	F
2104199	Зажим в сборе	B	2104193	Подушка	D
2104231	Штуцер впуска воздуха	D	2104224	Выпускной рукав	D
2104235	Стопор для средней оси	D	2104233	Стопор 2 по средней оси	D
2168286	Защитная головка		2167416	Гильза	
2295245-2	Герметичный вывод		2236910	Винт	A
2317671	Винт		2317670	Винт	C
2317675	Соединитель	C	2317672	Винт	C
2317675	Соединитель	D	2317675	Соединитель	D
2317678	Клепанный штифт	D	2317675	Соединитель	D
2317681	Соединитель	E	2317680	Соединитель	D
2317681	Соединитель	E	2317681	Соединитель	E
2317682	Соединитель	E	2317682	Соединитель	D
2317708	Лопатка аксиальная	D	2317701	Палец, прямой	
2317710	Корпус подшипника	B	2317710	Корпус подшипника	E
2317715	Стержень в сборе	E	2317711	Узел карданного подвеса	
2317717	Подшипник азимутальной оси	C	2317716	Подшипник азимутальной оси	E
2317719	Подшипник оси тангажа	F	2317718	Подшипник оси тангажа	G
2317721	Подшипник оси рыскания	J	2317720	Подшипник оси рыскания	H
2317723	Скользящее кольцо 32	G			G
2317723-1	Скользящее кольцо 32	V	2317723	Скользящее кольцо 32	V
2317724	Скользящее кольцо 72	V	2317723	Скользящее кольцо 32	V
2317727	Укороченный вал	V	2317723-2	Скользящее кольцо 32	V
2317727	Укороченный вал	C	2317726	Укороченный вал	F
2317733	Стопорный штифт	C	2317727	Укороченный вал	C
2317735G4	Ленточный токопровод	D	2317728	Корпус подшипника	C
2317740	Стопор	A	2317736G3	Скоба крепления акселерометра	A
2317743-2	Пластины идентичные	B	2317739	Узел стопора средний	B
2317747	Штифт	V	2317742-2	Шильдик платы	D
2317755	Соединитель	D	2317744-2	Шильдик платы	H
2317755-1	Соединитель	A	2317748	Гайка	C
2317756	Соединитель	E	2317755	Соединитель	E
2317755-2	Соединитель	D	2317755-2	Соединитель	E
2317765-REF	Противовес	D	2317756-2	Соединитель	D
2317785-REF	Противовес	D	2317764-REF	Противовес	C
2317783	Зажимное кольцо	V	2317785	Противовес	B
2317796	Шайба, зажимная	A	2317788	Зажимное кольцо	A
2318787	Резистор		2317792	Решающий прибор	C
2318983-REF	Резистор		2318710	Силастик	A
2318984	Резистор	B	2318983	Резистор	A
2318987	Обойма акселерометра оси тангажа		2318984	Резистор	B
2401550-GFE	Акселерометр	K	2318984-REF	Резистор	B
2401571-ALT	Акселерометр	B	2318987	Обойма акселерометра оси рыскания	K
2401779	Токпровод к акселерометру оси тангажа		2401550-GFE	Акселерометр	B
	Телеметрический вывод	K	2401571-ALT	Акселерометр	
2401809	Кулачок	F	2401779	Токпровод к акселерометру оси рыскания	K
2401942	Поводковый рычаг	M	2401862	Кронштейн	G
2401978			2401976	Экранировка	M
			24002023	Предусилитель акселерометра	K

Ф и г. 4.9. Страница с выходными данными контроля комплектации.

стемы та же, что и в основном перечне (изделие с серийным номером 1), за исключением...». Затем необходимо дать перечень всех изменений, внесенных к настоящему моменту. Если перечень изменений оказывается слишком большим, то необходимо заготовить новый основной перечень и установить первое изделие, имеющее в точности такую же комплектацию. При указанной модификации некоторые изделия будут рассматриваться как «основные»; перечень будет содержать лишь изменения относительно этих «основных» изделий.

4.10г. Контроль за внесением изменений в техническую документацию. Технические условия и инструкции для сложной аппаратуры обычно составляются в таком виде, что их можно разбить на две основные группы. Первая группа, в которую входит наибольший объем информации и которую можно подразделить более детально, чем это делается в данном случае, представляет собой набор всех технических условий и инструкций, необходимых для сборки окончательного образца. Вторая группа технических условий и инструкций используется уже после изготовления системы. В технических условиях и инструкциях второй группы указывается, каким образом необходимо производить окончательную калибровку и испытания системы и как она должна работать.

Комплектация системы определяется по буквам или другим знакам, обозначающим соответствующие изменения в конструкции деталей, и знакам, характеризующим изменения в конструкции окончательного варианта системы. Этого достаточно для контроля и проверки состояния первой группы технической документации. Вторая группа документов обычно представляет собой довольно сложную техническую документацию, составленную в текстовой форме и содержащую детальные указания по использованию системы. Один и тот же документ часто используется и для калибровки и для испытаний. В отдельном документе излагается порядок и методика проведения испытаний комплектного изделия. Для каждого документа устанавливается свой порядок внесения изменений. Для контроля за проведением необходимых изменений ведется контрольная ведомость технических условий (фиг. 4.10), из которой видно, какие технические условия должны использоваться при изготовлении и испытаниях данной системы. Контрольная ведомость обеспечивает также контроль за правильным сбором данных о результатах испытаний системы. Следует заметить, что эффективный контроль за внесением изменений автоматически обеспечивает правильное использование технических условий.

Существуют две точки зрения на то, как обеспечить внесение всех необходимых изменений в комплект технической документации для сложных систем. Один подход, основанный на внесении изменений в отдельные документы, был рассмотрен выше. Другой подход заключается в том, что изготавливается новый комплект докумен-

Контрольная карта

технических условий на инерциальную платформу F-33

Серийный номер системы _____

Испытание	Методика приемочных испытаний	Корректировка	Результаты испытаний в процессе производства	Результаты приемочных испытаний
1. Испытание сопротивления и прочности изоляции усилителя	12—1			
2. Выверка карданного подвеса по азимуту	12—2			
3. Стопорное и ограничительное действие переключателей	12—3			
4. Ортогональность карданного подвеса	12—4			
5. Уравновешенность карданного подвеса	12—5			
6. Выверка решающего прибора	12—6			
7. Индикатор положения карданного подвеса	12—7			
8. Прецизионная выверка решающего прибора	12—8			
9. Масштабный коэффициент и смещение нуля акселерометра	12—9			
10. Дрейф гироскопа	12—10			
11. Воздействие окружающих условий	12—11			
12. Стабильность показаний акселерометра	12—12			
13. Испытания кодирующего устройства акселерометра	12—13			
14. Крутящий момент карданного подвеса	12—14			
15. Предварительная нагрузка подшипника	12—15			
16. Проверка параметров при запуске	12—16			
17. Коэффициент усиления усилителя стабилизации гироскопа	12—17			
18. Коэффициент усиления усилителя акселерометра	12—18			
19. Проверка изоляции	12—19			
20. Проверка фазировки	12—20			

Указанные методики приемочных испытаний должны быть использованы при испытаниях платформы в сборе

Отдел контроля качества

тов с обозначением определенной буквой каждой модификации. Первый метод обладает тем недостатком, что окончательная комплектация системы должна иметь вид перечня, а не обозначаться одной буквой или цифрой. Однако он обладает тем преимуществом, что при сравнительно небольшом объеме работы позволяет исключить старые технические условия и записать новые технические условия в полном объеме.

Метод контроля технических изменений, предусматривающий внесение изменений в отдельные документы, имеет ряд преимуществ. Практически нецелесообразно каждый раз при внесении изменений выбрасывать весь комплект документации. Однако при постраничной корректировке документации имеются большие возможности допущения ошибок. Во-первых, метод предполагает рассылку новых страниц комплекта всем адресатам без исключения. К тому же замена старых страниц новыми не является совершенным процессом, поскольку новая страница может быть случайно изъята вместо старой, и старая страница при этом будет оставаться официально в силе. Удовлетворительным компромиссом могла бы оказаться замена целого раздела. Хотя такой подход может потребовать большого расхода бумаги, однако это окупается тем, что отпадает необходимость в привлечении группы инженеров для проверки правильности документации и в повторении сложных испытаний.

При внесении изменений в отдельные документы общее состояние комплекта документации определяется каждый раз после изменений.

4.11. КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ ПО ПРИЗНАКУ ИХ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ К ОПРЕДЕЛЕННОЙ ПАРТИИ

Метод контроля деталей по признаку их принадлежности к определенной партии (контроль по признаку партионности) был разработан с целью улучшения анализа надежности и организации работ по доводке систем, к которым предъявляется требование высокой надежности. В известном смысле контроль по признаку партионности представляет собой следующий шаг после контроля правильности комплектации. Кроме обеспечения маркировки вносимых изменений, контроль по признаку партионности для каждой комплектующей детали позволяет проследить путь до конкретной производственной партии, а в идеальном случае до материала, использованного при изготовлении этой партии. Хотя, по-видимому, никогда не понадобится проследить путь до экскаватора, с помощью которого был добыт материал, использованный в данной детали, однако характерной чертой и назначением контроля по признаку партионности является довольно глубокое прослеживание пути каждого элемента.

Основное внимание контролю элементов по признаку партионности уделяется при изготовлении сложной электронной аппаратуры. Аппаратура этого типа обычно состоит из отдельных узлов или модулей. Модульная конструкция удобна, но не обязательна для применения контроля по признаку партионности.

Контроль по признаку партионности осуществляется следующим образом. Партию деталей, отправляемую поставщиком, сопровождает ведомость, в которой указывается дата изготовления или номер партии деталей, и другие данные, необходимые при изготовлении аппаратуры. Изготовитель аппаратуры производит осмотр деталей и присваивает принятой партии свой номер. Ведомость, присланная поставщиком, должна подшиваться под тем же номером. Затем изготовитель аппаратуры должен предпринять специальные меры, исключающие смешивание полученной партии деталей с деталями из других партий и обеспечивающие сохранение присвоенного ей номера. Для каждого узла или модуля, который должен быть собран из деталей партии, подвергаемой контролю по признаку партионности, подготавливается сопроводительная записка (фиг. 4.11). Модулю присваивается серийный номер в начале процесса сборки; этот же серийный номер указывается и в сопроводительной записке.

Сопроводительная записка должна «сопровождать» модуль в течение всего процесса производства и испытаний. (Для обеспечения этого важно использовать соответствующую упаковку.) При установке каждой детали сборщик записывает номер партии в соответствующем месте сопроводительной записки. Место определяется индексом схемы, номером детали и важностью схемного элемента. Некоторые изготовители считают удобным производить предварительный подбор деталей для данного модуля. В этом случае сопроводительная записка заполняется по мере сборки всего комплекта.

Группа контроля качества обязана производить частые проверки методов хранения и точности записи номеров партий. При завершении изготовления модуля все соответствующие места в бланке сопроводительной записки должны быть заполнены номерами партий. Последовательное заполнение бланка в порядке ведения сборки позволяет быстро обнаружить пропущенные номера. После приемки модуль маркируется только своим серийным номером, а в последующем осуществляется обычный контроль за правильностью комплектации. Единственную связь с номерами партий деталей обеспечивает теперь сопроводительная записка, которая хранится на предприятии. Заказчик может потребовать копию сопроводительной записки для каждого модуля. Таким образом создается возможность проследить путь любой детали до источника информации, представляемой поставщиком в его ведомости, хотя для этого могут затрачиваться большие усилия.

Цепь R-C 649682. Номер партии		Серийный номер 649682					
		Серийный номер	Номер партии	Проверка	Символ	Оператор	Инспекционная проверка и дата
Схемная панель	623679	—			ТВ1		
Конденсатор 0,05 мкф	624563-10	—			C1		
Конденсатор 0,05 мкф	624563-10	—			C2		
Конденсатор 0,05 мкф	624563-10	—			C3		
Конденсатор 0,05 мкф	624563-10	—			C4		
Резистор 1,1 ком	626593-11	—			R2		
Резистор 1,3 ком	626593-13	—			R3		
Резистор 5,2 ком	626593-52	—			R1		
Конденсатор 0,01 мкф	624563-2	—			C6		
Конденсатор 0,01 мкф	624563-2	—			C5		
Конденсатор 0,01 мкф	624563-2	—			C7		
Резистор 5,0 ком	626593-50	—			R4		
Резистор 6,0 ком	626593-60	—			R5		
Резистор 1,1 ком	626593-11	—			R6		
Эпоксидная смола	2640-1	—			—		

Фиг. 4.11. Сопроводительный бланк контроля комплектующих элементов.

Широко практикуется ограничение числа типов схемных элементов; такой подход обеспечивает более высокую надежность. Обычно объем партий велик, и весьма вероятно, что детали одной партии при сборке попадут в различные типы модулей. Для быстрого обнаружения места нахождения деталей, взятых из сомнительной партии, можно применять полуавтоматические методы. Чтобы использовать соответствующую программу, необходимо перевести на перфокарты данные, записанные в сопроводительных записках. Кроме того, данные о каждом основном элементе должны наноситься вместе со всеми маркировочными и серийными номерами модулей. Перфокарты с данными, взятыми из сопроводительных записок, сортируются по номеру сомнительной партии; это позволяет выделить модули, содержащие детали определенной партии. Затем карты, относящиеся к основным элементам, сортируются по типам дефектных модулей и их серийным номерам. Производится упорядочение выделенных перфокарт и их табулирование; это обеспечивает вывод на печать данных для каждого поврежденного основного элемента, выделение информации с указанием типа и серийного номера каждого поврежденного модуля и индекса схемы в каждом месте, где находится деталь из интересующей нас партии.

Если изготавливаемая аппаратура является стационарной, как, например, электронно-вычислительная машина общего назначения,

то опытный программист может составить программу таким образом, что документ, напечатанный выходным устройством, можно непосредственно передавать на места эксплуатации аппаратуры по телетайпу всем заинтересованным техническим службам.

Наибольшие трудности, связанные с контролем по признаку партионности, заключаются в обеспечении связи с поставщиками схемных элементов и координации их деятельности. Требуемый уровень контроля и информации должен быть четко согласован с поставщиком и оговорен в соглашении по закупкам. Если поставщик выпускает высоконадежные элементы, то он всегда будет готов предоставить информацию, необходимую для контроля. Если поставщик выпускает не очень ответственные элементы для бытовой электронной аппаратуры, не обладающие высокой надежностью, то могут встретиться некоторые трудности, особенно когда заказанные детали будут эксплуатироваться так же, как элемент для бытового прибора. Эта сторона контроля по признаку партионности связана с обеспечением поставок надежных изделий.

Таким образом, контроль деталей и элементов по признаку партионности представляет собой относительно новую программу, особенностью которой является возможность проследить за каждой деталью узла или всей системы. Внутривзводские затраты на обеспечение такого контроля невелики; они обусловлены в основном тем, что требуются дополнительные меры по обеспечению условий хранения деталей, дополнительное время для сборщика и время для проверки программы службой обеспечения качества. Наиболее сложной проблемой является получение необходимой информации от поставщиков элементов. Однако при широком внедрении контроля по признаку партионности решение этой проблемы значительно облегчается. В этом случае поставщики будут в состоянии представлять необходимую информацию в обычном порядке или за умеренное вознаграждение как за проведение консультаций.

Контроль по признаку партионности особенно эффективен, когда изделия состоят из большого количества деталей. В некоторых случаях такой контроль предусматривает присвоение серийных номеров каждому элементу. Присвоение серийных номеров обеспечивает связь между элементом и результатами его испытаний, которые могут потребоваться при анализе отказов, причинной которых является уход характеристик. Многие поставщики высоконадежных элементов обеспечивают присвоение серийных номеров элементам, некоторые из них представляют перфокарты для каждой детали с серийным номером и соответствующими данными испытаний. Однако обычно для организации контроля требуются дополнительные расходы.

4.12. КОНТРОЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Большая часть характеристик изделия оценивается посредством измерений. Результаты выполненных измерений позволяют определить:

1. Соответствие характеристик техническим условиям.
2. Повторяемость характеристик изделия как показатель стабильности характеристик и надежности.
3. Долгосрочную устойчивость состояния производственного процесса, обеспечивающего получение стабильных характеристик (технические возможности процесса).
4. Необходимость проведения неотложных мер, связанных с контролем процесса производства.
5. Данные о характеристиках, требуемые для последующей работы или эксплуатации в полевых условиях.

Измерительная и испытательная аппаратура, с помощью которой проверяются характеристики изделия, должна поддерживаться на уровне эталона, соответствующего требованиям к измеряемым характеристикам. Для производства высококачественной аппаратуры необходима формальная программа контроля измерительного оборудования. В некоторых случаях сам факт проведения регулировки или настройки принимаемой аппаратуры, в результате которой улучшаются ее характеристики, используется как критерий приемки, когда оказывается непрактичным или даже почти невозможным обеспечить требуемую точность поверочной измерительной аппаратуры для измерения характеристик принимаемой аппаратуры после выполнения регулировки или настройки. При таком использовании приборов для регулировки или настройки их необходимо проверить и проконтролировать таким же образом, как и калибры или эталонные приборы.

Метрологические средства для поверки, обслуживания и калибровки обычно разбиваются на две категории. Лаборатория по контролю инструмента и калибров специализируется на механических измерениях. Лаборатория по контролю электро- и радиоизмерительной аппаратуры специализируется на электрических измерениях. Такое разделение объясняется специализацией персонала и руководства. Общее руководство при наличии двух таких лабораторий осуществляется часто на более высоком уровне, а именно главным инженером по качеству или главным инспектором.

Хотя методы проверки измерительной аппаратуры, предназначенной для механических измерений, и аппаратуры для электрических измерений отличаются друг от друга, элементы контроля остаются по существу одинаковыми. Требуется провести следующую работу:

1. Любой измерительный прибор независимо от того, куплен ли он, получен по договору с поставщиком или изготовлен в измерительном отделе или инструментальном цехе фирмы, должен пройти в лаборатории тщательную проверку и оценку с точки зрения соответствия техническим условиям. План оценки составляется инженерной инструментальной группой или другой инженерной группой. Программы оценки включают в себя повторные испытания аппаратуры в течение длительного периода времени, а не одноразовую проверку.

2. Немедленно после приемки лабораторией измерительной или поверочной аппаратуры ей должен быть присвоен постоянный порядковый номер.

3. Должна быть установлена периодичность проверок этой аппаратуры. При определении сроков проверки необходимо использовать накопленный опыт, в особенности отрицательный опыт. Наличие хотя бы одного калибра или прибора, вышедшего за пределы калибровки, должно рассматриваться как серьезное происшествие. Необходимо выявить причины появления этого дефекта и принять меры по его исправлению.

4. Новая аппаратура должна быть снабжена этикеткой, показывающей срок следующей калибровки. Аппаратурой нельзя пользоваться после истечения срока, указанного на этикетке.

5. Всегда должно быть известно местонахождение измерительной и поверочной аппаратуры. Для небольших приборов должен быть обеспечен наладочный контроль.

6. Необходимо проводить периодические проверки в соответствии с установленными для них сроками. Для каждого типа аппаратуры должны быть подготовлены технические условия и методики проверки. Необходимо тщательно исследовать характер ухода характеристик прибора и отремонтировать прибор. Определение состояния серийно изготавливаемого изделия после обнаружения ошибки измерения связано со значительными трудностями.

При разработке плана обеспечения качества необходимо заранее рассмотреть каждую характеристику с точки зрения ее влияния на состояние контролируемых изделий в случае ошибки измерительной аппаратуры. В результате такого рассмотрения могут измениться интервалы между проверками измерительной аппаратуры и система записи данных. Необходимо также рассмотреть возможность использования «минимальных» стандартов для ежедневной или ежемесячной проверок, если трудно определить степень приемлемости изделия. Трудно переоценить важность вопроса, связанного с неисправной измерительной аппаратурой; это серьезная проблема, требующая проверки и корректировочных действий в каждом случае. Всегда необходимо учитывать приемлемость изделия. Совершенно недостаточной является простая перекалибровка аппаратуры.

4.13. КОНТРОЛЬ ИНСТРУМЕНТА

Контроль инструмента аналогичен контролю измерительной аппаратуры. При этом необходимо учесть следующие соображения:

1. По получении новых инструментов должен быть произведен их осмотр.

2. Должна быть обеспечена возможность проведения испытания при разработке нового специального инструмента. Это испытание может заключаться в специальном оценочном рабочем прогоне; оценка может быть также произведена по первым рабочим циклам начального этапа работы.

3. После окончания периода испытаний инструмента последний должен быть снова подвергнут осмотру, чтобы выяснить, не появились ли какие-либо ненормальные изменения после работы. Инструмент обычно подвержен значительно большим нагрузкам, чем калибр, и поэтому проверка инструмента должна проводиться особенно тщательно.

4. Необходимость настройки, а также профилактического и восстановительного ремонта должна определяться в индивидуальном порядке. Исключение составляет невозстановливаемый инструмент, например сверлильные головки и метчики.

5. Инструмент должен проверяться и апробироваться периодически при длительном производственном цикле. Период между проверками и калибровками должен быть определен в единицах времени или числом циклов работы. После заточки инструмент необходимо подвергнуть осмотру. Следует обратить внимание на взаимосвязь заточки инструмента и его осмотра с методами контроля процесса.

6. Инструмент должен быть проверен перед каждой работой в цехе, в котором производятся в основном изделия с кратковременными циклами работы.

Необходимо сформулировать требования к контролю инструмента в соответствии с конкретным характером работы данного цеха. Часто цех выпускает одни изделия непрерывно, а другие — небольшими партиями. В этом случае желательно иметь две методики контроля инструмента.

4.14. КОНТРОЛЬ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Контроль сырьевых материалов состоит из трех основных операций: 1) проверки получения необходимых материалов и их соответствия предъявляемым требованиям; 2) обеспечения маркировки всех материалов с целью предотвращения их неправильного использования; 3) обеспечения правильного обращения с материалами для сохранения их качеств и наблюдения за сроками годности портящихся материалов.

Сырьевые материалы контролируются с помощью технических условий на материалы. В технических условиях необходимо дать описание материала и указать конкретные процедуры контроля характеристик. Некоторые характеристики материала являются более важными, чем другие; необходимо классифицировать характеристики материала с целью информации службы контроля качества об уровне требуемого контроля. Система типовой классификации для сырьевых материалов включает указанные ниже классы.

Класс А. Все характеристики материала, относящиеся к этому классу, должны быть проверены в лаборатории фирмы. Количественные результаты проверок должны быть зафиксированы и снабжены индексом партии материала. Необходимо подвергнуть анализу по меньшей мере три случайно выбранных из партии образца, если конкретный объем выборки не указан в технических условиях на материалы.

Класс В. По всем характеристикам материала, относящимся к этому классу, необходимо иметь количественные результаты испытаний, представляемые поставщиком. Последний должен утвердить отчет по испытаниям. В случае непредставления поставщиком отчетов по испытаниям материал может быть принят только в порядке испытаний, определяемых классом А.

Класс С. Необходимо иметь подтверждение поставщика о том, что все характеристики материала, относящиеся к этому классу, отвечают требованиям соответствующих разделов технических условий на материалы. При отсутствии такого подтверждения при приемке применяется порядок испытаний согласно классу А, за исключением того, что не требуется сохранения количественных записей.

Класс D. Все характеристики материала, относящиеся к этому классу, могут быть проверены путем визуального наблюдения. Не требуется никаких испытаний или подтверждений.

Описанная система классификации должна предусматривать возможность эпизодических проверок характеристик классов В и С лабораторией фирмы.

Классификация должна быть отражена в технических условиях на материалы. Важную роль играет строгий контроль запасов. Применение некондиционного материала вызывает очевидное повышение стоимости, снижение качества и надежности выпускаемых изделий. В технических условиях должны быть предусмотрены меры по контролю сроков годности портящихся материалов, например эпоксидных смол, резиновых материалов и клеев. Дата истечения срока годности должна быть четко указана на каждом контейнере. Необходимо определить условия хранения портящихся материалов.

Маркировка материала должна сохраняться на производственном участке как можно более длительное время. Подача прутко-

вого материала в станок должна производиться таким образом, чтобы цветной код сохранялся до полного использования материала. Небольшие контейнеры с флюсами, лаками и очищающими веществами всегда должны быть маркированы номером технических условий на материалы. Необходимо использовать процедуры контроля качества для обеспечения связи между общими мероприятиями, необходимыми для удовлетворения требований технических условий на материалы.

4.15. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛИНИЯ КАК ИСТОЧНИК ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ

При рассмотрении вопросов технологичности было упомянуто о том, что отказы, возникающие в полевых условиях эксплуатации, и проблемы, возникающие на производственной линии, тесно связаны между собой. Эта взаимосвязь была использована для того, чтобы подчеркнуть важность обеспечения технологичности конструкции. Взаимосвязь между поведением изделия при эксплуатации и производством может быть также использована как источник информации о надежности. Этот вопрос может быть развит на основе предыдущего рассмотрения технологичности, если проанализировать весь производственный процесс, а также процесс конструирования.

Хотя опытные образцы выпускаются до начала производства в качестве объектов для испытания на надежность, собранная на начальном производственном этапе информация обладает двумя важными особенностями. Во-первых, выпущенные на этом этапе изделия уже являются производственными образцами. Они изготовлены в соответствии с апробированными методами, техническими условиями и чертежами. Практика изготовления путем «подпиливания для подгонки», используемая при изготовлении макетов, уже прекращается. Производственные образцы представляют собой изделия, которые будут применены в реальных условиях эксплуатации. Разница между опытным и производственным образцами не всегда очевидна, однако вероятность того, что действительно сравнимые между собой изделия будут изготовлены как в условиях макетного цеха, так и в производственных условиях, весьма мала.

Второе преимущество информации по надежности, полученной по производственным образцам, заключается в обеспечении возможности анализа большего количества имеющихся в наличии систем. Обеспечение технологичности и серийноспособности предполагает наличие производства, обеспечивающего выпуск повторных экземпляров по оригиналу. Этот оригинал никогда не демонстрируется как единственное физическое изделие. В связи с допустимыми изменениями каждой характеристики оригинал, описываемый тех-

ническими условиями, является представителем неограниченного множества возможных систем. Недостаточная надежность во всем множестве изделий может не быть очевидной в пределах ограниченного числа опытных образцов, даже если можно провести более детальные и более суровые испытания. Большая вероятность того, что изделие, выпущенное на начальных этапах производства, может рассматриваться как типичный представитель серии, обеспечивает существенное преимущество, позволяя сделать более точную оценку внутренне присущих всему множеству серийных изделий характеристик.

Вся имеющаяся информация, которую можно использовать для целей повышения надежности и обеспечения технологичности, разбивается на два основных типа. Первый охватывает выборочные данные, показывающие, что некоторые характеристики вышли за пределы технических условий, или данные о каких-либо неисправностях. Информация этого типа обычно отражается в материалах, озаглавленных «Отчет по отказам» или «Отчет по дефектам». Так как эта информация появляется лишь в случае возникновения какой-либо проблемы, то данные по этой проблеме извлекаются из всего объема информации об изделии. Избирательная информация (или данные по дефектам и отказам) должна представлять собой главный источник информации по надежности. Данные по отказам и дефектам должны собираться в каждой производственной организации. При этом не требуется сложного предварительного планирования. При тщательном контроле полноты отчетности по отказам и дефектам можно методом исключения установить все положительные и все отрицательные качества серийных изделий.

Ко второму типу информации относятся статистические данные о характеристиках, основанные на записях количественных результатов измерений выбранных характеристик изделия. Для накопления статистических данных требуется предварительное планирование; лучше всего делать записи на специально подготовленных бланках, на которых предусмотрено место для каждого требуемого отчета. Эти данные нельзя рассматривать как замену статистики по дефектам и отказам; они представляют собой дополнительный материал, относящийся только к измеряемым характеристикам. Это в значительной мере расширяет содержание получаемой информации.

4.16. СИСТЕМА ОТЧЕТНОСТИ ПО ОТКАЗАМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СЛОЖНЫМ СИСТЕМАМ

Отчетность по отказам и дефектам должна осуществляться систематически, обеспечивая информацией о каждом случае отказа и сведениями о причинах и существовании отказов. Рассматриваемая си-

7 4 2 1 7 4 2 1 7 4 2 1 7 4 2 1 7 4 2 1 7 4 2 1 1 2 3 4 5 6 7 8													
Номер детали подсистемы (последние шесть цифр)						Отказ обнаружен при							
1 2 4 7	Прибор	Наименование		Номер детали	Индекс или серийный номер	Паработка в часах							
		Система											
		Прибор											
		Подсистема											
1 2 4 7 1 2 4 7 1 2 4 7	Серийный номер системы	Дата изготовления		Отказ обнаружен при									
		Прибор _____		1) входном контроле		<input type="checkbox"/>		5) после испытаний на воздействие окружающих условий				<input type="checkbox"/>	
		Подсистема _____		2) производственных испытаниях		<input type="checkbox"/>		6) при испытаниях на воздействие окружающих условий				<input type="checkbox"/>	
		Дата разборки _____		3) приемо-сдаточных испытаниях		<input type="checkbox"/>		7) летных испытаниях				<input type="checkbox"/>	
				4) перед испытаниями на воздействие окружающих условий		<input type="checkbox"/>		8) других условиях				<input type="checkbox"/>	
		Окружающие условия:											
		при отказе						до отказа					
		Описание отказа											
		Доложил						Отдел или участок					
Меры по ремонту и причина отказа													
Ремонт произвел						Дата							
Детали, оставленные для анализа <input type="checkbox"/> Да <input type="checkbox"/> Нет Состояние детали													
Где хранится или куда послано													
1 2 4 7	Год	Наименование отказавшей детали		Номер детали	Индекс схемы	Поставщик (если известен)			Ремонтный участок				
7 4 2 1 7 4 2 1 7 4 2 1 7 4 2 1 7 4 2 1 7 4 2 1													
Номер узла, в который входит деталь (последние шесть цифр)													

Ф и г. 4.12. Лицевая сторона отчета об отказах.

7 4 2 1 Тип детали				1 2 3 Рекламация заказчика			1 2 Оставлено для анализа	
Категория причины отказа								
<input type="checkbox"/> 1. Технические условия	<input type="checkbox"/> 2. Проектирование	<input type="checkbox"/> 3. Технологический процесс	<input type="checkbox"/> 4. Квалификация работника	<input type="checkbox"/> 5. Неправильное при- менение	<input type="checkbox"/> 6. Случайная пере- грузка	<input type="checkbox"/> 7. Неправильное об- ращение	<input type="checkbox"/> 8. Дефектный мате- риал	
Решение:				Ответственность за анализ:				
<input type="checkbox"/> 1. Не подтвержда- ется	<input type="checkbox"/> 2. Перекалиб- ровка	<input type="checkbox"/> 3. Ремонт	<input type="checkbox"/> 4. Снижение сорт- ности	<input type="checkbox"/> 5. Замена	<input type="checkbox"/> 1. Производствен- ный отдел	<input type="checkbox"/> 2. Поставщики	<input type="checkbox"/> 3. Конструкторский отдел	<input type="checkbox"/> 4. Другие подразде- ления
<input type="checkbox"/> 5. Инженер-произ- водственный	<input type="checkbox"/> 6. Служба качества	<input type="checkbox"/> 7. Инструменталь- ный отдел	<input type="checkbox"/> 8. Другие подразде- ления					
Рекламация заказчика: _____								
<input type="checkbox"/> 1. Подтверждается <input type="checkbox"/> 2. Не подтверждается <input type="checkbox"/> 3. Отсутствует								
Код отказа элемента								
<input type="checkbox"/> 1. Акселерометры	<input type="checkbox"/> 2. Конденсатор	<input type="checkbox"/> 3. Прерыватель	<input type="checkbox"/> 4. Соединитель	<input type="checkbox"/> 5. Диод	<input type="checkbox"/> 6. Гироскоп	<input type="checkbox"/> 7. Подогреватель	<input type="checkbox"/> 8. Двигатель в сборе	<input type="checkbox"/> 9. Потенциометр
<input type="checkbox"/> 10. Реле	<input type="checkbox"/> 11. Резистор	<input type="checkbox"/> 12. Переключатель	<input type="checkbox"/> 13. Трансформатор	<input type="checkbox"/> 14. Транзистор	<input type="checkbox"/> 15. Другие элементы			
Корректировочные меры: _____								

Подпись _____ Отдел _____								

Решение

Причина отказа

Ответственность за анализ

Ф и г. 4.13. Обратная сторона отчета об отказах.

стема отчетности успешно применялась как внутри предприятия, так и в полевых условиях.

Входными данными для этой системы отчетности об отказах являются данные, заполненные под копирку на специальной карте, состоящей из четырех разделов (фиг. 4.12). Три экземпляра являются информационными, а четвертый — рабочим, используемым в повседневной деятельности. Рабочий экземпляр печатается на плотной бумаге или тонком картоне; при этом предусматривается место для информации на оборотной стороне (фиг. 14.13). Система отчетности об отказах охватывает все отказы в пределах конкретного производственного участка независимо от того, где и когда они произошли — в процессе выполнения производственной операции, регулировки или контрольного испытания. Весь персонал, занятый на производственном участке, обязан сообщать о каждом обнаруженном им отказе. В каждом отчете отражается следующая информация:

1. Номер и шифр системы, прибора, подсистемы и элемента, в которых произошел отказ, вместе с серийными номерами и индексами схем в случае их наличия.

2. Описание отказа, содержащее результаты количественных измерений параметров и характеристик, и ссылка на требования технических условий в отношении данной характеристики.

3. Описание стадии производства или эксплуатации, на которой был обнаружен отказ, включая наработку до отказа. Указывается также взаимосвязь отказа с испытаниями на воздействие окружающих условий.

Дальнейшее исследование отказавшего прибора или элемента производится при разборке прибора для проведения ремонта. Ремонтник указывает: 1) обнаруженную им фактическую причину отказа; 2) дополнительные сведения о деталях, обуславливающих отказ (когда такое определение не может быть сделано до фактической разборки).

На этой стадии работы экземпляры формы отчета, кодированные цветом, разделяются и передаются в группу надежности, производственную группу и группу контроля качества.

Экземпляр службы контроля качества предназначен для оперативного использования; в нем предусмотрено место для дополнительной информации на оборотной стороне. Служба контроля качества сразу же регистрирует отчет, и этот экземпляр передается в производственно-техническую (технологическую) группу. Эта группа выявляет действительный источник неисправности; она просматривает каждый отчет для определения участка, где требуется провести корректировочные действия.

Рассматриваемая система отчетности по отказам отличается от традиционных систем, в которых исследуются лишь отказы повторяющегося систематического характера, тем, что в ней каждый от-

каз подвергается тщательному исследованию. Корректировочные действия в этой системе требуются в каждом случае. Если производственно-техническая группа определяет, что причина отказа кроется в конструкции, то она устанавливает контакт с конструкторской группой для решения проблемы. В тех случаях, когда отказы связаны с плохими условиями производства, контакт устанавливается с производственным отделом. Если отказы обусловлены несовершенством технологического процесса, то проблема должна быть решена самой производственно-технической группой организации.

В большинстве организаций исследованием отказов занимается инженер по контролю качества или инженер по надежности. Однако в отношении сложного изделия целесообразно, чтобы исследованием отказа занимался инженер, ответственный за производство изделия в целом. Производственно-техническая (технологическая) группа постоянно стремится улучшить контроль технологических процессов, а отказы способствуют выявлению участков, в которых требуется такое улучшение. Инженер, глубоко знающий технологические процессы производства, наилучшим образом может определить категорию причины отказа.

Проверкой выполнения и назначения корректировочных действий занимается служба контроля качества. В ее задачи входит обеспечить быстроту проведения этой работы в достаточном объеме. Практически инженер по контролю качества и инженер по надежности участвуют в исследовании отказов. В связи с тем что опытные инженеры по контролю качества и надежности обычно анализируют широкий круг проблем, их суждения об аналогичных ситуациях являются весьма ценными. Одобрение выводов и корректировочных действий службой контроля качества или надежности должно быть получено до завершения этих действий.

В описанной системе используется ручная обработка данных. Несмотря на то что автоматические методы обладают некоторыми преимуществами, в данном случае ручная обработка данных предпочтительна, так как время между возникновением отказа и началом исследования уменьшается до нескольких часов вместо требуемых при машинной обработке нескольких дней. Нет необходимости в какой-либо канцелярской работе; только группы исполнителей имеют дело с оперативным экземпляром отчета. Правда, сохранив оперативность, присущую ручному методу, можно затем использовать автоматическую обработку данных, если подготовка и пробивка перфокарт откладываются до полного окончания исследования.

Необходимо суммировать результаты в месячном отчете о качестве и надежности, включающем всю периодическую техническую информацию, которую группы контроля качества и надежности хотят передать остальным группам, способствующим повышению

качества продукции и ее надежности. В отчете отражаются тенденции, накопленный опыт и выводы, содержащие оценку технического прогресса в решении поставленных задач, а также «призывы к действию» в отношении нерешенных проблем.

Важное значение имеет исследование каждого отказа; оно обеспечивает существенное увеличение эффективности отчетов об отказах и корректировочных действий. Может показаться, что такой подход обходится слишком дорого. На самом деле это не так. Практически исследование каждого отказа приводит к быстрому уменьшению числа отказов. Оно способствует значительному снижению числа связанных с повторяющимися отказами проблем, которые должны быть полностью решены. Затраченное на исследование причин отказов и выработку мероприятий время почти такое же, как в случае анализа только повторяющихся проблем, но зато повышается качество и надежность изделий.

Автоматические методы обработки данных о дефектах и отказах, в которых используются перфокарты, имеют как достоинства, так и недостатки по сравнению с ручной системой. В автоматической системе данные могут быть расположены и представлены в любой возможно более удобной форме. Автоматические системы удобны с точки зрения обеспечения периодического обновления накопленной информации по отказам. К недостаткам следует отнести то, что в общем случае между моментом обнаружения отказа и моментом начала его исследования теряется некоторое время. Эти системы обычно основываются на кодированной информации; кодирование используется при сортировке. Однако коды редко дают точную информацию о дефекте; в связи с этим точность и детализация анализа в некоторой степени теряются. Коды очень удобны в широких исследованиях, когда подробные данные при попытке воспользоваться ими теряются в большом объеме материала.

4.16а. Анализ возникающих проблем с точки зрения надежности. Желательно определить, имеется ли вероятность того, что возникшая проблема повлияет на надежность изделия. Такое определение может потребоваться для оценки опасности, которой могут подвергнуться в полевых условиях эксплуатации системы, отправленные до вскрытия проблемы на производственной линии. Может оказаться желательным повлиять на ускорение корректировочных действий в отношении технологического процесса или конструкции или в других направлениях. Для того чтобы знать, чем руководствоваться при этом, рассмотрим еще раз характер проблемы надежности.

Проблема надежности связана с изменениями во времени. Характеристика, которая в некоторый период времени была нормальной и соответствовала требованиям, ухудшается. Если заметна тенденция к ухудшению, то данная проблема может быть отнесена

к категории «надежных». В этой связи рассмотрим некоторые практически важные положения.

1. Если характеристика подсистемы оказалась дефектной при окончательных испытаниях системы и известно, что она была удовлетворительной во время испытаний подсистемы, то это указывает на наличие деградационного изменения. Если дополнительная информация не позволяет сделать других выводов, то данный отказ имеет отношение к надежности.

2. Аналогичным образом отказ элемента в подсистеме может рассматриваться как отказ «надежного» типа, если этот же элемент удовлетворительно прошел приемочный контроль.

3. Если характеристика подсистемы при проверке системы и отдельно подсистемы оказывается различной, то это может быть либо нормальным, либо свидетельствовать о нестабильности характеристики. Некоторых отклонений в характеристиках можно ожидать для таких усовершенствованных элементов, как, например, поплавковые гироскопы после установки их в систему. В таких случаях в технических условиях должны быть указаны пределы изменений. Использование приращений Δ при контроле изменений характеристик является ценным для распознавания нормальных и ненормальных изменений характеристики. Тщательная проверка по Δ всех важных характеристик на начальном производственном этапе представляет собой эффективный метод обнаружения слабых мест, потенциально присущих конструкции или технологическому процессу.

4. Другим источником нестабильности характеристики является неправильная калибровка. Оператор при калибровке обычно пользуется теми же приборами, что и испытатель. Причина нестабильности может крыться либо в недостаточной надежности изделия, либо в недостаточном соответствии приборов, что также может быть источником «надежных» проблем.

5. Отказы в полевых условиях эксплуатации могут рассматриваться как «надежные», если не обнаружены неправильное применение или просчеты в мероприятиях по обеспечению качества. Необходимо рассмотреть время наработки, чтобы определить, не возникают ли отказы из-за износа.

6. В некоторых случаях опасность с точки зрения надежности может быть обнаружена даже при отсутствии отказа. Типичным примером может служить провод, касающийся острой металлической кромки. Такое состояние можно классифицировать как «надежную опасность», или «надежные дефекты». Необходимо провести анализ факторов, которые могут оказать влияние на надежность, или сделать критические замечания по первому образцу продукции и затем повторять это периодически.

Таким образом, для определения того, является ли данная проблема «надежностной», необходимо использовать каждую реальную возможность для обнаружения тенденции к изменению характеристики, имеющей отношение к этой проблеме. При графическом представлении требуются по меньшей мере две точки для определения крутизны линии надежности. В случае резкого ухудшения ранее проверенной характеристики крутизна становится большой.

4.17. КООРДИНАЦИЯ КОРРЕКТИРОВОЧНЫХ ДЕЙСТВИЙ

После обнаружения слабого места в обеспечении качества или надежности необходимо провести эффективные корректировочные действия. Обычно начальным стимулом для этих действий являются меры, предусмотренные программой отчетности по отказам. В связи с крайне важными последствиями, которые влекут за собой недостатки в обеспечении надежности в сложных системах, целесообразно организовать координационную деятельность, которая гарантировала бы привлечение должного внимания к отдельным проблемам в соответствии с их сложностью. Эффективным средством для осуществления такой координации является создание небольшого по своему составу комитета. В комитет по надежности должны входить представители от конструкторского и производственного отделов, от служб контроля качества и надежности. Заседания комитета должны проводиться еженедельно. В комитете рассматривается вся имеющаяся информация о надежности изделия, включая как выявленные на заводе отказы, так и проблемы, указанные в отчетах по отказам в полевых условиях эксплуатации. В соответствии с необходимостью осуществляются корректировочные действия и принимаются меры по их ускорению.

В периодическом отчете комитета должны быть отражены текущее состояние каждой проблемы и выполненные корректировочные действия или действия, намеченные к выполнению. В случае необходимости предложения о корректировочных действиях направляются руководителям конкретных групп. В отчет должны быть также включены сведения о решенных проблемах.

Особенность работы такого комитета заключается скорее в осуществлении им функции констатации фактов, а не функции принятия решений. Отдельные группы возглавляются руководителями, которые обязаны принимать решения по вопросам, подтвержденным соответствующими фактами. Комитеты способствуют обмену информацией, однако из-за отсутствия соответствующих полномочий они, вообще говоря, не являются достаточно эффективными органами для принятия решений.

4.18. СБОР ДАННЫХ И КОНТРОЛЬ

Для сложных изделий обычно требуется обеспечить большое количество справочных и отчетных данных. В настоящем разделе описывается характерная система контроля параметров сложной системы. Многие из приводимых здесь положений применимы ко всем изделиям, если появляется необходимость точно знать все о характеристиках изделий.

Система контроля параметров связана с системой контроля комплектации, описанной в разд. 4.10. Необходимо также пользоваться правильными техническими условиями для проверки изделия и соответствующими бланками для записи данных (фиг. 4.10).

По получении бланка контроля технических условий подготавливается «Журнал изделия» для готовой серийной системы. Журнал с пустыми страницами для внесения данных выдается, когда работа над готовой системой только начинается. Аналогичные данные, полученные производственным персоналом и контрольным аппаратом, записываются рядом для удобства сравнения. Такое расположение данных оказывается наиболее удачным при беглом анализе данных с целью выявления ухода характеристик.

Страницы журнала имеют цветной код для облегчения распознавания данных, полученных при производственных и контрольных испытаниях, и для идентификации данных по повторным испытаниям. Ниже приводится следующий типичный цветной код:

Первичное производственное испытание	— зеленый
Повторное производственное испытание	— желтый
Первичное контрольное испытание	— белый
Повторное контрольное испытание	— красный

Если требуется дополнительное повторное испытание, то бланк с неиспользуемыми строчками помечается специальным резиновым штампом «Недействительно». Все результаты повторных испытаний заносятся на соответствующий лист с цветным кодом.

По окончании испытаний изделия все данные относительно подсистем в системе хранятся вместе с журналом изделия. Если заказчик потребует вместе с изделием и журнал, то снимается копия. Для нанесения данных на перфокарту для дальнейшего анализа необходимо использовать подходящую форму для данных.

Повторные испытания в случае безуспешно проведенных первых испытаний всегда должны быть четко обоснованы. Если изделие не прошло испытания, производственная организация может потребовать проведения повторных испытаний. Если после этого изделие выдерживает испытания, то делается вывод, что при первом испытании допущены ошибки, и изделие принимается. Очевидная опасность здесь состоит в том, что первые испытания фактически могли быть правильными, а характеристика изделия изменилась.

Решение проблемы, связанной с неудачными испытаниями, заключается не в повторных испытаниях изделия. Необходимо усовершенствовать методы испытаний до такой степени, чтобы можно было считать результаты испытаний заведомо достоверными. Если при проведении испытаний имеется возможность «изолировать» отклонение, то можно разрешить проведение повторных испытаний. В противном случае изделие следует считать дефектным, а повторные испытания должны быть проведены только для определения источника отклонений.

4.19. ПОКАЗАТЕЛИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ

В каждой организации целесообразно следить за прогрессом, достигнутым в повышении качества и надежности. Это лучше всего осуществить путем установления определенных параметров в качестве критериев прогресса. Необходимо сформулировать задачи по улучшению, а параметры должны измеряться и представляться графически еженедельно или ежемесячно. Параметры должны базироваться на объеме произведенных изделий или объеме работы. Типичными показателями прогресса в повышении качества и надежности являются следующие:

1. Количество заводских «надежностных» отказов, приходящихся на каждое выпущенное изделие.
2. Общее количество отказов, приходящихся на каждое выпущенное изделие.
3. Число дефектов, приходящихся на каждое изделие (или на 100 изделий, если количество дефектов мало).
4. Число замен модулей, приходящихся на каждое выпущенное изделие.
5. Количество отказов в полевых условиях эксплуатации, приходящихся на эксплуатируемую аппаратуру.
6. Количество замечаний по материалам, приходящихся на каждое выпущенное изделие (отказы в связи с несоответствием материалов).
7. Количество дефектов внешнего вида, приходящихся на каждое выпущенное изделие.
8. Среднее время наработки на отказ (при работе на заводе и в полевых условиях).
9. Количество повторных испытаний, приходящихся на каждое выпущенное изделие.
10. Затраты, связанные с браком, приходящиеся на каждое выпущенное изделие.

Кривые прогресса можно использовать как средство демонстрации тенденций и достигнутого прогресса в осуществлении поставленных задач. Если тщательным образом выбрать параметр, то

можно измерить эффективность повышения надежности и улучшения качества продукции. На начальной стадии выполнения программы должен быть заметен крутой рост тенденций, а по мере исчерпывания возможностей дальнейшего улучшения качества (состояние насыщения) кривая постепенно становится пологой, изменяясь по экспоненциальному закону.

4.20. СПОСОБНОСТИ РАБОЧЕГО И ЕГО ОТНОШЕНИЕ К ПРОИЗВОДСТВУ НАДЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Поскольку факторы, влияющие на надежность, действуют неявно и не поддаются количественному измерению, их трудно обнаружить. Больших результатов в решении проблем надежности можно добиться, если каждый работник на производственном участке сознает все потенциальные трудности на пути к обеспечению надежности и постоянно следит за ними, выполняя свою обычную работу. Для обеспечения выпуска надежных изделий в производственной организации должна вестись глубокая работа по воспитанию сознательного отношения к вопросам надежности.

Качество выполнения работы с точки зрения надежности зависит от способностей рабочего и его отношения к работе. Отношение рабочего к работе играет такую же важную роль, как и его способности, причем на отношение рабочего к работе оказывает большое влияние и то значение, которое придают надежности его непосредственные руководители.

Строгая дисциплина в сочетании со справедливой оценкой выполненной работы — пути достижения высокой надежности изделия.

Для обеспечения надежности требуется следующее:

1. Рабочий должен выполнять порученную ему конкретную работу квалифицированно в строгом соответствии с имеющимися инструкциями. От него должны исходить предложения по усовершенствованию работы, но он не должен изменять методы работы без соответствующего одобрения.

2. Рабочий должен сообщать об обнаруженных отказах и неудовлетворительных условиях работы в соответствии с установленным порядком. Он должен сообщать о всяких отклонениях своему непосредственному руководителю, когда не применяются методы стандартной отчетности.

Эти два требования могут показаться на первый взгляд чрезмерно простыми; однако они являются очень содержательными. Рабочему необходимо разъяснить, что он отвечает за выполнение своей работы в соответствии с указанными требованиями.

4.20а. Развитие сознательного отношения к вопросам надежности. Воспитание сознательного отношения к вопросам обеспечения надежности проводится в основном параллельно с совершенство-

ванием мастерства. Сознательность в вопросах надежности включает как чувство ответственности, так и чувство гордости за выполненную работу. При воспитании этих чувств необходимо учитывать следующие соображения:

1. Рабочий должен знать, над каким изделием он работает и почему оно должно быть надежным, ибо он не получает удовлетворения от работы, если не знает, что делает.

2. Необходимо создать положение, при котором должно быть известно, кто выполнял данную работу. Подписание сопроводительного бланка или листа с данными напоминает рабочему об его ответственности за качество выполненной работы.

3. Дисциплинарные взыскания не должны применяться к рабочим, которые сообщают о случайно допущенных ими отклонениях от документации. Рабочему необходимо разъяснить, что надежность изделия зависит от него так же, как от контролеров и испытателей. Случайно допустив отклонение от документации, он должен немедленно об этом доложить. Существует много дефектов, которые могут быть скрыты рабочим; это приводит к снижению надежности изделия. Когда рабочий сообщает о дефектах, но продолжает изготавливать дефектные изделия в недопустимом количестве, необходимо, очевидно, принимать какие-то меры. При этом руководство должно учитывать добросовестность рабочего и его положительное отношение к надежности. Он должен пройти дополнительное обучение по данной конкретной работе или же ему необходимо поручить работу, которую он способен эффективно выполнять.

4. Рабочий должен знать, как он выполняет работу. Если рабочий не знает, как ценится его работа, то у него возникает чувство безразличия к работе.

5. Производственный отдел и служба контроля должны руководствоваться одинаковыми стандартами качества. Важно, чтобы руководством были приняты четкие положения относительно стандартов качества. Соглашение по стандартам должно быть принято руководством и единое решение должно быть доведено до рабочих и контролеров.

6. Руководство должно быть справедливым при обращении с персоналом. Целесообразно устанавливать определенные сроки выполнения поручений. Рабочие не должны подвергаться необоснованной критике.

7. Рабочему необходимо разъяснить, что он является членом коллектива. Его квалификация и сознательное отношение к делу являются существенными условиями производства надежного изделия. Руководство полагается на него, и он должен об этом знать.

4.206. Обучение рабочего. Независимо от квалификации рабочего наиболее эффективной формой его обучения конкретным операциям является обучение на рабочем месте. Инструктором при та-

кой форме обучения обычно назначается помощник мастера или руководитель группы, который должен быть подготовлен для обучения и располагать для этого достаточным временем. Для обучения на рабочем месте рабочий должен обладать навыками в выполнении работы. Так, например, обучающийся сборке электронных элементов уже должен уметь применять методы пайки и должен быть знаком с общими методами сборки. При обучении на рабочем месте необходимо применять эти навыки при выполнении определенных сборочных операций. В производственном обучении на рабочем месте особенно эффективны наглядные учебные пособия.

Более предпочтительным методом повышения общей квалификации является обучение в аудитории или групповое обучение. Такая форма обучения также способствует ознакомлению рабочего с общим положением дел. Как было упомянуто выше, можно получить хорошие результаты, если все работники постоянно уделяют внимание вопросам надежности. Для этого они должны получать основные данные об изделии, над которым работают. Ниже приводится перечень вопросов, охватываемых типовой программой обучения для рабочей группы контроля в цехе предприятия, выпускающего вычислительную машину типа D-68. Программа объединяет вопросы, связанные с приобретением основной квалификации, с информацией прикладного характера, и направлена на развитие сознательного отношения к работе.

Занятие I. Вычислительная машина D-68. Назначение и применение.

Занятие II. Требования к конструкции вычислительной машины D-68.

Занятие III. План контроля вычислительной машины D-68 и его связь с производственным процессом.

Занятие IV. Влияние ошибок, связанных с плохими условиями производства.

Занятие V. Определение приемлемости изделия.

Занятие VI. Замечания руководителя производственного участка по вопросам качества и надежности.

Занятие VII. Надежность вычислительной машины D-68.

Занятие VIII. Повторный курс I по математике.

Занятие IX. Повторный курс II по математике.

Занятие X. Применение математических методов при приемке вычислительной машины D-68.

Занятие XI. Изучение стойки управления вычислительной машины D-68.

Занятие XII. Практические занятия по обеспечению надежности при пайке — I.

Занятие XIII. Практические занятия по обеспечению надежности при пайке — II.

Занятие XIV. Методы обращения с модулями и деталями вычислительной машины D-68.

ЛИТЕРАТУРА

1. Burr Irving W., Engineering Statistics and Quality Control, McGraw-Hill, N. Y., 1953.
2. Cowden Dudley J., Statistical Methods in Quality Control, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, N. J., 1957; есть русский перевод: Коуден Д., Статистические методы контроля качества, ГИФМЛ, 1961.
3. Duncan Acheson J., Quality Control and Industrial Statistics, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Ill., 1952.
4. Feigenbaum A. V., Total Quality Control, McGraw-Hill, N. Y., 1961.
5. Grant E. L., Statistical Quality Control, 3d ed., McGraw-Hill, N. Y., 1964.
6. Juran J. M. (ed.), Quality Control Handbook, 2d ed., McGraw-Hill, N. Y., 1962.
7. Western Electric Company, Inc., Statistical Quality Control Handbook, Western Electric Company, Inc., 1956.

УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ В ДОГОВОРАХ НА ПОСТАВКИ

Ю. Ланкастер, Э. Олсен
E. J. Lancaster

Director of Quality Assurance, Kearfott Systems Division
General Precision, Inc., Wayne, New Jersey

Emil M. Olsen

General Manager, Air Cruiser Division
the Garrett Corporation, Belmar, New Jersey

5.1. ВВЕДЕНИЕ

Основное назначение любых технических условий — точное и квалифицированное определение желаемых результатов. В идеальном случае технические условия должны быть составлены просто и кратко, однако не за счет их полноты. Кроме того, совершенные технические условия должны обладать такими качествами, как однозначность, реализуемость и информационная достаточность. Надежность не является предметом или свойством, которые можно описать независимо от других факторов. Она неразрывно связана с параметрами конструкции аппаратуры, процессами ее изготовления и другими оперативными аспектами, в том числе и с квалификацией и добросовестностью персонала, принимающего участие в выполнении этих функций.

Воздействие надежности на экономику огромно, и, следовательно, оно в значительной степени сказывается на решениях вопросов, связанных с заключением контрактов и поставками. Многие проблемы, возникающие при выработке требований к надежности, вытекают из содержания контрактов и должны рассматриваться именно с этой точки зрения. Обычно при заключении контракта, который должен иметь юридическую силу, рассматриваются такие элементы, как определение сторон, заключающих контракт, их обязанностей и компетенции, четкая формулировка назначения контракта, взаимопонимание и степень согласия между сторонами, юридические аспекты, возможность достижения сформулированных в контракте целей, точно определенные и приемлемые сроки выполнения и окончания работы.

При составлении технических условий на надежность довольно часто прибегают к компромиссным решениям в отношении тех элементов, которые касаются четкого определения целей, взаимопонимания и согласия между сторонами, возможности достижения целей и сроков окончания работы.

Теория надежности представляет собой относительно новую дисциплину; поэтому применяемые в ней методы не всегда всем понятны. Технические условия часто составляют инженеры, которые при формулировке требований по надежности предполагают, что они обращаются непосредственно к другому инженеру, который поймет, что от него ожидают. В действительности же составленный ими материал попадает в руки административных работников (которым помогают юристы и бухгалтеры-эксперты) этой же организации, связанных с аналогичной группой работников в другой организации, а последняя обращается в свою очередь к своим инженерам и руководству.

Излишне говорить о том, что эти два канала связи не являются одинаковыми. По этой причине во многих современных контрактах не только указываются конструктивные требования к изделию или системе, но также формулируются, со ссылкой на стандарты или технические условия, требования для всей программы обеспечения надежности, включая требования к подготовке исходных данных, материалов и элементов, изготовлению, сборке, хранению и отгрузке. Примерами стандартов и технических условий такого типа, в которых оговорены правила заключения контрактов, являются MIL-STD-785 и MIL-R-27173.

5.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ

Критерии надежности, чаще всего используемые в технических условиях, основываются на оперативных или технических требованиях, сформулированных или изготовителем, или заказчиком. Такие требования могут быть выражены либо в виде желаемой продолжительности работы аппаратуры без обслуживания, либо в виде продолжительности непрерывной работы. Требования к надежности могут быть выражены количественно либо как вероятность успешного выполнения задания, либо как среднее время наработки на отказ. В случае ракетного комплекса понятие времени работы может включать время нахождения ракеты в резерве (в состоянии боеготовности), время выполнения предпусковых операций и собственно время полета. Путем использования общих показателей надежности или оценки сложности основных подсистем или на основе накопленного опыта по аналогичным системам производится распределение требований в отношении надежности по различным подсистемам с учетом заданной общей надежности ракетного комплекса; при этом применяется один из числа возможных математических методов подобного распределения. Распределение требований к надежности непосредственно по подсистемам различного уровня является ошибочным, если только при таком распределении не учитывается взаимодействие различных комбинаций компонентов и подсистем.

Пример распределения требований к надежности отдельных подсистем ракетного комплекса дан в приводимой ниже таблице. Правительственные организации могут заключить контракты на производство работ по каждой из основных подсистем, указанных в таблице, или они могут выбрать ответственным за всю систему оружия одного генерального подрядчика, который в свою очередь заключит контракты с субподрядчиками по основным подсистемам, которые он сам не в состоянии изготовить. По совместному соглашению заказчик и поставщик этих основных подсистем придут к единому решению о дальнейшем распределении требований к надежности между подсистемами или основными компонентами систем.

Пример общих требований к надежности отдельных подсистем ракетного комплекса приведен ниже.

5.3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММЕ НАДЕЖНОСТИ

Наряду с количественными требованиями к надежности в военных контрактах на изготовление аэрокосмической аппаратуры обычно оговариваются требования по организации программы обеспечения надежности. Так, например, организации, ведающие поставками для ВВС США, пользуются содержащимися в стандарте MIL-STD-785 требованиями к программе обеспечения надежности систем, подсистем и аппаратуры для определения общих требований к программе надежности. Этот военный стандарт предписывает подрядчику составить и выпустить отдельным документом план реализации программ обеспечения надежности в соответствии с заранее заданными требованиями и затем придерживаться этого плана. В стандарте описываются рекомендуемые концепции надежности, отражающие как роль руководства, так и значение технических факторов. Они требуют рассмотрения мер по обеспечению надежности на всех стадиях «жизни» изделия. В документе сформулирована концепция надежности самого изделия и его эксплуатационной надежности и предусмотрены меры по изучению взаимодействующих факторов и координации связанных между собой видов инженерной деятельности, таких, как анализ структуры систем, обеспечение ремонтпригодности, расчет технико-экономических показателей, оптимальный учет требований инженерной психологии, контроль окружающих условий.

Согласно требованиям MIL-STD-785, общие задачи по обеспечению надежности системы и минимально приемлемые требования, выражаемые количественно в генеральном контракте, должны быть отражены в требованиях к основным подсистемам. Они требуют установления конкретных контролируемых показателей до передачи чертежей производству для изготовления первых образцов. В план работ по программе обеспечения надежности должны быть

также включены разработка математических моделей, рассмотрение распределения параметров надежности по отдельным подсистемам и результатов предварительного прогнозирования. В программе обеспечения надежности необходимо предусмотреть меры по

Подсистема	Среднее время наработки на отказ, час	Интенсивность отказов на 1000 час работы	Надежность подготовки к пуску и в полете
Первый год (или первые 50 систем оружия)			
1. Аппаратура наведения	3 500	0,286	0,70
2. Головная часть	100 000	0,100	0,86
3. Двигатели	770 000	0,013	0,90
4. Наземное вспомогательное оборудование	28 500	0,035	0,985
5. Стартовое оборудование	64 000	0,016	0,984
6. Командно-измерительный комплекс	4 000	0,25	0,90
Второй год (или системы оружия с номерами от 51 до 100)			
1. Наведение	4 500	0,222	0,89
2. Головная часть	1 300 000	0,077	0,94
3. Двигатели	900 000	0,011	0,97
4. Наземное вспомогательное оборудование	35 000	0,029	0,99
5. Стартовое оборудование	75 000	0,013	0,99
6. Командно-измерительный комплекс	5 000	0,200	0,97

исследованию количественных требований к надежности в течение срока действия всей программы с целью обеспечения прогрессивного усовершенствования методов анализа надежности и обоснования конкретных требований ко всем запланированным стадиям работы или режимам работы системы.

5.3а. План работ по программе обеспечения надежности. От подрядчика требуется составить детальный план программы обеспечения надежности. В этом плане должно быть четко показано, какими средствами и способами он намерен обеспечить соответствие его изделия конкретным требованиям к надежности, оговоренным в контракте и в стандарте MIL-STD-785. Согласно техническим условиям, план подрядчика должен включать описание метода предполагаемой им демонстрации надежности и оценку требуемого или рекомендуемого подрядчиком доверительного уровня при оценке результатов демонстрации. План работ по программе должен содержать описание организации службы надежности подрядчика и состав специалистов, а также определение их обязанностей, функций и полномочий. Требуется детальный перечень кон-

кретных задач, описание распределения работ по выполнению этих задач между сотрудниками и уточнение процедур, используемых для осуществления и контроля отдельных задач. Следует также указать цели для отдельных этапов работы, определить взаимоотношения в ходе выполнения работ и оценить время, необходимое для выполнения программы обеспечения надежности и связанных с ней задач. Кроме того, план программы должен содержать график, предусматривающий периодическое проведение оценки содержания выполняемой программы и достигнутых в ходе ее успехов.

5.36. Элементы программы обеспечения надежности. План программы обеспечения надежности, который подрядчик должен передать на одобрение организации, ведающей поставками, требует уточнения отдельных элементов программы и описания предполагаемых мероприятий подрядчика в отношении каждого элемента программы. Ниже приводится перечень элементов программы, определенных военным стандартом MIL-STD-785:

- требования к испытаниям, проводимым при разработке, оценке надежности и приемке;
- требования к воздействиям окружающей среды, учитываемые при расчете и испытаниях конструируемой аппаратуры;
- методики испытаний элементов;
- максимальный период работы до приемки;
- объединение поставляемой правительственной организации аппаратуры в систему, рассматриваемое с точки зрения надежности;
- методы контроля надежности деталей;
- методы распознавания изделий с критическими параметрами;
- программы обеспечения надежности поставщиков и субподрядчиков;
- система подготовки по вопросам надежности и инструктаж;
- факторы, обусловленные инженерной психологией;
- статистические методы оценки результатов работы;
- оценка влияния хранения, срока годности при хранении, упаковке, транспортировке, обращения и обслуживания;
- периодические проверки хода конструирования;
- производственный контроль и стандарты;
- сбор и анализ данных по отказам и работы, связанные с доводкой изделия;
- планы демонстрации надежности (общие и специальные);
- периодические и окончательные отчеты.

5.3в. Требования к изделию. Для некоторых важных систем оружия организация, ведающая поставками, прилагает к военным техническим условиям дополнительные документы. Один из таких дополнительных документов может быть озаглавлен «Требования к изделию» (он содержит как требования к надежности, так и к ре-

монтопригодности). Назначение этого документа заключается в том, чтобы установить требования к изделию, выполнение которых должно быть обеспечено разработчиком и которые должны быть включены в технические условия на систему, планы программ и отдельные технические условия на аппаратуру. Этот документ также накладывает договорным порядком определенные обязательства на подрядчика и требует от него подготовить и представить официальный план обеспечения качества изделий. Это должен быть обобщенный план, охватывающий отдельные вопросы надежности, обеспечения качества и программ обслуживания изделия с указанием границ между ними.

5.3г. Требования к надежности и измерения. В указанном выше дополнительном документе может быть определена требуемая вероятность успешного выполнения основной боевой задачи на основе анализа требований, связанных с тактическими фазами обеспечения и использования системы оружия. При этом определяются требования к надежности системы оружия, ракетной системы и подсистем, необходимые для обеспечения этих тактических стадий. В дополнительном документе оговариваются требования к критериям вероятности успешного выполнения боевой задачи и связанные с ними методы измерения надежности. Критерии содержат стандартные процедуры и основные правила построения моделей надежности, блок-схемы надежности устройств и оценки средней наработки на отказ. Требования к надежности и критерии их оценки включают детальные определения соответствующих терминов и последовательное описание таких элементов, как

- общие требования к надежности системы;

- выраженные количественно требования к надежности системы;
- измерение надежности;

- модель надежности системы, включая требования к модели и ее анализ;

- модели надежности подсистем;

- прогнозируемая оценка надежности конструкции;

- полученные оценки надежности, включая допущения и методы эволюционного характера, основные правила для обработки данных по надежности, апробированные источники данных, методы отбора данных, обработку статистических данных, допущения, оценки средней наработки на отказ, расчеты надежности и описанные процедуры использования модели системы.

5.3д. Гарантийные испытания изделия. Документ, содержащий требования обеспечения гарантированной надежности изделий, включает также раздел по гарантийным испытаниям изделия. Назначение этого раздела заключается в установлении минимальных требований или методов контроля на уровнях системы, подсистемы и компонента с распространением подобных требований, где только это возможно, на уровень модуля. В раздел включаются требова-

ния ко всем испытаниям, проводимым в процессе разработки, с целью определения приемлемых значений интенсивностей отказов, приемлемых расчетных параметров конструкции, полученных с учетом заданных воздействий окружающей среды, а также к испытаниям, которые позволяют судить о вероятных отказах в процессе эксплуатации и возможностях обслуживания. В документе также содержатся детальные требования и разъяснения по вопросам:

1. Процедуры изменения программы.

2. Программа испытаний системы, включающая имитированные испытания на воздействие окружающей среды, испытания по определению надежности системы и приемочные испытания системы.

3. Программа испытаний подсистем, включающая квалификационные испытания с учетом воздействий окружающей среды, летные испытания, приемочные испытания и программы испытаний компонентов.

5.3е. Требования к условиям и методам проведения испытаний на воздействие окружающей среды. Документ по гарантийным требованиям к надежности изделия должен содержать требования к условиям и методам проведения испытаний на воздействие окружающей среды как на систему в целом, так и на подсистемы. Более подробно требования к условиям и методам проведения таких испытаний могут быть изложены в дополнительном и более обширном приложении к рассматриваемому документу.

5.3ж. Обеспечение выбора правильного метода конструирования. В этом разделе документа «Требования к изделию» рассматривается представляемая всеми субподрядчиками программа периодического анализа и оценки показателей надежности конструируемой аппаратуры в процессе выполнения всего проекта. Здесь записано требование, чтобы при анализе показателей надежности, выполняемом на основе рассмотрения конструкции и систематической проверки конструкторских концепций, давалась оценка чертежной, а также текстовой документации и анализировались все значимые типы отказов. Периодический анализ надежности должен играть роль дополнительного средства и не имеет целью освободить инженеров-конструкторов от их ответственности за выбор и формирование конструкторских решений, обеспечивающих создание изделий с требуемой потенциальной надежностью. Такие периодические оценки конструкции предназначены для выявления критических участков или компонентов после выполнения анализа в минимальном объеме, охватывающего следующие вопросы:

получение заключений о выборе направления конструирования с учетом компромисса, указанного анализом надежности;
применение деталей в режиме, где они работают за пределами нормально установленных техническими условиями допусков;
оценка возможности контроля условий окружающей среды;
компоновочный анализ;

- технологичность;
- методы или оборудование, требуемые для изготовления или проведения испытаний;
- результаты испытаний;
- изменения в критериях оценки конструкции в процессе выполнения программы;
- анализ возможных типов отказов;
- анализ эксплуатационной безопасности;
- анализ допусков;
- анализ механических и тепловых воздействий и нагрузок.

Чтобы убедиться в том, что конструкторы постоянно занимаются анализом изделия, необходимо организовать ряд последовательных совещаний по анализу конструкции. Минимальное число таких совещаний устанавливается на трех уровнях: предварительный анализ, детальный анализ и окончательный анализ. В приложении приводится подробный перечень соображений, элементов и параметров, которые должны охватываться таким периодическим анализом. Для периодического анализа разрабатываемой конструкции необходимо подготовить контрольные перечни, охватывающие ряд вопросов.

5.3з. Программа обеспечения надежности элементов. В этом разделе документа «Требования к изделию» изложены требования к разработке программы обеспечения надежности элементов. Предусматривается организация рабочей группы по элементам для всех субподрядчиков с целью определения политики, процедур и методов контроля для общей программы по элементам. Требуется также определение предпочтительных деталей, составление таблицы критических элементов, представление информации об интенсивности отказов и подробной дополнительной информации относительно используемых в системе деталей и элементов. Должен быть организован обмен этими данными между различными подрядчиками и субподрядчиками, работающими по программе обеспечения надежности системы оружия.

5.3и. Общая методика обеспечения надежности. При разработке некоторых очень сложных проектов ракетных или космических систем, в которой участвует большое число головных подрядчиков, иногда подрядчиком, ответственным за объединение основных подсистем, составляется общая методика обеспечения надежности. Это в общем случае обширный документ, в котором описываются планы и задачи, методы их реализации, функции и обязанности, конечные изделия и графики, играющие важную роль в осуществлении общей программы обеспечения надежности системы оружия. Документ определяет методы официального обмена информацией, получаемой в результате усилий по реализации широкой программы обеспечения надежности. Иногда этот документ составляется подрядчиком, отвечающим за объединение системы (гене-

ральным подрядчиком), утверждается заказчиком — правительственной организацией, ведающей поставками, и включается в качестве специального пункта в контракты со всеми подрядчиками, в том числе и с генеральным подрядчиком. Этот документ охватывает и обобщает военные технические условия, отраженные в контракте и в документе «Требования к изделию» или аналогичных документах.

5.3к. Краткий перечень основных документов по программе обеспечения надежности. Ниже приводится примерный краткий перечень основных документов, связанных с обеспечением надежности важной системы оружия, с указанием их назначения.

Положение, прилагаемое к контракту. Этот документ описывает общие цели или минимально приемлемые требования к системе и основным подсистемам.

Военный стандарт MIL-STD-785. Это образец технических условий, связанных с программой обеспечения надежности аппаратуры военного назначения. В этом документе указывается, что необходимо отразить в программе обеспечения надежности, выполняемой подрядчиком, и предъявляется требование к подрядчику составить план программы обеспечения надежности для утверждения организацией, ведающей поставками.

«Требования к изделию». Этот документ дает подрядчику указания по методике составления плана программы обеспечения надежности и детальные инструкции относительно учета, обслуживания, безопасности, технико-экономических показателей и т. п. Он также устанавливает основные правила по обеспечению совместности применяемых для различных подсистем методов математического моделирования, измерения показателей надежности и т. п.

Общая методика обеспечения надежности. В этом документе дано описание методов объединения усилий всех основных подрядчиков, связанных с разработкой и изготовлением системы оружия. В нем даны подробные указания о том, как составить план. Документом устанавливаются стандартные процедуры и формы отчетности, порядок обмена информацией и т. д. Основное назначение документа — обеспечить упорядоченное и координированное приложение усилий на протяжении реализации всей программы разработки системы оружия путем установления связей, обеспечивающих взаимодействие технических и административных факторов. Эти детальные требования программы должны быть согласованы с принципами обеспечения надежности, которых придерживается заказчик или генеральный подрядчик, и внутренними программами обеспечения надежности. Благодаря этому заказчик или генеральный подрядчик получает более благоприятные возможности для контроля, а в некоторых случаях и возможность диктовать требования подрядчику к его программе обеспечения надежности. Таким

образом может быть установлена взаимосвязь между заказчиком и поставщиком, при которой программа обеспечения надежности является результатом коллективных усилий, а эффективность программы определяется тем, насколько результаты деятельности поставщика соответствуют подробным, но четким правилам, сформулированным заказчиком. При правильном и тщательном ведении дел такая организация может быть выгодной для обеих сторон, но в противном случае бывает довольно трудно возложить всю ответственность за результаты только на одного поставщика. Обычно когда поставщик заключает контракт с другой фирмой на поставку узлов или подсистем, имеющих ключевое значение, то реализуется аналогичный подход и в отношении этой фирмы.

5.4. ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ

Технические требования к надежности деталей и компонентов должны быть возможно более простыми. Они обычно оговаривают необходимость работы в течение определенного периода времени при заданных окружающих условиях, наиболее важные характеристики, требуемые испытания и сроки периодических проверок, производимых заказчиком. Однако если требуемые детали или компоненты являются принципиально новыми по своей конструкции или принципу действия или если надежность всей системы в целом чрезвычайно критична к параметрам этих компонентов, то обычно необходимо разработать значительно более детальные требования. Пример таких требований, сформулированных в одной программе обеспечения высокой надежности диода, приводится ниже. По соображениям секретности количественные значения выбраны произвольно.

Поставщик обязан осуществить программу повышения надежности, имея в виду достижение следующих целей:

а. Поставщик должен изготовить для ЭВМ кремниевые диоды с большой прямой проводимостью и с малым током утечки в соответствии с прилагаемыми техническими условиями.

б. Поставщик должен разработать технологию производства, полный комплект основных средств производства, методы контроля производства и программы по подготовке персонала, обеспечивающие получение интенсивностей отказов указанных выше диодов 0,0003%, 0,00015% и 0,009% на 1000 час работы с достоверностью 70%. Руководство организаций подрядчика и заказчика должно получить в результате выполнения программы подробные и наглядные показатели хода выполнения программы и работоспособности полученных изделий, характеризующие однородность этих изделий и степень повышения их надежности.

в. Подрядчик должен организовать работу по выявлению причин отклонения от расчетных характеристик, которые кроются в

материалах, технологических процессах производства и методах контроля и способны привести к отказам. Подрядчик должен организовать работы по доводке таким образом, чтобы устранить или свести к минимуму эти отклонения и их причины, обеспечив таким образом достижение поставленной цели по повышению надежности.

Ниже приводится примерный перечень работ, связанных с программой обеспечения надежности. Этот перечень достаточно полно характеризует круг задач, возлагаемых подрядчиком на изготовителя компонентов.

- Задача 1. План программы.
- Задача 2. Производственные процессы.
- Задача 3. Производственный контроль.
- Задача 4. Анализ отказов.
- Задача 5. Корректировочные действия в отношении производственных процессов.
- Задача 6. Корректировочные действия в отношении системы управления программой.
- Задача 7. Оценка корректировочных действий.
- Задача 8. Испытания.
- Задача 9. Организация работ по выполнению программы у подрядчика.
- Задача 10. Обучение персонала.
- Задача 11. Контрольно-испытательная аппаратура.
- Задача 12. Выбор направления технического совершенствования и контроль.
- Задача 13. Присвоение серийных номеров и выбор формы для обработки данных на ЭВМ.
- Задача 14. Обращение с изделиями и их упаковка.
- Задача 15. Документация и отчетность.
- Задача 16. Средства, предоставляемые подрядчиком.

Поставщик должен подготовить официальный комплект документации по технологическим процессам производства и характеристикам используемых в изделиях материалов, а также требования к системе производственного контроля. Таким же путем определяется и планируется выпуск документации, требуемой для осуществления каждого этапа программы.

Целью программы по усовершенствованию компонентов является обеспечение технологической дисциплины на производстве. Правительственные организации и генеральный подрядчик должны решать вопросы, возникающие в связи с правом собственности подрядчиков на определенную техническую информацию. Для них поэтому важно, чтобы 1) каждый технологический процесс и производственная операция были определены и документированы, 2) для каждой операции имелось описание способа ее выполнения и 3) в текущем производстве строго придерживались описанных способов

выполнения отдельных операций. Можно обеспечить надежное выполнение всех этих условий и не раскрывая генеральному подрядчику всех подробностей технологического процесса (на который субподрядчик может иметь право собственности).

Неотъемлемую часть процесса приемки должна составлять демонстрация безотказной работы определенных важных блоков системы в течение минимального числа часов. Однако фактическое доказательство общих возможностей системы можно получить лишь после того, как эта аппаратура проработает значительное время в пусковых ракетных установках шахтного типа.

5.5. ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ И NASA И ДОКУМЕНТЫ ПО НАДЕЖНОСТИ

Военными организациями и NASA используется множество различных технических условий, определяющих характер программы обеспечения надежности. В различных технических условиях обычно приводятся ссылки на другие военные документы, часть из которых составляется для конкретных систем оружия, аппаратуры, компонентов, особых окружающих условий и специальных применений. Такие документы модифицируются, расширяются, аннулируются, объединяются с другими документами с такой быстротой, что почти невозможно перечислить их все одновременно с какой-либо степенью точности или полноты. Однако в качестве примера ниже приводится перечень некоторых правительственных документов, выдержки из которых могут быть приведены в контрактах или на которые могут быть сделаны ссылки при формулировке в контрактах требований к надежности. (В связи с частыми пересмотрами и модификациями этих документов здесь приведены только номера и названия основных технических условий.)

- | | |
|--------------|--|
| MIL-A-8666. | Требования к надежности самолетов в отношении прочности. Повторные нагрузки и усталостная прочность. |
| MIL-R-19610. | Общие технические условия на надежность при производстве электронной аппаратуры. |
| MIL-R-22732. | Требования к надежности корабельной и наземной электронной аппаратуры. |
| MIL-R-22973. | Общие технические условия по определению показателей надежности образцов авиационной аппаратуры. |
| MIL-R-23094. | Общие технические условия по обеспечению надежности при производстве авиационной аппаратуры. |
| MIL-R-26484. | Требования к надежности при разработке электронных подсистем. |

- MIL-R-26667. Общие технические условия на надежность и долговечность электронной аппаратуры.
- MIL-R-27173. Требования к надежности для электронной наземной контрольно-измерительной аппаратуры.
- M-REL-M-131-62. Меры по осуществлению технической программы обеспечения надежности для подрядчиков, участвующих в разработке космических систем.
- NASA-NPC-250-1. Меры по осуществлению программы обеспечения надежности для подрядчиков космических систем.
- NASA циркуляр № 293. Общие требования к надежности при поставках по заказам NASA.
- LeRC-REL-1. Меры по осуществлению программы обеспечения надежности в контрактах на исследование и разработки.
- WR-41 (BUWEPS). Требования к корабельным системам оружия: оценка надежности.
- NAVSHIPS 900193. Требования к надежности при расчете механических напряжений в конструкции электронной аппаратуры.
- NAVSHIPS 93820. Справочник по прогнозированию надежности корабельной и береговой электронной аппаратуры.
- NAVSHIPS 94501. Справочник ВМС по надежности для конструкторов.
- NAVWEPS 16-1-519. Справочник рекомендуемых схем. Корабельная навигационная электронная аппаратура.
- PB 181080. Данные по анализу надежности для инженеров-конструкторов систем и компонентов.
- PB 131678. Требования к надежности при анализе механических напряжений в конструкции электронной аппаратуры, TR-1100.
- TR-80. Методы измерения и прогнозирования надежности, основанные на данных по отказам в условиях эксплуатации.
- TR-98. Сводка руководящих указаний по прогнозированию и измерению показателей надежности для корабельной электронной аппаратуры.
- AD-DCEA. Требования к надежности при производстве наземной электронной аппаратуры.

AD 114274.	Факторы надежности наземной электронной аппаратуры.
AD 131152.	Программа повышения надежности наземной электронной аппаратуры ВВС.
AD 148556.	Основные принципы и руководящие указания по прогнозированию надежности наземной электронной аппаратуры.
AD 148801.	Методы сбора, обработки и анализа данных по отказам в условиях эксплуатации.
AD 148977.	Прогнозирование и измерение надежности наземной электронной аппаратуры ВВС.
MIL-HDBK-217.	Данные по нагрузкам, влияющим на надежность, и интенсивностям отказов для электронной аппаратуры.
RADC-2623.	Требования к надежности наземной электронной аппаратуры.
AR-705-25.	Программа обеспечения надежности для материалов и аппаратуры.
USAF BLTN 2629.	Требования к надежности наземной электронной аппаратуры.
OP 400.	Общие инструкции по конструированию, изготовлению и контролю морской артиллерийской аппаратуры.
MIL-STD-721.	Терминология надежности.
MIL-STD-756.	Процедуры предсказания надежности систем вооружения и соответствующая отчетность.
MIL-STD-781.	Классы испытаний и критерии приемки и браковки при оценке надежности электронной аппаратуры многократного действия.
MIL-STD-785.	Требования к программе обеспечения надежности (для систем и аппаратуры).
DOD H-108.	Выборочные методы и таблицы для испытаний на срок службы и надежность.

5.5а. Специальные отчеты и материалы по надежности аппаратуры военного назначения. В дополнение к сказанному выше следует указать на наличие многих специальных отчетов, справочников, выборочных таблиц и библиографических указателей, которые также могут быть использованы в контрактах или на которые могут быть сделаны ссылки в технических условиях. Многие контракты или технические условия на надежность содержат требования или ссылки на требования в специальных областях, связанных с надежностью, как, например, инженерная психология, технико-экономические расчеты, контроль качества, системотехника, обслуживаемость, эффективность систем, безопасность и технологич-

ность. В технических условиях на надежность могут быть также приведены ссылки на военные стандарты для специальных деталей и компонентов, программы специальных испытаний, статистическое прогнозирование, требования к упаковке, чистоту производственных и эксплуатационных помещений и программы испытания без разрушения образцов. Технические условия, справочники и другие документы относительно военной аппаратуры, определяющие методы, процессы и другие правила, касающиеся различных аспектов конструирования, могут быть отражены в контрактах по надежности или в технических условиях на надежность. Многие из указанных документов разрабатываются различными правительственными организациями или различными службами на разных уровнях этих организаций. В связи с наличием многочисленных независимых друг от друга организаций, занимающихся специальными вопросами, необходимо проявить особенно тщательный подход при отборе и сопоставлении всех документов, определенных или упомянутых в контрактах по надежности, с целью выявления несогласованности отдельных документов или конфликтных ситуаций, которые могут возникнуть при их применении.

5.6. УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ ПРИ ЗАКЛЮЧЕНИИ КОНТРАКТОВ

Остальная часть настоящей главы посвящена разъяснению важной роли, которую играют требования к надежности при заключении контрактов; понимание этих вопросов может способствовать снижению риска заключить контракт, который не будет иметь юридической силы. Чтобы добиться такого понимания, необходимо знать цели и методы разработки требований по надежности. Несмотря на то что значительная часть рассматриваемых вопросов относится к контрактам с правительственными организациями, основные принципы, которых здесь придерживаются, применимы и в других случаях.

Эффективность системы является функцией качества, технических возможностей и надежности изделия. Обеспечение оптимальной эффективности в процессе достижения общей цели составляет собственно задачу планирования всей системы, включая планирование отдельных компонентов аппаратуры. Понятие оптимума подразумевает в данном случае принятие решения, основанного на компромиссе между затратами и эффективностью; при этом «оптимум» не обязательно должен означать «максимум». Общей целью может быть максимальное увеличение прибылей, нанесение потерь противнику или уменьшение эффективности вражеских действий. Излишне говорить о том, что представляет собой эта общая цель в каждом конкретном случае, но ее необходимо всегда иметь в виду на протяжении всего срока выполнения программы.

В приведенных выше соображениях нет ничего нового; однако только с начала второй мировой войны в больших масштабах были предприняты попытки получить количественные оценки эффективности. В связи с тем что эти усилия в основном были связаны с разработкой систем военного назначения, дальнейшее рассмотрение этого вопроса неизбежно приобретает именно это направление.

Отношение благоприятных исходов к общему числу испытаний является мерой достигнутой оперативной надежности. Собственно оперативная надежность представляет собой предсказание этого отношения. Технические возможности системы характеризуются такими параметрами, как дальность, скорость, высота полета и т. д.

5.6а. Эффективность систем. Рассмотрим систему оружия с максимальной дальностью действия 5000 км. Предположим, что ее надежность или вероятность поражения цели на этой дальности равна 0,9. Однако способность системы выполнить свою задачу приближается к нулю, если цель находится на расстоянии 6500 км; ее эффективность в данном случае также приближается к нулю. В этих условиях любое повышение надежности не принесет никакой пользы. Предположим, что при современном уровне развития техники мы можем разработать систему с дальностью действия 6500 км, но с надежностью 15%. Эффективность системы в связи с низкой надежностью в данном случае мала, но она все же значительно выше, чем в предыдущем случае. В такой ситуации было бы бессмысленно принимать компромиссное решение, основанное на повышении надежности в ущерб способности выполнить задачу.

И напротив, если наиболее дальняя цель находится на расстоянии 5000 км, то эффективность не удастся повысить при увеличении дальности действия, но ее можно увеличить, повышая надежность. Решение о затрате ресурсов для повышения надежности, а следовательно, и эффективности должно основываться на учете того, компенсируются ли эти расходы уменьшением числа развернутых для боевых операций систем или уменьшением стоимости обслуживания.

Таким образом, оптимальный уровень эффективности системы необходимо устанавливать путем оценки различных средств достижения общей цели с учетом стоимости получения этого конечного результата. Для получения такого оптимального показателя должны быть определены зависимости между затратами (стоимостью) и эффективностью. Эти зависимости должны быть точно установлены к моменту передачи в производство, оговоренному в контракте. После этого нельзя вводить какие-либо изменения без тщательного исследования обоснованности решений, на которых базируется вся программа в целом, или без формальной переориентации программы. (Более подробно по вопросу эффективности системы см. гл. 1, т. I.)

5.6б. Критерии приемки. Другим вопросом, требующим рассмотрения, являются условия, необходимые для проведения приемки. Этот вопрос играет важную роль, поскольку существует тенденция требовать обеспечения «высокой достоверности» при демонстрации установленной величины надежности. Другими словами, это положение можно истолковать так: «Если фактическая надежность такая же, как надежность, установленная техническими условиями, то весьма вероятно, что план приемки приведет к браковке изделия». При этих условиях, чтобы быть в достаточной степени уверенным в приемке, изготовитель должен выпустить изделие, надежность которого значительно выше установленной техническими условиями.

Рассмотрим в качестве конкретной иллюстрации этого положения методику подтверждения установленной средней наработки на отказ, равной 100 час, с достоверностью 90%. Это требование может быть удовлетворено, например, планом приемки, предусматривающим проведение испытаний в течение 390 изделие-час при количестве отказов не более одного. Однако для того, чтобы подтвердить ту же характеристику с 95%-ной достоверностью, изготовитель должен обеспечить фактическую среднюю наработку на отказ примерно 1115 час, т. е. более чем в 11 раз выше установленной номинальной величины.

При таких практически нереализуемых условиях демонстрации прибегают к ослаблению строгих требований. Как показал опыт работы по повышению надежности в течение последних нескольких лет, это вызывает много затруднений. Наиболее серьезное из них заключается в направлении усилий изготовителя на обход требований, а не на обеспечение истинной надежности.

5.6в. Требования к оперативной надежности. В конечном счете система представляет собой средство осуществления намеченной цели. Она включает в себя не только основную, но также и вспомогательную аппаратуру, необходимый персонал и соответствующие процедуры. В связи с тем что персонал и процедуры не являются элементами поставок, предусмотренных контрактом на материальную часть, но в значительной степени влияют на оперативную надежность системы, контракты на материальную часть логически не могут содержать исчерпывающие требования к оперативной надежности высокого порядка с демонстрацией «приемочного» состояния.

Для иллюстрации этого положения рассмотрим работу изготовителя клюшек для гольфа. Изготовитель не в состоянии гарантировать, что потребители, пользующиеся его клюшками на любых площадках для гольфа и при любой погоде, будут делать «средние» или «лучшие» удары, т. е. покажут установленную вероятность среднеудачного удара. Он может заявить и продемонстрировать, что его изделия удовлетворяют требованиям американской ассоци-

ации игроков в гольф и что характеристики клюшек, определяемые конструкцией и изготовлением, позволяют квалифицированному игроку делать «средние» удары, не считая случаев «невезения» или ошибок. Он может далее показать с помощью испытаний в перенапряженном режиме с заранее установленной степенью достоверности, что при некоторых заданных условиях его клюшки с определенной вероятностью выдерживают большое количество имитированных раундов игры в гольф без случайных поломок или износа. Эта надежность изделия может быть приемлема для потребителя, и она может быть обеспечена изготовителем; однако оперативная надежность клюшек для гольфа зависит в основном от того, что с ними делает потребитель.

Перед изготовителями сложных ракетных и космических комплексов в части оперативной надежности стоит несколько иная проблема. Во многих случаях в военных контрактах на сложные системы требования к надежности выражаются количественно через среднее время наработки на отказ. В действительности можно установить более одного показателя средней наработки на отказ. Независимо от того, сколько установлено показателей средней наработки на отказ, необходимо определить, что следует понимать под средней наработкой на отказ. Одним из слабых мест в современных контрактах является то, что в них выдвигается требование достижения определенного значения средней наработки на отказ, но не объясняется, что следует под этим понимать. Рассмотрим такой пример. Если в контракте на систему записано требование по обеспечению средней наработки на отказ 5000 час, то как минимум необходимо получить ответ на следующие вопросы:

1. Является ли данная средняя наработка на отказ расчетным, минимально приемлемым для аппаратуры или оперативным требованием?

2. Когда должна быть получена данная средняя наработка на отказ?

3. Каким определением отказа необходимо пользоваться при вычислении данной средней наработки на отказ?

В большинстве случаев средняя наработка на отказ представляет собой выражение оперативного требования или надежности аппаратуры, необходимой для удовлетворения оперативным требованиям. В этом случае изготовителю необходимо установить свое собственное пороговое значение, чтобы быть уверенным в успешном проведении испытаний аппаратуры на надежность, а также и в том, что при эксплуатации системы в полевых условиях она будет удовлетворять оперативным требованиям. Другими словами, при конструировании необходимо предусмотреть соответствующий коэффициент запаса для компенсации возможного ухудшения надежности при производстве и эксплуатации.

Второй из приведенных выше вопросов представляет первостепенный интерес. Средняя наработка на отказ 5000 час может быть получена, но не на первой оперативной системе. Обычно наилучший метод состоит в том, чтобы эта наработка на отказ представляла собой среднее значение для группы систем, например, первой партии поставляемых по военному контракту систем. В тех случаях, когда средняя наработка на отказ связана с выполнением задачи в космическом пространстве или аналогичной ей задачей, для чего должны быть поставлены самое большее одна или, возможно, несколько систем, то потребуются другой подход.

Если для того чтобы удовлетворить требованию в отношении заданной величины средней наработки на отказ, необходимо осуществить программы по повышению надежности элементов, то может оказаться невозможным настаивать на таких программах в момент переговоров по основному контракту. В этом случае в контракте должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие выполнение этих программ в более поздний период.

5.6г. Взаимоотношения между заказчиком и поставщиком. Едва ли можно считать случайным то, что изготовитель достигает требуемой надежности аппаратуры, если им было уделено достаточно внимания всем возможным конструкторским и производственным ошибкам. Достижение требуемой надежности в этом случае, очевидно, должно быть результатом выполнения тщательно спланированной и детально контролируемой программы. Существуют три типа взаимоотношений между изготовителем и заказчиком.

1. Изготовитель занимается разработкой, конструированием, изготовлением, рекламой и продажей собственных изделий. Благодаря осуществлению им в какой-то степени контроля над всем процессом он в состоянии представить заказчику ограниченные гарантии того, что аппаратура будет иметь определенные характеристики при использовании ее в определенных условиях эксплуатации. Примерами могут быть клюшки для гольфа, автомобили, холодильники.

2. Изготовитель занимается выпуском и поставкой изделий по заказам. В этом случае выпускаемые им изделия должны отвечать техническим условиям заказчика. Его ответственность перед заказчиком обычно ограничивается гарантийными обязательствами и сводится к тому, что характеристики поставляемых изделий находятся в соответствии с расчетными данными и качеством, которые оговорены в контракте. Примерами могут служить автомобильные детали, литые пластмассовые изделия, специализированные винторезные станки. На практике часто можно встретиться с осуществлением надзора со стороны заказчика, который принимает форму контроля за качеством отгружаемых изделий и частичной оценки состояния производственного инструмента и технологических процессов.

3. К третьему типу взаимоотношений относятся отношения между правительственными органами и их подрядчиками. Эти взаимоотношения строго контролируются соответствующим Положением и другими регулирующими правилами и указаниями. Правительственной организации запрещается произвольно ограничивать контингент возможных подрядчиков по данному контракту теми фирмами, которые организация считает наиболее компетентными. Только с большими трудностями, принимая на себя всю тяжесть доказательства, она может отклонить слабого кандидата в пользу более сильного. Следовательно, правительственная организация часто вынуждена заключать контракт на выпуск сложной аппаратуры с организациями, техническая состоятельность которых неизвестна и в значительной степени сомнительна. Своевременная поставка удовлетворительных изделий во многих случаях играет жизненно важную роль для безопасности страны; поэтому правительственная организация вынуждена осуществлять детальное наблюдение за усилиями подрядчика по проектированию и производству. Исходя из предпосылок, что переговоры со всеми участниками конкурса на заключение контракта должны вестись на равных основаниях, правительственная организация требует как от высококвалифицированных, так и от сомнительных подрядчиков перед заключением контракта представления программ, обеспечивающих достижение указанных в контракте целей. Это часто является источником недовольства со стороны эффективно управляемых промышленных организаций, особенно когда требуемые подробные сведения оказываются избыточными или противоречивыми.

Однако следует указать на то, что в вопросах, связанных с обеспечением минимально приемлемой надежности (обоснованное требование к этому уровню надежности, который можно подтвердить испытаниями, включается в контракт), интерес правительственной организации к тому, «как это делается», не должен ограничивать ответственность подрядчика за то, «что делается». Интерес правительственной организации к тому, «как это делается», особенно отражается в комплексе минимальных требований, невыполнение которых делает удовлетворение требований к надежности маловероятным. Можно привести многочисленные примеры, когда подрядчики игнорировали требования в части того, как должна выполняться работа, и это приводило к получению результата, который не удовлетворял техническим условиям; конечный успех достигался в этих случаях только благодаря последующему выполнению работы в соответствии с требованиями правительственной организации-заказчика. Это поняли на собственном опыте даже эффективно управляемые организации-подрядчики.

5.6д. Надежность изделий. Надежность изделий устанавливается договорным порядком. Так как объем и количество аппаратуры, которую необходимо подвергнуть испытаниям для подтверж-

дения надежности, зависят от предъявленных требований, то нельзя говорить о существовании договорных требований, если только соответствующее количественное требование к надежности не сопровождается точным указанием демонстрационных средств. Установление определенного значения надежности аппаратуры без одновременного определения демонстрационных методов является необоснованным подходом и просто ведет к задержке реализации условий договора. Можно сформулировать некоторые общие принципы проведения испытаний для демонстрации надежности изделий.

1. Нагрузки при испытаниях должны соответствовать по крайней мере ожидаемым в рабочих условиях максимальным значениям. Испытательные нагрузки для образцов аппаратуры, изготавливаемых по общей технологии, должны быть стандартизированы на таких максимальных уровнях, которые способна выдержать хорошо спроектированная и изготовленная аппаратура. Это обеспечивает предельно раннее определение наиболее вероятных типов отказов.

2. Так как ограничивающим фактором обычно является время испытаний, то необходимо обеспечить условия для принятия решений в возможно более ранний момент времени.

3. Испытания должны подтверждать высокое качество проведения как конструкторских, так и производственных работ.

4. Испытания должны быть эффективными в части определения надежности аппаратуры как необходимого элемента в процессе предсказания оперативной надежности.

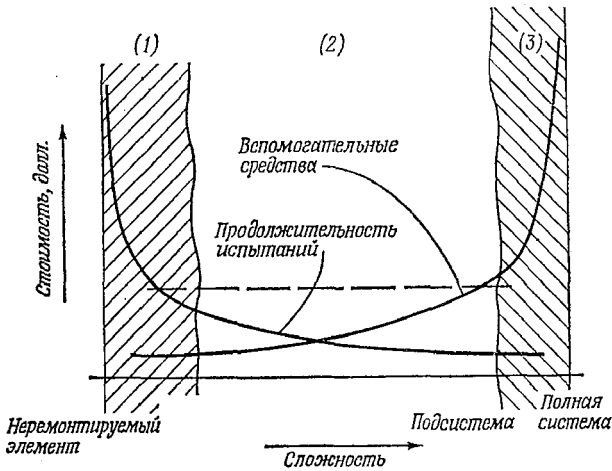
5. Порядок и условия проведения испытаний должны быть определены к моменту заключения контракта и ни в коем случае не позже.

6. Статистические аспекты необходимо учитывать не только при оценке испытываемых образцов, но также и при определении объема выборки, достаточного для принятия правильных решений об уровне надежности совокупности, которую эта выборка представляет.

7. В общем случае испытания должны быть организованы так, чтобы обеспечить получение максимального количества информации за минимальное время испытаний.

5.6е. Соображения по поводу испытаний. На фиг. 5.1 приведены некоторые зависимости, связанные с испытаниями. По оси абсцисс отложена функция относительной сложности аппаратуры, возрастающая от основного «строительного» элемента, представляющего собой неремонтируемый элемент, до системы в целом. По оси ординат отложена некоторая функция затрат. Следует учесть, что приведенные кривые не построены строго по экспериментальным данным, а служат лишь для иллюстрации логического принципа. Кривая требуемой продолжительности испытаний снижается экспо-

ненциально с увеличением сложности. Она показывает, что оценка надежности системы путем испытания каждого из неремонтируемых элементов (средняя наработка на отказ которых составляет величину порядка сотен и тысяч часов) потребует недопустимо больших затрат времени и денежных средств. Если хотя бы достоверно оценить надежность, то необходимо располагать достоверны-



Ф и г. 5.1. Основные факторы, учитываемые при испытаниях на надежность.

ми сведениями об интенсивностях отказов деталей в определенных условиях; при этом испытания ограничиваются несколькими специальными деталями, надежность которых не поддается аналитической оценке.

К деталям, надежность которых поддается аналитической оценке, относят детали, надежность которых зависит от усталости конструктивных элементов или от их износа при относительно простой зависимости между нагрузкой и прочностью. Эти характеристики определяются конструкцией и нормально могут быть проконтролированы путем проверки геометрии устройства и технологии изготовления; эти факторы сами по себе служат достаточной гарантией однородности. В результате проведения специального испытания на надежность можно получить показатель, приближающийся к единице; однако для обеспечения статистически значимых данных такое испытание может оказаться весьма дорогостоящим и требующим слишком больших затрат времени, хотя в общем случае вспомогательные средства для испытаний таких простых элементов являются относительно недорогими.

Кривая затрат, связанных с обслуживанием, возрастает экспоненциально до уровня системы в целом. Это объясняется тем, что

для системы, содержащей, например, летательный аппарат, не представляется возможным создать вспомогательные средства для измерения надежности, которые будут функционировать в полностью контролируемых условиях. Летные испытания могут дать существенную информацию в отношении проблем взаимодействия отдельных элементов комплексной системы, а также послужить основанием для отрицательной оценки степени надежности. Ни в коем случае нельзя недооценивать их важность для демонстрации надежности. Однако порядок проведения и учета результатов летных испытаний, предназначенных для демонстрации надежности, должен быть значительно более строгим, чем в случае простого определения отношения количества успешных исходов выполнения задачи к общему числу испытаний. Во время летных испытаний необходимо учитывать и классифицировать любые отказы компонентов, а их причины должны тщательно исследоваться независимо от того, требовалось ли участие данного компонента в выполнении задания по испытаниям; при этом необходимо проведение эффективных корректировочных действий. Для оценки результатов испытаний на надежность аппаратуры не совсем подходят так называемые «коэффициенты важности», хотя их использование является полезным при прогнозировании оперативной надежности.

На основе анализа приведенных кривых можно предположить, что при проведении специальных контролируемых испытаний на надежность на уровнях подсистем, узлов или элементов можно снизить затраты до минимума. Получаемая в результате таких испытаний величина показателя надежности будет умеренной. К этой категории испытаний относится метод, разработанный консультативной группой по вопросам надежности военной радиоаппаратуры (AGREE) для сложной радиоэлектронной аппаратуры, надежность которой практически не может быть адекватно оценена только одними аналитическими методами.

Последовательно накапливаемые данные о процентных значениях успешных исходов выполнения оперативных заданий представляют собой меру достижения целей в части оперативной надежности. Существует возможность легко установить «кривую роста надежности» по мере приобретения персоналом более глубоких знаний по правилам эксплуатации и методам поддержания системы в исправном состоянии и по мере усовершенствования методов эксплуатации и обслуживания. Эти усовершенствования иногда осуществляются в результате усилий потребителей. Если организация-заказчик правильно определила в контракте требования к надежности аппаратуры, обеспечив их реализацию соответствующей конкретной методикой предварительных отработочных испытаний (для чего предусмотрены необходимые ассигнования и выделено необходимое время), то маловероятно получить рост потенциальной надежности аппаратуры. Будет наблюдаться рост производи-

тельности и уменьшение числа неудачных периодических испытаний в процессе выполнения программы производства, но это не следует смешивать с ростом потенциальной надежности принятых изделий. Трудно, если вообще возможно, определить эффективную систему вознаграждений, стимулирующих сокращение затрат на рассматриваемую программу и сроков ее выполнения до тех пор, пока не будут удовлетворены договорные требования к надежности.

В связи с ограничениями по точности, свойственными испытаниям на надежность аппаратуры, которые проводятся по простому критерию «годен — не годен», и очевидной экспоненциальной зависимости между значениями показателей надежности аппаратуры и соответствующими затратами только особые соображения нетехнического характера могут, по-видимому, оправдать оговоренные контрактом поощрительные вознаграждения за незначительное повышение надежности аппаратуры. Так как повышение оперативной надежности, измеряемое процентным значением успешных исходов выполнения заданий, в значительной степени обусловлено усилиями потребителя, нет основания строить систему поощрительных вознаграждений для поставщика на этом принципе.

При включении в контракт требований по надежности следует избегать:

1. Смещения понятия оперативной надежности с понятием надежности аппаратуры, оговоренной в контракте.
2. Сочетания очень высоких показателей надежности с требованием их демонстрации с высокой достоверностью.
3. Недостаточного финансирования усилий по обеспечению и отработке надежности.
4. Суммирования показателей надежности деталей и приравнивания результата арифметических операций к показателю надежности системы при одновременном пренебрежении риском, связанным с дефектами изготовления, несовершенным контролем производственных процессов и дефектами конструирования.
5. Использования при прогнозировании надежности аппаратуры значений интенсивности отказов деталей, полученных из опыта эксплуатации в прошлом. Очевидно, что только интенсивности отказов, полученные в результате процесса испытаний данной системы в реальных условиях, могут служить отправными точками для экстраполяции или интерполяции в целях прогнозирования. Исторические данные по интенсивностям отказов аппаратуры могут оказаться полезными для предсказания средней величины расхода запасных частей, например, в масштабе страны.
6. Принятия допущения, что надежность любого типа аппаратуры определяется только ее конструкцией, и сосредоточения на этой основе усилий по увеличению надежности только на конструировании.

7. Вступления в договорные отношения, в которых предусмотрена выплата поощрительного вознаграждения, когда либо получатель этого вознаграждения не отвечает за результаты, на основе которых оно устанавливается, либо средства измерения показателей работы не представляются достаточно ясными для обеих сторон. Методы оценки должны быть правильно выбранными, точными и своевременными.

5.6ж. Заключение поощрительных контрактов. Поощрительные контракты быстро становятся наиболее распространенным типом контрактов, заключаемых правительством. В большинстве этих контрактов предусмотрен ряд различных вознаграждений, выплачиваемых по достижении заданных значений нескольких параметров. В число этих параметров обычно входит надежность. Этим определяется важность рассмотрения технических условий с учетом мер стимулирования.

Первый подлежащий рассмотрению вопрос относительно методов стимулирования надежности заключается в том, какой вес придается надежности по отношению к другим параметрам, охватываемым системой стимулирования, как, например, стоимость, точность и сроки окончания работ. Это обычно составляет предмет переговоров между изготовителем и заказчиком; однако изготовитель должен рекомендовать такое соотношение весов, которое наилучшим образом отвечает задаче достижения основных параметров, указанных в контракте. (Если, например, основной целью контракта является достижение точности, то этому параметру нужно придать наибольший вес.)

Здесь уместно заметить, что демонстрационные испытания, предписанные техническими требованиями, и испытания, проводимые с целью определения поощрительного вознаграждения, не обязательно должны совпадать по своему характеру. В некоторых случаях сходство между ними весьма незначительно или совсем отсутствует. Выше было обращено внимание на тот факт, что при включении в контракт чрезмерно высоких значений средней наработки на отказ по экономическим причинам может оказаться невыполнимой статистическая демонстрация надежности.

Заказчик обычно высказывает пожелание провести демонстрацию надежности на раннем этапе разработки и стремится связать выплату поощрительного вознаграждения именно с этим типом испытаний. Он обычно также выражает желание, чтобы эти ранние испытания первых образцов аппаратуры продемонстрировали окончательный уровень надежности. По замечанию одного известного эксперта по надежности, «заказчик иногда желает, чтобы аппаратура сдала свой выпускной экзамен по курсу средней школы, хотя она находится еще в первых классах начальной школы». Этот вопрос должен быть принят во внимание при разработке технических условий.

С целью стимулирования работ по повышению надежности в контракт должно быть включено специальное определение отказа. Это определение может несколько отличаться от определения отказа, приведенного в технических условиях, а в некоторых случаях оно может совпадать с ним. При этом важно помнить, что для целей стимулирования используются и другие параметры, так что при таком подходе существует определенная вероятность, что риск, на который идет изготовитель, повысится. В качестве примера можно привести точность и надежность. Если имеет место чрезмерный уход показаний приборов системы инерциальной навигации, то возникает вопрос, является ли это отклонением точности или отказом в смысле надежности? Никто, вероятно, не захотел бы терпеть убытки в обоих случаях. Даже если определения не звучат достаточно научно, они должны быть сформулированы детальным образом. Часто бывает легче, а в случае поощрительных контрактов рациональнее определить, что не является отказом в смысле надежности. При таком подходе из расчетов средней наработки на отказ и критериев выплаты вознаграждения могут быть исключены типы отказов, не влияющих на среднюю наработку на отказ. Изготовитель должен обратить внимание на то, как сказывается на стимулирующих мерах в отношении надежности то, что эксплуатация аппаратуры производится под руководством заказчика.

Чтобы быть в курсе быстрого развития техники и методов повышения надежности, читателю рекомендуется просматривать новые официальные документы по надежности. Это относится ко всем аспектам технических условий на надежность, но особенно важно в отношении демонстрации надежности. Следует заметить, что автор настроен критически к существующим требованиям по демонстрации надежности и практическому применению критериев приемки, о которых говорилось в разд. 5.6б.

5.7. ПОСТАВКА КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ

При рассмотрении технических условий на надежность неизбежно встает вопрос о практике организации поставок и заключения контрактов. В предыдущих разделах было рассмотрено, как влияют на технические условия взаимоотношения между заказчиком и поставщиком. В следующих разделах рассматриваются факторы, влияющие на политику, практику и процедуры, связанные с деятельностью заказчика по размещению заказов. Факторы, способствовавшие изменению системы поставок и подхода к областям, представляющим особую важность с точки зрения надежности, будут рассмотрены совместно с рекомендуемыми мерами по организации работы в этих областях с целью предотвращения ухудшения надежности изделий.

Помимо многочисленных прочих факторов, практика поставок всегда тем или иным способом учитывала и соображения по на-

дежности. Однако до последнего времени эти характеристики изделия представлялись в обобщенном виде, и в контракте, заключаемом между заказчиком и поставщиком, они оставались относительно неопределенными. Важность обеспечения надежности признавалась обеими сторонами, но лишь в редких случаях текст контракта вносил полную ясность в эти вопросы. Если промышленные организации, кроме заинтересованности в определении количества поставляемых изделий, не проявляют интереса к характеристикам надежности изделия, отсутствие согласованного определения надежности выпускаемой продукции заказчиком и поставщиком может неблагоприятно сказаться на надежности готового изделия.

Подсчет показывает, что относительная доля затрат на поставки запасных частей, компонентов, изделий субподрядчиков и услуги, оказываемые промышленными организациями, которые заняты разработкой, конструированием и изготовлением элементов аппаратуры, превышает 40% валового объема сделок этих организаций. Учитывая зависимость всех изготовителей от своих поставщиков и денежные аспекты, связанные с организацией поставок, можно сделать вывод, что значительное количество комплектных изделий содержит больше элементов, поставленных со стороны, чем элементов, изготовленных собственным производством фирмы.

Отсюда следует, что статистическая вероятность ухудшения параметров (включая надежность) комплексных изделий, обусловленная ухудшением поставляемых элементов, растет по мере увеличения числа этих элементов.

В связи с влиянием, оказываемым внешними поставками на надежность, и изменениями, которые претерпели в течение ряда лет как определение надежности, так и количественные требования к надежности, указанные в текущих документах, регулирующих поставки, а также в связи с рядом других факторов, которые должны быть рассмотрены в процессе взаимодействия заказчика и поставщика, важную роль приобретает анализ этой взаимосвязи с точки зрения ее влияния на надежность изделий.

5.8. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЗАКАЗЧИКОМ И ПОСТАВЩИКОМ ПРИ РЕШЕНИИ ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С НАДЕЖНОСТЬЮ

Из предыдущего изложения ясно, что одним из значительных результатов, достигнутых в области организации поставок, является все возрастающее использование точной терминологии, связанной с формулировкой требований к надежности в контрактах и документах по заказам. Внимание к повышению надежности изделия оказало свое воздействие в нескольких направлениях, характеризующих взаимоотношения между заказчиком и поставщиком.

В свете широкой перспективы указанная тенденция развития выявила необходимость в лучшей организации связи и координации между сторонами, заключающими контракт. Определение тре-

бований к надежности, записываемых соответствующим образом в контракты, повлияло на другие, играющие важную роль решения, принимаемые административным руководством. В качестве примеров можно привести отношение руководства к дополнительным затратам на контрольно-испытательную и поверочную аппаратуру, влияние выраженных количественно требований к надежности на политику установления гарантийных сроков, принятие решений относительно прав собственности на техническую информацию и прав в отношении публикации имеющихся данных. Все это оказало дальнейшее влияние на деятельность, связанную с выполнением контракта. Необходимо проанализировать, каким образом количественно сформулированное требование к надежности для конечного числа параметров повлияет на взаимоотношения поставщика и заказчика по сравнению с обобщенным требованием к надежности или требованием, представляющим собой просто цель проекта.

Предъявление требования к определенным параметрам, вообще говоря, вызывает необходимость в значительно большей координации, чем в случае предъявления требования общего характера или требования, сформулированного в виде общей цели проекта. Работа авиакосмической промышленности в настоящее время направляется прежде всего требованиями к надежности, зафиксированными в соответствующих документах, которые являются обязательными для правительственных организаций. В связи с тем что организации обычно не располагают собственными возможностями для проектирования и изготовления изделия, основные требования к надежности в форме правительственных технических условий составляют часть контракта, заключаемого между правительственными организациями и генеральным подрядчиком.

Принятие решения о том, какие требования к надежности необходимо предъявить поставщикам нескольких уровней, участвующим в выполнении контракта, находится в компетенции генерального подрядчика. В крупной программе, результатом выполнения которой в конечном счете является изделие, передаваемое правительственной организации (в том числе и военной организации), подрядчики всех уровней, главные субподрядчики и поставщики второго, третьего и соответственно более низких уровней должны рассматриваться наравне с генеральным подрядчиком.

Далее необходимо дать краткий обзор процесса, обеспечивающего превращение существующей потребности в полезное изделие. Организация, формулирующая основные требования к изделию и выбирающая генерального подрядчика, будет вести с ним переговоры относительно детальных требований к готовому изделию, которое должно будет поставляться. Эти требования, если они уже не составляют часть выпущенного правительством документа,

приобретут силу технических условий, когда они будут отражены в юридическом документе, как, например, в контракте или заказе. Впоследствии генеральный подрядчик должен будет определить степень применения этих окончательных требований. Субподрядчики несут ответственность (за исключением необычных обстоятельств) за соответствие изготовленных ими изделий всем основным договорным требованиям, которые были предъявлены генеральному подрядчику заказчиком. Тип соглашений, заключенных между подрядчиками, может в некоторых отношениях повлиять на способ реализации таких требований.

Метод осуществления генеральным подрядчиком наблюдения и контроля за тем, как выполняет конечные требования основной субподрядчик, работающий по контракту типа «затраты плюс фиксированное вознаграждение», отличается от метода проверки выполнения тех же требований в том случае, когда между обеими сторонами заключен контракт типа «твердая цена плюс поощрительное вознаграждение». Контракт типа «затраты плюс фиксированное вознаграждение» позволяет заказчику осуществлять тщательное и детальное руководство поставщиком, так как при данной форме контракта заказчик пользуется услугами, временем и материалами, а не принципиальной конструкцией и воплощением этой конструкции в готовое изделие. Когда изготовитель использует собственную конструкцию при выполнении работы по контракту с оплатой производимых работ по твердым ценам плюс поощрительное вознаграждение, на него как поставщика распространяется Положение по поставкам для вооруженных сил, обеспечивающее юридическую защиту его прав собственности на все соответствующие части, которые он применил в поставленном изделии. В соответствии с этим должна строиться программа контроля и отчетность, исключающие упоминание технических подробностей, на которые распространяется право собственности.

При работе поставщика по контракту типа «затраты плюс фиксированное вознаграждение» сам характер мер, предусмотренных в Положении по поставкам для вооруженных сил (а оно определяет порядок выполнения указанного контракта), требует от поставщика предоставлять заказчику всю требуемую информацию. Поэтому можно сделать вывод о том, что на степень контроля деятельности поставщика со стороны заказчика и на степень участия заказчика в этой деятельности оказывает влияние тип контракта, заключенного между ними.

5.9. ДОГОВОРНЫЕ ДОКУМЕНТЫ НА ЗАКУПКУ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАДЕЖНОСТИ

Обычно отношения между сторонами, заключающими контракт, фиксируются рядом документов. Основываясь на потребности в определенном изделии и обеспечив источники финансирования для

получения требуемых элементов, правительственная организация рассылает предложения возможным поставщикам участвовать в конкурсе на получение заказа или просит их прислать соответствующие заявки. В исходные документы, кроме вопросов по комплектации, материалам, характеристикам и другим требованиям, должны быть включены требования к надежности компонентов, обусловленные заданным уровнем надежности комплектного изделия. В характеристиках работы, содержащихся в приглашениях на участие в конкурсе, или запросах относительно предложений используется стандартная терминология, с которой, вообще говоря, хорошо знакомы в промышленных кругах, имеющих дело с конкретными типами аппаратуры. Однако лишь в последнее время требования к надежности стали формулироваться достаточно строго. Таким образом, технические условия и терминология, определяющие требования к надежности, не обладают преимуществом длительного использования в отличие от описаний оперативных задач и требований, служащих для выбора комплектации изделия и его технических характеристик. Следовательно, как заказчик, так и поставщик обязаны принять необходимые меры, чтобы обеспечить единое понимание требований к надежности, приводимых в предварительной документации по контракту.

Основные пункты этих документов в части требований к надежности можно охарактеризовать следующим образом. Они должны: 1) содержать четкие определения конкретных параметров, 2) пояснять и определять обязательства поставщика, 3) учитывать тип контракта, заключенного между заказчиком и поставщиком, 4) обеспечивать согласованность с гарантийной практикой, включая определение гарантий по надежности, и 5) излагать метод представления данных о всех элементах затрат, связанных с договорными обязательствами по надежности.

В ряде фирм авиакосмической промышленности используется документ, известный под названием основного соглашения. Этот документ отражает достигнутое соглашение относительно определения и интерпретации факторов, которые учитываются при деловых взаимоотношениях. Основное преимущество, которого при этом добиваются, заключается в устранении возможности различных толкований технических и юридических аспектов контракта благодаря взаимному соглашению, основанному на рассмотрении таких факторов, как тип выпускаемого изделия, современный уровень развития техники, производственные процессы, гарантийная политика, права собственности на техническую информацию и т. д. В основное соглашение вместе с другими факторами должны быть включены согласованные решения относительно пяти перечисленных выше документов.

Иногда работы по контракту строятся на основе концепции системного руководства; в этом случае субподрядчик наделяется

полной ответственностью за конструирование и проведение всей работы, а подрядчик несет ответственность только за согласование и стыковку подсистем. В соответствии с этой концепцией требуется минимальная координация между заказчиком и подрядчиком при решении подрядчиком отдельных задач; эта координация обеспечивает выполнение требований к подсистеме или системе в целом. В ряде крупных контрактов, заключенных в течение последних нескольких лет, потребовалось затратить значительные суммы денег на анализ и одобрение программ обеспечения надежности по этим контрактам. Концепция системного руководства позволяет устранить необходимость в таких расходах и требует лишь осуществления минимальной координации детальной деятельности по выполнению таких программ обеспечения надежности. Концепция системного руководства позволяет охватить основные факторы, рассматриваемые в формальной программе обеспечения надежности, как, например, распределение параметров надежности, прогнозирование, интенсивности отказов и другие стохастические процессы, которые могут быть исследованы в рамках одной организации.

Широкий диапазон охватываемых технических вопросов, которые связаны с основными программами и в особенности с теми, которые влияют на национальные интересы страны, обуславливает необходимость проведения предварительных работ по такому контракту до определения всех условий, связанных с его выполнением. Хотя контракт в формальном отношении обычно не считается заключенным до того, как определены детали, к его фактическому выполнению можно приступить по получении соответствующего официального документа. Этот документ просто указывает, что должна быть выполнена данная часть работы. Здесь снова невозможно переоценить важность включения в этот документ требований к надежности, которые относятся к конкретным разделам контракта. Аналогичным образом должны быть включены технические условия и данные о стандартах, влияющих на выполнение поставленной задачи.

Выше в настоящей главе было указано, что одним из выводов, сделанных на основе многолетних наблюдений за развитием в практике поставок, является необходимость точно определять, что представляет собой поставляемое изделие. Предыдущие рассуждения показывают, что к такому определению необходимо приступить на возможно более ранней стадии выполнения контракта; соответственно эти вопросы в каждом необходимом случае должны определяться основными соглашениями и соответственно другими дополнительными документами. Предложения возможным поставщикам относительно их участия в конкурсе на заключение контракта должны содержать возможно более полное определение программы с тем, чтобы они могли подробно познакомиться с предстоящей работой.

5.10. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА РАБОТОЙ ПОСТАВЩИКОВ И КОНТРОЛЬ ИСТОЧНИКОВ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ

5.10а. Совместимость различных аспектов технической политики. Политика и методы, которыми руководствуется генеральный подрядчик во взаимоотношениях со своими поставщиками, чтобы обеспечить выполнение договорных требований (в том числе и тех, которые относятся к надежности), должны быть совместимы в рамках данной программы поставок с ее исходными пунктами. Ими являются следующие элементы: современный уровень развития техники, на которую можно опереться при создании данного изделия; функция и область применения этого изделия; стоимость всего объема поставки; производственные мощности поставщика и объективные критерии подтверждения надежности, требуемые для демонстрации возможностей реализации приемлемого уровня надежности.

5.10б. Контроль со стороны правительственной организации. Для фирм, связанных с производством сложных изделий по заказам правительственных организаций, стало обычным руководствоваться специальными методами повышения надежности изделия. Для выработки общих принципов организации работы и технологической дисциплины, обеспечивающих повышение надежности изделия, различными правительственными организациями выпущены документы и технические условия, касающиеся процессов конструирования, разработки и производства аппаратуры, подсистем и систем.

Важной областью приложения усилий, связанных с обеспечением надежности изделия, является наблюдение за работой поставщика и контроль источников комплектующих деталей. Как было указано выше, степень регулирования взаимоотношений между различными уровнями подрядчиков, субподрядчиков и поставщиков должна быть совместима с политикой данной организации-заказчика и учитывать указанные выше факторы. Каждая организация-заказчик, уделяющая большое внимание вопросам надежности, ведет большую работу с целью реализации оптимальной надежности изделия. Эта работа проводится в нескольких направлениях. Ниже перечислены эти направления и даны их краткие характеристики.

А. Общая политика. В этих документах рассматриваются соображения относительно общей политики и включены инструкции и указания общего характера, касающиеся всех поставок. Язык документов, разъясняющих общую политику, можно сравнить с языком, характерным для всех коммерческих договоров, и рассматривать как язык стандартных терминов и условий. Можно привести следующие примеры документов данного типа: общие инструкции по обращению с предоставляемым правительством имуществом,

методы оценки или проверки выполнения фирмой своих внутренних программ по обеспечению качества и надежности, а также инструкции о порядке ведения дел с неправительственными организациями.

Б. Административный контроль. Этот тип контроля включает методы записи данных по качеству и надежности, стандартные методы определения общих или специальных технологических процессов, критерий и методы оценки квалификации персонала, выполняющего работу, которая требует применения специальных навыков, а также процедуры и методы контроля технической документации.

В. Контроль изделий. Методы и политика, связанные с контролем изделия, должны быть отражены в специальных инструкциях; они должны определять детальные критерии приемки по различным типам изделий (как, например, необработанному литью, поковкам, резиновым изделиям), должны быть выработаны специальные инструкции по выборочным планам приемки для данного изделия, методы контроля за состоянием инструмента и инструкции по его ремонту, методы установления гарантий и маркировки и способы обеспечения надежности изделия, специально предназначенные для оценки уровня качества и надежности данного изделия.

Г. Внешний контроль поставок. В данной области первостепенную роль играют политика и методы, связанные с взаимоотношениями с поставщиками, включая наблюдение и контроль. Чтобы обеспечить реализацию оптимальной надежности изделия, должны быть составлены следующие документы:

1. Инструкция, определяющая ответственность покупателя и поставщика.
2. Инструкции для оценки возможностей поставщика.
3. Инструкции по обращению с не соответствующими требованиям материалами.
4. Специальные инструкции и методы, связанные с испытаниями и контролем поставляемого изделия.
5. Инструкции о порядке применения выборочных методов.
6. Дополнительные инструкции, специфичные для данного заказчика.

В качестве примера, иллюстрирующего тип инструктивных данных, которые должны быть включены в перечисленные выше документы, рассмотрим кратко инструкции для оценки возможностей поставщика. С целью обеспечения стандартного способа записи информации в ходе наблюдения за потенциальным поставщиком, а также условий для сравнительной оценки контролируемых производственных и испытательных средств многие фирмы составляют контрольные листы. В этой контрольной форме учитываются средства и способы, с помощью которых потенциальный поставщик бу-

дет вести все свои работы, связанные с рассматриваемой программой поставок.

Области, относящиеся к деятельности поставщика в рамках данной программы, включают получение и контроль материалов вместе с документами, связанными с такими материалами; контроль за возможностью осуществления специальных процессов; определение способа накопления информации относительно ремонта и проверки инструмента и контрольно-испытательной аппаратуры; выяснение характера влияния, оказываемого на надежность контролем в процессе разработки изделия; контроль чертежей; разработка методов, используемых при окончательной приемке и транспортировке с целью предотвращения ухудшения надежности в ходе этих операций, заложенной в данном изделии на этапах его проектирования и изготовления. В процессе обследования поставщика могут быть также получены дополнительные данные, связанные с финансовыми и производственными возможностями поставщика, оценены применяемые им методы производства и материалы, а также его методы административной работы по контрактам.

5.10в. Контроль источников комплектующих деталей. При крупных заказах обычно предусматриваются меры, обеспечивающие подрядчикам право обследования работы своего поставщика, а также осуществления контроля за его изделиями и приемки заказанных деталей на месте их производства. Правительственные технические условия устанавливают для многих типов изделий обязательный контроль со стороны заказчика на месте их производства. Такой контроль может быть разрешен только правительством и лишь исходя из правительственных интересов. Соответствующее требование должно быть документально оформлено в договорном порядке и одобрено компетентной правительственной организацией, рассматривающей возможность данного подрядчика. Текущие технические условия, относящиеся к программе обеспечения качества и надежности, разработанной подрядчиком, определяют ответственность генерального подрядчика за выполнение всех работ, связанных с поставкой данного изделия. На этой основе сложилась обычная практика оговаривать во всех контрактах, заключаемых с субподрядчиками, право для субподрядчика обследовать производство комплектующих изделий поставщиком.

На начальной стадии реализации контракта необходимо провести тщательный анализ запросов на комплектующие изделия с целью устранения расхождения во мнениях между подрядчиком и поставщиком. Особую выгоду для обеих сторон дает установление четко определенных каналов связи для рассмотрения любых проблем, которые могут возникнуть в процессе выполнения контракта. Хотя для контроля источника комплектующих изделий используется бесчисленное множество различных методов и проце-

дур, все они окажутся напрасными, пока не будет достигнуто взаимопонимание между сторонами, заключившими контракт.

5.10г. Контроль в процессе исследований и разработки. Контроль качества и надежности изделия в процессе инженерных исследований и фазы разработки находился до последних лет в соответствии с контрактом в компетенции неинженерного персонала. Введение правительственных технических условий по качеству и надежности привело к осуществлению контроля производственного типа за деятельностью, связанной с инженерными исследованиями и разработкой. Вполне понятно, что это может ограничить творческие возможности инженеров, которые столь важны на ранней стадии программы, связанной с выработкой принципов. А это может нанести серьезный урон всей программе в целом. Поэтому весьма важно, чтобы обе стороны, заключившие контракт, отдавали себе отчет в необходимости применения специальных методов весьма ограниченного контроля на стадиях инженерных исследований и разработки.

Предполагается, что методы ограниченного контроля должны охватывать только те области исследований и разработок, прогресс в которых необходимо учитывать при осуществлении координации на межфирменном и внутрифирменном уровнях. Такие методы контроля должны относиться к методам контроля типа административного управления. К последним методам контроля относятся методы, связанные с управлением финансами и планированием, а также подготовкой к переходу от инженерных исследований и разработки изделия к последующим стадиям выполнения контракта. В некоторых случаях может оказаться невозможным определить конкретные методы, которые необходимо использовать на стадии выполнения контракта, связанной с инженерными исследованиями и разработкой. Это объясняется сложностью оценки таких факторов, как характеристики изделия, современный уровень развития техники, тип контракта, объем средств производства и вспомогательного оборудования. В связи с этим следует снова подчеркнуть необходимость полного понимания этого вопроса.

5.10д. Взаимоотношения между заказчиком и поставщиком. Для реализации оптимального качества и надежности поставляемых изделий необходимы хорошие взаимоотношения между заказчиком и поставщиком; обе стороны должны быть знакомы с содержанием контракта и прочей документацией, требуются постоянное наблюдение и оценка изделий, получаемых заказчиком от поставщика, а последний должен предпринимать меры по устранению дефектов, выявленных в поставленных им изделиях.

Была предпринята попытка обратить внимание читателя на важность соблюдения дисциплины в отношениях между заказчиком и поставщиком. Приведен ряд примеров из тех областей, где такая дисциплина важна. Никакая политика, процедура или ин-

струкция не могут заменить здравый смысл. Разумный подход к вопросам обеспечения качества и надежности окупится сторицей, а связанные с ним дополнительные затраты на осуществление программы будут с точки зрения потребителя ничтожно малы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гау L. B., Contracts and the Reliability Numbers Game, General Precision, Inc. (неопубликованная работа).
2. Purcell W. R., Contracting for Reliability (неопубликованная работа).
3. Product Assurance Requirements, Air Force Ballistic Systems Div., Exhibit 63—50.
4. Reliability Integration Procedure, Air Force Ballistic Missile Div., Exhibit 63—35.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Дж. Макклур

J. Y. McClure

Director, Reliability, Quality Control, Value Control
General Dynamics Corporation, New York

6.1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей главе подробно рассматривается ряд факторов, играющих важную роль при планировании и выполнении работ, а также при непрерывном совершенствовании деятельности служб обеспечения надежности и контроля качества. Для обеспечения максимально эффективной деятельности необходимо совершенствование организационной структуры и методов работы. Изменение вида выпускаемой продукции и целей административного управления, появление новых методов производства и постоянное давление конкуренции заставляют непрерывно искать более совершенные формы управления деятельностью по обеспечению надежности и контролю качества. Следует напомнить, что разработка оптимальной организационной структуры и повышение ее эффективности являются средствами достижения цели, но не самой целью.

6.2 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.2а. Влияние организованной конкуренции. Управление деятельностью по обеспечению надежности и контролю качества в условиях существующей в настоящее время во всем мире организованной конкуренции является исключительно сложной и ответственной задачей. Для умелого руководства вопросами обеспечения надежности и контроля качества в процессе технического совершенствования производственного оборудования, методов и средств контроля технологических процессов и выпускаемой продукции необходимы тесные рабочие связи между всеми элементами организации-изготовителя и организации-потребителя.

Методы обеспечения надежности и контроля качества быстро совершенствуются и изменяются в мировом масштабе. Применение в промышленности более высоких стандартов качества и надежности продукции рассматривается как средство научного руководства для достижения преимущества над конкурентами. Использование современных научных методов при создании военной техники, космических систем и изделий широкого потребления открывает большие перспективы в деле повышения эффективности организацион-

ной структуры. Использование обширных программ повышения надежности и качества как средства совершенствования конструкции изделий, испытания возможностей производственного оборудования и снижения затрат обеспечивает широкие возможности совершенствования организационной структуры и применяемых методов.

В последние годы больше внимания стало уделяться вопросам обеспечения надежности, качества и снижения стоимости продукции промышленностью и национальным комитетом по авионавтике и исследованию космического пространства. Даже автомобильные и другие фирмы США убедились в экономической целесообразности снабжать своих потребителей надежной и качественной продукцией, причем их гарантийные обязательства непрерывно повышаются. В настоящее время некоторые автомобильные фирмы дают гарантию на эксплуатацию автомобиля в течение пяти лет или на пробег 80 тыс. км. Изготовители многих других видов продукции также стремятся повышать доверие к своим изделиям и обеспечить высокие гарантии.

В условиях, когда все возрастающая сложность аппаратуры, повышение требований к надежности, сокращение сроков изготовления и конкуренция оказывают воздействие на работу служб обеспечения надежности и контроля качества, высшее руководство должно иметь четкое представление о наиболее разумных методах снижения затрат и быть уверенным в том, что выпускаемое изделие имеет максимально возможную надежность, приемлемую при данных требованиях контракта или условиях конкуренции.

На изготовление изделия высшего качества с очень высоким количественным показателем надежности иногда требуется значительно больше средств, чем готов возместить потребитель. В связи с тем что первоначально бывает трудно добиться приемлемой стоимости изделия, обладающего высокой надежностью, руководство должно своевременно принимать компромиссные решения относительно надежности, сроков выпуска и стоимости продукции. Для принятия таких решений необходимо использование очень точной и тщательно отобранной информации и четкая организация работы с целью получения максимальной эффективности затрат. В последующих разделах настоящей главы будут детально проанализированы различные стороны организационной деятельности.

6.2б. Задачи руководства. Задачи руководства по организации службы обеспечения надежности и контроля качества заключаются в составлении и разработке организационного плана, предусматривающего методы контроля, позволяющие убедиться в том, что услуги и продукция данного предприятия отвечают условиям контракта. Задачи руководства можно формулировать по-разному, но по существу они, по-видимому, имеют один и тот же смысл. Так, например, конечной целью организации службы надежности и контроля качества является обеспечение конкурентоспособных цен на

услуги и выпускаемую продукцию, удовлетворяющие по качеству требованиям потребителя или даже превосходящие их.

Конечно, между качеством и надежностью изделия, с одной стороны, и его стоимостью — с другой стороны, должно существовать оптимальное соотношение. Иначе цена продукции, выпускаемой данной фирмой, превысит предельную сумму, которую потребитель будет в состоянии уплатить. Кроме того, в некоторых случаях потребитель может умышленно в некоторой степени жертвовать надежностью по соображениям, связанным со сроками выпуска продукции. От руководства требуются продуманные действия для эффективного достижения запланированных целей программы и обеспечения ясного понимания изготовителем и потребителем комиссионных решений, оказывающих влияние на надежность изделия и его обслуживание.

Руководство отвечает за то, чтобы предприятие давало прибыли. Именно в этом отношении на службу обеспечения надежности и контроля качества возлагается задача оказания помощи высшему руководству, служба надежности должна гарантировать выполнение запланированных мер при конструировании, производстве и эксплуатации изделия. Фирма, завоевавшая репутацию изготовителя надежных изделий, обычно не допускает перерасхода ассигнований, успешно развивается и процветает. Промышленное предприятие и предприятие обслуживания, обладающее совершенной организацией и высокой активностью, имеют все предпосылки для успешной деятельности и обеспечения занятости.

Руководство каждым звеном организации должно быть гибким и способным быстро реагировать на все запросы, диктуемые возможной конкуренцией или новыми потребностями потребителя. Способность реагировать быстро, объективно и эффективно на изменяющиеся требования к качеству и надежности продукции и заблаговременно предвидеть их до возникновения затруднений является наиболее желательной характеристикой организационной структуры, о чем будет сказано в последующем разделе. Служба контроля качества и обеспечения надежности обязана свести к минимуму жалобы потребителей относительно гарантийных сроков и качества обслуживания путем проведения запланированных предупредительных мер и своевременной координации корректировочных действий. Удовлетворение потребностей потребителя является наиболее важным фактором, способствующим непрерывным успехам промышленного предприятия и достижению целей, стоящих перед его руководством.

6.3. РОЛЬ ВЫСШЕГО РУКОВОДСТВА В ВЫПОЛНЕНИИ ПРОГРАММ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Руководство должно организовать такую систему контроля, которая гарантировала бы, что все качественные показатели, влия-



Ф и г. 6.1. Организационная структура высшего руководства.

ющие на надежность, обслуживание, безопасность и стоимость, соответствуют принятым обязательствам и удовлетворяют требованиям заказчика. Короче говоря, руководство должно проводить хорошо спланированную техническую политику, осуществлять эффективное планирование программ, иметь графики работ и организовывать техническое обучение. Руководство должно четко формулировать цели и техническую политику в области обеспечения качества и надежности продукции и возлагать ответственность за достижение этих целей на соответствующие органы и службы организации.

Основная задача высшего руководства заключается в организации деятельности служб качества и надежности, способных эффективно проводить необходимый контроль, испытания и аналитическую работу в лабораториях с тем, чтобы вся продукция удовлетворяла установленным требованиям по качеству и надежности. Для достижения этих целей служба контроля качества должна принимать своевременные, объективные и действенные меры. Основное внимание необходимо уделять улучшению качества продукции и снижению ее стоимости; результаты этих усилий должны доводиться до руководства.

На фиг. 6.1 представлена организационная структура высшего звена аппарата управления, где показана структура единой службы обеспечения надежности и контроля качества. При такой структуре всю организацию возглавляет президент фирмы или генеральный директор, а задачи контроля качества и обеспечения надежности возлагаются на руководителей соответствующих служб. При такой структуре необходимая координация, обслуживание и обеспечение гарантий осуществляются на основе единого курса технической политики; при этом исключается возможность нежелательных отклонений в каком-либо одном вопросе в ущерб другому. Преимущества такой схемы управления службой обеспечения надежности и контроля качества заключаются в том, что высшее руководство связано с руководителями этих служб, а административные расходы в случае такой единой службы обеспечения надежности и контроля качества могут быть ниже, чем при раздельной организации.

6.3а. Планирование сроков и этапов работы, календарный график и обеспечение выполнения работ. Необходимо подчеркнуть важность осуществления контроля за деятельностью по обеспечению надежности и контролю качества путем тщательного планирования сроков выполнения каждого пункта задания по надежности и качеству. Необходимо следить за тем, чтобы последовательность пунктов программы обеспечения надежности и качества совпадала с планом соответствующей общей производственной программы. Например, нецелесообразно требовать внесения важных изменений в существующие методы производства, когда выполнение контрак-

Ответственное лицо	Выполнение																																			
Руководитель системы контроля качества Периодичность отчетности: двухнедельная	Методы обеспечения качества должны разрабатываться в соответствии с характером программы и техническими условиями, определяющими способ достижения оптимального качества продукции. Эти методы должны обеспечить единообразие функций, направленных на достижение требуемого качества продукции и предупреждение ухудшения надежности и обслуживания в процессе конструирования, разработки и изготовления.																																			
Требуемые действия (объяснить каждый важный этап, необходимый для выполнения задания)	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td colspan="9">1963</td> </tr> <tr> <td>Де-кабрь</td> <td>Ян-варь</td> <td>Фев-раль</td> <td>Март</td> <td>Ап-рель</td> <td>Май</td> <td>Июнь</td> <td>Июль</td> <td>Ав-густ</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>									1963									Де-кабрь	Ян-варь	Фев-раль	Март	Ап-рель	Май	Июнь	Июль	Ав-густ									
1963																																				
Де-кабрь	Ян-варь	Фев-раль	Март	Ап-рель	Май	Июнь	Июль	Ав-густ																												
<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучить существующие материалы: стандарты на технологические процессы, инструкции по контролю качества, памятные записки по осуществлению программы. 2. Пересмотреть существующие материалы: стандарты на технологические процессы, инструкции по контролю качества и памятные записки по осуществлению программы. 3. При необходимости подготовить новые материалы. 	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: left;">Начало</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">Предполагаемое окончание</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>									Начало	Предполагаемое окончание																									
Начало	Предполагаемое окончание																																			

Ф и г. 6.3. Календарный план выполнения отдельных заданий.

та близко к завершению и полученная экономия не оправдывает затраченных средств. Нецелесообразно также проводить испытания по второстепенным вопросам, если стоимость специальной испытательной аппаратуры не окупится результатами этих испытаний. Однако закупка и установка испытательной аппаратуры для приемочного контроля с лихвой оправдывает себя, если иметь в виду возможные последствия отказов аппаратуры при ее эксплуатации потребителем.

Планирование сроков и этапов обеспечивает четкое руководство работой и такой контроль за ходом ее выполнения, который невозможно осуществить другими способами. На фиг. 6.2 показана типовая карта планирования сроков и этапов работ по обеспечению надежности. Тщательное соблюдение установленного графика — важнейшее условие успешного выполнения программы обеспечения надежности и качества. На фиг. 6.3 приведена карта выполнения отдельных заданий, связанная с планированием сроков и этапов всей программы.

Оценка хода выполнения программы обеспечения надежности и контроля качества осуществляется руководством на основе систематических проверок и анализа отчетов, специально предназначенных для этой цели. Эти отчеты служат источником информации для принятия решений и предупреждают руководство о задержках в выполнении программы. Для надежной и ритмичной работы при низких затратах руководство должно располагать заранее разработанными мерами, которые при необходимости можно было бы применить на различных этапах производственного процесса.

6.36. Подбор кадров. Руководство должно изучать и подбирать людей, способных занять ответственные должности в службах обеспечения надежности и контроля качества. Оно должно быть уверенным в том, что отобранные им лица способны работать в тесном взаимодействии друг с другом и побуждать других сотрудников выполнять возложенные на них задачи. От взглядов высшего руководства на эту проблему зависит деловая обстановка на всем предприятии.

Высшее руководство должно иметь организационную структуру, позволяющую оценивать работу среднего звена руководителей, давать им советы и направлять их деятельность. Руководство всех уровней должно поддерживать четкую двустороннюю связь и направлять работу других без подавления инициативы и творческого подхода.

Если высшее руководство может доложить об усовершенствованиях, полученных при выполнении новой программы либо в технологическом процессе, то это означает, что работа соответствующих отделов и служб является эффективной и способствует получению предприятием хороших прибылей.

6.4. ВОПРОСЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

6.4а. Ответственность организации. Задачи служб обеспечения надежности и контроля качества по снижению затрат могут быть осуществлены наиболее эффективно, когда работа по координации всех вопросов, связанных с анализом стоимости и контролем за расходованием средств, поручается отдельным компетентным лицам. Однако возложение ответственности за координацию на этих лиц не означает, что с остальных сотрудников службы обеспечения надежности и контроля качества снимаются обязанности по обеспечению высокого уровня экономической эффективности.

Внутри служб обеспечения надежности и контроля качества контролирование затрат чаще всего поручается административной группе контроля качества, группе контроля качества систем или группе технического обеспечения контроля качества. Независимо от того, на какую группу возложена эта задача, руководитель службы обеспечения надежности и контроля качества и руководители других служб должны постоянно поддерживать тесную связь с ответственными лицами. Необходимо периодически проводить анализ тенденций развития и принятых решений.

6.4б. Своевременное планирование затрат. Группа руководителей по вопросам обеспечения надежности и контроля качества играет важную роль во всей организации, так как ее деятельность оказывает непосредственное благоприятное влияние на надежность продукции, ее характеристики и стоимость. Вклад этой группы в организованную деятельность по выполнению поставленной задачи будет наиболее ценным в том случае, когда рабочие характеристики, надежность и удобство эксплуатации изделия находятся в оптимальном соотношении с общей стоимостью программы.

Хотя получение необходимых общих характеристик изделия при запланированных сроках выпуска, затратах и объеме прибыли является результатом совместной работы многих лиц, необходимо, чтобы руководство службы обеспечения надежности и контроля качества вмешивалось в процесс работы всякий раз, когда нарушается добровольное сотрудничество в других направлениях деятельности организации или появляется необходимость принятия новых принципиальных решений или изменения политики.

1. Работа по обеспечению качества изделий будет наиболее эффективной в экономическом отношении в тех случаях, когда в результате ее можно заранее предвидеть, предупредить и устранить условия, которые могут вызвать затруднения в сбыте, потерю клиентов или чрезмерные затраты, избежать осложнений и в возможно короткое время внести необходимые изменения. Фактор своевременности принятия необходимых мер должен соблюдаться на всех этапах проектирования и производства — от разработки принципиальной схемы до поставки готового изделия. Выбор наи-

более раннего момента, когда служба обеспечения надежности и контроля качества в состоянии наиболее эффективно распределить общие усилия и средства, зависит от характера изделия и типа организации.

2. В некоторых организациях целесообразно сосредоточить значительную часть усилий на контроле качества получаемых исходных материалов. Задачей первостепенной важности является предотвращение убыточных задержек производства вследствие поступления дефектных материалов. Важное значение имеет выбор поставщика и определение требований к надежности и качеству в документах на поставку материалов. Эту работу лучше всего проводить в период выработки условий контракта; соответствующие компромиссные решения часто предусматривают выдачу определенных гарантий и поощрения. При правильном использовании поощрительных контрактов (обычно в правительственных контрактах с основным подрядчиком особо оговариваются вопросы обеспечения надежности и планирования стоимости, а в промышленных контрактах — гарантийные условия) достигается экономия средств, предназначенных для обеспечения надежности и качества продукции. (Вопросы контроля качества поставляемых материалов затрагиваются и в других местах данного тома.)

3. Непосредственным вкладом службы обеспечения надежности и контроля качества продукции в экономическую эффективность всей организации является участие в эксплуатации изделия потребителем и организацией обучения. Обучение потребителя правильным методам калибровки, испытаний и профилактического ремонта, проводимое помимо обычных работ по контролю качества, способствует предупреждению отказов при эксплуатации. Наиболее экономичным путем выполнения этой функции является издание инструкций по эксплуатации, прилагаемых к изделию при поставке. Для дорогостоящего несерийного оборудования наиболее эффективным может оказаться периодический эксплуатационный осмотр персоналом, имеющим высокую квалификацию в вопросах обеспечения качества. Осмотр может быть поручен группе технического обеспечения контроля качества. Дополнительные преимущества организация получает при своевременном поступлении жалоб потребителей на качество и надежность продукции, что позволяет быстро принять необходимые меры.

6.4в. Поощрительные контракты: обеспечение надежности и обслуживаемости. После резкого ослабления интереса к военным контрактам типа «стоимость плюс фиксированное вознаграждение» поощрительные контракты привлекли к себе внимание как средство, побуждающее руководство заниматься вопросами обеспечения надежности и обслуживаемости. С помощью этого средства определенное вознаграждение — а иногда и штраф — используется как некоторый показатель, определяющий общую стоимость контракта.

Размер штрафа обычно ниже, чем размер поощрения, а в конкурентных контрактах с фиксированной стоимостью штраф может вообще отсутствовать.

1. Критерии, на основании которых выплачивается вознаграждение, и размер вознаграждения за качество разработки обычно определяются по результатам испытаний, на базе статистических данных, полученных при контроле качества изделий.

2. Роль систем учета данных о надежности и качестве изделий при проверке степени достигнутой надежности и обслуживаемости определяется организационной структурой фирмы. Проверка достигнутой надежности и обслуживаемости осуществляется при заранее определенных условиях эксплуатации; корректировка цены изделия производится на основе вычисленного вознаграждения.

3. При планировании размера вознаграждения за качество продукции, выражаемого через долю прибыли, необходимо соблюдать осторожность. Размер вознаграждения должен устанавливаться на основе принципов, понятных для обеих сторон, и учитывать все обычные показатели, описывающие улучшение рабочих характеристик, надежности, готовности и обслуживаемости. Эти вознаграждения легче применить в том случае, когда научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы проводятся в незначительном масштабе или совсем отсутствуют и когда обеим сторонам в точности известен объем допустимых переделок.

Еще один показатель выполнения контракта вводится в тех случаях, когда вознаграждение за обеспечение надежности обуславливает приемлемость изделий. Необходимо проявлять предельную осторожность при переговорах об условиях таких контрактов, так как условия часто допускают большое различие в размерах прибыли, иногда свыше $\pm 10\%$. Очевидно, что вопросы, противоречащие честному подходу, нельзя включать в решение о применении вознаграждений и штрафов; с другой стороны, окончательное решение не может основываться на мнении контролеров, не имеющих достаточной подготовки и опыта. Следовательно, персонал службы обеспечения надежности и контроля качества, участвующий в переговорах при заключении контракта и при определении окончательного заключения о его выполнении, должен обладать как технической эрудицией, так и личным тактом, которые необходимы при определении возможности выплаты вознаграждения. Если эти лица не облечены соответствующими административными полномочиями по вопросам надежности и контроля качества, то они, безусловно, должны иметь полномочия в вопросе оценки условий контракта для фирмы. Желательно, чтобы те же лица, которые участвуют в переговорах по вопросам заключения поощрительных контрактов, занимались проверкой методов и результатов оценки действия стимулирующих факторов.

6.4г. Анализ стоимости и финансирование. При разработке каждого изделия необходимо проводить анализ общего объема работ, которые должны быть выполнены в пределах выделенных средств. Для достижения эффективных результатов оценка затрат по каждой функции, выполняемой при решении общей задачи, должна быть близка к окончательной фактической стоимости реализации данной конкретной функции. Очевидно, что общая корректировка (обычно это произвольное урезывание) предполагаемой стоимости разработки высшим руководством затронет те области, в которых оценки, представленные отделами, и финансовые отчеты по выполненным в прошлом аналогичным работам имеют явное расхождение.

Если принять, что сумма прямых и накладных расходов по всей программе обеспечения надежности и контроля качества равна чистой прибыли, составляющей для типичного промышленного предприятия 5—8%, то станет очевидной важность получения точных оценок стоимости. На промышленном предприятии особое внимание должно уделяться стоимости переделок и брака. Эти затраты часто составляют от 3 до 15% прямых расходов на рабочую силу. Весьма часто размер этих затрат остается неизвестным высшему руководству. Правильное использование точных данных службами обеспечения надежности и контроля качества может оказаться исключительно полезным для всей организации. Крайне важно выработать четкие методы и указания по использованию специалистов в области надежности и контроля качества, осуществляющих оценку стоимости. На фиг. 6.4 представлена карта ассигнований и анализа затрат, используемая одной из фирм при составлении отчетов для руководства.

6.4д. Стоимость оборудования и вспомогательных средств. Другой важной задачей инженеров, занимающихся вопросами обеспечения надежности и контроля качества, является оценка стоимости оборудования и вспомогательных средств, используемых для установления эталонов и калибровки, контроля технологических процессов, общего контроля и проведения испытаний. Служебный и производственный персонал должен принимать участие в планировании производства, демонтажа или замены оборудования и вспомогательных средств.

Необходимо подходить с большой осторожностью к обоснованию потребности в добавлении или замене вспомогательных средств. Повышение надежности изделия и снижение его стоимости должны быть ощутимы и поддаваться измерению. Ожидаемая экономия должна компенсировать стоимость нового оборудования и вспомогательных средств в течение периода, установленного высшим руководством и советом директоров.

6.4е. Учет затрат. Службы обеспечения надежности и контроля качества отвечают за учет затрат на переделки и брак, проведение

Финансовая ведомость по проекту

Страница _____ из _____

Ответственное лицо _____

По плану на _____

Анализ _____

Номер контракта	Наименование	Тип контракта*	Процент выполнения	Затраты			Прямые трудовые затраты по смете		Расценки прямых и косвенных трудоуслуг по смете			Другие расходы по смете	Лучшие показатели за месяц	Примечания	
				общая сумма	по смете		часы	доллары	в час		сумма				
					сумма	%			прямые расходы	косвенные расходы					

* Контракт типа «издержки плюс фиксированное вознаграждение». Контракт типа «издержки плюс поощрительное вознаграждение». Контракт типа «твердая цена, поощрительное вознаграждение». Контракт типа «фиксированная цена».

Ф и г. 6.4. Карта ассигнований и анализ затрат.

испытаний, обеспечение гарантий и т. п., на которых основываются структура ценообразования, конструктивные переделки и даже решение спорных вопросов в судебных инстанциях. Затраты на ведение учета и обработку данных должны соответствовать ценности этой деятельности для фирмы. Ответственность за это возлагается на лиц, занимающихся внедрением этой системы и обеспечивающих ее нормальное функционирование.

При оценке стоимости нужно учитывать экономию вследствие использования автоматической аппаратуры обработки данных, непрерывно растущие затраты на хранение и поиск информации, условия контракта в части воспроизведения и передачи данных, участие в работе информационных центров и совместимость системы обработки данных, установленной на предприятии, с системами, установленными у потребителя или субподрядчика.

6.4ж. Контроль затрат на обеспечение надежности и контроль качества. Для обеспечения возможности контроля затрат на выполнение программ обеспечения надежности и контроля качества руководство должно осуществлять тщательное долгосрочное планирование. Вопросами планирования должны заниматься лица, на которых высшее руководство возложило соответствующую ответственность и которые должны отчитываться за выполнение этих планов. Наблюдение за реализацией долгосрочных планов в процессе их выполнения является одним из основных принципов контроля стоимости.

Долгосрочное планирование должно осуществляться также и при оценке затрат на обучение, проведение НИР и ОКР, выпуск продукции, профилактические работы, испытания, переделки и брак. Такой подход позволяет правильно предвидеть предстоящие расходы и принимать необходимые меры.

6.5. ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ФИРМЫ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИОННЫМ ВОПРОСАМ

6.5а. Изучение проекта. Проблемы, связанные с разработкой и изготовлением надежного изделия, зависят от типа изделия, размеров фирмы и степени убежденности руководства фирмы в правильности делового и технического курса высших должностных лиц. Изделие, изготовленное одним человеком, обладает теми характеристиками, которые оказались ему необходимыми в период подготовки аванпроекта, рабочего проектирования, изготовления, проверки и продажи своего изделия. Самостоятельность и успех его дела в большинстве случаев обуславливаются надежностью изделия и его личной гарантией удовлетворения запросов потребителя.

Многие проблемы при руководстве деловым предприятием возникают вследствие недостаточной связи между руководством и персоналом и различной интерпретации ими одних и тех же явлений,

если, разумеется, исключить какие-либо преднамеренные действия персонала, мешающие работе высшего руководства. Отсюда следует, что любая структура организации руководства является тем более целесообразной, чем она эффективнее обеспечивает успешную работу при минимальном уровне связи между руководством и персоналом. Одно условие совершенно очевидно с самого начала: в любой момент времени высшее руководство предполагает, что каждый сотрудник способен правильно объяснить факты и выполнять правильные действия.

6.5б. Планирование программы. Для обеспечения однородности выпускаемой продукции необходима передача соответствующих директивных указаний, зафиксированных в объяснительных записках по основным направлениям работы, описаниях стандартных методов производства, стандартах для контроля технологических процессов, технических изданиях, тематических плановых картах и инструкциях по приемочному контролю. Эти материалы должны быть понятны мастерам и техникам и согласованы с низшим звеном руководства. По мере увеличения масштабов организации становится все труднее добиваться эффективных мер со стороны руководства по привитию определенных практических навыков, соблюдению установленных принципов, обеспечению бесперебойного ведения дел и поддержанию постоянного уровня прибыли. Специалисты по надежности и контролю качества, а также руководящий состав должны учитывать такое влияние масштаба организации.

Крупные фирмы с квалифицированным составом служб обеспечения надежности и контроля качества часто обладают большей гибкостью при выполнении контрактов на специфические работы, планирование и контроль которых на ранних этапах осуществления программы связан с большими трудностями. Более мелкие фирмы, выпускающие менее сложную продукцию, могут добиться таких же преимуществ, приглашая консультантов, которым временно поручается согласование программы с тем, чтобы она удовлетворяла требованиям как заказчика, так и руководства фирмы. При планировании программ для небольших фирм консультанты должны обладать знаниями и опытом в составлении стандартных программ обеспечения надежности, разработке математических моделей и составлении программ объединенных испытаний.

6.5в. Контроль технологических процессов. Осуществлять контроль технологических процессов труднее в более крупных фирмах вследствие сложности производства и обусловленных этим задержек в передаче информации, зависящих от числа необходимых производственных операций и географического расположения рабочих участков. Стоимость материалов и потери из-за нарушения производственного графика вследствие отклонений технологического процесса от нормы часто значительно превышают затраты

на содержание весьма немногочисленного квалифицированного персонала, осуществляющего контроль за критическими технологическими процессами.

6.5г. Производственное обучение. Затраты на подготовку операторов и персонала по контролю качества могут быть скомпенсированы более высоким качеством конечного продукта, повышением производительности и более совершенным календарным планированием производственной деятельности. Крупная фирма, имеющая в своем штате преподавателей и работающая над большим числом производственных программ, получит определенное преимущество, если вначале будут разработаны инструкции для нескольких ведущих работников, которые затем будут использованы в качестве инструкторов для подготовки большого числа других работников при переходе к новой программе. Обучение по контрактам в более мелких фирмах из расчета на одного человека обойдется дороже, но накладные расходы за весь период будут меньше. При подготовке к заключению новых контрактов это обстоятельство становится важным преимуществом.

6.5д. Совершенствование конструкции. Обычно программа совершенствования изделия в мелких фирмах позволяет получить оптимальную конструкцию изделия, особенно в тех случаях, когда данные изделия будут выпускаться в течение длительного времени. В мелкой фирме коллектив, работающий над совершенствованием конструкции изделия или осуществляющий ее анализ, может быть скомплектован из квалифицированных работников, отобранных из числа руководителей, инженеров и специалистов по контролю качества.

6.5е. Совершенствование изделия. Добиться усовершенствования изделия, выпускаемого крупной фирмой, иногда значительно труднее из-за его большей сложности и необходимости анализа многих взаимосвязанных характеристик изделия. Для получения оптимальной общей стоимости при учете технологичности, надежности и обслуживаемости может потребоваться принятие компромиссных решений. Во многих случаях, в особенности для продукции, поставляемой для министерства обороны, благодаря более длительному сроку службы обычно имеется возможность производить улучшения, позволяющие реально уменьшить затраты на обслуживание и снизить стоимость запасных частей. Трудности, связанные с совершенствованием изделий в крупных фирмах, обычно объясняются недостаточной гибкостью соответствующих служб. После того как составлен календарный план разработки новых образцов, необходимо провести мероприятия, обеспечивающие конкурентоспособность, рассматривая запланированный анализ конструкции как нормальный способ производственной деятельности. Для выполнения этой работы может потребоваться привлечение представителей ведущих отделов, включая службу контроля качества.

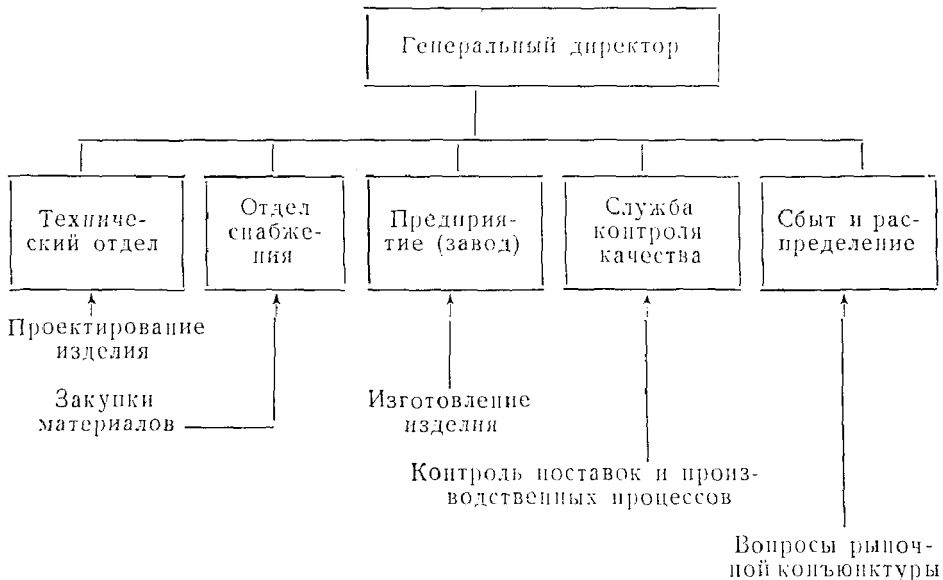
6.5ж. Особенности организации работ в фирмах, имеющих одно предприятие. Одной из задач руководителя фирмы является управление предприятием таким образом, чтобы его подчиненные быстро научились при возникновении той или иной проблемы принимать такие же решения, какие принял бы сам руководитель в подобных обстоятельствах. В фирме, в состав которой входит одно предприятие, руководитель может наделить большей властью и ответственностью отдельных лиц из своего аппарата, чем в случае, когда для руководства работой имеется штат соответствующих исполнителей или консультантов. Часто требуется, чтобы в мелких организациях инженеры по надежности и контролю качества при проведении анализа и принятии решений охватывали более широкий круг вопросов, чем в крупных фирмах или в фирмах, в состав которых входит много предприятий.

Перед руководством всегда возникает проблема, каким образом добиться того, чтобы сотрудники обладали гибкостью, необходимой для принятия решений, и умением оценивать обстоятельства, при которых они должны докладывать руководству о важных проблемах, требующих немедленного решения. Обычно руководство не может ожидать проявления со стороны сотрудников большой инициативы в принятии решений, пока не выработаны руководящие указания и не показаны конкретные примеры, например пока не разработаны подробные инструкции по контролю качества. После этого сотрудники уже смогут предвидеть возникновение той или иной проблемы и быстро находить ее решение с целью предупреждения или преодоления возникающих трудностей. Фирма, в состав которой входит одно предприятие, допускает наименьший риск, внедряя в практику передачу исполнителям таких полномочий, которые могут быть с уверенностью реализованы.

6.5з. Центральный аппарат и исполнительные органы. Исполнительные органы обеспечивают непосредственное функционирование фирмы; они работают в установленном порядке. Центральный аппарат не принимает участия в повседневной деятельности фирмы, его обязанность заключается в тщательном исследовании проблем и выработке рекомендаций для руководства предприятия или относительно того, когда, почему и какие именно элементы работы предприятия необходимо изменить. Руководитель предприятия или отдела утверждает те решения, с которыми он согласен, а персонал исполнительных органов обеспечивает выполнение тех из предложенных решений, которые отобраны им для реализации; центральный аппарат занимается отбором наилучших решений и соответствующих вспомогательных данных. Организационная структура комбинированного типа лучше всего подходит для предприятия средних или крупных размеров, работающего в условиях острой конкуренции и выпускающего сложную или разнообразную продукцию.

Для организационной структуры комбинированного типа требуется руководитель, обладающий хорошими деловыми качествами; он должен быстро принимать правильные решения. Сотрудники его аппарата должны иметь высокую квалификацию и дипломатические способности. Эти требования относятся в первую очередь к руководителям службы обеспечения надежности и контроля качества.

6.5и. Организационная структура функционального типа. При организационной структуре функционального типа административные приказы и распоряжения передаются для исполнения работникам, особенно хорошо подготовленным для осуществления определенных функций в данной организации. Схема организации



Фиг. 6.5. Структура организации функционального типа.

функционального типа может быть составлена на основе простого перечня всех функций, выполняемых фирмой. Схема организации такого типа показана на фиг. 6.5.

В организации функционального типа должно обеспечиваться однозначное соответствие между возложенными обязанностями и стоящими задачами, однако при желании структура может быть сокращена или расширена. Сокращение структуры позволяет эффективно использовать время и рабочую силу путем объединения специалистов различных категорий и сокращения канала связи от руководства до рядового работника. Считается, что обычно при максимальном расширении организационной структуры число подразделений, наделенных соответствующими полномочиями или ответственностью и замыкающихся на одного руководителя, на любом

уровне организации не должно превышать 6—10 (в зависимости от квалификации руководства); при этом ни один работник не должен отстоять от высшего руководства более чем на шесть инстанций. Службы обеспечения надежности и контроля качества обычно функционируют наилучшим образом при малой высоте и широком основании организационной пирамиды.

6.6. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПРИ НАЛИЧИИ В СОСТАВЕ ФИРМЫ НЕСКОЛЬКИХ ПРЕДПРИЯТИИ

6.6а. Четкие линии ответственности. Фирма, в состав которой входит большое число предприятий, расположенных в различных местах и не являющихся ни самостоятельными, ни профилированными по проектам, сталкивается со сложной проблемой связи между предприятиями. Важно четко разграничить ответственность между предприятиями. В этом случае сложнее организовать эффективную работу по обеспечению надежности и контролю качества. Каждый исполнитель должен в точности знать, какие функциональные обязанности лежат на руководителе, не работающем непосредственно на данном предприятии, и какие на руководителе, находящемся непосредственно на предприятии, и каким образом будут передаваться и исполняться ответственные распоряжения при отсутствии налаженной связи. Эту проблему необходимо значительно упростить путем применения стандартных принципов технической политики фирмы, четко определяющих ответственность и полномочия в соответствии с функциями и специализацией отделений.

6.6б. Координация технической политики. Координацию технической политики по вопросам надежности и контроля качества проще обеспечить в том случае, когда общие документы фирмы, отражающие эту политику, используются как регламентирующие или руководящие указания. Уточнение или пересмотр стандартов, регламентирующих деятельность отделений, и приведение их в соответствие с общими стандартами предполагает наличие замкнутой цепи связи, в которой информация об изменении технической политики каждого отделения передается обратно к первоисточнику в форме контрольного листа.

6.6в. Координация деятельности руководства. В фирмах с несколькими предприятиями, где члены центрального руководства являются одновременно руководителями отдельных предприятий, проблема связи между руководителями является более сложной. Если центральное руководство выполняет свои функции целиком за пределами предприятия, то принятие рекомендаций центрального руководства часто будет сопряжено со значительными расходами на налаживание взаимодействия между различными предприятиями. Этот недостаток следует компенсировать четкой работой

службы обеспечения надежности и контроля качества, с которой центральное руководство должно проводить консультации.

6.6г. Координация работы над проектом в фирмах с несколькими предприятиями. Если работа над проектом не может быть организована полностью в данной фирме, то вышестоящее руководство должно организовать связь между отделными элементами проекта. Руководство проектом территориально должно находиться на предприятии, выполняющем наиболее важную часть работы или большую часть задания; лица, помогающие руководству проектом, командированы на отдаленные участки. Службы обеспечения надежности и контроля качества, находясь в тесном взаимодействии с коллективом, работающим над проектом, должны четко знать свои полномочия и поддерживать связь с руководителями проекта и основной организации.

6.6д. Методы оценки. Иногда в фирме с несколькими предприятиями руководителям проекта бывает трудно оценить положение в отношении надежности и качества, так как для этого необходимо получать полные краткие отчеты от руководителей работ в соответствующих отделениях. Отчеты необходимо дополнять проверками, которые должен проводить представитель, ведущий работу над проектом вне данного предприятия, или член центрального руководства. На исполнителя, отвечающего за обеспечение качества, при работе над проектом в организации, имеющей несколько предприятий, ложатся дополнительные заботы вследствие того, что уменьшается возможность личных контактов для оценки изменений технической политики фирмы или методов, способных оказать серьезное влияние на ход работы. По этим причинам оценка технической политики или административных решений в организации, состоящей из нескольких предприятий, должна найти отражение в весьма достоверных отчетах, которые непосредственно раскрывают влияние технических решений на прибыль (или убытки).

6.6е. Самостоятельные отделения в фирмах с одним или несколькими предприятиями. В очень крупных фирмах, где число инстанций и число лиц, подотчетных каждой инстанции, могут быть чрезмерно велики, целесообразно несколько ослабить связи и предоставить самостоятельность наиболее важным подразделениям. Руководители такой фирмы оказывают влияние на работу отделений только в рамках центрального руководства, а управляющий отделением может устанавливать собственную организационную структуру в соответствии с документом, определяющим общую политику фирмы. Руководство фирмы обычно оценивает деятельность руководителей самостоятельных отделений на основе показателей валового сбыта продукции, качества изделий и размера прибыли или убытка. Принцип самостоятельных отделений выгоден для более эффективного обеспечения надежности и качества, проведения намеченной технической политики и внедрения стандартов.

6.6ж. Необходимость периодической достоверной отчетности. Принятие решения о самостоятельности отделения требует и принятия ответственности за ведение четкой периодической отчетности о состоянии надежности и качества продукции и производственных затратах, которая характеризовала бы состояние дел в отделении. Установленный руководством порядок, необходимый для совершенствования деятельности внутри фирмы, обычно принимается внутри отделения с тем, чтобы можно было своевременно и эффективно воздействовать на факторы, способные вызвать изменения надежности и качества продукции, размера будущих доходов или объема сбыта. Организация системы быстрой и своевременной отчетности имеет исключительно важное значение.

6.6з. Анализ отчетов. Часто на основе анализа данных, содержащихся в отчетах, даются рекомендации по обеспечению надежности и контролю качества для внесения необходимых изменений на уровне отделов или руководства фирмы. Эти рекомендации могут быть выражены через параметры, способные оказать влияние на закупку сырьевых материалов, переделки, брак, хранение материалов, время простоя рабочих и станков, планирование перерывов в работе и затраты. Эффективные отчеты могут обеспечить тесную связь деятельности по обеспечению надежности и контролю качества с производственной деятельностью, планированием, ценообразованием, наблюдением за производством, торговыми операциями и поставками. С другой стороны, небрежно составленные или громоздкие отчеты будут снижать эффективность хорошо организованной во всех остальных отношениях службы обеспечения надежности и контроля качества.

6.6и. Наблюдение фирмы за работой самостоятельных отделений. Руководство самостоятельного отделения всегда находится под наблюдением центрального аппарата фирмы, даже в том случае, если проводится политика «развязанных рук». Центральное руководство фирмы обычно сохраняет молчание, если поставленные задачи выполняются или перевыполняются, но очень быстро реагирует на возможные или реальные затруднения и при необходимости обеспечивает принятие необходимых мер внутри отделения.

6.6к. Последующая доработка. Необходимо осуществлять доработку продукции на основе рекомендаций по ее совершенствованию, сделанных на самом предприятии руководством фирмы или потребителем. Однако в отделениях необходимо придерживаться общей технической политики фирмы, поскольку основным принципом является обеспечение прибыльной работы.

Успешная деятельность персонала служб обеспечения надежности и контроля качества определяется обычно его знаниями, энтузиазмом, пунктуальностью, своевременностью принимаемых мер и самостоятельностью в работе.

6.7. ТИПИЧНАЯ СТРУКТУРА СЛУЖБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

6.7а. Совместное выполнение функций по обеспечению надежности и контролю качества. Необходимо тщательно исследовать преимущества совместного выполнения функций по обеспечению надежности и контролю качества. Нужно рассмотреть такие вопросы, как квалификация руководителей и особенности организационной структуры, налагающие ограничения на число руководителей, докладывающих непосредственно президенту или генеральному директору. В типичной организации наличие ограничений в отношении контроля часто вызывает необходимость совмещения функций, как показано на фиг. 6.6. Следует заметить, что в такой типовой организации предусмотрена возможность планирования программ и контроля центральным аппаратом при полной координации с обычной деятельностью исполнительных органов предприятия.

Работа одного очень квалифицированного специалиста, ответственного за дополняющие друг друга функции — обеспечение надежности и контроль качества, — может оказаться очень эффективной при условии полной поддержки со стороны руководства и хорошо налаженной коллективной работы. Для организации такого типа существенную роль играет активное сотрудничество руководителей по вопросам проектирования, поставок и производства. К преимуществам единой службы обеспечения надежности и контроля качества относятся следующие:

1. Лучшие возможности обеспечения своевременности и эффективности благодаря объединенному планированию и совместному выполнению важных функций и задач.

2. Дублирование (или невыполнение) задач вследствие трудностей взаимодействия между отделами сводится к минимуму.

3. Улучшение финансовой деятельности, уменьшение административных расходов.

4. Повышение эффективности связей.

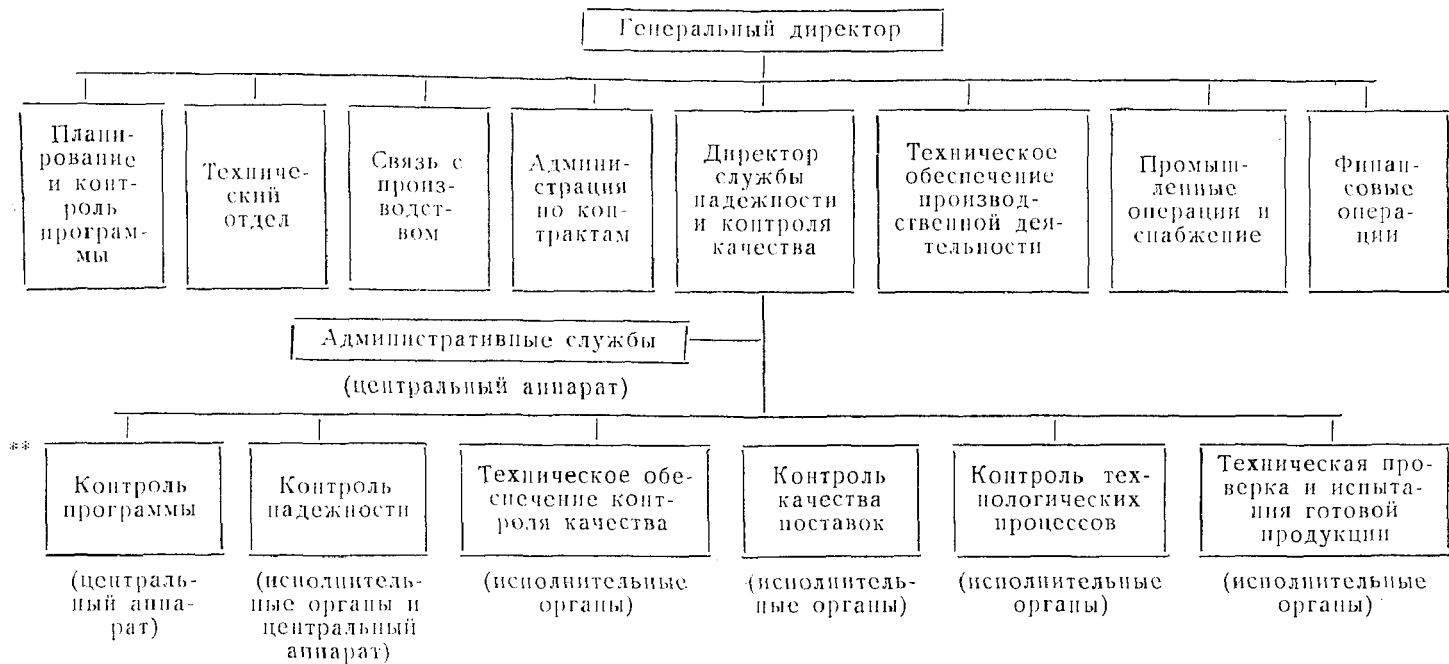
Необходимо иметь в виду и недостатки подобного объединения:

1. Нехватка высококвалифицированных специалистов для организации работы и руководства объединенным органом.

2. Трудности, связанные с оказанием помощи другим отделам в выполнении таких функций, как анализ конструкции и причин отказов и выполнение доводочных работ.

3. Необходимость создания условий, исключающих отвлечение сотрудников других отделов от исполнения текущих обязанностей на решение задач планирования и управления.

6.7б. Основные положения. Роль службы обеспечения надежности и контроля качества во всей организации определяется несколькими основными функциями. Некоторые из них заключаются в осуществлении проверок и других мероприятий, позволяющих



Руководитель программы А _____

Руководитель программы В _____

Руководитель программы С _____

Руководитель программы D _____

Ф и г. 6.6. Организация служб обеспечения надежности и контроля качества.
 Более подробно организация работ по обеспечению надежности и контроля качества показана на фиг. 6.7 и 6.8. Одна звездочка означает, что показаны не все функции высшего руководства. Две звездочки показывают, что контроль и планирование программы осуществляет центральный аппарат.

убедиться в том, что работа предприятия идет в правильном направлении и что поставляемая продукция или оказываемые услуги обладают соответствующим качеством при соблюдении плановых сроков и сметной стоимости.

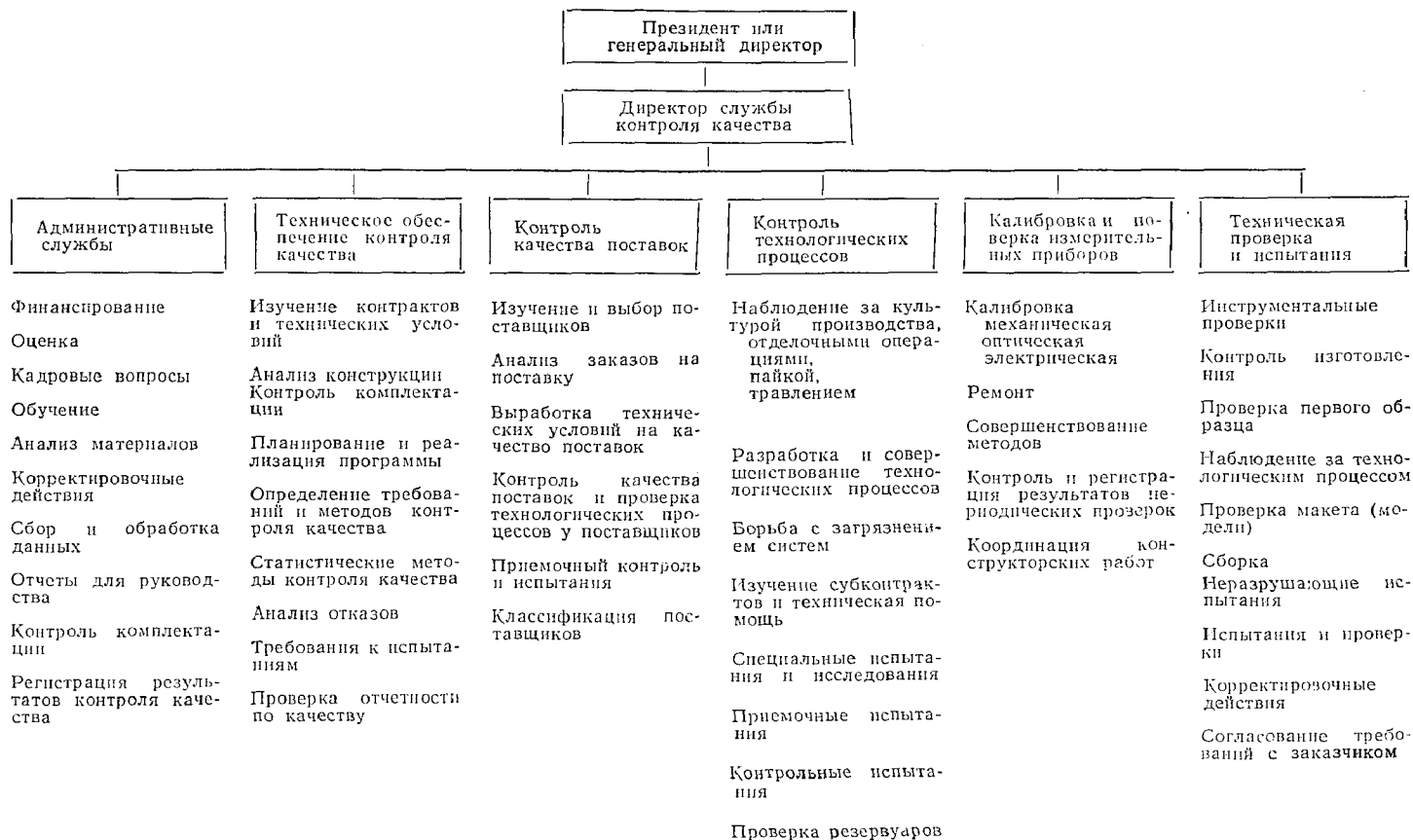
Обычно экономическая эффективность деятельности по обеспечению надежности и контролю качества будет более высокой, если ответственные сотрудники данной службы имеют право непосредственно обращаться к высшему руководству того же уровня, как и другие службы, например ведающие вопросами проектирования, поставки, производства и т. п.

Руководство должно тщательно изучать особенности выпускаемой продукции, в том числе оценивать трудности, возникающие при конструировании, сложность технологического процесса, технические характеристики продукции, обслуживаемость и финансовые вопросы. При производстве сложного промышленного оборудования, бытовых приборов и транспортных средств службы обеспечения надежности и контроля качества будут иметь различную организационную структуру, при этом на разных предприятиях одной и той же фирмы структура этих служб также будет различной.

Количество претензий и жалоб со стороны потребителя на нарушение гарантийных обязательств существенно уменьшается, если деятельность объединенной службы обеспечения надежности и контроля качества направлена на повышение экономической эффективности и имеет достаточно сил и полномочий для достижения требуемых результатов. Экономия за счет уменьшения внутриводского брака и переделок, а также более низких расходов на гарантийное обслуживание может составлять 2—5 и более процентов от общего объема сбыта. Эта экономия, а также более высокая деловая активность при доверии со стороны потребителей приносят огромную выгоду некоторым фирмам, например, выпускающим автомобили и бытовые приборы.

Фирма-изготовитель одного типа хорошо известных американских автомобилей считает, что экономически выгодно иметь более 800 специалистов по надежности и контролю качества. Одна западногерманская фирма, выпускающая дешевые малолитражные автомобили, выполняет еще более высокий объем работ по контролю качества. В каждом случае объем сбыта и размер прибыли при минимальном количестве претензий потребителей свидетельствуют об успешном сочетании производственной деятельности и контроля со стороны руководства.

6.7в. Типовая централизованная служба контроля качества. В централизованной службе контроля качества все взаимосвязанные функции выполняются под руководством одного начальника отдела, обычно докладывающего президенту фирмы или генеральному директору. На фиг. 6.7 изображена типовая организационная структура централизованной службы контроля качества и показа-



Ф и г. 6.7. Типичная структура службы контроля качества централизованного типа.

но распределение функциональных обязанностей. На фиг. 6.8 показаны отдельные элементы централизованной службы надежности и соответствующие функциональные обязанности.

Типовая служба контроля качества на крупных и мелких производственных предприятиях должна иметь персонал для выполнения широкого круга административных и технических задач и функций, например таких, как анализ конструкции с точки зрения надежности, контроль технологических процессов, выполнение в полном объеме программы плановых (и внеплановых) осмотров и проверок, необходимых для организации производства и поставок изделий, имеющих длительный срок бесперебойной работы. Централизованная организация обладает многими преимуществами, но ей присущи и некоторые недостатки.

6.7г. Преимущества централизованной организации. К числу преимуществ можно отнести большую универсальность, гибкость и экономичность благодаря использованию квалифицированного персонала для выполнения нескольких заданий, большее единообразие при проведении принятой технической политики и выполнении проверок, а также меньшая вероятность «изобретения велосипеда». В средних и мелких фирмах с централизованной администрацией по контролю качества некоторые функции по контролю качества могут выполнять один или несколько сотрудников, работающих под руководством главного инженера. Например, часто экономически выгодно и практически целесообразно:

1. Привлекать к работе по контролю качества инженеров, которые являются специалистами в области химии, металлургии, радиоэлектроники и т. п. и способны проводить анализ, консультации и принимать решения по широкому кругу вопросов, связанных с работой предприятия.

2. Обучать персонал, осуществляющий технологические проверки, выполнению разнообразных функций по контролю качества.

3. Поручать выверку стандартов специализированной лаборатории.

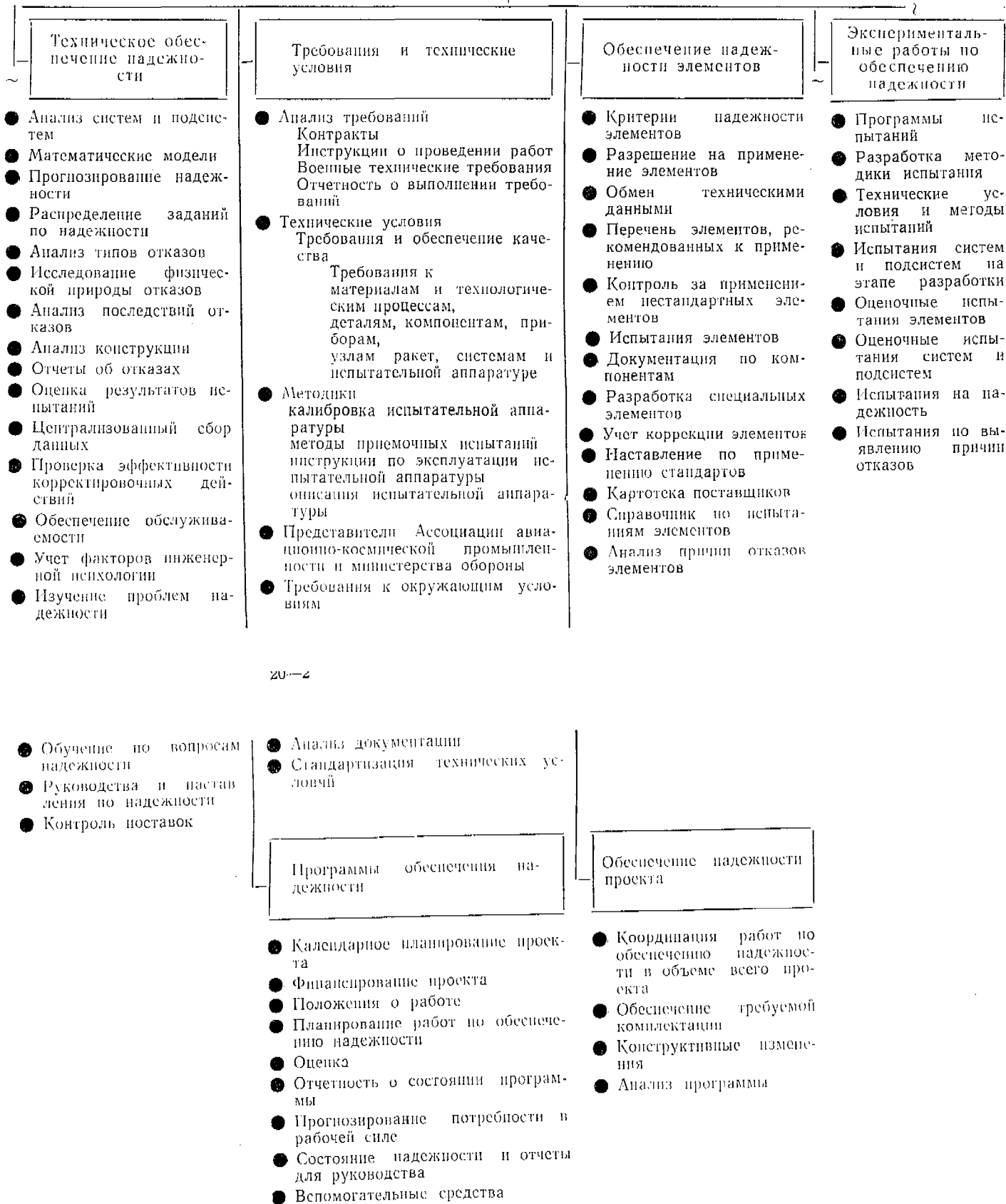
4. Привлекать к инспектированию поставщика высококвалифицированных специалистов из авторитетной фирмы, занимающих там высокое положение.

6.7д. Недостатки централизованной организации. Организация централизованного типа не свободна от некоторых недостатков. Очень важно учесть их с самого начала с тем, чтобы предусмотреть необходимые меры контроля, обеспечить экономию средств и привести в действие другие компенсирующие факторы. К типичным недостаткам относятся:

1. Тенденции к росту накладных расходов в связи с более высоким уровнем управленческих и конторских операций.

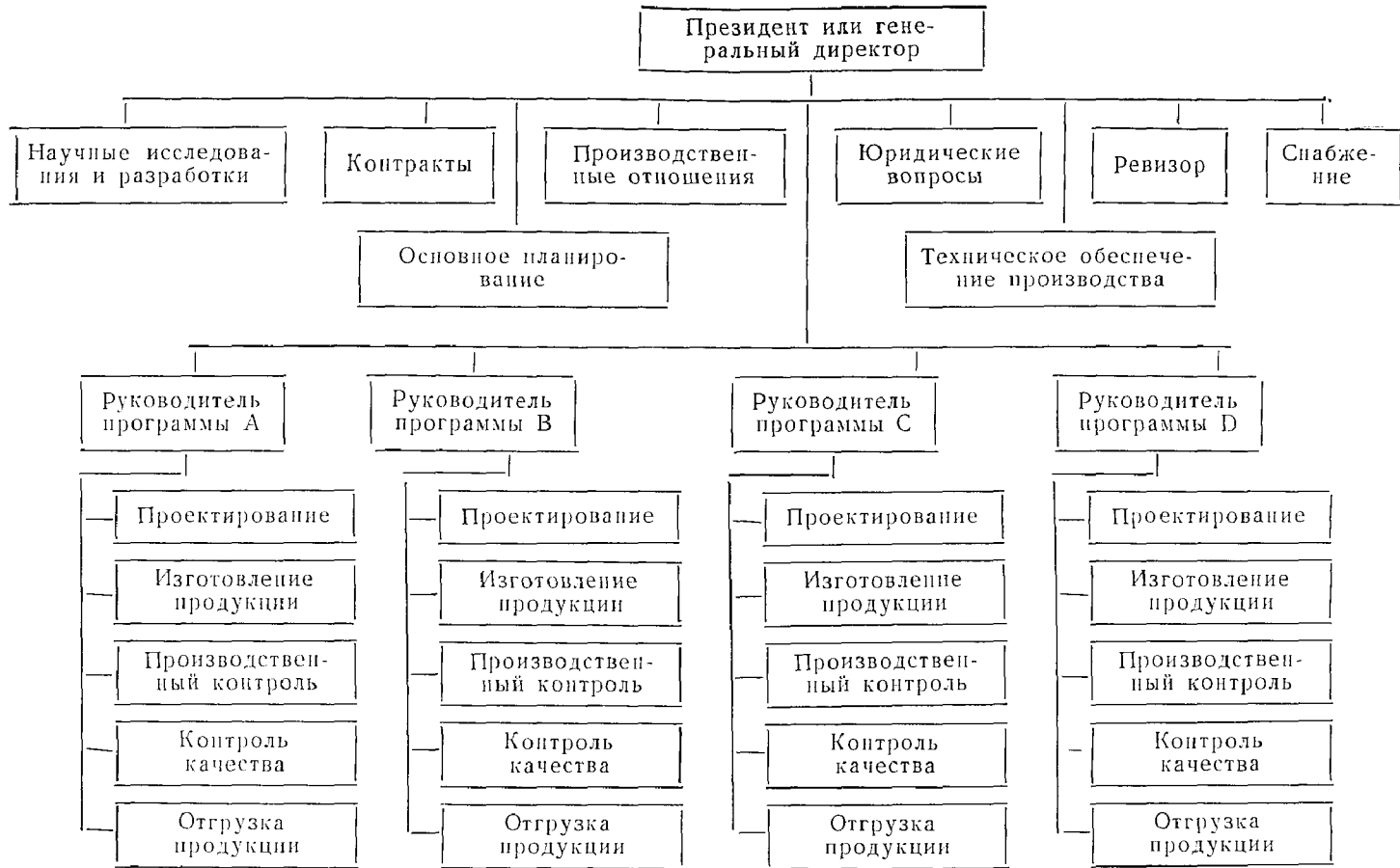
2. Более высокая инерция при разработке программы повышения экономической эффективности.

Надежность



20-2

Фиг. 6.8. Функциональные обязанности группы надежности.



Ф и г. 6.9. Структура децентрализованной службы контроля качества при одном или нескольких предприятиях.

3. Более слабая чувствительность к реакции потребителей вследствие «фильтрации» претензий.

6.7е. Организация работ по проектам. Заказчики изделий, имеющих важное значение, часто требуют от изготовителя использовать систему централизованного руководства проектом или программой. При такой системе меры по строгому планированию программы и контролю не выражены в явном виде. В области обеспечения надежности и контроля качества можно достигнуть ощутимых результатов при правильном соотношении между мероприятиями организационного и технического характера. Однако при этом необходимо проявлять большую осторожность, чтобы не допустить чрезмерных расходов и появления путаницы в связи с дублированием функций. На фиг. 6.9 представлена схема типичной организации, предусматривающей централизованный контроль проекта в сочетании с организацией децентрализованного контроля.

6.7ж. Опыт организации работы по проектам в фирме «Ханиуэлл» (г. Миннеаполис, шт. Миннесота). Опыт успешного применения организационной структуры, обеспечивающей эффективный контроль нескольких программ, освещен в руководящем материале фирмы «Ханиуэлл». Представитель этой фирмы О. Б. Джонсон¹ дал следующее описание этого материала, причин его разработки и учитываемых факторов.

Для успешного обеспечения конкурентоспособности и поддержания необходимого уровня прибылей недостаточно иметь квалифицированных инженеров и выпускать продукцию в большом количестве. Разработанный метод, используемый при принятии решений, представляет собой объективный способ решения различных проблем руководства. Функции, техническая политика и обязанности отделов вызывают необходимость создания организационной структуры, которая может наилучшим образом обеспечить решение задач в интересах потребителя и фирмы.

Руководство отдела, осуществляющего контроль за реализацией программы обеспечения качества в отделении фирмы, главным направлением деятельности которого является проведение научных исследований, разработка и выпуск разнообразной авиационной и космической аппаратуры и систем, нуждается в специальном планировании, применении новых методов и принципов. Руководство отдела должно поддерживать необходимый уровень удовлетворения запросов потребителя и оценивать характеристики изделия даже в том случае, если требуется, чтобы аппаратура и системы работали при ограничениях, обусловленных современным уровнем развития техники. В исключительных случаях разработка и изготовление могут вестись почти параллельно, так как изделия могут использоваться в пилотируемых и беспилотных космических летательных аппаратах. Вообще говоря, к каждому изделию или системе предъявляются индивидуальные требования в зависимости от требований, изложенных в документации заказчика или поставщика, участвующего в контракте.

В этих условиях требуется оперативное планирование организационных мероприятий, направленных на выполнение задач, стоящих перед разработчиком. При этом элементы планирования могут быть последовательно отражены в организационной структуре в виде логических этапных мероприятий. Принятый фирмой

¹ Специальный помощник руководителя службы обеспечения качества.

метод планирования позволяет ослабить напряжение, связанное с изменениями, обусловленными новыми контрактами и ужесточением требований. Для обоснования эффективности организации необходимо постоянно пересматривать структуру, следить за выполненном требованиях контракта и требований к квалификации персонала.

Описываемая организационная структура позволяет применить указанные принципы при решении вопросов обеспечения качества. Эта структура оказалась весьма эффективной при переходе фирмы «Ханиуэлл» от производства самолетов к выпуску авиационной и космической аппаратуры и систем. Эта организационная структура помогла справиться с повышенными требованиями по обеспечению длительной работы изделия в процессе указанного перехода и дала дополнительную возможность удовлетворить новым требованиям в будущих программах. В схеме руководства тщательно учитываются необходимость анализа будущих сделок, анализа конструкции усовершенствованных изделий, необходимость реализации соответствующих требований к испытаниям и применения технологических методов, разработанных фирмой.

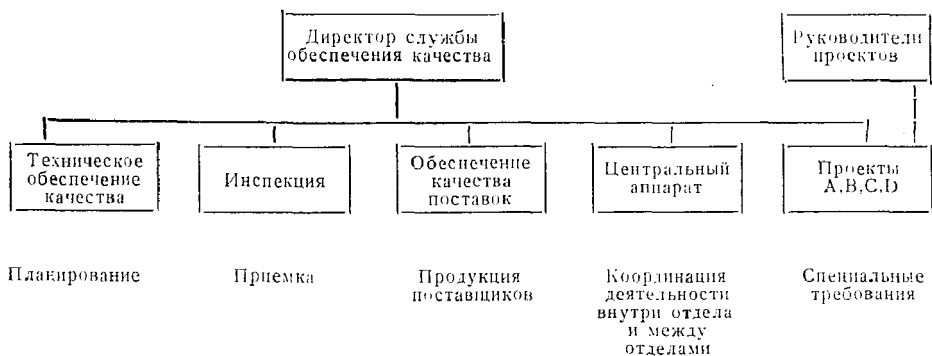
Первоначально было предложено несколько вариантов организационной структуры, удовлетворяющих гипотетическим программам. В одном предельном случае была рассмотрена полная децентрализация при работе над проектами. В соответствии с этим планом в каждом проекте предусматривается выполнение полного объема работ по обеспечению качества. В другом предельном случае была предложена единая служба контроля качества, объединяющая все проекты. Хотя каждый из предложенных подходов гарантировал качество продукции, сопоставление различных факторов и установление компромиссных соотношений между намеченными целями позволили определить соответствующую структуру, обладающую наибольшей гибкостью и способную обеспечить контроль разнообразных изделий и систем. Схема организационной структуры изображена на фиг. 6.10.

На схеме показаны основные функциональные обязанности, связанные с выполнением задач, стоящих перед отделом. Задачей группы технического обеспечения качества является планирование. Ей предоставлено право разрабатывать официальные планы по вопросам обеспечения качества, обязательные для отделов и цехов, занимающихся выпуском изделий. Группа технического контроля отвечает за приемку изделий и выполняет функции, подробно расписанные в плане обеспечения качества и инструкциях по проведению приемочного контроля. Группа обеспечения качества внешних поставок отвечает за приемку продукции от поставщиков и согласование требований с поставщиками. Центральный аппарат осуществляет координацию и обеспечивает связь внутри отделов и между отделами. Группы специальных проектов отвечают за выполнение требований по обеспечению качества отдельных проектов.

Схема, изображенная на фиг. 6.10, показывает, что руководители, несущие ответственность за качество отдельных проектов, работают под функциональным контролем директора по надежности и качеству, хотя они и подотчетны руководителям программ по вопросам удовлетворения требований проекта. Вследствие сложности выпускаемой продукции иногда к работе должны привлекаться отделы, не участвующие в разработке проектов. Проекты определяют требования и устанавливают окончательные полномочия и ответственность, подлежащие согласованию. Например, группа обеспечения качества поставок, выполняющая функции, возлагаемые на группу закупок и группу контроля качества, контролирует качество поставляемой продукции как при приемочном контроле, так и у поставщика. Группе обеспечения качества закупок заданы требования программы, которые и выполняются ею. Ответственность сохраняется за руководителем проекта при последующей передаче полномочий руководителю отдела контроля качества.

Центральный аппарат оказывает помощь всему отделу. Он анализирует различные требования для обеспечения единообразия применяемых методов и соответствия условиям контракта.

В результате изучения программ определяется необходимость в оперативном анализе перед принятием решений, так как взаимоотношения между группами по каждому контракту должны устанавливаться на этапе обсуждения предложений.



Ф и г. 6.10. Организационная структура службы контроля качества.

Каждая новая программа после ее утверждения передается на предприятия. Учитывается ряд факторов и применяется определенная методика подготовки к принятию решений. Наибольшее значение имеют следующие факторы:

Требования заказчика. Масштабы некоторых программ требуют образования непрерывной связи с поставщиками на всех уровнях. Одним из требований заказчика является создание специальной организационной структуры. Это не гарантирует проведения всей деятельности в рамках проекта, но ответственность за соответствие предъявленным требованиям устанавливается на основе проекта.

Специальные требования. Требования к изделию или системе и условия контракта часто являются настолько специфическими и различными по своему характеру, что существующие методы технических решений оказываются недостаточными.

Производственный график. Этот вопрос требует особого внимания. При сложном графике необходим соответствующий персонал для оценки приемлемости производственного процесса. В некоторых случаях персонал, осуществляющий приемку, должен иметь специальную подготовку.

Сложность изделий и квалификация персонала. Сложность изделия (технологические процессы, методы испытаний, производство) и различные уровни квалификации приводят к значительному отличию одного изделия от других аналогичных изделий.

Стоимость как функция времени. Соотношение между стоимостью программы и временем играет важную роль. Оно заставляет концентрировать усилия при выполнении программы.

Наличие рабочей силы. Требования программы относительно специализации рабочей силы вынуждают учитывать и этот фактор. Однако данному фактору не придается очень большого значения, так как он зависит от достижения других целей.

Для принятия решения строится матрица, в которой рассматриваются различные линии поведения и перечисленным факторам приписывается различный вес. Основная цель такого подхода заключается в том, чтобы проанализировать совокупность возможных действий и выразить принимаемое решение в математической форме.

Руководство использует данную матрицу для планирования и выполнения определенных действий. Полученная матрица является средством оперативного руководства и эффективного контроля работы отделов в соответствии с характером выпускаемой продукции и технической политикой фирмы.

Деятельность по обеспечению качества и надежности определяется и направляется документами заказчика по поставкам. Правильное руководство этой деятельностью означает создание такой системы контроля, при которой заказчик будет уверен в том, что все его требования удовлетворяются. Интерпретация

заказчиком правительственных технических условий по качеству и надежности конкретно сформулирована в условиях контракта. Методы, используемые для выполнения требований и оценки степени соответствия контракту, приобретают особо важное значение при плановом управлении этими программами.

Программы обеспечения качества и надежности в функциональном отношении настолько взаимосвязаны, что для достижения целей обеих программы крайне важно определить функциональные обязанности каждого отдела в области контроля. Все эти функции непосредственно связаны с контролем качества продукции. Изучение функций и обязанностей, как возлагаемых на отделы, так и выполняемых в рамках программы, является основой для определения областей, в которых перекрытие функций между отделами может привести к дублированию работы. Руководство планированием работы и ее выполнением предполагает применение методов, позволяющих исключить возможное несоответствие между требованиями к изделию и фактическими характеристиками. Определение ответственности и полномочий в рамках планов обеспечения качества и надежности является необходимым условием бесперебойного выполнения задач на всех уровнях.

Руководство программой обеспечения качества продукции (помимо планирования) должно установить объективные цели, служащие определенными вехами, и разработать методы проверки и оценки достигнутого прогресса. Важную роль играют мероприятия, направленные на предупреждение отклонений от поставленных целей и условий контракта. Соответствие продукции установленным требованиям может выражаться через степень удовлетворенности заказчика, характеристики изделия и его стоимость.

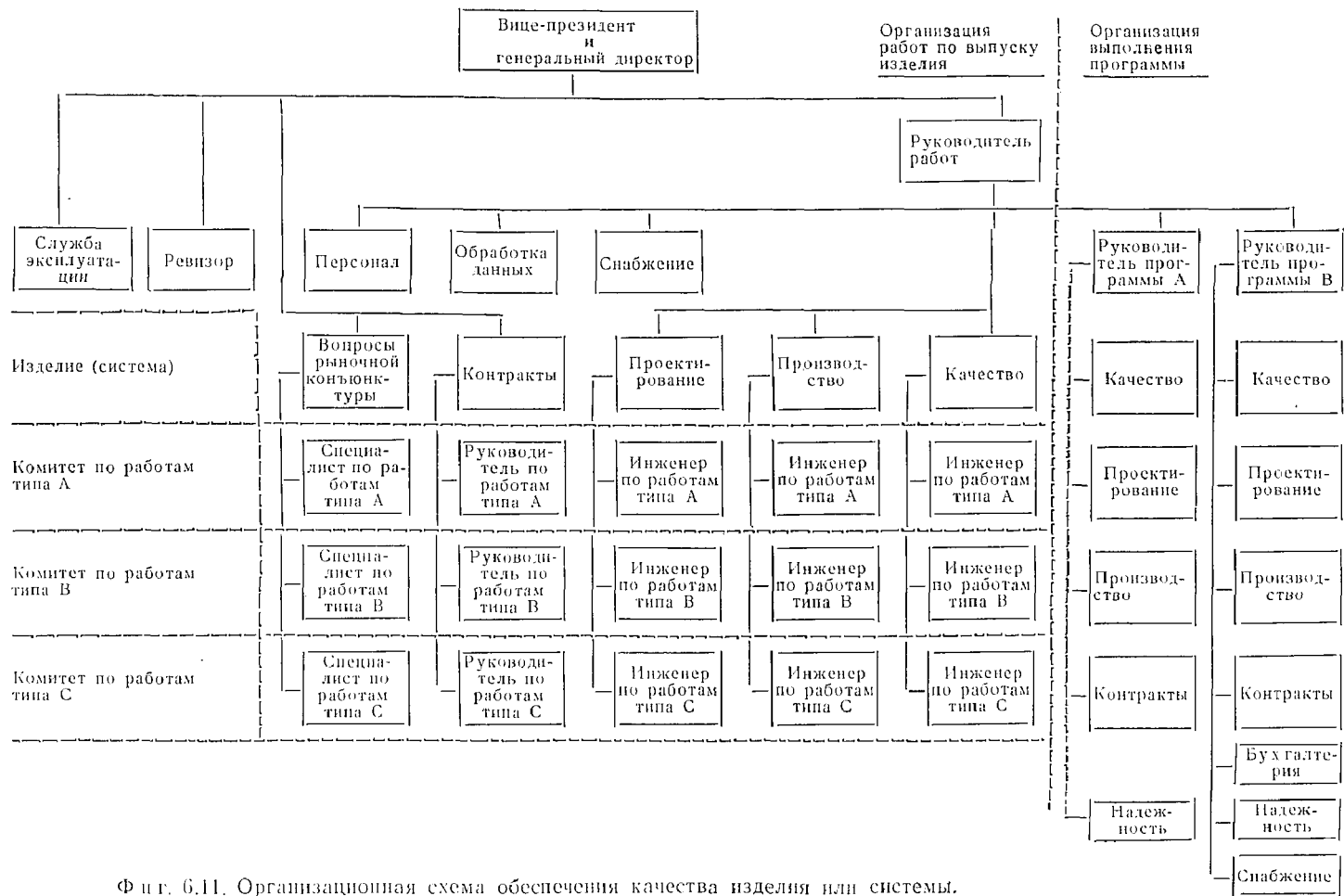
Место и роль службы обеспечения качества и надежности в общей организационной структуре следует рассматривать исходя из обеспечения оптимального качества изделия при минимальной общей стоимости программы.

Деятельность руководства по анализу и планированию при переходе к новым изделиям (или при переделке существующих изделий) должна основываться на информации и выводах, получаемых от производственных комиссий. В состав этих комиссий входят специалисты служб технического обеспечения, контроля качества, сбыта и производства (фиг. 6.11). Рекомендации, вырабатываемые комиссиями, носят технический характер, но они составляют основу для принятия руководством решений об использовании различных производственных возможностей, если техническая информация подтверждает, что организация может реально обеспечить выполнение технических условий и других требований. Матричный метод представляет собой один из этапов систематического процесса принятия решений, который регулируется непрерывной последовательностью контрольных мер руководства.

Эффективное использование матричного метода при подготовке решений является важным средством, позволяющим сосредоточить внимание на всех требованиях программы; лицо, принимающее решение, может эффективно установить компромиссные соотношения и уверенно оценить роль тех мероприятий, которые вносят наибольший вклад в общий успех программы. Данный метод приемлем на всех уровнях руководства и позволяет лицу, принимающему решение, документально проанализировать в свете полученной новой информации свое первоначальное решение с целью его переоценки.

6.7з. Децентрализованная организация с разделением функций.

В очень крупных фирмах разработка технической политики и вопросы планирования сохраняются в компетенции самого высокого руководства, а значительная часть руководящих функций передается лицам, отвечающим за выпуск небольшого числа видов продукции. Такой подход обеспечивает более широкие возможности высшему руководству в деле выработки технической политики, но его успех зависит от правильного выбора руководителей на опера-



Фиг. 6.11. Организационная схема обеспечения качества изделия или системы.



Фиг. 6.12. Типичная структура децентрализованной службы обеспечения надежности и контроля качества (при наличии одного предприятия).

тивном уровне. Степень децентрализации, которой можно достигнуть на практике при бесперебойном обеспечении оперативности в работе, зависит от того, насколько высший руководитель считает целесообразным передать руководителям подразделений выполнение многих руководящих функций, особенно тех, которые связаны с выполнением крупных программ (фиг. 6.12).

Критерием успешной работы децентрализованной организации является сохранение планируемого уровня прибылей по мере передачи отдельным подразделениям все большего объема функций руководства. Преимуществом децентрализации является то, что здесь в меньшей мере требуется вмешательство высшего руководства в технические функции специализированных подразделений и тем самым обеспечивается выпуск разнообразных изделий. Недостатком такой организации является то, что для нее характерна большая задержка от момента принятия неправильного решения до обнаружения его последствий при работе над проектом. Вследствие этого могут возникнуть значительные потери продукции или нарушения гарантийных обязательств, прежде чем в результате проверки или реакции заказчика не станет очевидной необходимость проведения корректировочных действий.

6.8. АНАЛИЗ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТИПА

Необходимо четко формулировать конкретные требования к различным вариантам распределения обязанностей по обеспечению надежности и контролю качества между отделами, ведающими техническим проектированием, закупками, планированием производства, вопросами надежности и контроля качества.

Отдел контроля качества должен быть организован таким образом, чтобы можно было максимально использовать способности и опыт персонала для достижения целей по обеспечению надежности и качества. Эти цели заключаются в том, чтобы конкурентоспособные по стоимости изделия и услуги соответствовали условиям контракта или превосходили их.

Цели в отношении обеспечения качества могут быть достигнуты прежде всего путем установления структуры, при которой организация будет способна сформулировать и осуществить соответствующие принципы, методы и действия. В различных фирмах эти принципы могут несколько отличаться друг от друга формулировкой, но в основном они, по-видимому, почти одинаковы для всей промышленности.

6.8а. Директор службы контроля качества. Директор службы контроля качества, докладывающий президенту или генеральному директору (фиг. 6.7), отвечает за разработку и осуществление эффективной спланированной по срокам и этапам программы обеспе-

чения качества, которая планируется, разрабатывается и осуществляется согласованно с решением других задач программы. Служба контроля качества должна обеспечить выполнение условий контракта по вопросам качества, используя для этой цели проведение систематических проверок.

6.8б. Обязанности, связанные с контролем технологических процессов. Установленные функциональные обязанности по контролю технологических процессов показаны на фиг. 6.7. Организация контроля технологических процессов имеет целью поддерживать наблюдение за процессами и материалами, непосредственно связанными с производством, ремонтом и совершенствованием отдельных узлов и блоков.

Деятельность по контролю технологических процессов должна предусматривать составление технических условий на поставляемые материалы в рамках общих технических условий, когда появляется необходимость в дальнейшем совершенствовании продукции с целью получения экономии и поддержания требуемого качества. Отдел контроля технологических процессов должен оказывать помощь отделу общих поставок или отделу материалов в оценке перспективных возможностей поставщиков металлов, химических, связующих или пластических материалов. Необходимо также проверять на соответствие требованиям производственное и вспомогательное оборудование поставщика, используемые им методы и средства контроля.

В случае необходимости или по просьбе соответствующих служб необходимо проводить выборочные испытания поставляемых образцов с целью определения удовлетворительности поставляемых материалов. Следует также проводить в случае необходимости анализ химических, металлических, связующих и пластических материалов, используемых при выполнении производственных операций.

Может оказаться необходимым усилить наблюдение за стандартами технологических процессов, отраженными в производственных инструкциях, остановив в случае необходимости тот или иной технологический процесс с целью обеспечения качества. Проведение аттестационных испытаний для оценки качества производственного оборудования и квалификации персонала также возлагается на службу контроля технологических процессов.

6.8в. Контроль качества поставок. Контроль качества поставок должен начинаться до того, как станет очевидным невыполнение того или иного требования к компонентам или подсистемам, поставляемым внешним поставщиком. Организация контроля качества поставок должна предусматривать планирование технических проверок всех видов поставляемой продукции. Сюда относится заблаговременная подготовка требований к качеству закупок с целью информации поставщика о необходимости соответствующих мер.

Необходимо проводить обследование поставщика, позволяющее убедиться в возможности обеспечения им качества поставляемой продукции. Контроль качества поставок должен обеспечить также ведение списка рекомендуемых и нежелательных поставщиков, а также проверку заказов на поставки. Необходимо проверять технологические процессы, применяемые поставщиком, и обеспечить контроль всех источников материалов, получаемых поставщиком.

Разработка и осуществление плановой системы согласованных мероприятий, направленных на исследование и предотвращение причин несоответствия качества поставок и проведение корректировочных действий на предприятии поставщика, также входит в компетенцию отделов, ответственных за связь с поставщиком.

6.8г. Калибровка и поверка измерительных приборов. Основной функциональной обязанностью службы контроля качества в области калибровки и поверки измерительных приборов является техническое обслуживание всей серийной и специальной аппаратуры, используемой фирмой, и освидетельствование и калибровка эталонов и рабочих стандартов. Необходимо предусматривать меры по своевременной передаче и техническому обслуживанию измерительных стандартов, подлежащих поверке в Национальном бюро стандартов.

Служба контроля качества должна оказывать помощь инженерному и руководящему составу в том, чтобы для проведения необходимых испытаний использовалась наиболее эффективная аппаратура, соответствующая намеченным затратам. Должна оказываться также помощь в применении прецизионной измерительной аппаратуры. Необходимо следить за соответствием используемых приборов первичным стандартам известных мер и периодически проводить повторную калибровку.

6.8д. Технический контроль и испытания. Функциональные обязанности по проведению технического контроля и испытаний связаны с физической и функциональной проверкой на качество и соответствие техническим условиям поставляемой продукции, материалов и деталей, а также деталей и узлов, изготовленных на самом предприятии. При необходимости должны осуществляться технический контроль и выборочная проверка закупленной или изготовленной на предприятии продукции, приборов и инструментов.

Должен соблюдаться порядок приемки и отбраковки осмотренных деталей и узлов на основе соответствия или несоответствия предъявленным требованиям. Эта работа должна быть скоординирована с другими отделами для своевременного обследования материалов, из которых были изготовлены забракованные детали, исследования возникающих проблем и проведения соответствующих корректировочных действий.

6.8е. Техническое обеспечение контроля качества. Техническое обеспечение играет важную роль в осуществлении экономической

программы обеспечения качества. Служба технического обеспечения качества должна изучать различные проекты контроля качества. Она должна быть готова к разработке, планированию и внедрению новых систем или приспособлению существующих систем для контроля и обеспечения качества продукции. Необходимо проводить анализ проблем, связанных с контролем качества, и совершенствовать системы контроля.

Служба технического обеспечения качества по указанию руководства должна проводить статистический анализ для подразделений, занимающихся контролем качества, и других отделов. Этот анализ включает составление статистических выборочных планов, а также планирование статистических экспериментов для определения оптимальных условий решения той или иной проблемы, оценки характеристик качества, улучшения технологических процессов и стандартов качества, повышения надежности аппаратуры и уменьшения объема испытаний с целью снижения стоимости.

Служба технического обеспечения качества должна систематически проверять эффективность систем контроля качества. При проверках документально фиксируются замеченные недостатки и в случае необходимости составляются заявки на проведение корректировочных и профилактических мероприятий и доводочных работ, чтобы гарантировать своевременное проведение их.

6.8ж. Административная деятельность. Административная деятельность в области контроля качества охватывает разработку, оценку и согласование требований по вопросам финансирования, а также планирование прямых и косвенных трудозатрат и расходов на материалы. В сферу этой деятельности входит оценка потребности в производственных площадях и оборудовании, а также контроль и отчетность по расходам, представление руководству фирмы данных о состоянии дел и общем финансовом положении.

Административная служба должна также давать рекомендации и оказывать помощь руководителям производственных участков по вопросам найма и использования рабочей силы, подготовки и обработки документов, связанных с наймом, аттестацией и использованием рабочей силы, разъяснением правил ведения секретных документов.

Для обработки результатов контроля качества и данных по качеству продукции, собранных как внутри, так и вне предприятия, необходимо создание центра сбора и обработки данных. Эти данные могут быть использованы при подготовке для руководства отчетов и графических материалов, показывающих состояние вопроса, и при контроле за правильностью комплектации изделий.

6.8з. Обеспечение надежности. Первым этапом любой программы обеспечения надежности является разработка плана, где кратко излагаются задачи, которые необходимо выполнить для удовлетворения требований заказчика. Необходимо определить организа-

ционную структуру с указанием конкретных функций или обязанностей.

Ниже описываются функциональные обязанности, связанные с техническим обеспечением надежности, требованиями и техническими условиями, составлением программ обеспечения надежности, разработкой компонентов, обеспечением надежности конкретных проектов и обобщением результатов испытаний на надежность (фиг. 6.8).

6.8и. Техническое обеспечение надежности. Служба технического обеспечения надежности должна проводить *исследование систем и подсистем* для определения функциональных взаимосвязей компонентов и узлов. Необходимо анализировать и определять слабые места, ограничивающие надежность изделия, и возможные проблемы.

На основе анализа систем и подсистем необходимо разработать математические модели надежности, определяющие соотношения между надежностью компонентов и узлов. Эти модели должны описывать, каким образом, комбинируя компоненты с невысокой надежностью, можно обеспечить повышенную надежность подсистем и систем. Модель должна также предусматривать частичное и полное резервирование и учитывать режим работы.

Необходимо сформулировать цели работ по обеспечению надежности на основе конкретных требований контрактов и результатов исследований по программе обеспечения надежности. Установленные цели распределяются по основным подсистемам в соответствии со сложностью и прогнозируемой интенсивностью отказов.

Следует проводить анализ типов отказов критических элементов и узлов. Этот анализ имеет целью определить тип и физическую природу отказов компонентов и узлов и относительную частоту их появления. Результаты испытаний на надежность исследуются для определения типов первичных отказов, происходящих при воздействии окружающей среды.

Необходимо показать физическую картину отказов или определить критерии отказов компонентов с учетом функциональных и физических параметров. Нужно определить химический и физический механизмы отказов, а также оценить нагрузки, вызывающие отказ, и интенсивность отказов.

Необходимо анализировать и оценивать влияние различных предельных допусков и типов отказов на работу системы и ее надежность. Следует также рассмотреть взаимодействие компонентов и узлов до сборки системы.

Для технического обеспечения надежности должна создаваться группа анализа конструкций, в обязанности которой входит периодическая оценка критических конструкций для обеспечения более полной гарантии того, что аппаратура отвечает требованиям к надежности и имеет заданные рабочие характеристики. При анализе

конструкции с точки зрения надежности следует использовать данные по анализу схем, компоновке, типам отказов, номенклатуре применяемых деталей, по затратам, прогнозам, имеющимся результатам испытаний и техническим условиям. Целесообразно вести контрольный лист анализа конструкций, который должен использоваться проектировщиками и группой анализа конструкций при оценке и совершенствовании конструкций.

Необходимо осуществлять наблюдение за составлением отчетов об отказах, в которых должна содержаться информация, достаточная для получения правильной оценки действительных причин отказов и облегчения проверки эффективности вносимых изменений.

Следует проводить статистическую оценку результатов испытаний на надежность. Сюда относится также проведение статистического анализа данных по просьбе группы технического обеспечения и группы испытаний. Если заявка на проведение анализа данных поступает до испытаний, то необходимо оказать дополнительную помощь в планировании испытаний с целью получения данных необходимого характера и в требуемом объеме. Эта деятельность должна обеспечить сбор, обработку и анализ данных об отказах. Эту работу можно выполнить с помощью вычислительных машин, предназначенных для автоматизированной обработки больших массивов данных. Для руководства должны подготавливаться периодические отчеты, отражающие тенденции в возникновении серьезных отказов.

Должна проводиться также проверка правильности и своевременности мероприятий, направленных на повышение надежности. Эта деятельность обеспечивает проверку и отчетность по важным текущим проблемам, а также по мероприятиям, связанным с решением проблемных вопросов.

Для определения схемы распределения запасных частей и прогнозирования среднего времени работы до ремонта или замены компонентов необходимо осуществлять мероприятия, связанные с исследованием обслуживаемости. В результате этих исследований необходимо получить численные показатели, характеризующие готовность системы.

Важно разработать методы исследования психофизиологических факторов и их влияния на такие параметры системы, как точность, готовность, устойчивость к резким колебаниям окружающих условий, общая эффективность системы оружия. При этом особое внимание должно уделяться роли человека как элемента системы.

Группа технического обеспечения надежности проводит специальные исследования, направленные на разработку и совершенствование методов обеспечения и анализа надежности. Следует проводить исследование надежности продукции на основе результатов оценки и испытаний. Должны быть подготовлены официальные до-

кументы, руководства и справочники на основе общих принципов и методов обеспечения надежности. Эти принципы должны получить широкое распространение с целью воспитания у конструкторского и производственного персонала грамотного подхода к вопросам обеспечения надежности. Важно подготовить руководства и справочники по надежности, определяющие основные принципы и правила обеспечения надежности.

Необходимо оценить программы обеспечения надежности, используемые поставщиками, и методы демонстрации надежности поставляемой продукции в отношении их полноты и соответствия требованиям к надежности системы. Важно также подготовить руководства и справочники для использования поставщиками при разработке и осуществлении программ и применении методов обеспечения надежности.

6.8к. Группа разработки требований и технических условий. Необходимо изучать и анализировать документы по контрактам и технические условия, в которых сформулированы требования к техническим характеристикам и надежности изделий. Рекомендуемые изменения с целью устранения противоречий в технических условиях и требованиях должны докладываться руководству.

Необходимо разрабатывать технические условия, дающие ясное и точное описание технических требований и мер по обеспечению качества материалов и технологических процессов, деталей, компонентов и инструментов, узлов, систем и контрольно-испытательной аппаратуры. Если требуется квалификационная оценка, то технические условия должны содержать требования к соответствующим квалификационным испытаниям и заданным методам контроля.

Группа разрабатывает методы и инструкции для проведения приемочного контроля и испытаний систем, узлов и компонентов, проверяя выполнение требований к обеспечению качества и соответствие технических характеристик используемого поверочного оборудования этим требованиям. Многие крупные фирмы считают целесообразным иметь своих представителей в таких комитетах, как комитет по выработке технических условий на электронную аппаратуру Ассоциации авиационно-космической промышленности или группа по унификации технических условий министерства обороны. Это позволяет им участвовать в работах по стандартизации технических условий и требований контрактов и знакомиться с общим положением в стране по этому вопросу. Группа должна готовить отчеты о состоянии работ по тому или иному проекту и представлять их комитету или группе министерства обороны по унификации технических условий.

Группа осуществляет анализ требований контракта и требований к окружающим условиям, при которых обеспечивается устойчивая работа системы, и подготавливает графические материалы и

документы, отражающие требования к устойчивости узлов и компонентов к воздействию окружающих условий. Изучаются и одобряются промежуточные документы по поставкам и приемке, подготовленные другими группами на этапах разработки различных программ. Группа анализирует также проектную документацию с точки зрения обеспечения надежности и заданных характеристик конструкции, проводит общую стандартизацию и упрощение технических условий и различных форм документации.

6.8л. Разработка программ обеспечения надежности. Разработка программ обеспечения надежности заключается в составлении основного календарного плана обеспечения надежности, охватывающего как проект, так и вспомогательные задания и отражающего основные этапы и достигнутые успехи. Новые работы должны оцениваться с точки зрения требований плана и влияния на общие мероприятия по обеспечению надежности.

Операции по финансированию проекта включают ведение отчетной документации по ассигнованиям и расходам. Необходимо также обеспечивать правильное распределение средств для намеченных проектов, планировать исполнение бюджета по окончании проекта и выпускать периодические отчеты о финансовой деятельности.

Необходимо проверять документацию на рабочие задания, чтобы убедиться в том, что каждый пункт общих требований к надежности достаточно детализирован. Изменения в рабочих заданиях должны оцениваться с точки зрения их влияния на принятые программы обеспечения надежности, календарные планы, ассигнования, персонал и производственное оборудование. Важно своевременно составлять заявки на внесение необходимых изменений в календарные планы и ассигнования для проведения работ по обеспечению надежности.

Необходимо иметь развернутый план общих работ по основной программе обеспечения надежности, отражающий последние достижения в области надежности, а также планы по программам обеспечения надежности конкретных проектов, учитывающие требования к надежности, характерные для данного проекта. Должны готовиться периодические отчеты о состоянии дел, оценивающие успехи в области обеспечения надежности на основе результатов выполнения плана реализации конкретной программы.

Важно предвидеть потребности в персонале как в плане выполняемых функций, так и в отношении специализации, используя для этого известные и предполагаемые данные о загрузке персонала и перспективах работы фирмы. Необходимо подготавливать и выпускать периодические отчеты о состоянии работ и административные отчеты, в которых давалась бы оценка общей деятельности по надежности. Должна быть разработана система публикации технических условий и методов. Требования к надежности, согласо-

ванные с требованиями к производственным площадям и оборудованию, должны разрабатываться в сотрудничестве с соответствующими организациями.

6.8м. Обеспечение надежности элементов. Необходимо разработать методы, позволяющие проверять надежность элементов путем оценки и проведения испытаний. Эти методы должны найти отражение в технических условиях на поставки комплектующих элементов.

С целью обеспечения правильного применения элементов для конструкторов, занимающихся анализом схем и конструкций, должны быть организованы технические консультации. Необходимо обеспечить получение информации по программе обмена данными по управляемым ракетами (GMDEP), межведомственной программе по обмену данными (IDEP) и от центра по исследованию надежности электронных элементов института им. Беттела и установить порядок распределения этой информации. Необходимо подготовить и систематически вести квалификационный перечень элементов, в котором указываются тип элемента, номинальные значения его параметров, рабочие характеристики и технические условия на поставку и рекомендуемые поставщики.

Важно предусмотреть контроль за применением элементов с целью сокращения до минимума необоснованного использования нестандартных деталей. Нужно оценить конструкцию и в случае необходимости рекомендовать для применения соответствующую стандартную деталь. Инженеры-конструкторы должны иметь справочник по применению элементов. Наличие конкретных обширных данных по применению элементов облегчит процесс проектирования и поможет конструктору правильно применять те или иные элементы.

Следует проводить диагностический анализ с целью определения типов отказов компонентов, а также выявления слабых мест, снижающих надежность компонентов. В некоторых случаях при проведении анализа удастся обнаружить факты неправильного применения элементов или недостатки конструкции.

Большое значение имеет непрерывная оценка потребностей конструкторов в специальных элементах и помощь в получении этих элементов. Необходимо поддерживать связь с поставщиками для разработки специальных элементов.

Ведение картотеки поставщиков позволяет определить элементы, предлагаемые каждым поставщиком, номинальные значения их параметров и данные по их применению. Ведение журнала стандартных деталей позволяет определить стандартизованные детали. Журнал должен давать и другую информацию, например о физических размерах, номинальных значениях параметров и применении элементов.

Необходимо разработать квалификационные требования к элементам для включения их в технические условия на поставляемую продукцию. При отсутствии достаточных квалификационных данных следует проводить квалификационные испытания и представлять отчеты по результатам этих испытаний. Должна вестись документация, отражающая технические требования к компонентам и меры по обеспечению их качества. Необходимо обеспечить документальное оформление технических условий и чертежей для всех поставляемых компонентов.

6.8н. Испытания на надежность. Большое значение имеет разработка программ испытаний на надежность, соответствующих требованиям к надежности системы и методам демонстрации надежности, оговоренным в контракте. Планы испытаний, порядок их проведения и методы анализа результатов должны соответствовать общему плану программы обеспечения надежности.

При подготовке планов испытаний следует использовать такие статистические методы, как последовательный анализ, испытания на долговечность, регрессионный анализ и испытания до отказа аппаратуры. Необходимо разработать технические условия и методы испытаний для того, чтобы испытания изделий проходили в соответствии с требованиями к надежности и характеристикам системы.

Испытания систем и узлов на надежность, проводимые в процессе разработки, позволяют определить существующие и возможные слабые места в обеспечении надежности и проблемы. Проведение сравнительных испытаний помогает конструкторам правильно выбрать требуемые узлы.

6.9. АДМИНИСТРАТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА

Объем и содержание работы многих служб обеспечения надежности и контроля качества таковы, что руководство фирмы вынуждено возложить основную ответственность за выполнение некоторых административных функций на небольшую группу специалистов, что позволяет сосредоточить ответственность за ряд функций, оказывающих большое влияние на эффективность и стоимость всех работ по обеспечению надежности и контролю качества, на небольшую группу людей. Эта группа должна согласовывать свою деятельность с руководством фирмы, непосредственными руководителями службы контроля качества и ведущими работниками других служб основной организации. В обязанности специалистов этой группы входит разработка краткосрочных и долгосрочных планов, включая определение потребности в производственном оборудовании и персонале, составление директивных документов, отражаю-

щих техническую политику фирмы, разработку методов и стандартов. Ниже эти вопросы рассматриваются более подробно.

6.9а. Директивные документы и методы. Весьма важно, чтобы директивные документы по вопросам контроля качества и обеспечения надежности были четкими, краткими и отвечали современным требованиям. Далее, необходимо, чтобы эти директивы находились в соответствии с другими директивными документами и документами, отражающими техническую политику фирмы или основной организации, и с требованиями контрактов. Часто целесообразно составлять внутренние инструкции и методики, дающие упрощенное изложение важных директивных документов и требований контрактов. Эти детальные инструкции также должны быть согласованы с другими директивными документами. Важно, чтобы составители методик периодически проверяли их применение с целью убедиться в том, что они соответствуют современным требованиям и позволяют обеспечить оптимальную экономическую эффективность.

6.9б. Планирование сроков и этапов работы. Исключительно важную роль играет планирование сроков и этапов работ по обеспечению надежности и контролю качества. Планирование должно охватывать как краткосрочное, так и долгосрочное проектирование и изготовление изделий; эти планы должны периодически пересматриваться и уточняться. Необходимо тщательно рассмотреть следующие основные факторы:

А. Структура основной организации. Иногда может оказаться необходимой некоторая перестройка организационной структуры с целью повышения эффективности управления и контроля при изменении характера продукции или услуг и обеспечения максимальной экономии. Изменения наиболее возможны в тех случаях, когда происходит значительное расширение или сокращение производственной деятельности. Своевременная перестройка организации часто является необходимым условием успешного и экономичного выполнения работ по контролю качества.

Б. Организация работ над проектом. Ряд правительственных организаций, ведающих поставками, требует, чтобы выполнение контрактов на крупные поставки проходило под непосредственным контролем руководства проектом или программой. Это требование имеет целью привлечь к таким контрактам внимание высокого руководства.

Желательно, чтобы при этом деятельность отдела контроля качества проходила параллельно с другими службами. Однако нужно проявлять большую осторожность, чтобы не появлялось большое число инстанций и не дублировалось выполнение функций, что приводит к повышению затрат. В связи с этим административный персонал службы контроля качества следит за максимальным совме-

щением обязанностей и функций, а также за обеспечением четкой связи и минимальных расходов.

В. Проверочное оборудование. Важной обязанностью администрации является заблаговременное составление планов приобретения (или изъятия) аппаратуры и оборудования, используемых для контроля качества. Этому вопросу следует уделять особое внимание, поскольку затраты на контрольно-испытательную аппаратуру и оборудование могут неблагоприятно сказаться на конкурентоспособности организации. Участие руководства в планировании потребностей и приобретения оборудования может обеспечить значительную экономию в течение длительного периода, например, благодаря применению совершенной аппаратуры для испытаний без разрушения образцов и автоматической проверочной аппаратуры. При определенных условиях квалифицированные специалисты в области контроля качества путем изменения конструкции изделия или применения каких-либо других методов обеспечения качества могут добиться такого положения, что отпадет необходимость в закупках контрольно-измерительной аппаратуры.

6.9в. Планирование потребностей в персонале для службы контроля качества. Важной административной функцией является планирование потребностей в персонале для службы контроля качества. Задача состоит в том, чтобы в нужное время иметь требуемое количество достаточно подготовленного персонала. Для получения эффективных результатов здесь также требуется выполнение большого объема работ по планированию и детальному согласованию. Далее рассматривается ряд важных факторов, которые необходимо учитывать в процессе этой деятельности.

А. Прогнозирование. Прогнозирование потребностей в персонале требует от администрации службы контроля качества тщательной заблаговременной координации всей деятельности с руководителями конструкторских и производственных работ. Это диктуется необходимостью изучения требований новых проектов в отношении методов контроля, технических особенностей и требуемого уровня квалификации, а также определения того, на каком этапе производства и в какое время потребуется персонал с новыми специальностями.

Б. Положения о служебных функциях. Введение положений о служебных функциях для всех видов работ по контролю качества может оказать большую помощь в правильном подборе персонала. Кроме того, введение положений о служебных функциях позволяет избежать дублирования функций и обеспечить выполнение работ по контролю качества в полном объеме, даже если ранее соответствующие функции не были описаны достаточно полно. Положения о служебных функциях должны быть составлены и конкретизированы с учетом типа организации, вида выпускаемой продукции и характера производственных процессов.

В. Обучение. Еще одним важным элементом административной деятельности в области контроля качества является составление программ обучения. На многих предприятиях организация обучения возлагается на отдел по связи с производством. Однако это обстоятельство не освобождает директора службы контроля качества от обязанности следить за тем, чтобы все время использовался соответствующим образом подготовленный персонал. Поэтому необходимо периодически проверять наличие у персонала знаний, необходимых для осуществления контроля качества выпускаемой и намечаемой к выпуску продукции.

Часто административный персонал службы контроля качества должен возглавлять работу по разработке программы подготовки и аттестации работников производства, а также персонала службы контроля качества. Однако это не означает, что подготовка также должна осуществляться работниками службы контроля качества (если только служба не располагает квалифицированными инструкторами, отвечающими требованиям программы подготовки отдела по связи с производством). Важно еще раз подчеркнуть, что контроль качества может осуществляться наиболее эффективно и экономично лишь очень хорошо подготовленным и убежденным в важности своей работы персоналом. Часто административная служба должна разрабатывать и проводить необходимые мероприятия для своевременной проверки знаний и организации обучения.

6.9г. Связь и координация. Исключительно важное значение для своевременного проведения службой контроля качества профилактических и корректировочных мероприятий имеет применение эффективных методов связи и координации. Частично эта связь осуществляется путем распространения документов, отражающих основную техническую политику, а также описывающих методы и стандарты. Важно также наладить четкую связь и координацию внутри организации, с поставщиками сырья, заказчиками и потребителями готовой продукции. Одной из административных функций является обеспечение своевременного и эффективного прохождения как внутреннего, так и внешнего потока информации при надлежащей обратной связи для принятия необходимых корректировочных мер.

Административный персонал должен обеспечить достоверность отчетов по вопросам обеспечения надежности и контроля качества и эффективность корректировочных мероприятий, проводимых на основе этих отчетов. Это не означает, что администрация должна составлять эти отчеты, но она должна хотя бы проверять их достоверность, эффективность и своевременность представления.

В некоторых организациях наблюдение за обеспечением качества возлагается на руководителей службы контроля качества. Преимущество такого подхода состоит в том, что обычно эти лица бу-

дучи инженерами или техниками, имеют высокую квалификацию в вопросах контроля качества и разнообразную специализацию. Очень часто эти специалисты в состоянии выполнять проверки, позволяющие убедиться в том, что направление работы, применяемые методы и т. п., с которыми они хорошо знакомы, выбраны правильно (или в том, что в случае необходимости они пересматриваются для обеспечения большей эффективности). Каждый раз по результатам проверок необходимо представлять рекомендации директору службы по обеспечению качества и надежности. Последний обобщает результаты проверок для доклада более высокому руководству, которому должно быть известно обо всех важных изменениях.

6.9д. Программы стимулирования надежности и качества продукции. Программы стимулирования, направленные на ускоренную разработку высоконадежной дешевой продукции, составляют важную часть хорошо продуманной программы контроля качества и обеспечения надежности. Такие программы стимулирования должны затрагивать широкий круг вопросов, охватывая все стороны деятельности поставщиков, подрядчиков и заказчиков. Для обеспечения эффективности и своевременности выполнения этих программ необходима большая изобретательность.

Инженер по контролю качества, ответственный за эту деятельность, должен обладать необычной находчивостью и тесно сотрудничать с персоналом отдела по связи с производством, отделом по связи с общественными организациями, а также с представителями высшего руководства. Тщательно спланированные программы должны быть согласованы с планами предприятия и представляться на утверждение высшему руководству с тем, чтобы высшее руководство могло осуществлять эти программы с минимальными усилиями и при полной поддержке и активности всего персонала.

В плане программы стимулирования руководители службы контроля качества должны обеспечить широкую гласность достигнутых результатов. Должны приниматься все меры для освещения в газетах фирмы и городских газетах, профессиональных журналах и т. п. значительных успехов производственного и другого персонала. Очень полезными являются плакаты по качеству, и весьма важно периодически поощрять за отличное качество работы отдельных лиц и целые коллективы.

Успешная деятельность административного персонала службы контроля качества по стимулированию может повысить эффективность программы контроля качества. Во всех этих мероприятиях важно проводить непрерывное сравнение производственных затрат и достигнутой экономии, чтобы обеспечить получение соответствующей компенсации в виде экономии средств, оправдывающей затраты на эту программу.

6.10. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Для руководства программами обеспечения надежности и контроля качества важно придерживаться единых принципов оценки оптимального качества и стоимости продукции. Обычно этого легче всего добиться, если ответственность как за обеспечение надежности, так и за обеспечение качества возлагается на одно и то же лицо. Это имеет место во многих промышленных и правительственных организациях; при этом основная ответственность возлагается на директора службы по обеспечению качества (или директора службы по обеспечению надежности и качества). В некоторых организациях на это лицо возлагается также дополнительная ответственность за контроль стоимости, обслуживаемость и безопасность продукции.

Важным фактором в общей деятельности по планированию является эффективное участие группы технического обеспечения надежности и контроля качества в перспективном планировании методов и систем. Это планирование позволяет уделить должное внимание вопросам профилактики на всех этапах, начиная с анализа конструкции и далее на этапах закупки, производства, испытаний и доставки готовой продукции. При планировании необходимо предусматривать надлежащие меры для анализа тенденций развития, проведения корректировочных мероприятий и ведения отчетности.

Необходимо постоянно следить за повышением квалификации персонала службы контроля качества в области разработки новых методов контроля без разрушения образцов, совершенствования системы контроля технологических процессов и создания замкнутой системы отчетности об отказах. Это позволит получить большие выгоды для всей организации.

Измерительная аппаратура, необходимая для контроля технологических процессов и испытаний, должна быть полностью совместимой с конструкцией изделия и планом выпуска продукции. Если фирма стремится непрерывно повышать репутацию своих изделий и обеспечить дальнейший рост деловой деятельности, то для обеспечения конкурентоспособности она должна разработать и соблюдать высокие стандарты качества и надежности. Чтобы выиграть в соревновании по выпуску высоконадежных изделий, средняя по размерам фирма должна:

1. Увеличить капиталовложения на автоматизацию средств производства и аппаратуры контроля качества с целью уменьшения стоимости единицы продукции и увеличения доли высококачественных изделий.

2. Широко использовать технические новшества, чтобы высоким требованиям к качеству продукции соответствовали эффективные методы контроля технологических процессов и производственного оборудования.

6.10а. Планирование разработки методов контроля качества.

Квалификация, которой должен обладать персонал, занимающийся вопросами обеспечения надежности и контроля качества, значительно колеблется в зависимости от сложности используемого оборудования. Если требования не меняются, то трудности будут незначительными; однако переход к поточным линиям производства, в отношении которых фирма имеет меньше опыта, может привести к некоторому изменению требуемого уровня квалификации, вследствие чего могут возникнуть проблемы, связанные с использованием рабочей силы, если к тому же изменится характер решаемых задач. Очевидно, что фирма не может использовать специалистов с высшим образованием при проведении обычного контроля механических деталей, но в то же время нельзя допускать лиц, не окончивших высших учебных заведений, проводить демонстрационные испытания надежности, например, приемников инфракрасного излучения со сканированием. Обычно при специализации производства проблема уровня квалификации, обусловленная отсутствием информации о будущих сделках, является менее острой, но тем не менее руководство должно заниматься ее решением.

6.10б. Программы обучения. Составление программ обучения по надежности и контролю качества обычно считается сложным только для крупных фирм. Вообще говоря, ряд проблем, связанных со стоимостью и планированием, возникает для контрактов, по которым необходимо проведение НИР и ОКР. Крупная фирма может иметь собственный персонал, занимающийся вопросами обучения и подготовки. В этом случае затраты на подготовку инструкторов и приобретение учебных пособий будут сравнимы с затратами при организации учебы путем заключения контрактов с учебными организациями, а иногда и с поставщиком специальной аппаратуры. Более мелкие фирмы обычно заключают контракты на обучение по своей программе с другими организациями и во многих случаях командировать своих сотрудников на предприятие поставщика аппаратуры или предприятие крупного заказчика.

6.10в. Требования к контролю технологических процессов и планирование испытаний. При выработке требований к контролю технологических процессов и составлении планов испытаний крайне важно располагать полным комплектом документации и отчетности. Многие методы контроля технологических процессов связаны с проведением испытаний до разрушения образцов. Невозможность получить выводы на основе результатов испытаний вследствие применения неудовлетворительных стандартов для технологических процессов, недостаточной квалификации персонала или неправильной записи результатов может привести к недопустимым затратам и задержкам в сроках выпуска продукции. Для ознакомления с новыми техническими разработками и обеспечения дополнительных

контактов целесообразно проводить непрерывное наблюдение за технологическим процессом и контроль качества.

6.10г. Использование диаграмм производственного потока, составленных для контроля и испытаний. Диаграммы производственного потока для контроля и испытаний используются руководством при быстрой оценке состояния любой операции, связанной с разработкой или производством. Более высокой эффективности можно достигнуть путем сочетания диаграмм рабочих заданий с календарным планом программы. Например, один из крупных военных подрядчиков включает в свою диаграмму производственного потока наряду с календарным планом планируемые трудозатраты, как показано на фиг. 6.13.

Включение в диаграмму производственного потока данных о трудозатратах дает руководству важные сведения, которые могут составить основу для прогнозирования потребности в рабочей силе как с точки зрения оценки соответствия имеющегося персонала будущим потребностям фирмы, так и с точки зрения увеличения занятости в связи с расширением программ научных исследований, опытно-конструкторских работ или производства. Поскольку оплата труда обычно составляет наиболее важную статью расходов промышленного предприятия, то очевидно, что несоответствие между выполняемыми задачами и имеющейся рабочей силой может привести гораздо быстрее, чем какой-либо другой фактор, к серьезному истощению ресурсов фирмы. Хотя в задачу службы обеспечения надежности и контроля качества не входит сбор этих данных, очевидно все же, что эти данные представляют значительную ценность для руководства в более широком плане.

6.10д. Автоматическая испытательная и измерительная аппаратура. Фирмы, использующие типовые методы и технические приемы массового производства, прибегают к сравнению результатов контроля и испытаний, проводимых человеком и с помощью машин. Результаты сравнения используются для прогнозирования деловой активности фирмы в будущем, для определения относительных достоинств выбранных методов испытаний, а также для оценки возможности того, будет ли выигрыш от использования автоматической аппаратуры компенсирован в будущем уменьшением стоимости трудозатрат.

Решение о том, пожертвовать ли универсальностью человека ради быстрого действия машины и исключения субъективных ошибок, обычно зависит от того, будет ли получена экономия от введения автоматических проверок при известном в данный момент времени объеме будущей деловой деятельности, при которой будет использоваться автоматическая аппаратура. Решающим фактором является характер деловой деятельности. Например, фирма по обработке пищевых продуктов вполне может распределить возмещение затрат на такую аппаратуру на десятки лет, тогда как изготовите-

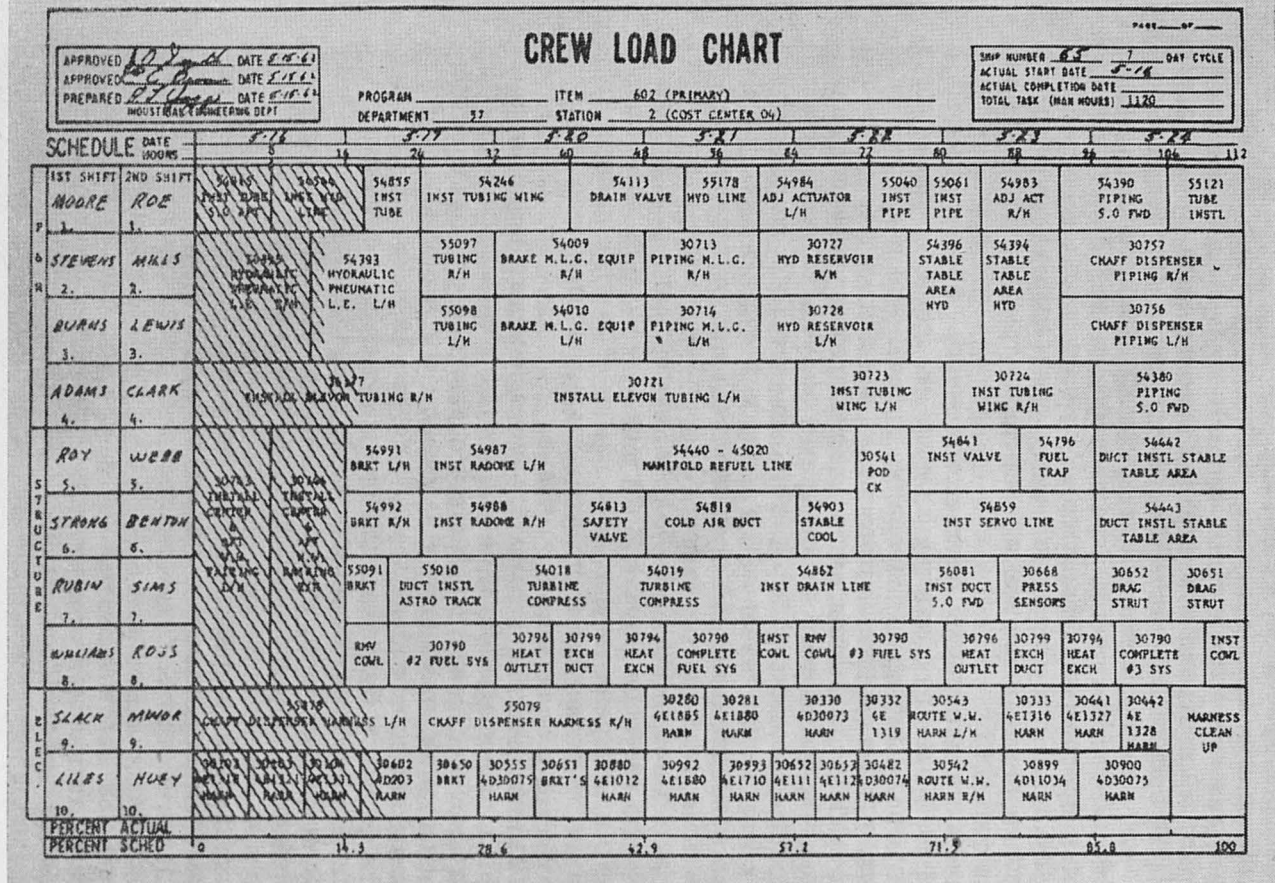


Fig. 6.13. График ежедневной загрузки производственного персонала.

Показаны плановые сроки выполнения производственных заданий при работе в две смены; трудозатраты на выполнение отдельных операций и обработку узлов деталей, фактический и запланированный проценты выполнения работ.

ли новой продукции, которая довольно быстро устаревает, должны добиваться окупаемости автоматической аппаратуры в самое короткое время. Почти любая аппаратура для автоматического контроля изготавливается по заказу, и практически расходы на ее приобретение можно покрыть лишь за счет увеличения сбыта продукции.

Разумеется, автоматическая испытательная аппаратура должна давать явное улучшение результатов по сравнению с такими же усилиями человека. Если же это нельзя четко определить, то легко может быть принято решение против автоматизации. В отношении некоторых процессов решение в пользу автоматической контрольной или испытательной аппаратуры может быть продиктовано соображениями безопасности, например, при производстве взрывчатых веществ, при обращении с радиоактивными материалами и возможности опасного химического и биологического воздействия.

Конструктивные особенности контрольной и измерительной аппаратуры определяются характером изделий, подлежащих испытаниям. При ужесточении допусков на размеры и характеристики изделия сложность конструирования измерительной аппаратуры возрастает по экспоненциальному закону. Руководство должно быть информировано о том, что по оценке инженерного персонала такая аппаратура совместима с изделиями, подлежащими испытаниям, и что она может быть приспособлена к будущим изменениям характера выпускаемой продукции.

6.11. ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Деятельность в области обеспечения надежности и контроля качества приводит к дополнительным требованиям к планированию, которое должно предусматривать обеспечение специальной аппаратурой и оборудованием. Руководители производства и вспомогательных служб должны непрерывно изыскивать возможности снижения затрат, связанных с использованием производственных площадей, аппаратуры и материалов, а также снижения трудозатрат. Как следствие естественного оптимизма в отношении доверия к организации и выпускаемой ею продукции обеспечение качества и надежности и потребность в аппаратуре иногда считаются как что-то само собой разумеющееся.

Необходимые меры по обеспечению надежности и качества изделия, которые должны предусматриваться до окончательной его разработки и изготовления, ставятся в зависимость от получения прибылей. Многие фирмы, работающие главным образом по контрактам с министерством обороны, относят затраты на выполнение этих требований к накладным расходам. Поэтому приобретение оборудования и аппаратуры, стоимость которых не была полностью

предусмотрена при окончательных переговорах о заключении контракта, является исключительно сложным делом, кроме тех случаев, когда эти расходы оправдываются получением экономии или допускаются как невозмещаемые накладные расходы. Предварительное планирование всех таких расходов необходимо в том случае, когда по условиям контракта руководство отвечает за показатели надежности и качества и, разумеется, в той мере, насколько фирма чувствует себя морально обязанной заниматься этим делом при отсутствии технических условий.

Важно, чтобы снабжение аппаратурой и оборудованием для обеспечения надежности и контроля качества осуществлялось в тесном сотрудничестве с группой инженерного проектирования фирмы. По возможности планирование должно осуществляться на этапе разработки принципиальной схемы и предварительного проектирования изделия и, безусловно, в тесной связи с планами развертывания новых предприятий или расширения существующих. Важно, чтобы о потребностях в испытательном оборудовании докладывали руководству фирмы с тем, чтобы их можно было учесть при составлении схемы размещения нового оборудования.

Координация деятельности по обеспечению надежности и контролю качества с техническим проектированием позволяет определить, какими характеристиками должно обладать изделие. Эта информация и условия контракта дают возможность разработать экономичные планы выборочного контроля качества и установить необходимый объем испытаний для демонстрации надежности, при этом определяется необходимое оборудование и испытательная аппаратура.

Такое взаимодействие повышает согласованность в отношении допустимых отклонений на всех этапах технического контроля и обеспечивает последовательное расширение допусков, принятых поставщиком деталей, изготовителем систем и заказчиком.

6.11а. Финансирование и календарные планы. При финансировании и составлении графика основного производственного плана возникают серьезные затруднения с планированием поставок аппаратуры для обеспечения надежности и контроля качества. Аппаратура, поставка которой требует много времени, должна включаться в основной план, чтобы обеспечить получение ссудного капитала на эти цели при самых льготных условиях. Аналогичным образом необходимо оценивать потребности в ассигнованиях для закупки вспомогательного оборудования. Сюда относятся средства освещения контрольных площадок, поддержания требуемой температуры и влажности, установки для кондиционирования и контроля чистоты воздуха, специальное очистное и санитарно-техническое оборудование, средства обеспечения безопасности персонала.

6.11б. Технические условия на аппаратуру. Важно, чтобы технические условия на поставляемую испытательную аппаратуру раз-

работывались внутри организации. Испытания на надежность и качество должны охватывать все конструктивные особенности изделия. В фирмах, выпускающих разнообразную продукцию, руководство службой обеспечения надежности и контроля качества, наблюдая за проведением испытаний, может рекомендовать закупку универсальной испытательной аппаратуры. В этом случае на приобретение меньшего количества аппаратуры, обладающей большими возможностями, потребуется меньше средств, чем на приобретение большого количества менее универсальной аппаратуры. Если техническая политика фирмы в области поставок исключает разработку технических условий по вопросам обеспечения надежности и контроля качества, то руководство службы обеспечения надежности и контроля качества передаст свои рекомендации группе поставок.

6.11в. Проектирование испытательной аппаратуры для обеспечения надежности и контроля качества. В некоторых организациях на группы надежности и контроля качества возложена ответственность за проектирование испытательной аппаратуры. Эта работа должна поручаться высококвалифицированным инженерам. При наличии необходимого персонала такая практика имеет определенные преимущества, к которым относятся более своевременное и более эффективное использование испытательной аппаратуры, повышенное внимание к автоматизации, улучшение координации с поставщиками и широкое применение неразрушающих методов контроля и испытаний.

Недостатком является то, что при отсутствии квалифицированного персонала по проектированию аппаратуры возможно использование вариантов аппаратуры, не обеспечивающих оптимальной экономической эффективности. Следует иметь в виду, что для обеспечения максимального соответствия испытательной аппаратуры данному изделию требуется дополнительная координация на этапе разработки изделия. Это особенно важно для изделий, схемы и конструкция которых подвергаются частым изменениям.

6.12. ОБУЧЕНИЕ

Качество работы персонала, занимающегося определением принципиальной схемы, проектированием, закупкой, изготовлением, конструированием, испытаниями, ремонтом и эксплуатацией аппаратуры, зависит прежде всего от квалификации, знаний, личных качеств, образования и профессиональной подготовки персонала. Эти факторы оказывают влияние на качество аппаратуры и выпускаемой продукции. Перспективное планирование профессионального обучения должно соответствовать производственным задачам, поставленным руководством фирмы.

Планирование производственных задач производится с учетом наличия таких ресурсов, как вспомогательное оборудование, ин-

струмент, сырье, рабочая сила, производственные мощности, рынки сбыта, характер отношений с заказчиком и внутри фирмы при выполнении предыдущих заказов и перспективы деловой деятельности в будущем. Вследствие изменчивости, характерной для промышленной деятельности, на ранней стадии планирования производства довольно трудно составить конкретные программы обучения. Однако когда фирма непосредственно приступает к выпуску той или иной продукции и известны технические условия, то программу обучения следует планировать по срокам и этапам.

6.12а. Подготовка по вопросам обеспечения надежности и контроля качества. Задача подготовки по вопросам обеспечения надежности и контроля качества состоит в том, чтобы весь персонал независимо от занимаемой должности усвоил методы, основные идеи и задачи и выработал правильное отношение к своему труду. Эффективное обучение предполагает определение, оценку и удовлетворение всех потребностей в профессиональной подготовке, которые ежедневно возникают в различных областях деятельности организации. Руководство службы обеспечения надежности и контроля качества должно следить за тем, чтобы при составлении программ обучения был охвачен весь персонал, связанный с вопросами обеспечения надежности. Указанный персонал должен понимать значение своего личного вклада в обеспечение надежности и иметь побудительные мотивы для достижения отличных результатов.

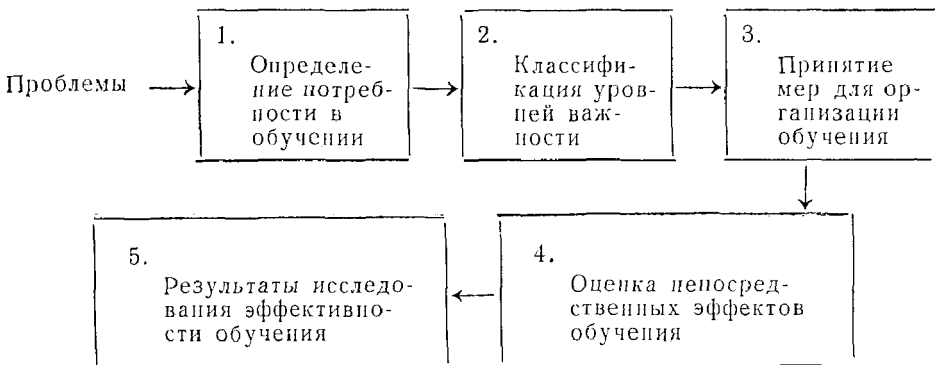
Заключение о необходимости дополнительной специальной подготовки может быть сделано на основе имеющейся информации о каком-либо новом задании. В программе должны быть указаны различные мероприятия, которые необходимо выполнить. После того как станут известны эти мероприятия и стоящие задачи, необходимо изучить характер предстоящей работы и требования к квалификации персонала, связанные с выполнением задания.

Инженер, занимающийся вопросами обеспечения качества, обязан убедиться в том, что руководству известна необходимость обучения сотрудников, а также в том, что разработаны и осуществляются необходимые мероприятия, позволяющие определить, какая именно, когда и в каком объеме необходима программа обучения (фиг. 6.14).

6.12б. Способы оценки знаний персонала и определения требуемой подготовки. Для оценки знаний сотрудников и определения того, какое именно обучение необходимо, можно воспользоваться так называемым показателем квалификации (job knowledge quotient). Показатель квалификации определяется на основе ответов сотрудников на ряд вопросов. Для конкретных направлений работы могут быть подготовлены различные группы вопросов.

При определении потребностей в обучении руководство учитывает опыт и квалификацию сотрудников. После сбора и анализа информации становятся ясными требуемые объем и содержание

обучения. Обучение охватывает такие вопросы, как производственные навыки, теоретические и практические знания, отношение к выполняемой работе, т. е. все, что необходимо для удовлетворения технических условий по надежности и качеству. Изменение потребностей часто приводит к изменению требований к квалификации и знаниям сотрудников и повышает необходимость в обучении.



Ф и г. 6.14. Схема планирования цикла обучения.

Для определения и оценки этих потребностей применяются соответствующие средства и методы. К ним относятся:

1. Анализ работы или деятельности.
2. Тесты или экзамены.
3. Обследования с помощью опросных анкет или контрольных листов.
4. Целевые обследования и консультации на основе накопленных данных об ошибках.
5. Отчеты и проверки по вопросам обеспечения надежности и контроля качества.
6. Анализ существующего состояния вопроса с целью внесения необходимых изменений.
7. Разработка показателей, характеризующих качество работы.

Требуемый объем обучения определяется как разность между тем, что требуется, и тем, что данный сотрудник способен выполнить:

$$R - P = T,$$

где R — требования, вытекающие из задания,

P — величина, характеризующая возможности данного сотрудника,

T — требуемый объем обучения.

Главными задачами обучения и подготовки по вопросам надежности и контроля качества являются:

1. Воспитание у всего персонала, участвующего в работе над проектом, сознательного отношения к вопросам обеспечения надежности и контроля качества.

2. Разъяснение персоналу, занятому разработкой и изготовлением продукции, обеспечением надежности и контролем качества, а также закупками и т. п., конкретного влияния выполняемой каждым из них работы на улучшение или ухудшение надежности системы.

3. Сообщение персоналу достаточного объема знаний и разъяснение ему частных и общих факторов, влияющих на надежность системы; внедрение при разработке и изготовлении аппаратуры эффективных принципов повышения надежности.

4. Обеспечение эффективного и продуктивного выполнения своих задач всем персоналом службы обеспечения надежности и контроля качества.

5. Концентрирование внимания на тех вопросах, которые особенно важны с точки зрения повышения надежности продукции.

Для решения этих задач необходимо разработать официальный курс подготовки по вопросам надежности для инженерно-технического персонала и персонала службы контроля качества, принимающих участие в проектировании, изготовлении и испытании сложных изделий. Основными вопросами этого курса могут быть следующие: применение теории вероятностей к вопросам надежности, параметры надежности и виды распределений, методы обеспечения надежности, практика проектирования, интерпретация условий контрактов и проверка соответствия требований, ведение отчетности об отказах, мероприятия, направленные на повышение надежности, гарантия качества новых изделий и производственные процессы.

Официальное обучение должно быть организовано и для тех сотрудников, которым нужно знать новые методы и технические приемы. Естественно, что определенную часть сотрудников не будут интересовать некоторые этапы обучения и им не нужно будет посещать все занятия. Как и в других видах деятельности, в расходах на обучение необходимо соблюдать экономию. Должны быть разработаны также детальные учебные программы для подготовки и аттестации специальных категорий персонала, занятого на технических и производственных работах; сюда могут относиться такие области, как обеспечение надежности, контроль качества, неразрушающие испытания, приемочные испытания, квалификационные испытания, контроль сварки и пайки, технический контроль.

6.12в. Неофициальное обучение. Неофициальное обучение (обучение на рабочих местах) производится во всех отраслях промышленности, когда представители руководства дают инструкции своим подчиненным. При такой системе обучения достижение желательного эффекта зависит от мастерства руководителя. Одной из повседневных задач является убеждение в необходимости повышения качества и надежности; для решения этой задачи нужны орга-

низованные усилия. Проведение этой работы требует оценки достигнутого прогресса и частой информации персонала о качестве выполняемой им работы. Контрольные карты дают наглядное представление о качестве работы. Этот обратный поток информации в сочетании с планами корректировочных действий способствует выработке у персонала требуемых побудительных мотивов.

Убеждение в важности обучения, разъяснение задания, выполнение задания и подведение итогов представляют собой четыре элемента, которые могут быть использованы руководителями для эффективного обучения на месте.

Убеждение в важности обучения. Слушатели, проходящие подготовку, должны знать, почему их обучают, чего от них ожидают после обучения и каким образом можно изучить предмет быстро и эффективно. Необходимо повышать интерес и внимание к предмету обучения.

Разъяснение задания. Руководители должны разъяснить и обсудить поставленное задание и его связь с другими заданиями и сообщить информацию, необходимую для выполнения задания. Они должны разъяснять существо задания, каким образом и почему его надо выполнить.

Выполнение задания. Слушатель, проходящий обучение, должен выполнить требуемое задание или работу. Руководитель указывает на допущенные ошибки и объясняет, каким образом их можно избежать.

Подведение итогов. При подведении итогов исправляются допущенные ошибки, выясняются возникшие вопросы и даются объяснения, а при необходимости проводится дальнейшее обучение.

6.12г. Официальное обучение. Официальное обучение представляет собой такую форму обучения, когда необходимые навыки и информация о мастерстве, опыте, идеях систематизированы в учебной программе, направленной на достижение у обучающихся требуемого уровня мастерства и понимания вопросов. В учебных программах должны быть четко сформулированы реально достижимые цели. Необходимо обеспечить систематизацию и четкое построение материала соответствующего курса и выбрать надлежащие методы обучения. К учебной работе следует привлекать квалифицированных и опытных инструкторов; важно также обеспечить правильную оценку и обмен мнениями для совершенствования программы. Расписание занятий должно быть реальным и планироваться таким образом, чтобы к началу выполнения иметь подготовленный персонал. На фиг. 6.15 и 6.16 представлены календарные планы учебной программы.

6.12д. Расписание занятий. На фиг. 6.16 показана часть календарного плана учебной программы. Здесь представлено расписание занятий в группах. Занятия в различных группах расписаны по дням недели. Каждая клетка расписания обозначается рядом за-

График № 105				График № 106			
Система: элементы конструкции				Система: шасси, колеса и тормоза			
		Цех	Отдел			Цех	Отдел
Номер курса		10	180—2	Номер курса		10	180—2
Номер программы		1	182	Номер программы		1	182
Тип программы	Специальная	2	12	Тип программы	Специальная	3	50/51
Продолжительность	20 час.	8	29	Продолжительность	10 час.		
Начало	18 мая 1964 г.			Начало	18 мая 1964 г.		
Окончание	22 мая 1964 г.			Окончание	22 мая 1964 г.		
Часы/день недели	4/пятница			Часы/день недели	2/пятница		
Время занятий				Время занятий			
Составитель				Составитель			
Инструктор				Инструктор			
Руководитель				Руководитель			
Примечания:				Примечания:			

График № 107				График № 108			
Система: шасси, колеса и тормоза				Система: шасси, колеса и тормоза			
		Цех	Отдел			Цех	Отдел
Номер курса		3	12	Номер курса		5	24—1
Номер программы		4	27	Номер программы		8	94
Тип программы	Специальная	8	29	Тип программы	Обычная	1	107
Продолжительность	10 час.			Продолжительность	5 час.		
Начало	25 мая 1964 г.			Начало	5 мая 1964 г.		
Окончание	28 мая 1964 г.			Окончание	6 мая 1964 г.		
Часы/день недели	3/четверг			Часы/день недели	2—3/пятница		
Время занятий				Время занятий			
Составитель				Составитель			
Инструктор				Инструктор			
Руководитель				Руководитель			
Примечания:				Примечания:			

График № 425				График № 426			
Система: гидравлическая				Система: пневматическая			
		Цех	Отдел			Цех	Отдел
Номер курса		2	178	Номер курса		2	178
Номер программы		9	94	Номер программы			
Тип программы	Обычная			Тип программы	Обычная		
Продолжительность	5 час.			Продолжительность	5 час.		
Начало	8 сентября 1964 г.			Начало	11 сентября 1964 г.		
Окончание	9 сентября 1964 г.			Окончание	11 сентября 1964 г.		
Часы/день недели	2—3/вторник			Часы/день недели	2/понедельник		
Время занятий				Время занятий			
Составитель				Составитель			
Инструктор				Инструктор			
Руководитель				Руководитель			
Примечания:				Примечания:			

Ф и г. 6.15. График обучения.

Подсистема	Номер группы	Март		Апрель		Май			Август			Сентябрь	
		9	23	6	20	4	18	1	24	7	21	5	19
		2	16	30	13	27	11	25	31	14	28	12	26
Шасси, колеса и тормоза	1						106	107					
	2						108				427		
	3												
	4												
	5												
Элементы конструкции	1							105					
	2												
	3												
	4												
	5												
Гидравлическое оборудование	1									425			
	2												
	3												
	4												
	5												
Электрическое оборудование	1												
	2												
	3												
	4												
	5												

Ф и г. 6.16. Календарный план учебной подготовки.

писанным номером. На фиг. 6.15 приведены данные о начале и окончании обучения, продолжительности учебных занятий.

Во многих случаях для изучения систем составляются учебные программы различного уровня. Программа повышенного типа предусматривает подробное рассмотрение теоретических вопросов и предназначается для тех, кому нужны систематические знания о системе в полном объеме. Программа ознакомительного типа охватывает курс, продолжительность которого составляет примерно половину срока обучения по программе повышенного типа; этот курс подходит для механиков, техников и контролеров. Наконец, программа более низкого уровня в меньшей степени включает вопросы теории систем и составляет примерно 15% срока обучения по программе повышенного типа. Более краткосрочные программы отводятся (в силу их малой продолжительности) электронным и механическим подсистемам. Начало занятий в различных группах должно выбираться с учетом реальных условий, исходя из планов выполнения поставленных задач и потребностей отделов.

6.12е. Программы специальных испытаний. Специалисты, занимающиеся вопросами обеспечения надежности и контроля качества, и руководители должны быть уверены в том, что используемые методы обеспечивают эффективный контроль специальных технологических процессов. Часто требуется, чтобы такие специальные процессы были проверены представителями заказчика или правительственных организаций в соответствии с принятым порядком. Характерным для специальных технологических процессов является то, что результаты контроля и испытаний готового изделия после полного завершения процесса часто бывают недостаточны для суждения о качестве либо могут быть получены слишком поздно. По этой причине необходимо проводить требуемый контроль в ходе самого процесса.

Ответственный за эту работу орган может рассматривать получение соответствия технологического процесса техническим условиям как средство достижения требуемого уровня качества, если произведена оценка достаточного количества данных, позволяющих определить приемлемость параметров технологического процесса. Продукция, при изготовлении которой применяются критические процессы, требует к себе большего внимания с целью осуществления достаточного контроля. Могут потребоваться дополнительные усилия от инженеров, занимающихся контролем процесса, на определение критичности отдельных параметров процесса и внедрение эффективных и производительных методов контроля.

6.12ж. Программы по аттестации и переаттестации. Поскольку качество работы зависит от квалификации и способностей персонала, то необходимо установить стандарт требуемого качества работы. Такие стандарты должны служить основой для определения квалификации персонала, необходимой для выполнения требуемой

работы. Основными этапами определения квалификации персонала являются следующие:

1. Подбор и оценка сотрудника по его подготовке необходимым навыкам и отношению к работе.

2. Прохождение сотрудником официального курса обучения в аудитории и неофициального — на рабочем месте.

3. Аттестация сотрудника по результатам экзаменов или тестов, построенных на обоснованных критериях оценки квалификации.

4. Периодическая оценка качества работы сотрудников.

5. Переподготовка сотрудников и периодическая переаттестация.

6. Фиксирование, изучение и анализ качества работы сотрудников с целью определения необходимости в переподготовке.

7. Проверка, позволяющая убедиться в том, что завершен определенный этап обучения и что выбраны эффективные методы обучения.

Эффективная программа аттестации предусматривает не только применение правильного порядка аттестации, но и его постоянное совершенствование, обеспечивающее соответствие изменившимся техническим условиям. Кроме того, эффективная программа аттестации гарантирует, что изменчивость каждого фактора контролируется в нужной степени.

6.12з. Оценка результатов обучения. Оценка результатов обучения позволяет определить, достигнуты ли обучающимися намеченные цели. Основой правильной оценки служит наблюдение или измерение некоторой характеристики до проведения запланированной подготовки и измерение этой же характеристики после обучения. Сравнение результатов позволяет оценить эффективность обучения. Оценка основывается на фиксировании всех имеющихся данных, характеризующих степень реализации целей обучения, достигнутые улучшения и окончательное влияние обучения на производственную деятельность. Эффективность обучения методом измерения ошибок, определения дефектов, отказов, потерь рабочего времени, скорости операций и производительности можно оценить путем сопоставления показателей, полученных до и после обучения. Обучение, связанное с развитием умственных способностей и длительным совершенствованием навыков, может быть оценено субъективными методами.

Для оценки эффективности обучения с целью совершенствования как умственных, так и физических навыков могут использоваться:

1. Статистические измерения, зафиксированные на контрольных картах до и после обучения.

2. Контрольный перечень улучшений до и после обучения.

3. Изменения в рабочих нормах, зафиксированные руководителем.

4. Письменные экзамены и тесты.
5. Составление таблиц и отчетов по анализу контроля качества и надежности.
6. Сравнение с результатами имитированной работы контрольных групп.
7. Сравнение с данными о работе персонала, полученными в прошлом.
8. Количество часов, затраченных на обучение.

6.12и. Указания для получения эффективной оценки результатов обучения.

1. При оценке необходимо фиксировать как успехи, так и недостатки.
2. Оценка должна начинаться с формулировки конкретных целей, которые должны быть достигнуты в отношении квалификации персонала.
3. При необходимости оценка должна основываться на систематическом долгосрочном планировании.
4. Оценка должна определить, в какой степени обучение обеспечило получение достаточных знаний.
5. Оценка должна производиться немедленно с тем, чтобы не допускать потери знаний или квалификации.
6. Следует отдавать предпочтение оценкам, учитывающим особенности конкретной организации, а не готовым оценкам, разработанным в других организациях.

Контроль обучения должен проводиться аналогично учету произведенной продукции или производственных запасов. Эти данные, накопленные за некоторый период времени, могут дать представление о квалификации персонала и изменениях специальной и производственной квалификации, происшедших на предприятии.

6.13. КОНТРОЛЬ ЗА ПРАВИЛЬНОСТЬЮ КОМПЛЕКТАЦИИ ИЗДЕЛИЯ И ВНЕСЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЮ

Руководство должно быть уверено в том, что в изделия специального назначения внесены соответствующие конструктивные изменения. Необходимо обеспечивать совместимость аппаратуры для обслуживания и руководства по эксплуатации с изготавливаемым изделием путем определенного обозначения модели.

Контроль должен осуществляться, начиная с самого раннего этапа — проработки принципиальной схемы — и кончая эксплуатацией. Цель контроля — предупреждение отказов и снижение стоимости изделия, а также обеспечение гарантированных характеристик. Очевидно, что при меньшем числе отказов за более длительное время обслуживание, снабжение запасными частями и составление технических руководств потребуют меньших затрат.

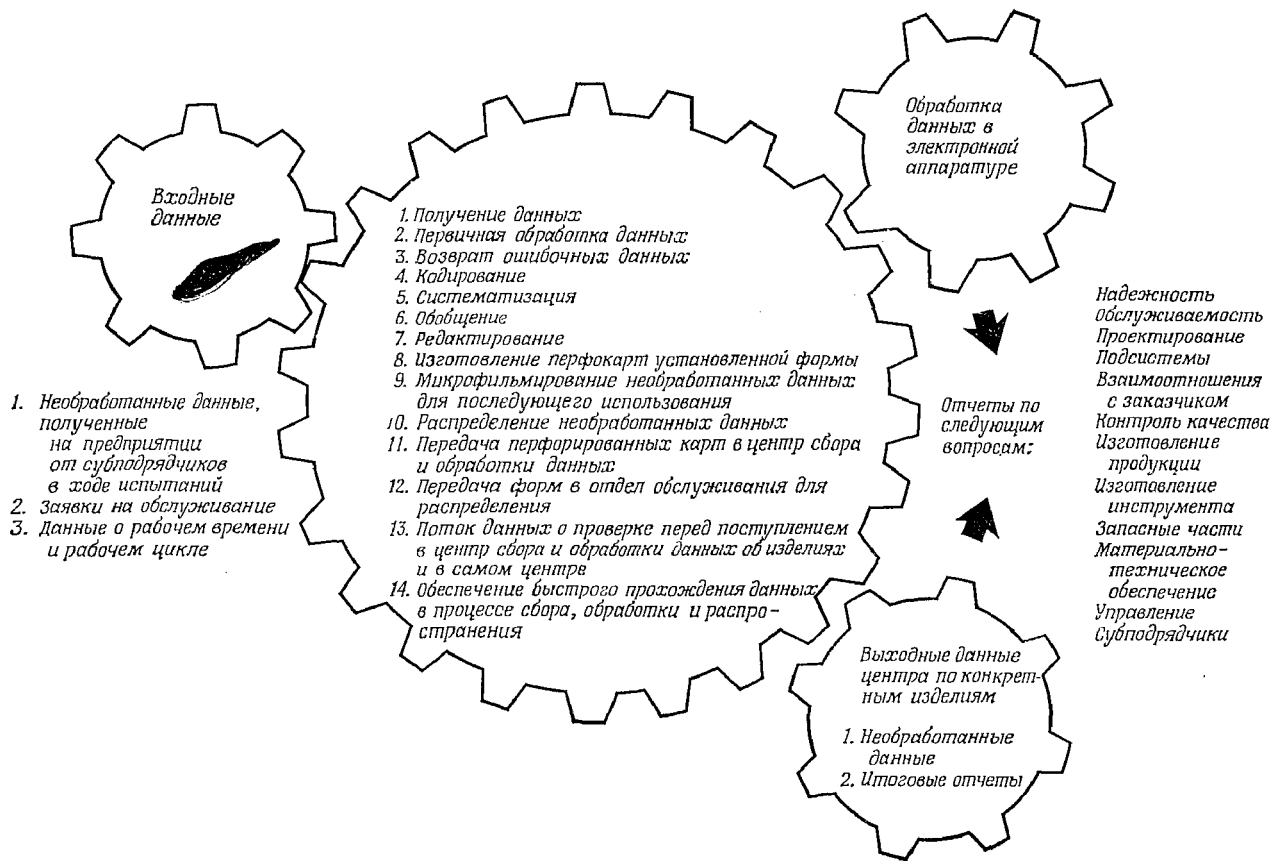
6.13а. Контроль за правильностью комплектации изделия. Для обеспечения правильности комплектации необходимо создание единой системы идентификации, контроля и учета для всех систем компонентов и аппаратуры.

Организация контроля за правильностью комплектации изделия должна способствовать наилучшему распределению функций и обязанностей среди соответствующих предприятий. Необходимо наиболее эффективно и единообразно совмещать или координировать большое число вопросов, связанных с контролем за правильностью комплектации изделия.

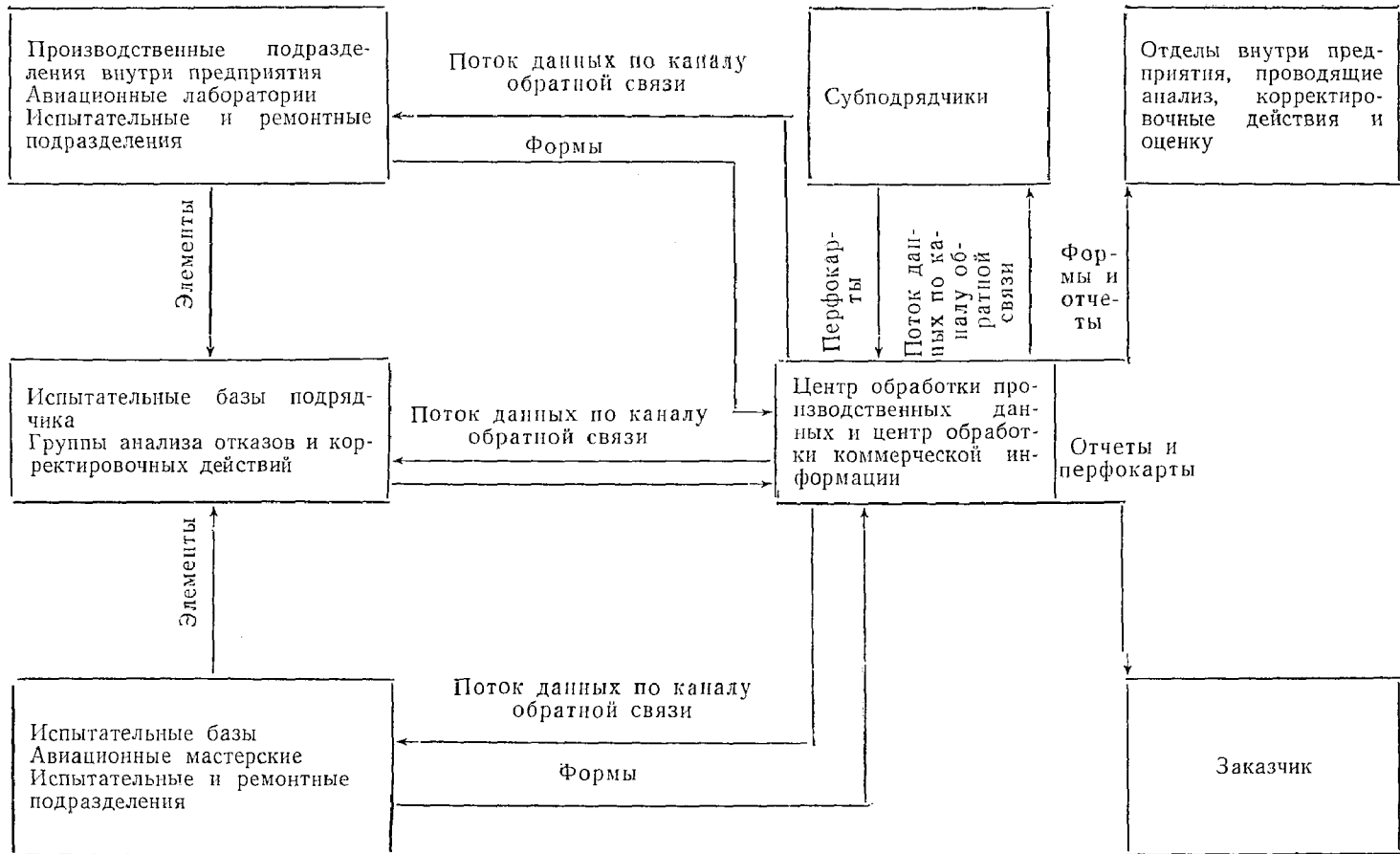
Руководители программ следят за правильной комплектацией изделий. Проектирование осуществляется с учетом требований, сформулированных заказчиком. Поставки комплектующих деталей и изготовление продукции производятся в соответствии с чертежами и техническими условиями. Служба контроля качества проверяет соответствие проектирования, закупок и производственной деятельности требованиям заказчика и характеристикам, обусловленным техническими условиями. Если приемка изделия осуществляется по чертежам, то служба контроля качества будет уверена в том, что рассмотрены все смежные вопросы и что в процессе производства изделия не произошло ухудшения его качества или надежности.

6.13б. Использование систем обработки данных на ЭВМ для контроля за качеством комплектующих изделий и материалов. Первый контракт на авиационную систему был выдан правительством США в 1907 г. братьям Райт, изготовившим летательный аппарат тяжелее воздуха. Общие требования к этой системе оружия были весьма просты и непосредственны, но даже тогда предусматривалась возможность наказания или поощрения подрядчика в зависимости от качества выполнения контракта. В системе оружия братьев Райт использовались элементы, которые в настоящее время называются комплектующими изделиями. Комплектация была несложной, документация не требовалась и, вероятно, в ней не было необходимости. Если бы братьев Райт попросили охарактеризовать комплектующие изделия своего самолета, они, вероятно, дали бы такой ответ: «Это все просто: полотно, фортепьянные струны, дерево, рыбий клей, гайки и болты».

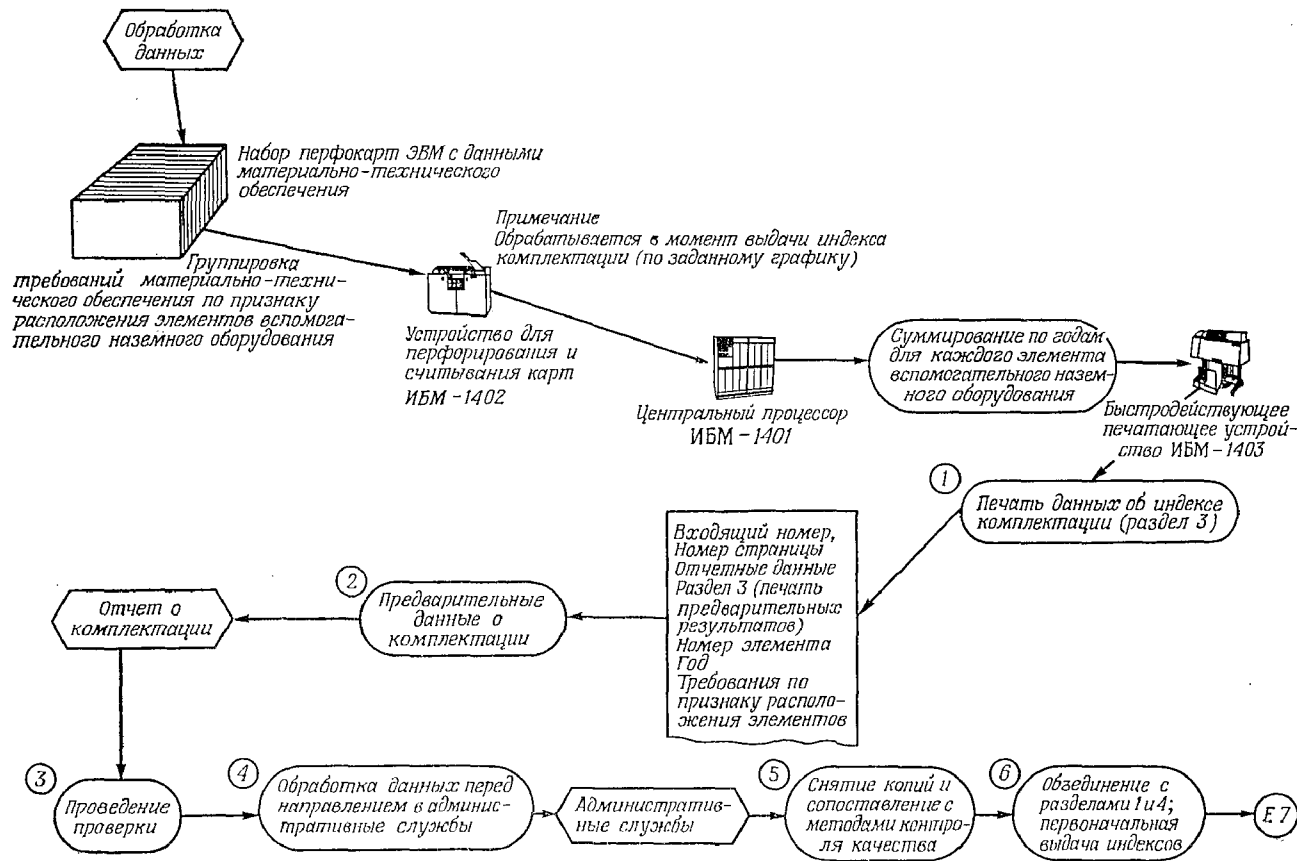
Не так давно для проверки правильности комплектации некоторых боевых ракет необходимо было обращаться к перечню комплектующих изделий, составленному на этапе НИР и ОКР. Обнаружилось, что аналогичные проблемы существовали и для некоторых типов пилотируемых самолетов. Этот прошлый опыт в области ракет и самолетов, а также искреннее желание дать заказчику эффективную систему оружия побудили некоторые отрасли промышленности разработать методы контроля комплектующих изделий.



Ф и г. 6.17. Функциональная схема работы центра по сбору данных об изделиях.



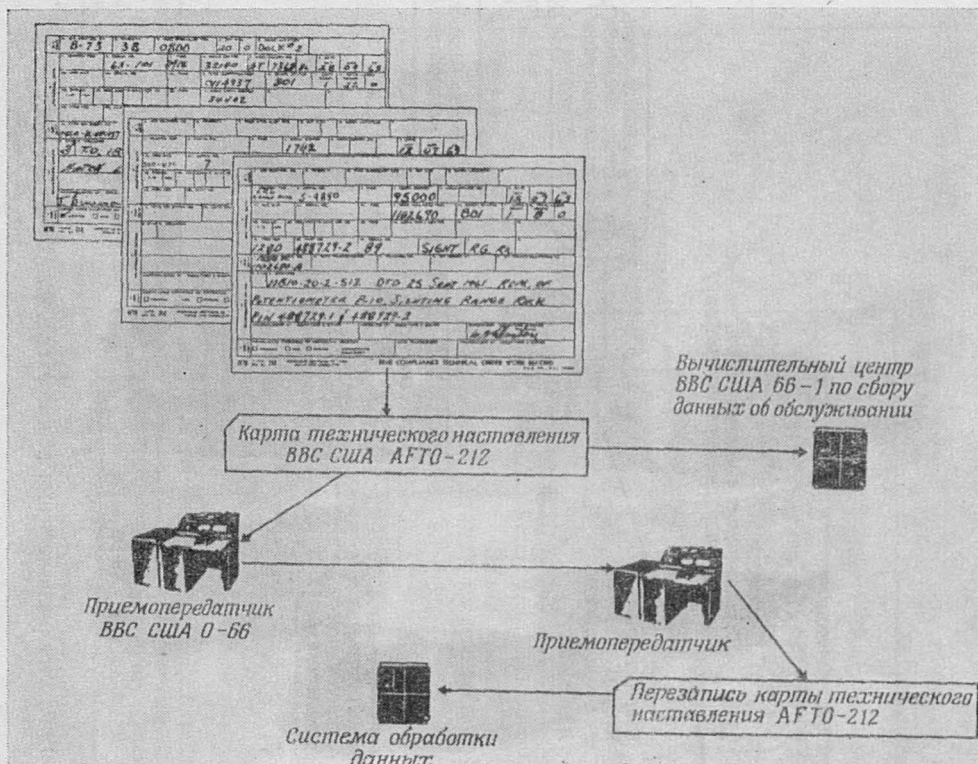
Ф и г. 6.18. Схема потоков информации.



Ф и г. 6.19. Схема расположения вспомогательного оборудования.

Хорошо налаженная служба материально-технического обеспечения охватывает следующие направления деятельности, включая ведение документации по комплектации (фиг. 6.17):

- составление перечня комплектующих изделий;
- регулярное составление отчетов о состоянии комплектации;



Фиг. 6.20. Электронная система обработки данных для получения информации о комплектации.

- составление технических инструкций по согласованию сроков поставки комплектующих изделий;
- составление технических руководств;
- снабжение запасными частями;
- обучение персонала.

Следует иметь в виду, что объединенная система обработки данных может обеспечить контроль за правильностью комплектации, что позволит наиболее экономично осуществлять техническое проектирование, закупки, контроль качества, мероприятия по обеспечению надежности и правильно организовать работу отдела наземного вспомогательного оборудования. Благодаря такой центра-

лизованной системе руководство и заказчик могут своевременно получать точные отчеты о состоянии комплектации изделия (фиг. 6.18).

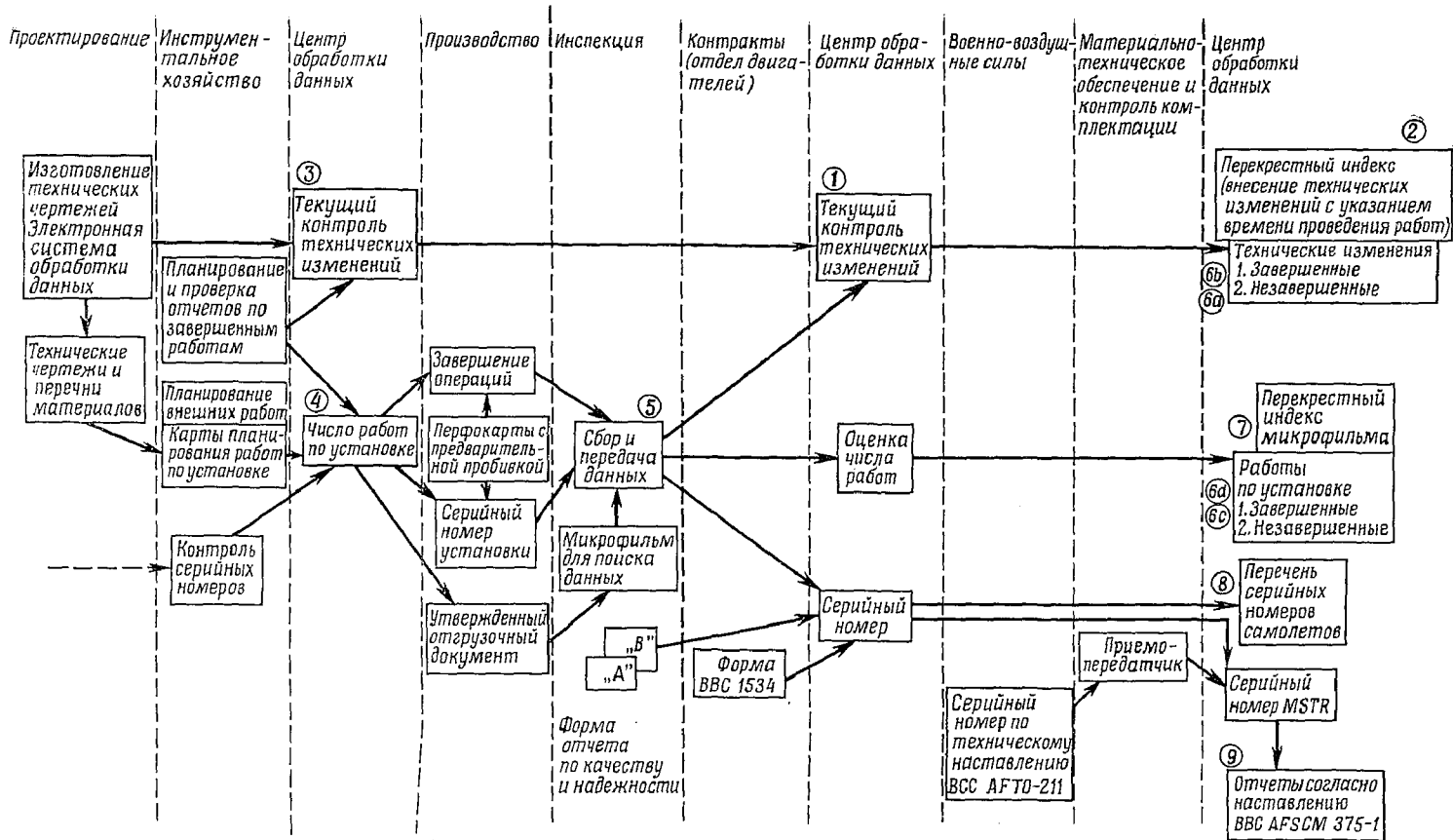
Как уже указывалось, для решения вопросов комплектации требуется формальное определение методики создания единой системы обозначений, контроля и отчетности по комплектации всех систем заказчика, различных видов аппаратуры, а также узлов и блоков систем и аппаратуры.

Новым документом, регламентирующим деятельность в этой области, является наставление командования систем ВВС 375-1 от 1 июня 1962 г., называемое «Руководство вопросами комплектации на этапе закупок» (имеется в виду период до момента поставки подрядчиком последнего готового изделия).

Следует заметить, что многие требования, записанные в этом документе, в той или иной форме соблюдались и ранее. Основная цель заключалась в том, чтобы собрать все эти требования в одном документе и четко сформулировать ранее высказанные пожелания заказчика. Документ устанавливает также исчерпывающую систему учета и обработки на ЭВМ данных по комплектации от начала выполнения программы до ее завершения.

6.13в. Исследование возможных источников входных данных. При подготовке системы машинной обработки данных необходимо исследовать характеристики и параметры уже имеющихся электронных вычислительных машин или электронных систем и программ обработки данных (как существующих, так и разрабатываемых), которые можно рассматривать как возможные средства обработки входных данных. Это необходимо для того, чтобы исключить дублирование усилий при поиске источников документов и кодировании входных данных. Пример, приведенный на фиг. 6.19, представляет собой реальный случай. Группа наземного оборудования службы материально-технического обеспечения одного из полигонов ведет картотеку перфокарт для обработки на ЭВМ, отражающую все требования системы контроля комплектации вспомогательного наземного оборудования. С помощью простого прогона на ЭВМ ИБМ-1401 извлекаются и обрабатываются выбранные данные, давая в результате перечень комплектующих изделий вспомогательного наземного оборудования.

Система подрядчика должна быть согласована с системой, существующей в ВВС. На фиг. 6.20 показана схема обработки данных комплектации в системе отчетности командования тактической авиации ВВС. При реализации принципа, иллюстрируемого на фиг. 6.20, отпадает необходимость в ручном кодировании и исключается дублирование при подготовке перфокарт, а данные и отчеты будут отражать состояние на данный момент. Этот же метод может быть применен при заменах изделий.



Ф и г. 6.21. Схема, иллюстрирующая процесс машинной обработки данных и системы контроля документации.

6.13г. Электронная система контроля серийных номеров продукции. На схеме, изображенной на фиг. 6.21, показаны этапы производственного процесса и электронная система контроля серийных номеров продукции.

Основным выходом системы подготовки технической документации являются новые или пересмотренные перечни материалов. Первой фазой этой системы является картотека технических изменений. Картотека изменений в конструкции самолета содержит данные по каждому случаю применения тех или иных узлов или деталей, учитываемых в системе технической документации, и позволяет произвести текущую проверку технических изменений.

В центре обработки данных накапливаются и обрабатываются данные о технических изменениях. Центр обработки данных осуществляет также предварительную подготовку перфокарт для отчетности о выполнении отдельных производственных операций и установке серийных номеров блоков и узлов, а также подготавливает перечни комплектующих элементов.

При завершении производственных операций или установке в систему узлов и блоков с серийными номерами производится запись последних на перфокарты, находящиеся в блоках сбора и передачи данных (считывающие устройства).

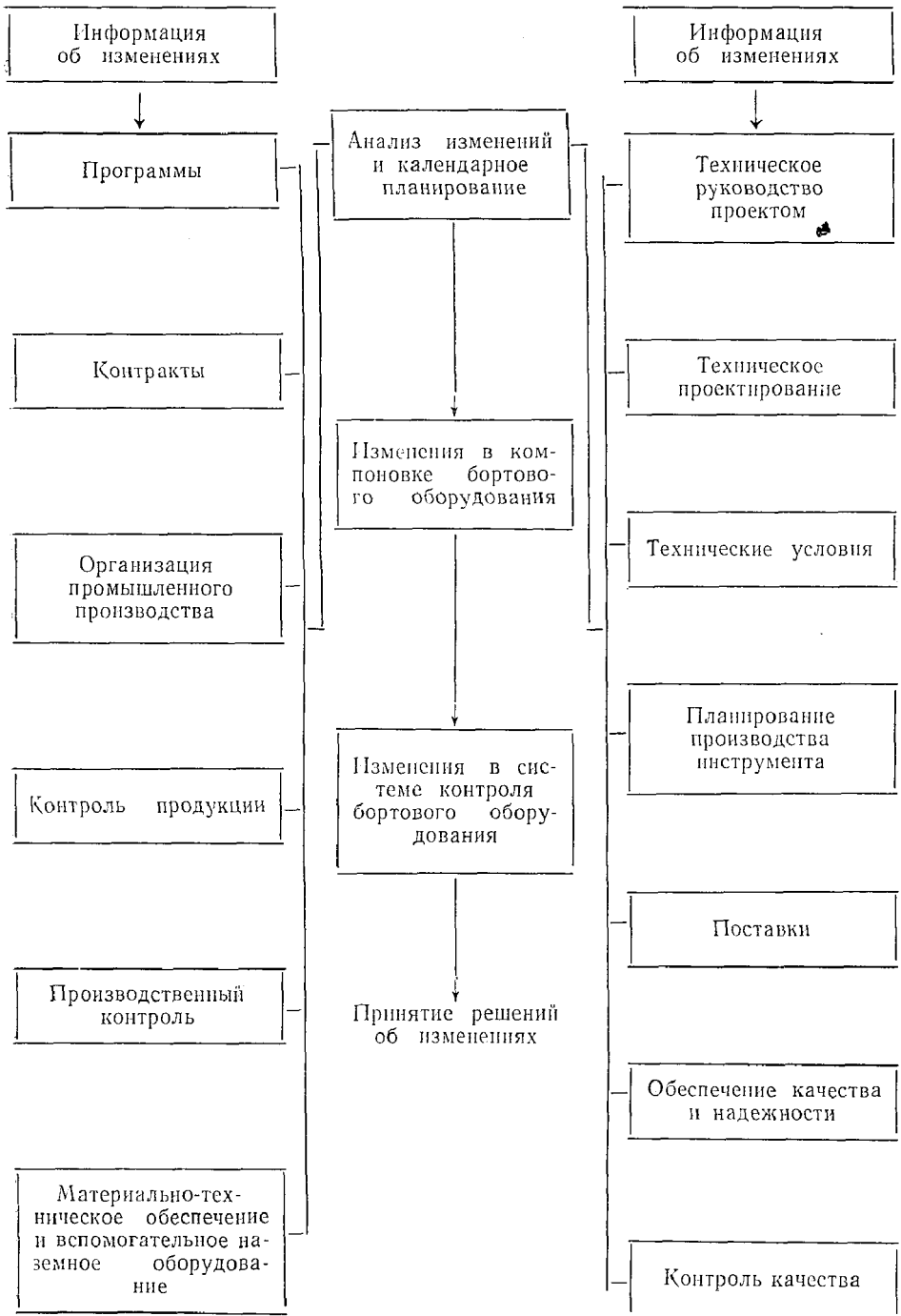
Группа контроля подтверждает завершение производственных операций и установление серийных номеров. Изъятие из комплекта блоков и узлов, получивших серийные номера, переделка или замена блоков, узлов и т. д. фиксируются на бланках учета качества продукции.

Подрядчик подготавливает форму (содержащую данные об установке и состоянии двигателей, снабжение которыми ему поручено).

Центр обработки данных обеспечивает регистрацию этих данных, а также ведет картотеку технических изменений и картотеку серийных номеров.

6.13д. Внесение изменений в продукцию. Контроль изменений можно определить как процесс, позволяющий руководству сделать вывод о необходимости конструктивных изменений. Вследствие невозможности разработать и изготовить совершенное изделие на начальном этапе и в связи с постоянным стремлением большинства фирм к повышению качества продукции возникает необходимость в разработке методов подготовки и внесения необходимых изменений.

Рекомендации по внесению изменений могут исходить от различных источников, поэтому руководство должно разработать метод подготовки рекомендаций по необходимым изменениям, внесения предложений, проведения анализа, оценки и одобрения изменений и проверки реализации запланированных изменений. На фиг. 6.22 изображена схема контроля изменений на основе рекомендаций от различных источников.



Фиг. 6.22. Контроль изменений.

6.14. ЛАБОРАТОРИИ ПРОВЕРКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И СТАНДАРТОВ

6.14а. Важность калибровки. Калибровка приборов играет важную роль на всех этапах деятельности по обеспечению качества и надежности. Калибровка обеспечивает однородность и точность измерений электрических и физических величин и измерения размеров

Данные о числе приборов, параметры которых вышли за пределы, установленные техническими условиями. Результаты получены при проведении поверочных испытаний приборов, используемых на кораблях

Тип прибора	Общее число приборов	Число приборов с параметрами в пределах технических условий	Число приборов с параметрами, выходящими за пределы технических условий
Датчики давления	32	16	16
Преобразователи давления	52	20	32
Предохранительные клапаны	16		16
Калиброванное сопротивление	1	1	
Источник питания	1	1	
Стандарт частоты	1	1	
Осциллограф и записывающее устройство	1		1
Осциллографический гальванометр	8	8	
Цифровой вольтметр постоянного тока	1		1
Итого:	113	47	66

Фиг. 6.23. Результаты проверки приборов (у 58% приборов параметры вышли за пределы, установленные техническими условиями).

в ходе научных исследований, проектирования и производства, выполняемых как внутри предприятия, так и в смежных организациях, организациях заказчика, подрядчиков и поставщиков.

Поверочная и контрольно-испытательная аппаратура, для которой характерны высокая точность и широкий рабочий диапазон, ставит серьезные проблемы перед персоналом служб контроля качества и обеспечения надежности, работающим в различных отраслях промышленности. На фиг. 6.23 показано, что может произойти в случае пренебрежения калибровкой; здесь приведены результаты проверки группы приборов, используемых при испытаниях клапанов высокого давления. Было установлено, что в данной группе у 58,5% (т. е. у 66 из 113) приборов параметры вышли за пределы допусков, указанных в технических условиях.

В числе причин, обуславливающих важность калибровки и точности измерений, можно назвать следующие:

1. Необходимость совмещения деталей, узлов и систем.

2. Необходимость проверки деталей, узлов и систем, находящихся в ремонте.

3. Необходимость получения данных о предельных характеристиках всех систем, находящихся в эксплуатации.

4. Необходимость избежать повреждений при проверке характеристик из-за неправильно откалиброванных или неточно работающих приборов.

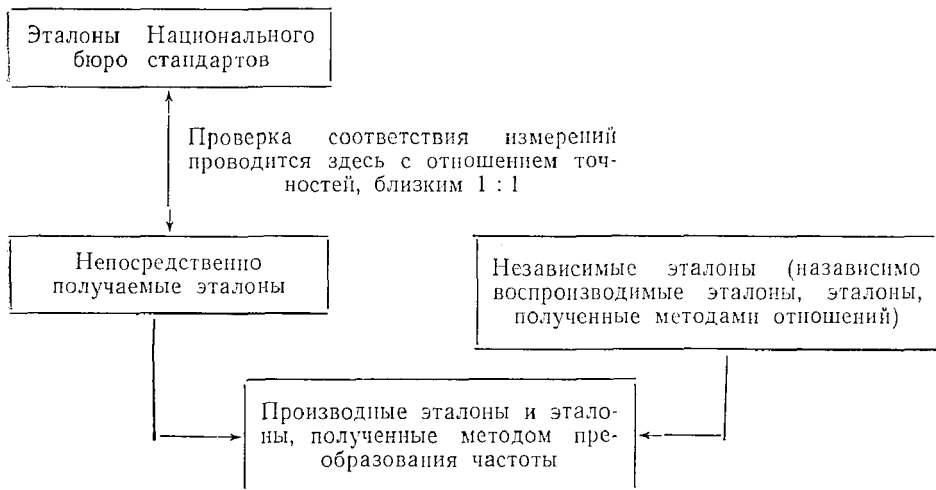


Фиг. 6.24. Прямые и косвенные методы получения эталонов.

В организационном и административном плане очень важным звеном являются техники, использующие откалиброванные приборы. Любое слабое звено в цепи, определяющей точность измерений, недопустимо; при совершении ошибок персоналом, непосредственно выполняющим измерения, высокая точность, достигнутая в лабораториях стандартов при калибровке приборов, будет сведена к нулю. Наивное представление о том, что выполнять измерения может любой человек, ничем не обосновано, особенно если учесть наблюдаемые время от времени расхождения в результатах измерений, повреждение чувствительных приборов и неправильное обращение с ними. Нигде результаты этого не ощущаются столь наглядно, как в приборах, получаемых лабораториями стандартов для калибровки.

Калибровку и ремонт приборов часто можно значительно упростить, а точность измерений повысить, организовав серьезную под-

готовку персонала, работающего в области измерений и измерительных приборов. Обучение позволяет снизить расходы, вызываемые повреждением приборов и неправильным обращением с ними, и способствует получению правильных результатов испытаний и сокращению сроков испытаний и измерений. Руководящий и адми-



Ф и г. 6.25. Взаимосвязь между эталонами различного типа.

нистративный персонал должен иметь четкое представление о важности калибровки измерительных приборов, правильно руководить работами по калибровке и выполнению измерений, знать способы согласования измерений и другие методы оценки, позволяющие определить, является ли хорошим принятый порядок калибровки и выполнения измерений.

Точность нельзя определять, основываясь на слепой вере в показания прибора, путем повторного снятия этих показаний или исходя из чувствительности используемых приборов. Точность должна определяться с помощью калибровки в сочетании с соответствующим анализом и оценкой различных источников ошибок, которые могут возникать в процессе калибровки. Правильный порядок калибровки обеспечивает прочную основу для доверия к производимым измерениям. Задача лабораторий стандартов заключается в обеспечении доверия к приборам путем проведения калибровок.

6.146. Получение вторичных эталонов. Одной из основных особенностей калибровки является то, что она представляет собой процесс сравнения прибора или стандарта со стандартом, который имеет более высокую точность. Этот более точный стандарт представляет собой прибор или эталон, калибровка которого произведе-

на в Национальном бюро стандартов или хотя бы с помощью приборов или эталонов, точность которых проверялась с помощью приборов Национального бюро стандартов.

Только обращение к эталонам не гарантирует получение совместимой системы измерений и стандартов, так как оно представляет собой лишь одно из нескольких необходимых для этого условий. Однако обращение к эталонам является очень важным и одним из решающих факторов, так как строгий анализ принципов получения вторичных эталонов и рассмотрение всех смежных вопросов позволяют лучше понять все факторы, влияющие на создание совместимой системы измерений и стандартов.

Существует несколько способов получения вторичных эталонов: непосредственный, косвенный, путем преобразования частоты, путем расширения диапазона и с помощью стандартов, производных от основных эталонов, как показано на фиг. 6.24. Эти способы используются для получения применяемых в настоящее время вторичных эталонов для самых различных мер, имеющих различную точность, различные интервалы значений и различные диапазоны частот.

Кроме вторичных эталонов, получаемых различными способами из основных эталонов, существуют определенные виды независимых стандартов, которые также следует рассмотреть (фиг. 6.25). Один из них составляет класс независимо воспроизводимых стандартов, т. е. стандартов, которые зависят от принятых значений физических констант. Типичными примерами являются криптоновый источник оранжевого света на криптоне-86, используемый как эталон длины, и микроволновый стандарт частоты с использованием цезиевой дуговой лампы. Другой общий класс независимых вторичных стандартов охватывает стандарты, полученные путем самокалибровки с использованием методов калибровки по соотношениям, описанным в документах Национального бюро стандартов и других материалах.

Метод, называемый согласованием результатов измерений, обеспечивает повышение доверительного уровня стандартов, полученных косвенными методами, или стандартов, относящихся к категории независимо воспроизводимых. Под согласованием результатов измерений понимается достижение или превышение заданного доверительного уровня точности калибровки, подтверждаемое тем, что аналогичные результаты получаются при калибровке приборов с помощью двух или большего числа калибровочных устройств. Обычно это достигается путем калибровки одного и того же прибора с помощью двух или большего числа калибровочных устройств, устойчивое выборочное значение представляет искомую величину.

Так, в отделениях Национального бюро стандартов США в Бюлере и Вашингтоне при калибровке резисторов с номиналом 1 ом

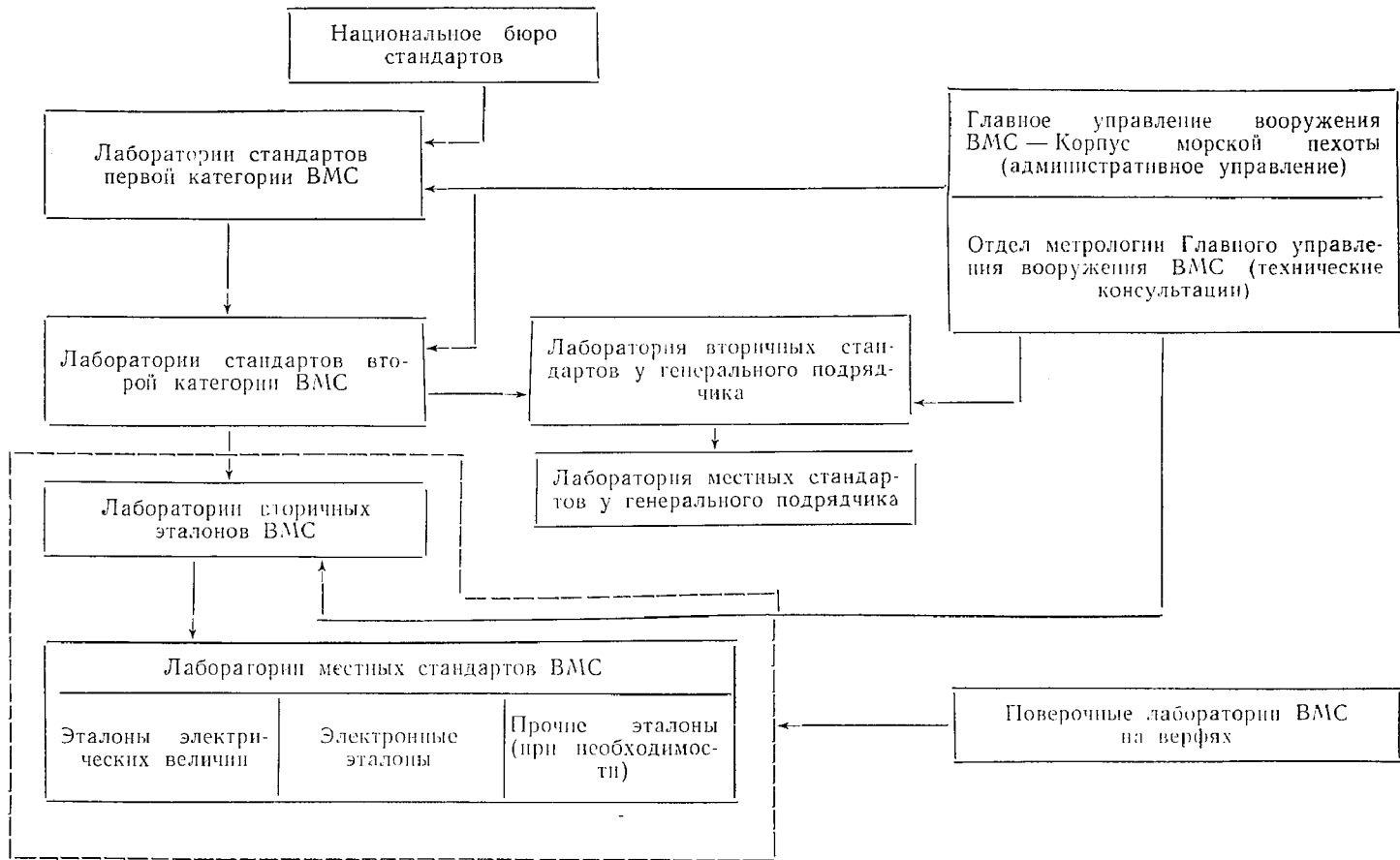
было получено согласование результатов измерений с отклонением, составившим примерно $1,2 \cdot 10^{-6}$. Согласование результатов измерений позволяет также повысить точность вторичных эталонов, обеспечивая соотношение между данным вторичным эталоном и следующим по точности стандартом, близкое 1:1. Это особенно важно в тех случаях, когда Национальное бюро стандартов предлагает услуги по калибровке, но при этом требования к точности калибруемых стандартов по существу те же, что и к точности самих эталонов Национального бюро стандартов.

В этом случае часто можно установить собственные стандарты с помощью косвенных методов или метода отношений, а затем произвести перекрестную сверку с эталонами Национального бюро стандартов путем согласования результатов измерений и после необходимых коррекций добиться соответствия собственных стандартов с эталонами Национального бюро стандартов, близкого 1:1.

Соотношение 1:1 обычно называют отношением точностей, которое можно определить как отношение точности системы калибровки к точности, установленной для стандарта или прибора, калибруемого с помощью данной системы. Часто отношение точностей примерно равно 2:1, а в некоторых случаях возрастает даже до 10:1. Причиной этого является некоторое ухудшение точности аппаратуры по сравнению с точностью стандартов, относительно которых проводится сравнение.

Оценку точности приборов и стандартов по возможности необходимо производить при покупке стандарта или прибора. Неплохо также повторить оценку в ходе приемочных испытаний и первоначальной калибровки. Однако даже после покупки прибора независимо от того, куплен ли он организацией или получен в порядке поставки, в общем случае желательно периодически производить повторную оценку. Такая оценка не требует специальных усилий, так как периодические повторные калибровки, которые необходимы для большинства приборов и вторичных эталонов, обеспечивают в значительной степени получение нужной информации. Дополнительную информацию можно получить из ведомостей ремонта, где приведены сведения о частоте ремонта и его характере (т. е. капитальный или текущий).

В дополнение к опыту, накопленному в вопросах эксплуатации, ремонта, стабильности калибровки и т. п., особенно желательно получить оценку от внешних лабораторий. Это не только дает общую основу для сравнения нескольких аналогичных типов приборов, но и позволяет провести сравнение конкретных методов и средств измерения или калибровки. Другое преимущество лабораторной оценки заключается в том, что она позволяет определить возможность использования соответствующей поверочной аппаратуры, которой располагает фирма, и ее соответствие требованиям инженерной психологии. На фиг. 6.26 представлена структурная схема



Ф и г. 6,26. Порядок калибровки измерительных приборов в ВМС и у генерального подрядчика.

программы калибровки корабельной измерительной аппаратуры, принятой ВМС и генеральными подрядчиками.

6.15. ПРОГРАММА ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ И ТЕКУЩИХ КОРРЕКТИРОВОЧНЫХ РАБОТ

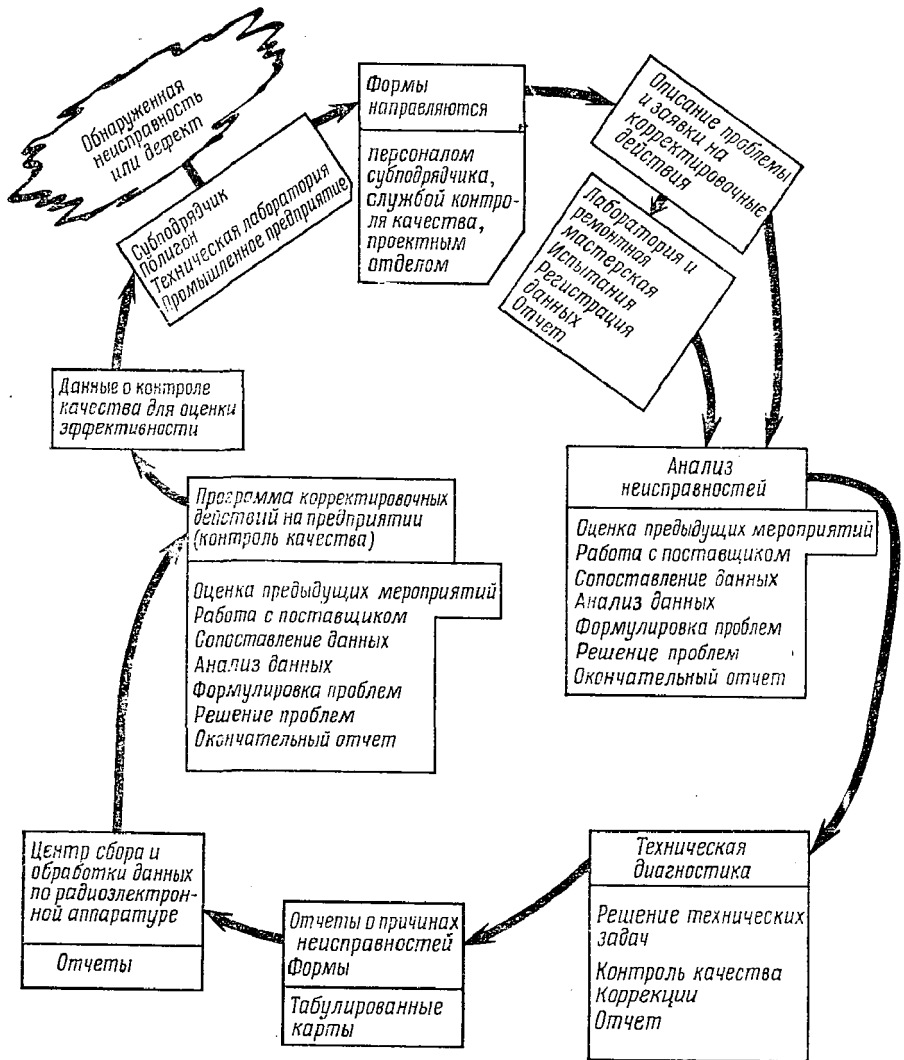
При составлении программ обеспечения надежности и контроля качества необходимо уделять серьезное внимание предупреждению ненадежности. Проведение корректировочных работ значительно упрощается, если разработаны эффективные меры профилактики, имеющие целью предупреждение ошибок и отказов. Экономии можно получить не только за счет корректировочных работ, но и за счет уменьшения числа отказов и снижения затрат на их отыскание. Хотя стоимость профилактических работ на начальной стадии может быть несколько выше, уменьшение числа дефектов вполне компенсирует некоторые дополнительные расходы. Снижение затрат на обеспечение надежности и качества имеет в данном случае характер цепной реакции; при повышении надежности уменьшается необходимость в повседневных проверках и испытаниях.

Надежность и качество изготовленного изделия отражают степень удовлетворения требований конструкторов. В свою очередь эти требования являются результатом учета пожеланий заказчика, сформулированных в виде требований к надежности и записанных в технических условиях. Разработчик весьма заинтересован в получении информации в процессе испытаний, производства и эксплуатации продукции, что позволяет ему повысить надежность продукции на начальном этапе проектирования. Для осуществления этого важно разработать количественные методы, помогающие прогнозировать надежность, а также найти способы решения технических проблем, представляющие собой возможные источники затруднений. На фиг. 6.27 изображена примерная программа, позволяющая определить возможные улучшения конструкции для повышения надежности в процессе технического проектирования.

6.15а. Анализ материалов технического проектирования, контрактов и технических условий. Одним из наиболее важных видов деятельности, предупреждающих дорогостоящие ошибки и переделки, является анализ контрактов, правительственных технических условий и технических проектов с целью определения требований к качеству и надежности и формулирования связанных с ними конкретных задач. После того как задачи будут сформулированы, важно включить требования по обеспечению надежности и качества в соответствующие технические условия и методы контроля.

В одной из фирм для анализа контрактов, технических условий и технических чертежей установлен порядок, обеспечивающий получение службой надежности и контроля качества копий этих документов. Отдел контроля качества получает технические чертежи

из отдела контроля продукции. Затем служба контроля качества отбирает чертежи на элементы, влияющие на качество изделия; отобранные чертежи направляются в соответствующее отделение



Ф и г. 6.27. Замкнутый цикл программы проведения корректировочных действий.

службы контроля качества или службы обеспечения надежности для анализа. Здесь чертежи изучаются специалистами, которые проверяют, были ли учтены необходимые требования. К чертежам прилагается карточка, в которой предусмотрено место для отметки

о приемке чертежей и для перечня недостатков. В случае обнаружения недостатков данные о них установленным порядком передаются в конструкторский отдел, а карточка хранится в картотеке текущих вопросов, пока недостатки не будут устранены. Аналогичный порядок применяется для эффективного контроля технических условий и контрактов.

6.15б. Программа корректировочных действий. В плане работ по контролю качества должны предусматриваться меры по выявлению проблем, затрудняющих обеспечение качества и надежности, и соответствующие корректировочные мероприятия. К числу основных факторов, влияющих на качество или надежность, можно отнести:

1. Основные проблемы, связанные с обеспечением качества (как в отношении уровня качества, так и в отношении соответствия стандартам).
2. Нарушения технологического процесса или ошибки операторов.
3. Корректировочные меры, связанные с работой людей, машин и т. п.

Ответственность за разрешение проблем, затрудняющих обеспечение качества, не должна возлагаться на отделы, разрабатывающие требования к качеству. Ответственность за устранение отклонений изделий от стандартов должна возлагаться на персонал, отвечающий за удовлетворение требований, предъявляемых к изделию. Для выбора наилучшего метода анализа необходимо классифицировать проблемы, затрудняющие обеспечение качества, по соответствующим типам.

После проведения необходимых корректировочных действий следует проверить полученные результаты и оценить достигнутый прогресс. Инженер службы контроля качества должен уделять особое внимание тем областям, в которых могут быть получены наилучшие результаты. На фиг. 6.28 приведена форма отчета о корректировочных или профилактических мероприятиях, используемая в одной из фирм для документального отражения мер, необходимых для устранения отклонений.

Служба обеспечения надежности и контроля качества может внести существенный вклад в снижение затрат путем систематических проверок задержек в производстве из-за переделок вследствие недостаточной квалификации, отсутствия согласованных планов и нереальных требований в технических условиях. Оценка причин задержек, источником которых являются неудачные решения по вопросам обеспечения качества и надежности, позволяет усовершенствовать порядок проведения корректировочных работ.

Службы контроля качества и обеспечения надежности должны осуществлять анализ отчетов об отказах и о дефектах; результатом такого анализа должны явиться эффективные корректировочные действия.

6.15в. Ответственность за гарантию качества. Ответственность перед заказчиком за гарантию качества возлагается на высшее руководство, инспекторов и руководителей подразделений, занимающихся проектированием и изготовлением изделий, контролем качества и обеспечением качества изделий при эксплуатации. Изделие, удовлетворяющее всем требованиям заказчика, является наилучшим фактором, обеспечивающим расширение сбыта.

Инженер-конструктор всегда отвечает за конструкцию и ее надежность и рабочие характеристики. Однако следует напомнить, что служба контроля качества и обеспечения надежности должна обращать внимание инженеров-конструкторов на типы происходящих отказов и необходимые корректировочные действия.

Изделие должно быть изготовлено в соответствии с чертежами конструктора. Если изделия соответствуют всем требованиям с самого начала, то достигается большая экономия средств, так как нет необходимости в переделках и затратах труда при передаче изделия заказчику.

Служба обеспечения качества изделий при эксплуатации должна поддерживать тесную связь с заказчиком на протяжении всего срока службы изделия. Отчеты об эксплуатации изделий заказчиком представляют собой ценные источники информации, поскольку здесь изделия используются именно в тех условиях, для которых они проектировались и изготавливались. Быстрое проведение улучшений и выполнение корректировочных работ на основе информации, поступающей от заказчика, могут сыграть важную роль в укреплении деловых взаимоотношений между изготовителем и потребителем.

Обязанности высшего руководства и инспекторов по вопросам гарантии качества заключаются в постановке перед службой обеспечения качества и надежности соответствующих задач и выделении средств, достаточных для подбора квалифицированного персонала и приобретения необходимого оборудования и аппаратуры.

6.16. КАЧЕСТВО ТЕХНИЧЕСКИХ ПУБЛИКАЦИЙ

Задача руководства в области контроля качества технических изданий состоит в организации системы, которая отвечала бы как собственным потребностям, так и потребностям заказчика. Руководство должно быть уверено в том, что система работает на основе календарного плана. В обязанности руководства входит также периодическое наблюдение за результатами действия системы. Оно должно быть уверено в том, что система является эффективной.

Необходимо добиваться четкого взаимопонимания между поставщиком и заказчиком в вопросах, касающихся различных требований, с тем чтобы достигнуть уверенности в правильности и точности технических данных и в их своевременной публикации. Это

Номер контракта _____ Номер заказа на поставку _____

Техническое руководство (справочник)

Предварительно

Окончательно

	Элементы	Пол- но- стью	Час- тично	Ин- декс	Дата
1.	Применяемые правительственные технические условия				
2.	Применяемые правительственные стандарты				
3.	Применяемые правительственные правила				
4.	Применяемые технические условия подрядчика				
5.	Применяемые стандарты подрядчика				
6.	Применяемые методы испытаний подрядчика				
7.	Допускаемые отклонения				
8.	Уведомление об изменениях в контракте				
9.	Правила обеспечения секретности				
10.	Форма для технических условий				
11.	Текст технических условий				
12.	Иллюстрации к техническим условиям				
13.	Требуемые специальные данные				
14.	Требуемые инженерные данные				
15.	Назначенная правительственная номенклатура				
16.	Назначенная коммерческая номенклатура				
17.	Комплекующие детали				
18.	Подготовка клише				
19.	Представление графических работ				
20.	Принципиальные и монтажные схемы				
21.	Условия компоновки				
22.	Согласование технического содержания				
23.	Просмотр чернового экземпляра				
24.	Просмотр машинописного экземпляра				
25.	Просмотр готовых негативов				
26.	Одобрение составителем				
27.	Приемка техническим редактором				
28.	Утверждение для передачи в правительственную инспекцию				

Фиг. 6.29. Контрольный бланк для окончательной приемки технических публикаций.

особенно важно во взаимоотношениях между генеральным подрядчиком, субподрядчиком и заказчиком. Для обсуждения требований и их уточнения необходимо проводить совещания с участием поставщиков, заказчика и генерального подрядчика. Эти требования должны быть зафиксированы в официальном отчете о работе или в технических условиях и использованы в технических руководствах для конкретного изделия или системы.

Персонал, контролирующей качество технических публикаций, должен включать специалистов, имеющих опыт работы в области технических публикаций. Для работы по обеспечению качества технических данных и связанных с ними публикаций лучше всего подходят лица, окончившие колледжи или другие высшие учебные заведения и имеющие техническую и редакторскую подготовку, что необходимо для успешной работы с инженерами-конструкторами. Эти люди должны отличаться аккуратностью в работе, настойчивостью и последовательностью в достижении цели.

Технические публикации обычно готовятся отделом технического обеспечения совместно с редакционно-издательским отделом. В некоторых случаях имеется редакционно-издательское отделение, которое входит в состав технического отдела. В других организациях может оказаться целесообразным подчинить редакционно-издательский отдел руководителю отдела материально-технического снабжения или отделу обслуживания заказчика.

Отдел технического обеспечения составляет техническую информацию и оказывает помощь в ее издании. С точки зрения технического содержания и точности публикации просматриваются редакционно-издательским отделом совместно с отделом технического обеспечения. Для обеспечения единообразия, правильности содержания и точности технических публикаций разрабатываются специальные виды контрольных листов. Это могут быть контрольные листы для редактора в организации субподрядчика и для группы контроля качества публикаций. На фиг. 6.29 и 6.30 показаны примеры названных форм. Некоторые заказчики требуют сохранять такие контрольные листы в течение определенного периода времени.

До выпуска технических публикаций соответствующая группа контроля качества должна просмотреть их и принять участие в проверке их приемлемости с точки зрения правильности оформления и соответствия стандартам качества. Служба контроля качества должна также координировать работу по внесению необходимых изменений с ответственными отделами с целью обеспечения качества публикаций и соответствия возможностям заказчика в отношении обслуживания и эксплуатации.

Наилучшее обоснование и подтверждение технические публикации получают при использовании поставщиком инструкций по обслуживанию и эксплуатации систем и аппаратуры во время факти-

Техническая инструкция _____	Программа _____	Наименование справочника _____										
Ведомость комплектации _____		Дата выпуска _____										
Восиные технические условия _____		Составитель _____										
Контролер внутренней инспекции _____												
Редактор _____	Составитель				Редактор				Контроль качества			
Комплектность _____	отмет-ка об испол-нении	откло-нено	отмет-ка об испол-нении	приня-то	отмет-ка об испол-нении	откло-нено	отмет-ка об испол-нении	приня-то	отмет-ка об испол-нении	откло-нено	отмет-ка об испол-нении	приня-то
Проверено _____												
Номер технической инструкции	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Группа секретности	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Оформление												
Разметка разделов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Разметка параграфов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Запасной экземпляр	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Размер страницы	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Тип и размер шрифта	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Иллюстрации и таблицы	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Качество печати												
Текст	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Штриховые рисунки	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Фотографии	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Нумерация и расположение рисунков	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Нумерация страниц и параграфов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Титульный лист	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Страница «А»	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Оглавление	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Алфавитный указатель	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Предметный указатель	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Список литературы	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Грамматика	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ясность и стиль изложения	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Единство терминологии	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Правильность фотографий и вклеек	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Указатель сокращений	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Библиография	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Единообразие нумерации параграфов, рисунков и таблиц	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Примечания и сноски	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Качество негативов	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Перечень комплектующих деталей	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Перечень иллюстраций	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Штриховые чертежи	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Примечания:												

Ф и г. 6.30. Бланк контроля качества технических публикаций.

ческой демонстрации их работы. Инструкции должны содержать данные о комплектации изделия в соответствии с контрактом и должны быть понятны для пользующегося ими персонала. Инструкции по эксплуатации аппаратуры должны быть полными и четкими, а также учитывать требования инженерной психологии и безопасности.

Необходимо фиксировать расхождения в технических публикациях с целью внесения необходимых исправлений, а также для составления отчетов. Расхождения в технических публикациях могут регистрироваться на специальных бланках; затем эта информация передается для обработки на ЭВМ. На основе полученных данных служба контроля качества может провести статистический анализ и сформулировать свои рекомендации по внесению необходимых исправлений.

6.17. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Преимущества двойной проверки продукции признаны уже много лет назад в связи с непрерывным применением программ контроля качества. Аналогичным образом в последнее время была признана необходимость повторной проверки рабочих характеристик, когда началось внедрение программ обеспечения надежности. Контроль качества со стороны руководства принимает характер двойной проверки только в том случае, когда руководство проверяет работу службы контроля качества и обеспечения надежности так же, как эта служба проверяет качество изделий. Цель организованной проверки в этом случае заключается в представлении руководству второго, более полного отчета о том, что выполняются все требования к качеству и надежности продукции. Эта проверка позволяет инженеру по обеспечению качества выявить вопросы, вызывающие затруднения, и определить эффективность планирования; результаты наблюдений докладываются руководству.

Если все виды выпускаемой продукции взаимосвязаны и изделия являются относительно сложными, то может оказаться целесообразным создание (по требованию соответствующих отделов) небольшой группы ревизоров, опыт и подготовка которых позволяют им специализироваться на методах проверки. В любых условиях персонал, отобранный для проверки качества, должен иметь хорошую квалификацию, опыт, отличаться доброжелательностью и тактом и вместе с тем настойчивостью и пытливостью. Он должен быть знаком с продукцией той отрасли, в которой ему поручено проводить проверки, и глубоко знать применяемые методы и технологические процессы.

Хотя выбор объектов проверки всегда представляет определенную проблему, тем не менее можно указать следующие вопросы, охватываемые проверками:

1. Анализ технических проектов.
2. Эффективность технического контроля и испытаний.
3. Контроль комплектации.
4. Контроль технологических процессов.
5. Квалификация рабочих и служащих и эффективность обучения.
6. Соответствие требованиям инструкций и методик.
7. Эффективность плана контроля качества.
8. Правильность маркировки материалов.
9. Технические руководства и данные.
10. Калибровка приборов и контрольно-испытательной аппаратуры.

Наблюдение за проверками, испытаниями и контролем технологических процессов составляет важную часть программы контроля качества и позволяет оценить соблюдение технических стандартов и требований заказчика. Проверка службой контроля качества и обеспечения надежности таких косвенных функций по обеспечению качества, как испытания, взятие выборок, инспекционный контроль и регистрация наблюдений сотрудников, является ценным инструментом контроля качества продукции. Инженеры службы контроля качества, по-видимому, не могут самостоятельно решить все проблемы, так как проводимая ими проверка завершается лишь документом, играющим вспомогательную роль. Многие проблемы, обнаруживаемые при проверках, должны передаваться для разрешения в другие подразделения организации.

Предполагается, что конкретная цель проверки и время ее проведения в каждом отдельном случае различные. Если о проверке известно заранее, то возможна заблаговременная подготовка в рассматриваемой области и проверка позволит лишь вскрыть недостатки в подготовке. Рекомендации, которые будут сделаны после проверки, проведенной в условиях, не отражающих действительного положения вещей, могут породить еще больше проблем, чем их существовало до проверки.

Многие проверки могут проводиться по указанию высшего руководства или по рекомендациям консультативного органа. Производственно-технические подразделения или группы анализа экономической эффективности могут обращаться за помощью по вопросам технического обеспечения качества, что позволит повысить общую эффективность усилий по обеспечению высокого качества продукции.

Причинами, побуждающими руководство давать указания о проверках, могут быть следующие: претензии заказчика, невыгодное соотношение между прибылью и объемом сбыта, неблагоприятное состояние производства, результаты технического контроля, предложения сотрудников, проблемы качества и безопасности, обнаруживаемые в результате несчастных случаев на производстве.

Разумеется, при проведении проверок по указанию высшего руководства инженер по контролю качества облачается всеми требуемыми полномочиями. Иногда инициативное руководство может потребовать проверки без каких-либо видимых причин, просто с целью убедиться в том, что работа протекает в соответствии с намеченным планом, или же удостовериться в том, что задача обеспечения качества выполняется правильно.

Проверки, выполняемые в процессе повседневной работы по обеспечению качества, а также по указанию руководства, могут носить обычный характер, но могут потребоваться и непериодические проверки с целью исключения влияния предварительной подготовки. Выбор объектов проверки в пределах названных широких направлений зависит от следующих факторов:

1. Изменчивость причин, вызывающих заводской брак, отбраковку продукции в процессе приемочного контроля и функциональные отказы.
2. Отклонения от заданных условий запланированной операции.
3. Неправильное понимание чертежей и технических указаний.
4. Различия в записях, ведущихся производственным персоналом и персоналом службы контроля качества.
5. Сложность или чрезмерно большое число технологических процессов.
6. Повторяемость и точность операций при приемочном контроле и испытаниях.

На фиг. 6.31 показано содержание типовой проверки состояния качества. По результатам проверки качества составляется отчет и принимаются определенные меры. Практическая польза проверки заключается в исправлении обнаруженных с ее помощью недостатков. Поскольку одной из задач контроля качества является документальное отражение опыта, производимые проверки играют двоякую роль: документальное отражение первоначального обследования и документальное отражение обследования результатов последующих действий. Документальные результаты проверки скрепляются подписью руководителя, которому подчиняется инженер по контролю качества.

В результате проверок и последующих повторных проверок, проводимых службой контроля качества или службой обеспечения надежности, выпускаются отчеты с официальными выводами, представляемые руководству соответствующего уровня. При отсутствии других указаний отчет направляется также руководителям всех обследованных подразделений. Важную часть отчета составляют рекомендации по улучшению работы, которые должны быть сформулированы кратко и четко с тем, чтобы на их основе руководство могло принять определенные решения.

	Да	Нет	Повторная проверка		Замечания
			да	нет	
1. Проводится ли приемка работ по переделкам и ремонту в соответствии с заданной методикой? (Инструкция отдела контроля качества QCDD G-1)					
2. Применяются ли специальные проверки для предупреждения повторных отклонений от нормы? Достаточны ли они? (Руководство по контролю качества QCSDM I-0-1)					
3. Согласованы ли методики демонстрации гарантированного срока службы и характеристик? (Инструкции отдела контроля качества QCDD G-27 и QCDD I-40)					
4. Правильно ли осуществляется контроль герметизированных блоков? (Инструкция отдела контроля качества QCDD I-27)					
5. Производятся ли инспекционные проверки складских помещений в соответствии с инструкцией QCDD I-3?					
6. Используются ли шлифовальная мастика и лак в соответствии с требованиями, изложенными в инструкции QCDD K-18?					
7. Удовлетворительна ли методика окончательной приемки полностью собранного узла и выполняется ли она? (Инструкция отдела контроля качества QCDD I-31)					
8. Позволяет ли контроль до приемки убедиться в отсутствии во всех блоках слабо закрепленных элементов?					
9. Правильно ли осуществляется сокращение контроля? (Инструкция отдела контроля качества QCDD I-27)					
10. Производится ли представление отчетов о неудовлетворительном состоянии продукции в соответствии с инструкцией QCDD G-33?					
11. Оказывают ли проводимые проверки влияние на надежность и обслуживаемость? (Инструкция отдела контроля качества QCDD G-42)					

А. В. Смит

Подтверждение приемки при повторной проверке

Фиг. 6.31. Контрольный лист по обеспечению качества.

6.18. ОТЧЕТЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РУКОВОДСТВОМ

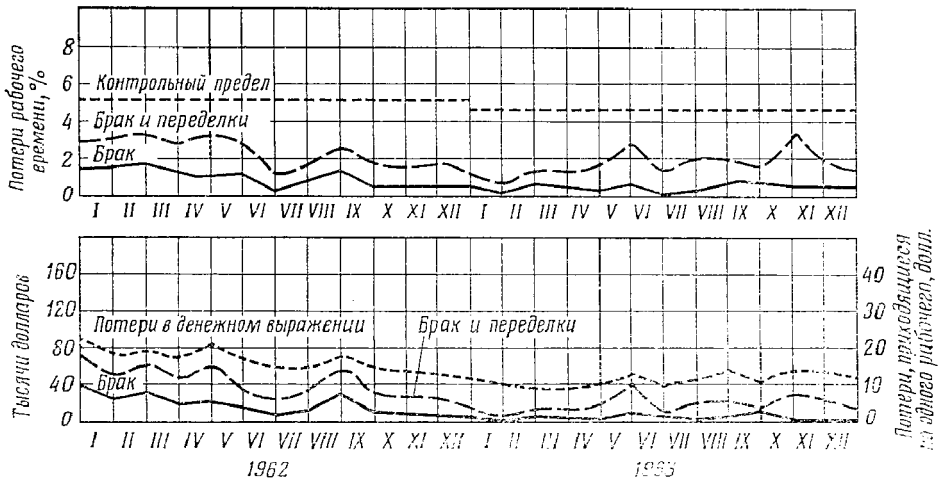
Руководители должны контролировать работу, за которую они несут ответственность. Для этого требуется точная информация для оценки обычных или особых ситуаций. Руководитель сможет принять наилучшие решения, если он своевременно получает простые и доступные для понимания отчеты. Своевременное представление отчетов способствует проведению предупредительных мер и предотвращению излишних потерь. В результате своевременного принятия решений и проведения соответствующих профилактических мероприятий возможно снижение затрат в 10 и более раз.

Поскольку запланированная задача должна выполняться в соответствии с требованиями, установленными руководством, ответственные лица обязаны систематически информировать руководителя о достигнутом прогрессе. Обязанности руководителя отдела по контролю за выполнением задачи охватывают четыре направления деятельности. Руководитель должен убедиться в том, что существуют понятные или доступные «вехи» либо стандарты, позволяющие оценивать прогресс, достигнутый при выполнении задачи. Эти «вехи» должны быть составной частью первоначальных планов обеспечения надежности и контроля качества, необходимых для выполнения задачи. Прогресс в выполнении запланированной задачи должен точно измеряться и отражаться документально. Результаты этих измерений необходимо затем объяснить и оценить, с тем чтобы их можно было сопоставить с первоначально запланированными. Результаты этих измерений могут выражаться через убытки вследствие брака и отказов, стоимость выполненной работы, затраты на удовлетворение рекламаций и проведение испытаний. Если наблюдается отклонение от первоначального плана, то руководитель должен предусмотреть выполнение необходимых корректировочных работ с тем, чтобы направить решение задачи в нужном направлении. Таким путем руководство осуществляет полный контроль и получает данные о том, что достигнутые надежность и качество изделий вполне соответствуют требованиям, установленным условиями контракта с заказчиком.

Отчеты, направляемые руководству, обычно представляют собой выборку данных, собранных различными специалистами. Необходимо определить функциональные обязанности внутри организации для того, чтобы обеспечить точное документальное отражение этих данных в соответствующей форме. Чтобы иметь эффективную систему сбора и представления данных, эта обязанность не должна возлагаться на группы, непосредственно обеспечивающие надежность и качество продукции. Необходима общая координация усилий в распределении большого объема информации, влияющей на

достижение оптимальной надежности и качества продукции. В случае необходимости группа должна поддерживать тесный контакт с производственным персоналом, получая сведения о выпускаемой продукции и оказываемых услугах.

Настоящее испытание для службы обеспечения надежности и контроля качества наступает, когда руководству требуется узнать,



Ф и г. 6.32. График суммарных потерь рабочего времени и денежных средств.

соблюдаются ли установленный стандарт надежности и качества продукции на протяжении всего производственного процесса. Руководители всех уровней обязаны представлять вышестоящему руководству краткие отчеты о достигнутом прогрессе, возникающих проблемах и запланированных мероприятиях. При этом они непременно должны знать, какой материал необходимо помещать в отчет. На руководителя службы надежности и контроля качества возлагается ответственность за координацию всех материалов и составление общего отчета, так как работа по обеспечению надежности и контролю качества охватывает большое число различных этапов производственной деятельности и взаимоотношений с заказчиком. Характер отчетности может зависеть от типа организации. Поскольку разные руководители работают в различных условиях, порядок отчетности перед вышестоящим руководством должен быть тщательно продуман с учетом этих условий.

Для типичного промышленного предприятия характерны следующие виды отчетов:

1. Периодические отчеты по планированию и реализации программ обеспечения надежности и контроля качества.

	Техническое обеспечение			Контроль производства			Инструменты		
	%	затраты, долл.		%	затраты, долл.		%	затраты.	
1962									
Январь	0,10	1 011		0,02	257		0,16	2 703	
Февраль	0,06	1 134		0,01	116		0,20	5 178	
Март	0,06	969		0,02	363		0,10	1 702	
Апрель	0,06	1 026		0,03	481		0,11	1 936	
Май	0,03	391		0,02	238		0,08	1 066	
Июнь	0,02	327		0,003	70		0,04	810	
Июль	0,01	74		0,02	327		0,13	2 133	
Август	0,16	3 560	*	0,01	141		0,06	1 420	
Сентябрь	0,06	945		0,00	00		0,04	576	
Октябрь	0,08	1 328		0,04	695		0,11	1 770	
Ноябрь	0,05	797		0,003	49		0,03	565	
Декабрь	0,00	00		0,002	24		0,13	1 700	
Всего	0,06	11 562		0,01	2 761		0,11	21 589	
1963									
Январь	0,02	299		0,00	00		0,06	970	
Февраль	0,002	31		0,001	6		0,26	3 299	
Март	0,008	101		0,048	592		0,03	353	
Апрель	0,076	899		0,002	26		0,07	843	
Май	0,035	525		0,006	84		0,053	784	
Июнь	0,035	366		0,002	20		0,152	1603	
Июль	0,094	950		0,017	173		0,184	1 852	
Август	0,014	536		0,001	6		0,058	713	
Сентябрь	0,044	407		0,004	38		0,034	312	
Октябрь	0,105	957		0,002	16		0,146	4 066	
Ноябрь	0,027	305		0,00	00		0,137	1 566	
Декабрь	0,000	000		0,00	00		0,213	1 579	
Всего									

* Примечание. Показатели качества превосходят заданные нормы; произведен анализ.

Анализ рабочих характеристик

Ф и г. 6.33. Косвенные затраты

Контроль качества	
%	затраты, долл.

Подрядник	
%	затраты, долл.

Испытания и обслуживание	
%	затраты, долл.

Сборка	
%	затраты, долл.

0,003	49	
0,00	00	
0,01	111	
0,002	37	
0,00	00	
0,01	301	
0,004	66	
0,01	104	
0,01	130	
0,00	000	
0,01	166	
0,00	00	
0,005	96,4	

0,87	14 440	
0,80	14 455	
0,90	15 023	
0,69	12 465	
0,90	11 572	
0,19	4 028	
0,41	6 662	
1,19	26 520	**
0,52	8 614	
0,54	8 533	
0,49	8 394	
0,37	4 895	
0,65	135 520	

0,13	2 209	
0,15	2 633	
0,09	1 531	
0,40	7 347	
0,26	3 380	
0,14	2 976	
0,06	1 008	
0,15	3 403	
0,08	1 381	
0,07	1 044	
0,26	4 348	
0,20	2 658	
0,17	33 909	

0,43	7 070	
0,41	7 523	
0,20	3 398	
0,50	9 031	
0,21	2 718	
0,20	4 100	
0,18	2 879	
0,23	5 237	
0,12	1 964	
0,06	950	
0,13	2 287	
0,08	1 057	
0,23	48 186	

0,00	00	
0,00	00	
0,00	00	
0,00	00	
0,008	124	
0,008	81	
0,012	122	
0,002	26	
0,003	858	
0,014	125	
0,000	00	
0,011	85	

0,18	3 033	
0,52	6 592	
0,42	5 144	
0,65	7 689	
1,89	28 172	
0,29	3 102	
0,71	7 128	
0,60	7 377	
0,46	4 273	
0,67	6 144	
0,00	00	
0,11	85	

0,20	3 463	
0,01	125	
0,17	2 090	
0,03	323	
0,00	00	
0,00	00	
0,00	00	
0,02	204	
0,00	00	
0,01	193	
0,04	458	
0,00	00	

0,00	00	
0,02	210	
0,01	00	
0,01	148	
0,025	360	
0,00	00	
0,00	00	
0,00	00	
0,00	00	
0,00	00	
0,00	00	
0,001	9	

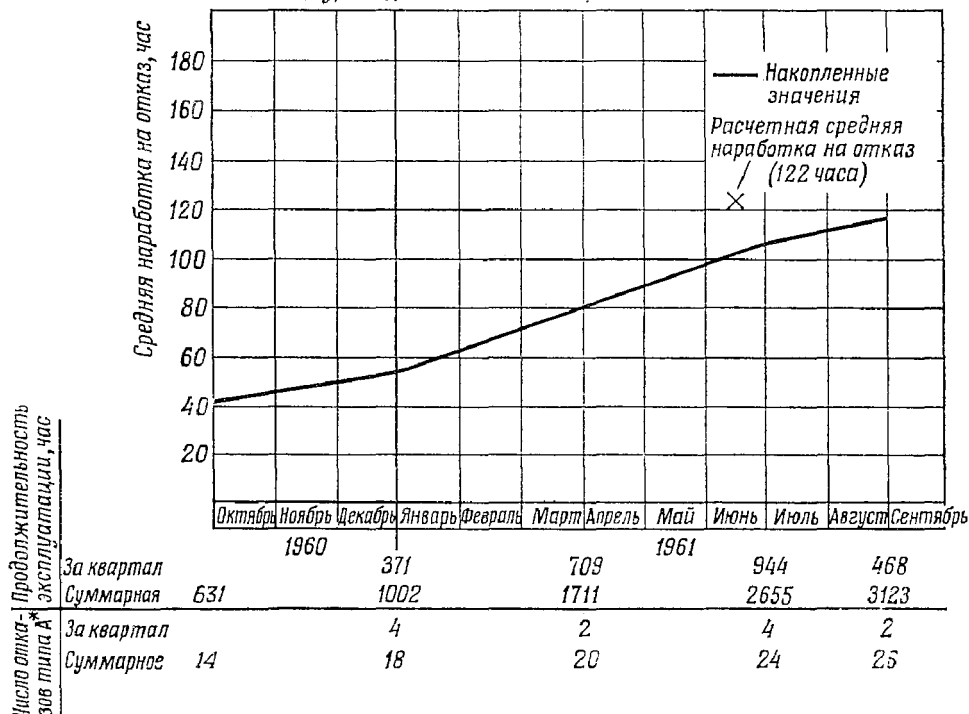
который был отмечен в отчете за соответствующий месяц

на обеспечение качества.

2. Отчеты об основных «вехах» и достижениях в области надежности.

3. Отчеты о переделках и браке (с указанием экономии или убытков).

Система: органы управления полетом (управление скоростью, высотой, курсом, режимом полета)



Ф и г. 6.34. Отчет о состоянии надежности.

Примечание. График построен по данным об отказах в полете типа А в процессе эксплуатации самолетов ВВС.

4. Отчеты о состоянии надежности (содержащие прогнозы и оценку надежности систем).

5. Отчеты о рекламациях.

Годовой отчет. В нем должны содержаться данные об экономии и убытках, а также о стоимости работ, например данные о затратах на работу отделов. Эти данные могут быть более конкретными, например может быть указано количество дополнительно приобретенного инструмента и аппаратуры, число проверенных партий продукции, процент дефектных партий, а также приведены данные об увеличении или уменьшении числа рекламаций, сделанных как на самом предприятии, так и в процессе эксплуатации изделий.

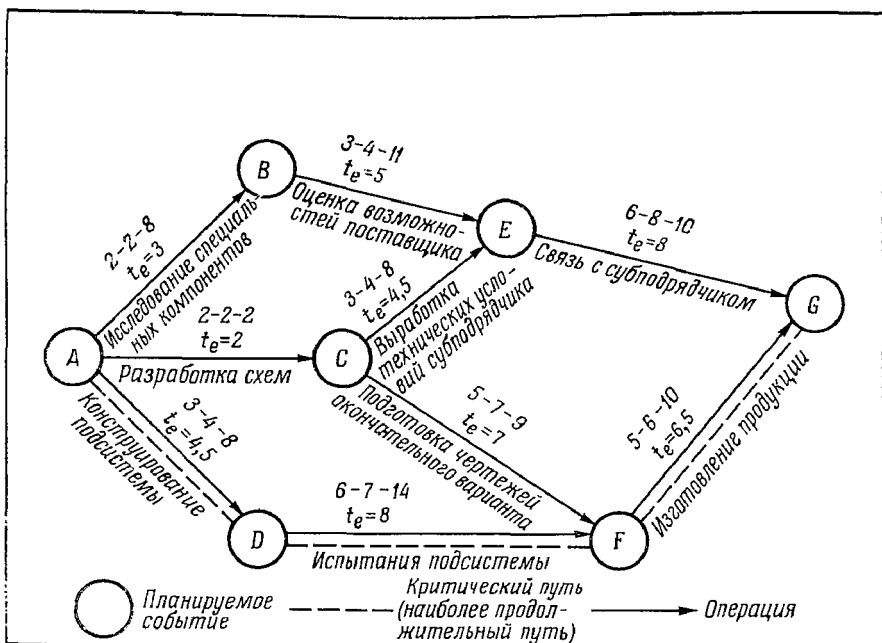
Месячные отчеты. В отчетах или ведомостях такого типа могут отражаться общие затраты на производственную деятельность (за основу могут быть приняты часовые расценки за выпуск продукции). В результате общие убытки за счет дефектов и переделок можно выразить в процентах от общей стоимости трудовых затрат. При увеличении количества дефектных изделий затраты увеличиваются и этот процент растет. При увеличении часов производственной работы без увеличения числа дефектных изделий, естественно, уменьшаются потери, выраженные в процентах. Месячный отчет должен включать графики, показывающие долю дефектных партий (в необходимых случаях с указанием областей, в которых возникают затруднения), а также данные об общем числе дефектов с классификацией их по типам. В отчете должен содержаться также анализ рекламаций, поступивших в процессе эксплуатации изделий, и возвращенных партий. Отчеты, в которых рассматриваются затруднения поставщиков и их оценки, могут оказаться весьма ценными для отдела закупок.

Еженедельные и ежедневные отчеты, содержащие информацию о дефектах, наблюдаемых в цехе, представляют ценность для мастеров.

На фиг. 6.32 представлен образец графика из месячного отчета о состоянии качества в одной из фирм, а на фиг. 6.33 — образец отчета о состоянии качества, показывающий косвенные затраты отделов. На фиг. 6.34 изображен график из отчета о состоянии надежности; здесь приведены данные о среднем времени безотказной работы самолетной системы управления полетом, полученные в процессе эксплуатации, и прогнозируемое значение среднего времени безотказной работы. Правильная и своевременная информация соответствующих должностных лиц по конкретным вопросам позволяет устранить сложные проблемы, а также предупредить появление затруднений в дальнейшем.

Руководство должно использовать преимущества новых научных методов, например производить обработку данных на ЭВМ и применять систему ПЕРТ (метод оценки и пересмотра планов). Система ПЕРТ оказалась весьма полезным инструментом для руководителей и инженеров по обеспечению надежности и контролю качества. Эта система эффективно применяется при планировании, составлении графиков работ и контроле соответствия сроков использования ресурсов, вспомогательных средств и рабочей силы намеченному плану. Она устанавливает количественные оценки времени, необходимого для выполнения задач, предусмотренных планом, с целью достижения конечных целей. Время рассматривается как общая основа календарного планирования и выполнения запланированной последовательности операций, использования оборудования и ресурсов, а также достижения необходимых технических характеристик.

Для использования системы ПЕРТ при планировании программы обеспечения надежности и контроля качества необходимо разработать контрольный показатель надежности для руководителей различных уровней, позволяющий контролировать выполнение поставленных задач. С помощью контрольного показателя предусмотренные программой обеспечения надежности и контроля качества



Фиг. 6.35. Сетевой график для ожидаемой продолжительности операций.

задачи конкретизируются путем составления сетевого графика системы ПЕРТ, в котором отражаются события и операции запланированной программы. После этого система ПЕРТ может быть использована для оценки сроков выполнения запланированных обязательств, а также для проверки полученных результатов. Соответствующую программу вычислительной машины можно несколько изменить таким образом, чтобы на печать поступали данные, показывающие, где возникают проблемы, с тем чтобы руководство с самого начала получало сведения о возможном ухудшении качества изделий и о возможном несоответствии условиям, необходимым для достижения запланированных целей надежности.

Таким образом, первым этапом при использовании системы «ПЕРТ — стоимость» является построение сетевого графика, состоящего из операций (проектные задания), которые необходимо выполнить, и событий или «вех», которые необходимо достигнуть. Се-

тевой график отражает тщательно разработанный план выполнения всех взаимосвязанных и взаимозависимых операций. Пользуясь сетевым графиком, можно легко определить отклонения относительно запланированных сроков.

На фиг. 6.35 показан типичный сетевой график системы ПЕРТ с тремя оценками сроков (оптимистическая, наиболее вероятная и пессимистическая) для каждой операции. Здесь пунктиром показан критический путь (самое большое время, необходимое для выполнения операции). Все остальные пути на сетевом графике называются ненапряженными. Значение t_c представляет собой математическое ожидание времени для каждой операции, которое определяется статистическим путем по трем оценкам времени для каждой операции.

После подготовки сетевого графика и получения оценок времени, необходимого для выполнения операций, руководитель составляет производственный график. Этот график будет основан на расчете критического пути, директивных сроках и суждениях руководства относительно целей, которые оно ставит по выполнению операций.

6.19. НАБЛЮДЕНИЕ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОЕ ЗАКАЗЧИКОМ

Возрастающая сложность современной продукции обусловила необходимость возложения заказчиком большей ответственности на каждого поставщика и поиска средств, позволяющих убедиться в том, что структура организации поставщика, применяемые им методы, оборудование и персонал достаточны для производства требуемой продукции. Для подрядчиков, выпускающих аппаратуру военного назначения, эта ответственность часто распространяется на закупки систем и подсистем, которые ранее приобретались ими по правительственным заказам и должны удовлетворять требованиям правительственных организаций.

Одной из основных задач инженеров по обеспечению надежности и контролю качества поставляемой продукции является оценка возможностей поставщиков, регистрация результатов приемочного контроля и контроль технологических процессов на предприятиях поставщиков, анализ отказов и корректировочных действий, проводимых поставщиками. Эти дополнительные мероприятия имеют одинаково важное значение для продукции как гражданского, так и военного назначения; при этом экономия часто значительно превышает дополнительные затраты на мероприятия по обеспечению надежности и контролю качества.

Между программами контроля качества и обеспечения надежности продукции, поставляемой на предприятие, имеются сходства и различия. Специалисты в области контроля качества и обеспечения надежности обязаны распространить требования генерального

контракты на субконтракты и обеспечить удовлетворительный контроль всех применяемых изделий. Обычно специалисты службы контроля качества и службы обеспечения надежности продукции, поступающей от поставщиков, принимают участие в подготовке условий субконтрактов. Обе службы оказывают помощь при переговорах с субподрядчиками, обеспечивая консультации и давая рекомендации при закупках и других операциях.

Служба контроля качества должна просмотреть все заказы на поставки производственных материалов и убедиться в том, что они отвечают необходимым требованиям к качеству и соответствуют сделанным рекомендациям и что в них указано место проведения приемочных испытаний: отправитель или получатель. Просмотр заказов на поставку сотрудниками службы надежности обеспечивает включение в контракты пунктов, касающихся технической политики фирмы, и пунктов, в которых оговорены заданные показатели надежности и требования к демонстрации надежности.

От инженеров служб обеспечения надежности и контроля качества может потребоваться проведение на месте оценочных обследований и участие в окончательном выборе поставщиков. На фиг. 6.36 показана небольшая часть формы, применяемой в одной из фирм для оценки поставщика службой контроля качества. Эта форма вместе с контрольным листом, содержащим дополнительные данные, используется для оценки возможностей организации поставщика.

Следует заметить, что у службы обеспечения надежности и службы контроля качества имеется много общих вопросов. Основные различия в проверке продукции поставщика с точки зрения надежности и с точки зрения контроля качества связаны со спецификой каждой из этих областей. Служба контроля качества наблюдает за всей системой производства и контроля качества у поставщика, а служба обеспечения надежности проверяет проектирование, испытания и демонстрацию рабочих характеристик на предприятии поставщика. Требования к надежности могут включать в себя предусматриваемые в контрактах гарантии, основанные на количественных показателях безотказной работы, а также оговоренные в контрактах меры поощрения и наказания, основанные на средней наработке на отказ и требованиях эксплуатации. Контроль качества охватывает профилактические меры и первоначальную приемку (или отбраковку) изделий, тогда как надежность обычно зависит от испытаний изделия и опыта эксплуатации его в определенных условиях в течение конечного промежутка времени.

Для контроля качества и обеспечения надежности поставок на промышленных предприятиях разработаны различные организационные структуры. Нередко служба контроля качества и обеспечения надежности разделены, но находятся на том же уровне, что и другие подразделения. Такое положение повышает значение этих

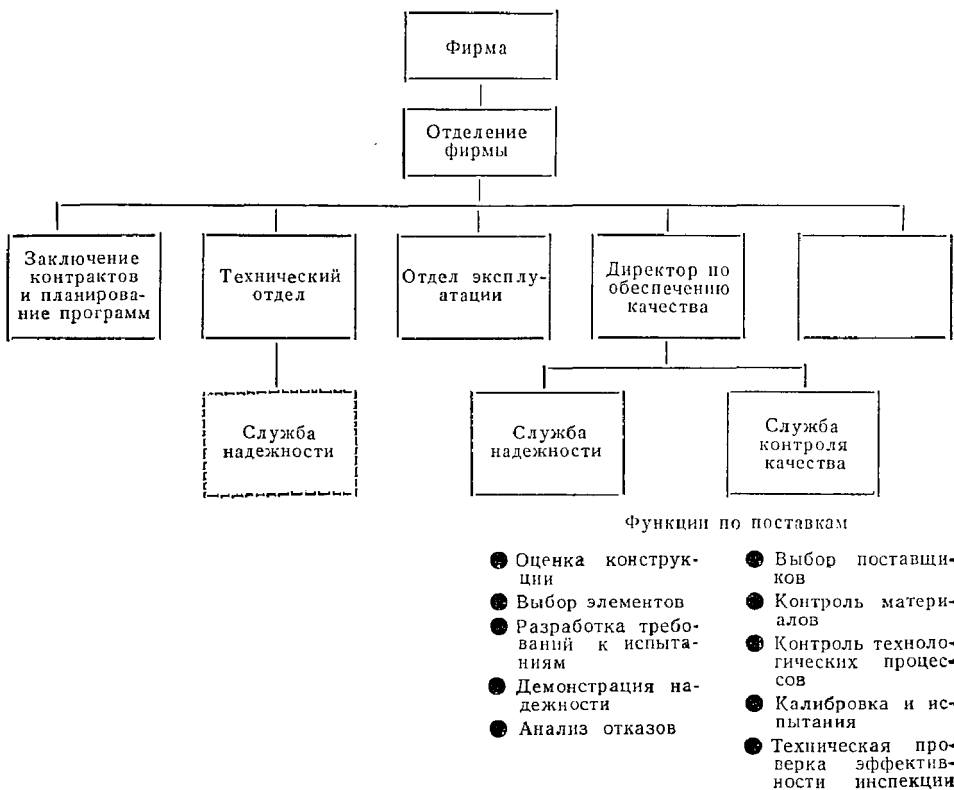
SURVEILLANCE BY CUSTOMER

VENDOR		PROCUREMENT QUALITY CONTROL VENDOR APPRAISAL SUMMARY								Date	
COMMODITY		Please Check Applicable Box Which Best Describes this Vendor's Performance.								This Column is for Tabulator's use only	
8 Quality Control Procedure Evaluation		Evaluators Comments:								SCORE	
9 Quality Control Performance Evaluation										8	
A. QUALITY CONTROL ORGANIZATION										9	
Not Applicable	Formal Quality Control Organization and Program/Performance	Quality Control Organization and program/performance Requires improvement	Extensive Revisions required in quality organization and program/performance	No formal quality control organization and program/performance							
Procedure 0	Performance 0	Procedure 1	Performance 1	Procedure 2	Performance 2	Procedure 3	Performance 3	Procedure 4	Performance 4		
B. DRAWING AND CONTRACT CHANGE CONTROL		Evaluators Comments:								8	
Not Applicable	Effective Drawing and change control procedure/performance	Drawing and Change Control procedure/performance requires improvement	Extensive Revisions required in drawing and change control procedure/performance	No drawing and change control procedure/performance							
Procedure 0	Performance 0	Procedure 1	Performance 1	Procedure 2	Performance 2	Procedure 3	Performance 3	Procedure 4	Performance 4		
C. PURCHASE ORDER, DRAWING AND SPEC'N REVIEWED BY Q.C.		Evaluators Comments:								8	
Not Applicable	Effective procedure/performance for review of Purchase Orders, Drawings and Specifications	Procedure/performance for review of Purchase Orders Drawings and specification requires improvement	Extensive revisions required in procedure performance for review of Purchase Orders, Drawings and Specifications	No procedure/performance for review of Purchase Orders, Drawings and specifications							
Procedure 0	Performance 0	Procedure 1	Performance 1	Procedure 2	Performance 2	Procedure 3	Performance 3	Procedure 4	Performance 4		
D. QUALITY CONTROL PLANNING		Evaluators Comments:								8	
Not Applicable	Effective Quality Control Planning Procedure/Performance	Procedure/Performance for Quality Control Planning requires improvement	Extensive revisions required in the Quality Control Procedure/Performance	No Procedure/Performance for Quality Control Planning							
Procedure 0	Performance 0	Procedure 1	Performance 1	Procedure 2	Performance 2	Procedure 3	Performance 3	Procedure 4	Performance 4		
E. DETERMINATION & IMPLEMENTATION of Recorded Characteristics		Evaluators Comments:								8	
Not Applicable	Effective Procedure/Performance for Determination and implementation of recorded characteristics	Procedure/Performance for Determination and implementation of recorded characteristics. Requires improvement	Extensive Revisions required in the determination and implementation of recorded characteristics Procedure/Performance	No Procedure/Performance for determination and implementation of recorded characteristics							
Procedure 0	Performance 0	Procedure 1	Performance 1	Procedure 2	Performance 2	Procedure 3	Performance 3	Procedure 4	Performance 4		
F. Control of in-process inspection including Quality Control Release		Evaluators Comments:								8	
Not Applicable	Effective Procedure/Performance for Control of inspection, including Quality Control Release	Procedure/Performance for control of in-process inspection, including Quality Control Release requires improvement	Extensive Revisions required in the Procedure/Performance for control of in-process inspection including Quality Control Release	No Procedure/Performance for control of in-process inspection including Quality Control Release							
Procedure 0	Performance 0	Procedure 1	Performance 1	Procedure 2	Performance 2	Procedure 3	Performance 3	Procedure 4	Performance 4		

Page Total _____
 Actual Score _____
 Applicable Sections _____

Ф и г. 6.36. Форма, применяемая для оценки поставщика службой контроля качества.

двух организаций и позволяет им выражать свои взгляды непосредственно высшему руководству. Однако при этом у руководителей возникают некоторые затруднения в обеспечении координированной связи внутри предприятия и с поставщиками, особенно в тех случаях, когда одна служба не информирована о намерениях другой.



Ф и г. 6.37. Схема совместного выполнения функций обеспечения надежности и контроля качества.

На фиг. 6.37 показана организационная структура, согласно которой директор по обеспечению качества представляет доклады высшему руководству. Организационная структура построена таким образом, что служба контроля качества и служба обеспечения надежности могут докладывать директору по обеспечению качества на равных правах. Представители этих служб, вероятно, будут работать в одной и той же области и в тесной связи между собой, что облегчает принятие решений по проблемам, возникающим при осуществлении такой связи. Директор по обеспечению качества

имеет также возможность знакомиться с тем, что происходит на низшем уровне, не только с помощью получаемых им отчетов.

6.20. УЧАСТИЕ В РАБОТЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЩЕСТВ

Промышленные организации понимают необходимость взаимного обмена идеями с тем, чтобы находиться на уровне современных технических достижений в области надежности и контроля качества. Одной из форм обмена опытом является участие фирм и их сотрудников в деятельности различных профессиональных и технических обществ, позволяющих осуществлять обмен опытом путем проведения конференций, симпозиумов и публикации специальных изданий.

Большинство фирм поощряют участие своих сотрудников в работе профессиональных технических обществ, так как при этом появляется возможность встречаться с представителями других организаций, имеющих сходные интересы, и расширять знания путем обмена информацией по вопросам их специальности.

Некоторые фирмы, принимая участие в работе различных технических обществ, выпускают брошюры для конференций и совещаний и предоставляют помещения для выставок и симпозиумов. Практикуется выплата фирмой членских и специальных взносов за сотрудников, являющихся должностными лицами или руководителями этих обществ, выделение необходимого времени для работы в обществах, а также обеспечение транспортом, если мероприятия проводятся в других городах.

Наилучшим показателем эффективности участия в работе технических обществ фирмы, завоевавшей определенное признание и репутацию в промышленности, является повышение технического уровня знаний сотрудников, их квалификации в области организации и управления и совершенствование технической изобретательности.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Old Savage in the New Civilization, Doubleday, Doran & Company, Inc., N. Y., 1928.
2. Reliability Functional Organization and Mauler Reliability Program Plan Summary, B-18641-RI, September 1963.
3. Juran J. M., (ed.), Quality Control Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, N. Y., 1962.
4. Jacobson H. J., Quality Control Management of Small Business, Ind. Quality Control, March, 1963.
5. PERT/Cost System, Willard Fazar, Vice President, Management and Systems Engineering, Herner and Company, Washington, D.C., The Role of PERT in Missile and Space Management, Trans. Am. Soc. Quality Control, 1963.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

Л. Дж. Найт

L. Knight

Chief, Quality Control Group, Northrop Space Laboratories
Northrop Corporation, Hawthorne, California

Требования к качеству и надежности могут быть выражены количественно в договорных условиях, в которых указываются также стимулирующие меры, влияющие на стоимость, сроки поставок и оперативные характеристики в соответствии с требованиями данного контракта. Методы анализа затрат на обеспечение надежности и качества, проводимого руководством, являются менее свершенными, чем методика расчета стоимости промышленного производства. Во многих оборонных отраслях промышленности почти отсутствует подробная информация о затратах на обеспечение надежности и контроль качества. Без достаточных данных об этих затратах чрезвычайно затруднительно проводить обоснованное сравнение эффективности затрат на выполнение различных требований программы. Слишком часто руководство рассматривает затраты на обеспечение и контроль качества главным образом с точки зрения общего финансирования программы. Прогнозируемые расходы на обеспечение надежности и качества для отражения в новых контрактах часто определяются с помощью стандартных коэффициентов, например отношения расходов на инспекцию к расходам на содержание производственного персонала, или в виде заранее установленного процента от величины оценки общего количества часов, затрачиваемых на производство.

В течение последних нескольких лет в соответствии с военными техническими условиями и требованиями контрактов подрядчик должен был в обязательном порядке демонстрировать свои усилия, направленные на выполнение требований по обеспечению качества и надежности. Во многих случаях это привело к тому, что от подрядчика требовалось показать основную структуру программы обеспечения качества и надежности, но без существенного доказательства эффективности программы. Требования обеспечения высокого качества и надежности сопровождались либо сформулированными, либо подразумеваемыми соображениями, позволяющими сделать вывод о том, что стоимость играет второстепенную роль. Поэтому подрядчик делал все возможное для улучшения качества изделия, что приводило к дополнительным расходам организации,

закрывающей контракт. Однако такие условия не освобождают руководство от ответственности за распределение ресурсов, находящихся в его распоряжении, возможно более эффективным образом.

Целью настоящей главы является обсуждение взаимозависимости ценности полученных результатов и стоимости, а также рассмотрение некоторых руководящих положений для разработки эффективной программы анализа стоимости. Каким образом руководство определяет объем предусмотренного контрактом финансирования, который должен быть выделен для обеспечения качества и надежности? Если этот объем определен, то руководство должно решить, как распределить данные ассигнования по различным элементам общей программы. Необходимо определить вклад каждого основного вида деятельности в достижение установленных целей. Следует оценить, насколько достижение этих целей является ценным для заказчика. Затраты на различные виды деятельности должны быть определены таким образом, чтобы можно было сопоставить полученные результаты с произведенными затратами.

Обязательное условие составления и реализации программы обеспечения надежности и контроля качества, являющейся одновременно и эффективной и экономичной, выдвигает перед руководителем программы ряд новых задач. Современные тенденции, разделяемые Министерством обороны, характеризуются стремлением уменьшить полные затраты на обеспечение качества и надежности путем установления надлежащего баланса между затратами, связанными с профилактическими работами, затратами на демонстрацию и оценки надежности и затратами на устранение отказов.

7.1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЗАТРАТ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА

Для выработки наиболее эффективной программы обеспечения качества и надежности при приемлемых затратах необходимо определить все составные элементы затрат и установить взаимозависимость между причиной и следствием. Основным принципом, лежащим в основе такого подхода к контролю за качеством изделия, предполагает существование двух основных категорий затрат.

7.1а. Первичные или входные затраты на обеспечение качества и надежности. (Профилактика, оценка, контроль и проверка выполнения программы обеспечения качества.) К этой категории относятся затраты, которые специально предусматриваются с целью достижения и контроля определенного уровня качества и надежности. Меры, обеспечивающие условия, при которых рабочая сила, материалы и заводские мощности не растрачиваются напрасно для производства дефектных изделий, являются по своему характеру профилактическими. К профилактическим относятся такие элементы программы, как планирование и координация всех видов дея-

тельности по программе, создание общей системы обеспечения качества и надежности, установление требований к надежности системы, основанных на оговоренных контрактом показателях надежности, анализ конструкторских чертежей, технических условий и процессов, выбор оптимального типа и режимов работы комплектующих деталей с учетом опыта эксплуатации таких элементов, данных об их технических характеристиках и долговечности, организация систем сбора и обработки данных по вопросам обеспечения качества и надежности.

Эффективность профилактических мер можно оценить с помощью показателей, характеризующих повышение доли принятой продукции, уменьшение количества отказов, уменьшение брака, меньшую стоимость обслуживания, меньшее количество рекламаций, поступающих от заказчика, и меньшую стоимость эксплуатационного обслуживания.

Затраты, связанные с оценкой надежности и качества, обычно носят название *оценочных затрат*. К оценочным работам относятся такие элементы программы, как анализ результатов демонстрационных испытаний на надежность, проверка и испытания поступающих материалов, оценка методов контроля технологических процессов, оценка изделий поставщиков с точки зрения качества и надежности; оценочные испытания производственной оснастки, проверка калибров, измерительных приборов и контрольно-испытательной аппаратуры, окончательная инспекция и программы испытаний, проводимых вне завода.

Все *административные* расходы связаны с управлением программой обеспечения качества и надежности.

Расходы на *проверку методик контроля качества* включают в себя все расходы на осуществление независимой проверки пригодности планов и методик контроля качества, методов испытаний, методов контроля процессов и повторной инспекции ранее принятой работы.

7.16. Затраты, связанные с дефектами. (Брак, переделки, дополнительная инспекция, анализ отказов элементов, рассмотрение рекламаций заказчика.) К этой категории относятся затраты, связанные с использованием некачественных закупленных материалов, отказами на заводе в процессе производства и отказами, возникающими после приемки заказчиком.

Основной принцип, лежащий в основе распределения затрат по этим двум категориям, заключается в том, что первичные затраты на обеспечение надежности и качества должны быть правильно скоординированы с затратами, связанными с дефектами. Должна проводиться эффективная политика в области профилактики и оценки, которая обеспечивает оптимизацию распределения затрат на профилактическую деятельность, оценочные работы и устранение дефектов.

7.2. КАЛЬКУЛЯЦИЯ ЗАТРАТ

Описываемая ниже система калькуляции охватывает затраты, связанные с обеспечением надежности, контролем качества (включая затраты на осуществление руководства контролем качества) и инспекцией.

100. Затраты на профилактические меры.

110. **Закупки.** Затраты, связанные с планированием и реализацией программы контроля закупок.
111. **Обследование поставщиков.** Затраты на содержание персонала, проводящего обследование оборудования, используемого для обеспечения выполнения технологических процессов, и системы контроля качества у поставщика, чтобы убедиться в том, что поставщик способен поставлять изделия, удовлетворяющие всем требованиям качества. Сюда включаются также затраты на периодические повторные обследования.
112. **Анализ документации по поставкам.** Затраты на содержание персонала, занимающегося анализом субконтрактов и закупочных документов, чтобы убедиться в том, что соответствующие чертежи, технические условия и требования в отношении качества комплектного изделия переданы поставщику комплектующих элементов в четкой и точной форме.
113. **Координация планов приемки у подрядчика и поставщика.** Затраты на содержание персонала, принимающего участие в предпроизводственной координационной деятельности совместно со службой контроля качества у поставщика. Эта координационная деятельность охватывает анализ методов контроля технологических процессов у поставщика, составление планов контрольных испытаний и установление требований к сбору и обработке данных.
114. **Разработка контрольных листов.** Затраты на разработку инспекционных контрольных листов для определения характеристик, подлежащих контролю, требований к переменным параметрам и контрольно-испытательной аппаратуре и трудозатрат для проведения контроля.
115. **Оценка практической деятельности поставщика по обеспечению надежности.** Затраты на содержание персонала, проверяющего качество изготовления деталей поставщиком. Сюда входят также затраты, связанные с оценкой и апробированием программы обеспечения надежности у поставщика и проведением технических совещаний совместно с поставщиком.
116. **Анализ данных по надежности.** Затраты на содержание персонала, занимающегося проверкой соответствия продукции поставщика требованиям к надежности и оценкой достижений поставщика в области надежности по сравнению с предсказанным ростом.

117. **Анализ конструкции поставщика.** Затраты на содержание персонала, проводящего анализ конструкторских чертежей поставщика и проверку технических условий и операций, связанных с поставкой поставщиком комплектующих изделий и материалов.
120. **Деятельность по обеспечению качества на допроизводственных стадиях и оказанию технической помощи.** Затраты, связанные с инженерной деятельностью по обеспечению надежности и контролю качества на стадиях конструирования и разработки и технической помощью профилактического характера в процессе производства.
121. **Анализ чертежей и технических условий.** Затраты на анализ чертежей и технических условий, проводимых для того, чтобы убедиться в том, что характеристики, влияющие на качество и надежность изделия, описаны ясно и четко. Эта деятельность включает в себя программу классификации характеристик.
122. **Подготовка технических условий.** Затраты на составление технических условий, определяющих воздействия окружающей среды, которые должны испытывать изделие.
123. **Определение условий испытаний.** Затраты на содержание персонала, занимающегося определением предельных окружающих условий для каждого испытания и разработкой методов испытаний при имитированных окружающих условиях. Сюда также входят затраты, связанные с определением методик проведения испытаний, их продолжительности, выявления отказов, установлением контрольных точек и требований в отношении потребления мощности.
124. **План демонстрации надежности.** Затраты на содержание персонала, занятого составлением плана демонстрации надежности.
125. **Контроль технологических процессов.** Затраты, связанные с анализом технических условий на процессы, чертежей и производственных процессов. К данному виду деятельности относятся также исследование принципиальных возможностей технологических процессов и подготовка планов и процедур по контролю процессов.
126. **Планирование контроля качества.** Затраты на подготовку планов контроля, обеспечивающих соответствующие контрольные позиции в производственном цикле и определяющих последовательность контрольных операций и испытаний. Этот вид деятельности включает анализ планов испытаний.
127. **Аттестация персонала.** Затраты на содержание специального персонала, принимающего участие в аттестации производственного персонала, несущего ответственность за разработку специальных технологических процессов или за выполнение производственных, контрольных и испытательных операций

специализированного характера, оказывающих сильное влияние на качество и надежность. Сюда входят также затраты на периодическую переаттестацию.

- 128. Проверка пригодности аппаратуры.** Затраты на содержание персонала, проводящего проверку пригодности аппаратуры, чтобы убедиться в удовлетворительности и стабильности характеристик. Сюда также входят затраты на периодические повторные проверки.
- 200. Оценочные затраты.**
- 210. Контроль и испытания приобретенных материалов.** Затраты на содержание персонала, принимающего участие в контроле и испытаниях поступающих в порядке закупки материалов и комплектующих изделий. Сюда также входят затраты на содержание разъездных и постоянных инспекторов по проверке источников материалов.
- 211. Оценочные испытания поступающих изделий.** Затраты на содержание персонала, проводящего испытания, подтверждающие заключение о пригодности изделий, испытания на срок службы, эксплуатационные и граничные испытания приобретенных компонентов. Сюда также входят затраты на все материалы, израсходованные при проведении разрушающих испытаний изделий, поступающих извне.
- 212. Межоперационный контроль.** Затраты на содержание персонала, проводящего контроль в пределах производственного цикла (контроль инструмента, изготовления и сборки).
- 213. Испытания.** Затраты на содержание персонала, принимающего участие в проведении функциональных испытаний в процессе производственного цикла. Сюда не относятся затраты на входные испытания изделий, поступающих в порядке закупки.
- 214. Проверка калибров и контрольно-испытательной аппаратуры.** Затраты на содержание персонала, занятого проверкой и юстировкой физических, оптических и других измерительных приборов по эталонам. Сюда также входят затраты, связанные с разработкой методов калибровки и ведением записей по повторным калибровкам, состоянию и ремонту для каждого образца контрольной, измерительной и испытательной аппаратуры.
- 215. Контроль за хранением, упаковкой и отгрузкой.** Затраты на содержание персонала, осуществляющего контроль за тем, чтобы хранение, упаковка и маркировка готовых изделий проводились в соответствии с принятыми процедурами и техническими условиями. Сюда входят также затраты, связанные с проверкой отгрузочных документов и упаковочных листов.
- 216. Испытания по демонстрации надежности.** Затраты на содержание персонала, принимающего участие в испытаниях по демонстрации надежности и анализу результатов испытаний.

- 217. Полевые испытания.** Затраты на содержание персонала, участвующего в проведении полевых испытаний на удаленных от завода площадках до окончательной приемки изделий заказчиком. Сюда входят также затраты на полевые оценочные испытания и деятельность в предпусковой и пусковой периоды, проводимую подрядчиком совместно с заказчиком.
- 300. Административные расходы.** В эту статью входят затраты на осуществление руководства реализацией программы обеспечения надежности и качества.
- 310. Персонал.** Затраты, связанные с содержанием персонала, занятого секретарской, канцелярской и управленческой работой по обеспечению надежности и качества. Затраты, связанные с инспекционными функциями различных видов деятельности по обеспечению надежности и качества, должны быть включены в соответствующие статьи расходов.
- 311. Обработка данных по надежности и качеству.** Затраты, связанные с анализом данных по надежности и качеству, получаемых из всех источников по материалам, деталям и изделиям. Сюда входят также затраты на подготовку карт характеристик качества и отчетов по достижениям в области надежности, представляемых руководству и заказчику.
- 312. Разнообразная деятельность по осуществлению программы.** Затраты на содержание персонала, занятого оценкой требований заказчика и подготовкой планов осуществления программы по обеспечению надежности и качества. Сюда входят также затраты на подготовку и проверку методики обеспечения надежности и качества.
- 313. Планы и бюджетные ассигнования.** Затраты на содержание персонала, принимающего участие в определении и контроле бюджетных ассигнований, подготовке положений о стоящих перед фирмой задачах, разработке производственных графиков и требований в отношении рабочей силы. Сюда также входят затраты на проверку выполнения планов по программе обеспечения качества и надежности.
- 314. Технические данные.** Затраты на содержание персонала, принимающего участие в составлении методик, перечней рекомендуемых деталей, справочников рекомендуемых деталей и спецификаций на материалы с целью оказания помощи конструкторам.
- 400. Проверка методик контроля качества.** К этой статье относятся затраты на содержание персонала, делающего объективные оценки эффективности методик обеспечения качества, методов контроля технологических процессов, ранее подвергавшихся контролю объектов и соответствия с установленными требованиями. Сюда входят также затраты; связанные с подготовкой

отчетов о проверке и реализацией мер по обеспечению исправления дефектов.

500. Затраты, связанные с дефектами. К этой статье относятся затраты, связанные с переделками, браком, проведением дополнительного контроля, отказами на заводе и рекламациями заказчика.

510. Дефекты поставляемых материалов. Затраты на содержание персонала, занятого вопросами использования не соответствующих требованиям материалов. Сюда входят затраты на связь с поставщиками, необходимую для устранения несоответствия требованиям чертежей и технических условий и характеристикам качества.

520. Внутривзаводские дефекты. Затраты, связанные с дефектными материалами и компонентами, не удовлетворяющими требованиям чертежей, технических условий и стандартов качества.

524. Брак. Стоимость дефектных материалов и компонентов, забракованных в связи с несоответствием чертежам или техническим условиям. Сюда не входит стоимость материалов, отвергнутых по другим причинам, например в связи с внесением изменений в конструкцию или наличием избыточных запасов.

525. Переделки. Затраты, связанные с переделками, вызванными несоответствием материалов и компонентов чертежам или техническим условиям.

526. Анализ качества материалов. Затраты, связанные с анализом качества, контролем и использованием материалов и компонентов, не соответствующих чертежам или техническим условиям.

527. Анализ отказов. Затраты, связанные с анализом и обследованием дефектных или отказавших изделий с целью определения характера и основной причины отказа. Сюда включаются также затраты на контроль, испытания, анализ и составление отчетов по анализу отказов.

528. Рекламации заказчика. Затраты, связанные с анализом типов отказов готовых изделий, поставленных заказчику. Сюда относятся также затраты на исследования отказов и проведение последующих действий, связанных с рекламациями заказчика.

Для проведения расчетов по описанной системе легко воспользоваться современными методами с использованием вычислительных машин.

Описанная выше система является достаточно гибкой и может быть использована в различных договорных ситуациях.

Часто затруднительно точно классифицировать все примеры профилактических затрат. Сомнительные вопросы такого характера могут потребовать глубокого анализа.

7.3. ОПИСАНИЕ РУЧНОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ТРУДОЗАТРАТ

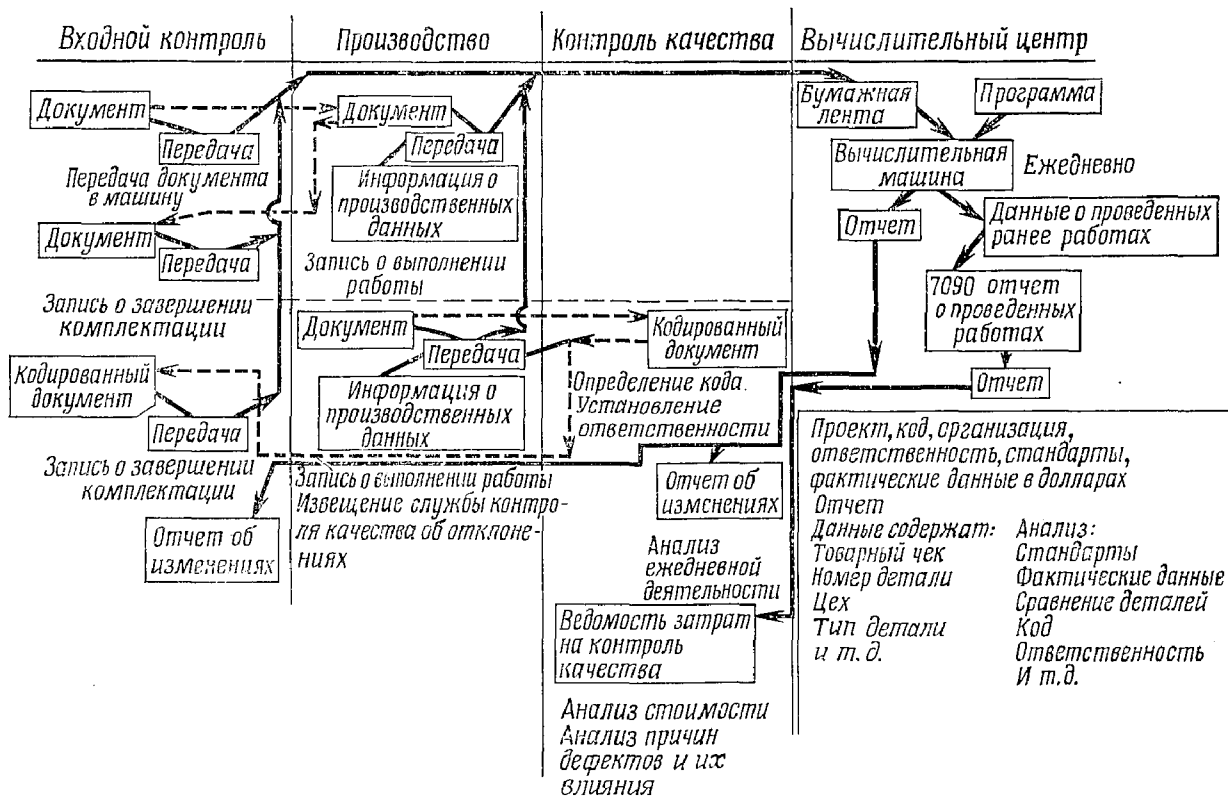
Описываемая в настоящем разделе система иллюстрирует процесс учета и накопления данных по затратам на обеспечение качества и надежности, а именно по входным затратам и затратам, обусловленным дефектами.

Ежедневный отчет о трудозатратах									
Номер цеха и смены				Дж. Смит Фамилия				Дата	
Счет	Статья расходов	Под-разделение	Заказ	Номер работы				Номер чертежа	Часы
61	10000	10	4120	7	6	1	1		2
38	2000	10	4611	7	6	1	2		2
47	3000	12	3912	7	6	1	3		2
15	4000	14	4214	7	6	1	4		2

Фиг. 7.1. Ежедневный отчет о трудозатратах.

Ниже приведены материалы, полученные из опыта работы сборочного цеха. Структура статей калькуляции в данном конкретном случае была обобщена. Это было сделано с целью обеспечения соответствия существующим вычислительным программам, связанным с определением стоимости, платежными ведомостями и другими системами обработки данных.

Была организована ежедневная отчетность о затратах на обеспечение качества с помощью ручной системы учета, использующей номер работы и номер цеха, как показано на фиг. 7.1. В бланке ежедневного учета трудозатрат (фиг. 7.1) записаны номера работ специального значения, например 7611. Первая цифра 7 показывает, что Дж. Смит работает в отделе контроля качества. Вторая цифра 6 обозначает, что он работает также в инженерной группе



Ф и г. 7.2. Автоматизированная система обработки данных.

Направлено в			Номер организации		Дата		Серийный номер детали или блока		
Документ/номер детали			Документ/номер детали						
Самолет/блок	Разрешение на продажу	Заказ	Проект		Продавец		Номер закупочного документа		
Составитель			Номер организации		Внешняя организация	Документальная ссылка			
Отклонение/требуемая работа									
					Подпись		Дата		
Результаты исследования									
Ответственная организация		Код задания	Код причины	Код дефекта	Подпись			Дата	
Принятые меры									
Эффективность		Самолет/блок			Подпись		Дата		
Исследователь	Номер организации	Затраты времени в часах	Оценка времени в часах для корректировок на этапах						
			Инженерная работа	Процессы	Конструирование инструмента	Планирование	Изготовление инструмента		

Ф и г. 7.3. Заявка на корректировочные работы.

качества. Третья цифра 1 показывает, что основной статьей расходов являются затраты на профилактические работы. Четвертая цифра обозначает выполненную функцию или статью расходов: 1 — подготовка технических условий, 2 — оценка пригодности аппаратуры и повторная оценка, 3 — аттестация персонала, 4 — повторные испытания по оценке качества и т. д.

В этом случае существующие вычислительные программы для обработки данных учитывают первые две цифры номера организации. Это позволяет при замене ручной системы на механизированную (фиг. 7.2) составлять специальные отчеты без дополнительных прогонов перфокарт и с минимальным дополнительным программированием.

Была составлена форма заявки на корректировочные работы (фиг. 7.3) для записи данных по дефектам и затратам времени на исследование дефекта и фиксирования причины и принятых корректировочных мер. Заявка на корректировочные работы была использована для записи дефектов, по которым требуется провести исследование. К этой категории отнесены факторы, обуславливающие брак, ошибки обработки и другие причины отклонений, которые невозможно быстро устранить. В тех случаях, когда требовалось участие в работах более одной службы, время, затраченное каждой службой, отмечалось в графе затраченного времени на бланке заявки на корректировочные работы. Сведения о стоимости переделок были взяты из браковочных листков контролеров и ярлыков о негодности изделия. Для расчета стоимости по данным о дефектах использовались соответствующие средние значения и данные из финансовых отчетов, нормативы трудоемкости из основной рабочей картотеки и данные о стоимости материалов, представленные службой оценки стоимости.

Приводимая ниже классификация была приспособлена для использования в системе калькуляции затрат на обеспечение качества.

Статья расходов 1000 — профилактические затраты

Работа № 7611. Подготовка технических условий. Время, затраченное персоналом на координацию и подготовку технических условий и бюллетеней по вопросам контроля процессов.

Работа № 7612. Уточнение характеристик и подготовка аппаратуры. Уточнение характеристик и подготовка к контролю обрабатывающего оборудования и контрольных приборов.

Работа № 7613. Обучение персонала и программа аттестации его. Включаются затраты на получение данных, свидетельствующих о том, что персонал, выполняющий критические

и специальные операции, соответствующим образом обучен и аттестован.

Работа № 7614. Повторная проверка. Работа, проводимая техническим составом или персоналом службы обеспечения качества с целью определения того, что технологичность системы удовлетворяет первоначальным качественным требованиям к приборам и технологическому процессу.

Замечание. В случае отказа повторно проверяемой аппаратуры эта проверка должна оплачиваться по этой же статье расходов. Аппаратура включается в заявку на корректировочные работы, а вся последующая деятельность по перепроверкам должна засчитываться по статье затрат, обусловленных дефектами.

Работа № 7615. Контроль технологических процессов. Планируемая работа, связанная с контролем процессов; при этом ведется запись проверенных элементов и выявленного состояния, например результатов контроля растворов, температурного контроля, контроля потерь, подготовки образцов для испытаний, не связанных с производственным выпуском изделий.

Работа № 7317. Надзор. Деятельность, связанная с корректировкой обнаруженных отклонений, обеспечивающей предупреждение потенциальных дефектов изделия, например вследствие неправильного обращения с аппаратурой и неудовлетворительной организации хранения.

Статья расходов 2000 — оценочные затраты

Работа № 7621. Лабораторные испытания. Время, затраченное персоналом на проведение испытаний отдельных образцов производственных изделий и материалов, отобранных от партии. Учитываются затраты на подготовку испытаний и отражение результатов испытаний в лабораторных отчетах или цеховых сопроводительных документах.

Работа № 7622. Планирование обеспечения качества. Осуществляется персоналом, которому поручена работа по планированию контроля качества. Конструктивные особенности изделия и требования заказчика к качеству служат основой для составления планов размещения контрольных позиций, определения рода и объема контроля, который необходимо выполнить, подлежащих измерению характеристик, разработки требуемой аппаратуры и необходимых форм записи. Подготовка наглядных пособий или наглядных физических стандартов.

Работа № 7623. Технические консультации. Расходы на проведение технических консультаций при осуществлении

межоперационного контроля, например истолкование технических условий и результатов испытаний.

Работа № 7324. Приемочные испытания. Время, затраченное на оценку качества изделий, выпускаемых в текущем производстве, согласно производственным заказам, чертежам и техническим условиям на процессы.

Статья расходов 3000 — административные расходы

Работа № 7631. Управление. В рамках этой статьи расходов учитываются административные расходы по контролю качества процесса сборки.

Работа № 7632. Работы по обеспечению качества. Время, затраченное персоналом на разработку, внедрение и ревизию процедур по обеспечению качества.

Работа № 7633. Анализ данных. Время, затраченное персоналом на анализ данных по качеству и надежности для целей контроля и подготовку отчетов о состоянии обеспечения качества.

Работа № 7634. Управление. К этой статье относятся административные расходы, связанные с реализацией программы обеспечения качества. Сюда входят те элементы административных расходов, которые не могут быть отнесены к работам, связанным с выполнением профилактических, оценочных или проверочных функций.

Статья расходов 4000 — проверка методик контроля качества

Работа № 7641. Системы и процедуры. Затраты на содержание персонала, проверяющего соответствие испытательных процедур и требований программы обеспечения качества.

Работа № 7642. Проверка изделий. Затраты на содержание персонала, проводящего повторную инспекцию изделий, ранее принятых службой контроля качества.

Статья расходов 5000 — затраты, связанные с дефектами

Работа № 7651. Затраты на анализ отказов. По этой статье учитывается время, затраченное персоналом при анализе причин отказов внутриводского происхождения. Включаются затраты, связанные с определением причин отказов, испытаниями и разборкой исследуемой аппаратуры.

Работа № 7652. Исследование материалов, имеющих отклонения от нормы. Учитывается время, затраченное персоналом службы контроля качества при консультативном техническом органе управления по исследованию материалов.

Работа № 7354. Затраты на переделки. Включаются затраты на дополнительные проверки, обусловленные дефектами изделия.

Статья расходов 1000—профилактические затраты	Проект А	Проект В	Частный итог	Частный итог по организации	Итого по статье расходов
Работа 7611. Подготовка технических условий	27,16		27,16		
Работа 7612. Уточнение характеристик и подготовка аппаратуры	18,10	18,10	36,20		
Работа 7613. Обучение персонала и программа аттестации его	466,05	502,41	968,46		
Работа 7614. Повторная проверка	1268,99	366,88	1635,87		
Работа 7615. Контроль технологических процессов	948,50	963,88	1912,38	4580,07	
Работа 7317. Надзор	777,35	693,38	1470,73	1470,73	
Полные затраты на проведение профилактических мер	3506,15	2544,65			44001,80
Статья расходов 2000 — оценочные затраты					
Работа 7621. Лабораторные испытания	267,01	678,79	945,80		
Работа 7622. Планирование обеспечения качества				3182,17	
Работа 7623. Технические консультации	915,91	1320,46	2236,37		
Работа 7324. Приемочные испытания	6077,96	6729,05	12807,01		
Работа 7325. Неразрушающие испытания	2065,67		2065,67	14872,68	
Испытания образцов	11400,33	14545,44	25946,77	25946,77	
Полные оценочные затраты	20726,88	23274,74			44001,62
Статья расходов 3000 — административные расходы					
Работа 7631. Управление	520,02	470,55	990,57		
Работа 7632. Работы по обеспечению качества	79,33	29,75	109,08		
Работа 7633. Анализ данных	105,95	164,76	270,71	1370,36	
Работа 7334. Управление	249,66	199,77	449,43		
Полные административные расходы	951,96	861,83			1819,79

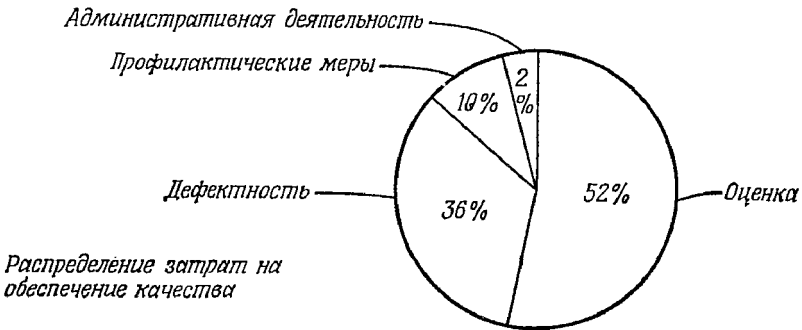
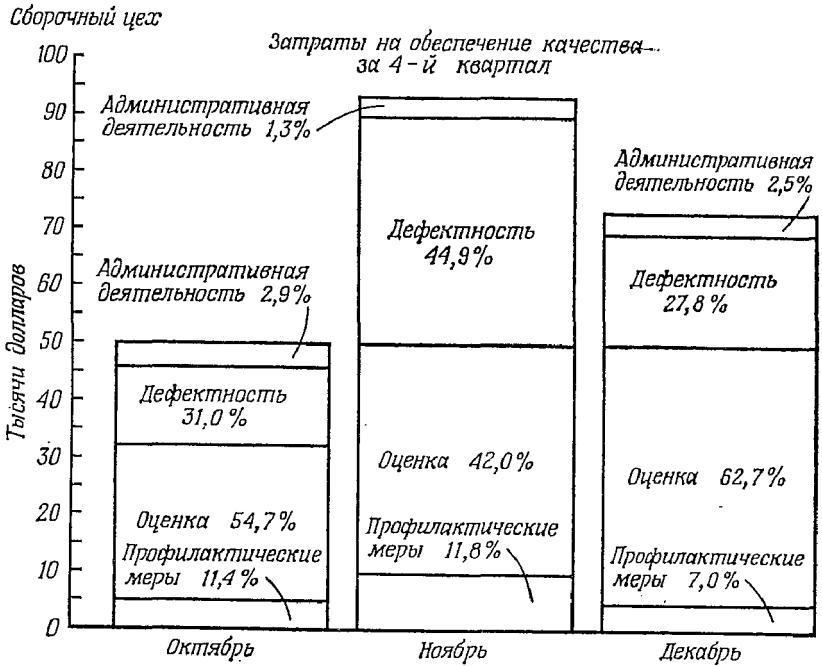
24*

Статья расходов 4000 - проверка качества					
Работа 7641. Системы и процедуры					
Работа 7642. Проверка изделий					
Полные затраты на проверку качества					
Статья расходов 5000—затраты, связанные с дефектами					
Работа 7651. Затраты на анализ отказов	401,10	773,14	1184,24		
Работа 7652. Исследование материалов				1184,24	
Работа 7354. Затраты на переделки	320,63	297,52	618,16	618,16	
Работа 7050. Анализ материалов	978,24	734,71	1712,95	1712,95	
Исследования: организация производства	64,44	102,53	166,97	166,97	
Исследования: организация инструментального хозяйства	142,93	66,36	209,29	209,29	
Исследования: организация в других областях деятельности		331,82	331,82	331,82	
Брак — необработанные материалы	706,26	1342,14	2048,40	2048,40	
Брак — заготовки	879,00	2058,36	2937,36	2937,36	
Брак — работа (потерянные часы)	2409,25	7259,15	9668,40	9668,40	
Переделки — приказы по производству	633,47	393,21	1026,68	1026,68	
Полные затраты, связанные с дефектами	6544,17	13363,10			19907,27
Полные затраты на обеспечение качества	31359,44	39970,70			71779,48

Ф и г. 7.1. Детальный сводный отчет о затратах на обеспечение качества.

Работа № 7050. Анализ материалов. Включаются все затраты, связанные с использованием материалов, не соответствующих чертежам и техническим требованиям.

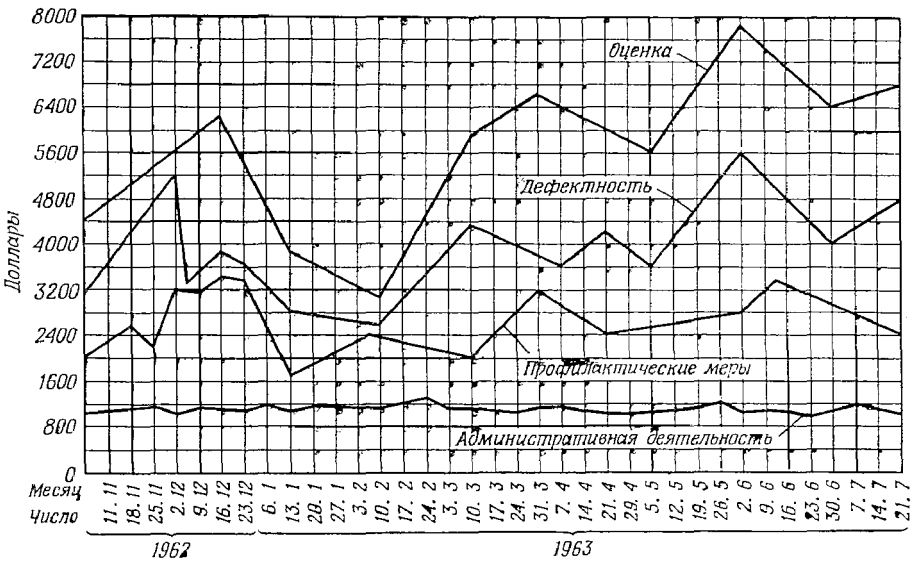
Все данные по затратам на обеспечение качества, обусловленным наличием дефектов, суммируются, относятся к суммарным затратам и по ним службой калькуляции составляются еженедельные отчеты.



Ф и г. 7.5. Ежеквартальная диаграмма затрат на обеспечение качества.

7.4. ФОРМЫ ОТЧЕТНОСТИ

Руководством на различных уровнях еженедельно и ежемесячно выпускаются периодические отчеты и карты по затратам на обеспечение качества с целью показать тенденции развития и подготовить основу для обобщения данных. Форма подробного сводно-



Фиг. 7.6. Графики затрат по обеспечению качества.

го отчета о затратах, связанных с обеспечением качества, показана на фиг. 7.4. В отчете указаны затраты на обеспечение качества по отдельным проектам и основным статьям расходов. Номера работ или статей расходов отражают структуру организации и выполняемые конкретные функции.

Относительное поквартальное распределение затрат на обеспечение качества показано на фиг. 7.5. Такой способ представления данных четко иллюстрирует распределение затрат по двум основным категориям. Диаграмма затрат на обеспечение качества (фиг. 7.6) отражает еженедельные данные о затратах, связанных с оценкой надежности, устранением дефектов, профилактической деятельностью, и административных расходах и графически иллюстрирует относительное распределение затрат по этим важным статьям расходов.

Карта анализа стоимости брака (фиг. 7.7) показывает разбивку общих затрат, обусловленных браком, полученную в результате автоматической обработки на вычислительной машине информации, занесенной на перфокарты.

**Данные по стоимости брака. Анализ причин дефектов
Сборочный цех**

Группа обработки данных	Участок производства	Стоимость брака			Классификация причин								Общая стоимость брака	% от общего итога	
		проект А	проект В	проект С	инструмент и обслуживание	нарушение технологии	обращение и хранение	отказы аппаратуры	дефектные элементы	температурный режим	известные причины	ошибки оператора			
064	Обработка на станках	686,04	530,28		228,49			107,44	227,26				353,13	1216,32	15,0
070	Пропитка, обмотка, сушка, предварительная термообработка	22,28	144,73								57,10		209,91	267,01	3,0
071	Автоклавы	368,39	525,72			316,73							577,38	894,11	11,0
072	Гидравлическая установка	765,24	595,34	446,99	446,99	463,65	361,59				57,10	538,32		1807,57	22,0
073	Сборка узлов и сердечников	107,60	35,84							20,11			123,33	193,44	2,0
074	Предварительная пригонка	964,00	1247,42	40,03	626,09		135,36			1490,00				2251,45	28,0
075	Сборка	177,09	996,11		692,16		177,09			17,59		286,36		1173,20	15,0
076	Окончательные операции и ремонт		357,29		195,94								161,35	357,29	4,0
	Итого	3190,64	4432,73	487,02	2189,67	720,38	674,04	407,44	1751,96	114,12	824,68	1425,10		8110,39	
	Процент от общего итога	39,3	51,6	6,1	27,0	8,9	8,3	5,0	21,6	1,4	10,1	17,7			

Сводка системы машинной обработки информации		Сводка дефектов													
064 50% потерь (в долларах) обусловлены дефектами механической обработки Повреждения вызваны изношенным оборудованием 30% потерь (в долларах) обусловлены повреждением сердечников в результате неправильной обработки на фрезерных станках	Изменения формы											208,99	208,99	2,6	
	Наружное повреждение					185,44			664,67			368,39	1218,50	15,1	
	Зазоры, перекосы											87,49	87,49	1,1	
	Расслаивание и раковины	517,88	169,84								114,12	286,36	145,79	1233,99	15,3
072 90% общих потерь обусловлены недостатками инструмента и технологии	Толщина клеевых швов	370,22										81,93	452,15	5,6	
	Повреждение станка	228,49	403,65					115,65				115,65	863,44	10,6	
074 Основная часть потерь (в долларах) из-за дефектных деталей, полученных со склада—пятна, коррозия и царапины	Поврежденный сердечник	446,99				471,73	291,79	20,11			384,09	294,58	1909,29	23,5	
	Размерные	629,09							991,82		154,23	122,28	1894,42	23,3	
	Предварительная термообработка и термообработка					146,89								146,89	1,8
	Загрязнения						16,87			60,77				77,64	0,9
075 50% потерь (в долларах) обусловлены раковинами и дефектными клеевыми швами	Неправильная браковка									17,59				17,59	0,2
												Итого \$ 8110,39			
Затраты на обеспечение качества: анализ отказов и исследования за данный месяц --- 1249,64 доллара															

Ф и г. 7.7. Данные по затратам, связанным с браком.

7.5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ

Представители правительственных заказывающих управлений не раз критиковали промышленность за пренебрежительное отношение к требованиям по обеспечению надежности и качества при конструировании, разработке и производстве аппаратуры. Точка зрения заказчика заключается в том, что на надежность нельзя смотреть как на дополнительный довесок или потребительский товар, который должен быть поставлен за дополнительную плату. При подготовке предложений на заключение контракта заказчик обычно требует от подрядчика, чтобы он указывал количественные характеристики надежности, которые он предполагает достигнуть на уровнях компонентов, подсистем и системы. В правительственных контрактах на системы часто отражаются конкретные минимально приемлемые требования по надежности. Все большее внимание уделяется заключению контрактов стимулирующего типа с целью повышения надежности. Это означает, что подрядчики будут вознаграждены за выпуск высоконадежной аппаратуры и систем и будут наказаны при невыполнении ими предъявленных требований.

Для обеспечения высокой надежности следует оговаривать в контрактах методы обеспечения и демонстрации надежности, которые необходимо применять на каждой стадии выполнения программы, начиная с определения требований и кончая поставкой заказчику комплектного изделия. Оптимальное выделение ресурсов для обеспечения надежности на начальной стадии проектирования и стадии конструкторской разработки будет способствовать повышению эффективности работы изделия, уменьшению требований в отношении снабжения запасными частями для поддержания системы в рабочем состоянии и уменьшению затрат на обслуживание. Согласно опубликованным в печати оценкам, расходы на обслуживание технических устройств в Министерстве обороны превышают 8 млрд. долл. ежегодно; эта сумма составляет приблизительно 25% общего военного бюджета.

7.6. ВАЖНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И УЧЕТА ЗАТРАТ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

Планирование, учет и контроль затрат на обеспечение надежности и качества способствуют принятию руководством более обоснованных решений. Взаимосвязанные между собой элементы стоимости и взаимозависимость причин и следствий могут быть рассмотрены в правильной перспективе. Накопление сведений по произведенным затратам оказывает помощь руководству в распределении ассигнований, необходимых для выполнения программы обеспечения надежности и качества, в соответствии со стоимостями, производственным графиком и требованиями заказчика. Распо-

лагаая цифрами затрат по важным элементам программы обеспечения надежности и качества, руководитель программы в состоянии сравнить с приемлемой точностью эффективность этих элементов. Так, например, расходы на инженерную деятельность, связанную с просмотром чертежей и технических условий, анализом плана испытаний, выбором деталей, координацией работы поставщиков и т. п., могут быть сопоставлены с уменьшением затрат, обусловленных дефектами, а также показателями экономии за счет использования более эффективных и производительных методов обеспечения качества и надежности аппаратуры на ранней стадии.

Накопление и анализ данных по затратам, обусловленным дефектами, позволяют оценить эффективность системы корректировочных действий подрядчика. Так, например, анализ затрат на обнаружение и исправление дефектов, обусловленных ошибками человека, может вскрыть основные причины, породившие эти дефекты, например недостаточный уровень квалификации оператора, дефектные методы межоперационного контроля в технологическом процессе, недостаточная точность, ясность и полнота чертежей и технических условий, недостаточное обучение производственного персонала.

7.7. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА

Анализ данных по затратам на обеспечение надежности и качества, извлеченных из предыдущих контрактов, позволяет руководителю программы выработать рекомендации по оптимальной политике в области обеспечения надежности и качества при рассмотрении предложений на заключение новых контрактов. Важным элементом предварительного планирования является выделение рабочей силы и аппаратуры для подготовки и реализации программ обеспечения надежности и качества. В обстановке острой конкуренции в интересах подрядчика свести к минимуму общие расходы и обеспечить наивысший уровень надежности и качества с учетом располагаемых ресурсов.

- Административные расходы III.350, 354, 361
- Адрес (см. Номер адреса)
- Анализ данных I.253; III.157, 351
- двухфакторный I.211
 - дисперсионный I.206
 - конструкции III. 352
 - корреляционный I.200, 202
 - надежности III.40
 - неисправностей I.259
 - однофакторный I.207
 - отказов II.259, III.41, 196, 355
 - отчетов III.119, 262
 - последовательный I.203
 - регрессионный I.200
 - ремонтпригодности III.41
 - стоимости III.253
 - схем II.43, 50
- Бета-распределение I.116
- Биномиальный коэффициент I.116
- Блок-схема надежности III.40
- Вероятностная бумага I.62
- Вероятность I.110
- безотказной работы I.223
 - определение I.113
 - условная I.113
- Военный стандарт II.97
- Воспроизведение отказов II.286
- Восстанавливаемость I.25
- Время безотказной работы I.31.19, 176
- выполнения ремонта I.31
 - до отказа, среднее I.173
 - до первого отказа, среднее I.221
 - исправного состояния I.20
 - между отказами, среднее I.220
 - между профилактиками, запланированное I.20
 - — — среднее I.222
 - исправного состояния I.20
 - организационное I.20
 - простая, среднее III.64
 - работы I.20; III.69
 - ремонта I.21
 - снабжения I.21
 - хранения I.20
- Выборка случайная I.180
- Гамма-распределение I.60, 66, 71, 160
- Гарантия качества III.327
- Гипотеза I.198
- альтернативная I.198
 - нулевая I.198, 203
- Готовность I.23, 25
- внутренняя I.23, 25
 - оперативная I.19, 23, 25
 - системы III.74
- График отказов II.284
- Демонстрация надежности III.50
- Дефектное изделие I.135
- Диагностика отказов II.252
- Дисперсия выборочная I.182
- Доверительные пределы I.135, 164, 223, 321
- — — двусторонние I.153
 - — — односторонние I.153
- Доверительный интервал I.143, 170, 223; III.64
- — — двусторонний I.197, 222, 285, 311
 - — — односторонний I.227, 310
- Документы по надежности III.216
- Долговечность I.75
- Дополнение множества I.109
- Журнал контроля технической документации III.149
- Закон распределения ресурса I.52,54
- Затраты на обеспечение надежности и качества III.255, 349, 368
- на профилактические меры III.351, 359
 - оценочные III.350, 352, 360
- Индексирование II.72
- инверсное II.72
 - пермутационное II.74
 - прямое II.72
- Инженерная психология III.90—145
- Интенсивность отказов I.54, 130, 220
- Информация о надежности III.190
- Испытания без замены отказавших изделий I.170, 172
- в имитируемых внешних условиях II.180
 - в опытном производстве II.183
 - в серийном производстве II.183
 - гарантийные III.210

- Испытания для оценки ресурса II.197
 — проверки запасов прочности II.190
 — до первого отказа I.140
 — заводские III.21
 — исследовательские II.177, 201
 — квалификационные II.178; III.32
 — контрольные II.198
 — летные III.32
 — на воздействие внешних факторов II.166, 184
 — на воздействие нормальных окружающих условий II.166, 184
 — на долговечность I.75
 — — — многофакторные I.75
 — — — однофакторные I.75
 — — — стационарные I.75
 — — надежность I.77; II.189; III.32, 286
 — — определение возможности реализации конструкции II.177; III.32
 — — срок службы II.191
 — — — ускоренные II.194
 — — уход параметров I.248
 — неразрушающие II.162
 — основанные на риске заказчика I.260
 — оценочные II.178; III.32
 — повторные II.188
 — полевые III.121
 — полигонные III.21
 — последовательные I.261, 263
 — потребительские II.200
 — приемочные I.217
 — — аппаратуры I.218, 256
 — — систем I.219, 269
 — — ускоренные I.240
 — — элементов I.217
 — с заменой отказавших изделий I.170, 172
 — с определением доверительного интервала I.258
 — с переменной нагрузкой I.241
 — с разрушением изделия II.162
 — специальные II.200
 Испытательное оборудование II.223
 — — общего назначения II.226
 — — специальное II.226
 Календарный график III.243
 Калибровка приборов III.317
 Калькуляция затрат III.351
 Ковариация I.127
 — регрессии I.202
 Контроль административный III.237
 — за изменениями, вносимыми в технические условия и чертежи III.166, 180
 — за правильностью комплектации изделий III.172, 307
 — за ходом испытаний II.250
 — — технологического процесса III.163
 — изделий III.238
 — измерительной и испытательной аппаратуры III.186
 — инструментов III.188
 — источников комплектующих изделий III.236
 — качества III.278
 — — индивидуальный III.164
 — по признаку партионности (по признаку принадлежности деталей к определенной партии) III.182
 — поставок III.237, 278
 — сырьевых материалов III.188
 — технологических процессов III.165, 256, 352
 Корректировочные действия (меры) II.297, III.198, 326
 Коэффициент
 — доверия I.172, 197, 231
 — корреляции I.127
 — линейной корреляции I.202
 Кривая риска I.101
 Критерий приемки III.221
 — согласия I.83
 Латинский квадрат I.213
 Медiana
 — выборочная I.181
 Метод выборочный I.180
 — графический I.83
 — испытаний II.222
 — максимального правдоподобия I.163, 195
 — моментов I.194
 — наименьших квадратов I.200
 — непараметрический I.84
 — обеспечения надежности III.212
 — оценки I.83
 — теории решений I.88
 — худшего случая II.26
 — эквивалентных схем II.43
 Методика испытаний III.21
 — обеспечения надежности III.212
 Множество I.108
 — бесконечное I.108
 — конечное I.108
 — пустое I.108
 — основное (полное) I.108

- Мода I.181
 — выборочная I.181
 Модель долговечности I.51
 — надежности III.210
 — пропорционального эффекта I.61
 — распределения I.83
 — резервированных звеньев I.59
 — слабейшего звена I.57
 — смешанного типа I.212
 — со случайными уровнями факторов I.207, 212
 — стоимости I.93
 — с фиксированными уровнями факторов I.207, 212
 Момент начальный I.120
 — центральный I.120

 Надежность I.25; II.11; III.7
 — оперативная III.221
 — партии I.89
 — потенциальная III.165
 — при выполнении задачи I.19, 24 25
 — системы параллельных элементов I.173
 — с замещением элементов I.173
 — функциональная II.41
 — человека III.135
 — элементов III.282
 Наилучшая сглаживающая кривая I.200
 Нарботка на отказ I.219
 Номер адреса II.77
 — документа II.77
 — мнемонический II.77
 — поисковый II.77

 Обеспечение надежности III.280
 Область допустимая I.199
 — критическая I.199
 Обработка данных об отказах I.282
 Обслуживаемость III.56, 63, 71
 Обслуживание профилактическое III.57
 — ремонтное (текущее) III.57
 — эксплуатационное II.188
 Объем выборки I.192
 — испытаний I.88
 Однородность партии I.79
 Организация испытаний II.254
 Отказ I.37
 — внезапный I.234; II.24
 — зависимый I.270
 — по вине человека III.127—130
 — постепенный II.23
 Оценка I.194
 — достаточная III.94

 Оценка интервальная I.196
 — максимального правдоподобия I.195
 — надежности I.52; III.122, 210
 — несмещенная I.140, I.194
 — неэффективная I.194
 — параметров I.163
 — состоятельная I.194
 — среднего I.194
 — точечная I.194
 — эффективная I.194
 Ошибка второго рода I.198, 261
 — первого рода I.198, 261

 Парадокс Бертрана I.115
 Параметры обслуживаемости III.63
 Партия однородная I.78
 Период постоянной интенсивности отказов I.222
 — приработки I.223
 Планирование испытаний на надежность I.77
 План испытаний I.85, 95; II.203, 209; III.21
 — контроля III.21
 — обеспечения качества III.147
 — — надежности III.147
 Плотность вероятности I.118
 Подмножество I.108
 Поиск информации II.72
 — координатный II.73
 — — по дескрипторам II.74
 — — по ключевым словам II.74
 — последовательный II.73
 Показатель надежности I.219
 Пригодность конструкции I.19, 24, 42
 — функциональная III.7
 Проверка гипотез I.137, 153, 172 199
 — испытательного оборудования II.240
 — однородности партии I.79
 Прогнозирование надежности II.79; III.122
 Программа анализа схем II.50
 — ОААТ II.54
 — ТААТ II.54
 — ТААТІ II.54
 — испытаний II.161
 — обеспечения надежности и контроля качества III.207, 281, 332
 Производство множеств I.109
 Пространство выборочное I.110
 — — дискретное I.111
 — — континуальное I.111

 Размах I.181
 — выборки I.193

- Распределение I.60
 — априорное I.93
 — асимптотически нормальное I.60
 — биномиальное I.153, 204
 — Вейбулла I.60, 175
 — геометрическое I.140
 — гипергеометрическое I.121, 131
 — Гумбеля типа I I.60, 70
 — двумерное I.125
 — — нормальное I.127, 146
 — дискретное I.131
 — логарифмически нормальное I.60
 — надежности I.90
 — нормальное I.60, 67, 310; III.162
 — отрицательное биномиальное I.133, 204
 — Паскаля I.138
 — полиномиальное I.143
 — Пуассона I.141, 205, 275
 — равномерное I.144
 — Релея I.62
 — ресурса I.75
 — среднего ранга I.63
 — Стьюдента I.62, 187, 294
 — треугольное I.146
 — хи-квадрат I.185, 295
 — экспоненциальное I.65, 79, 168
 F-распределение I.62, 190, 297
 Рассеяние I.181
 Расчет надежности I.35, II.61
 Реализация рабочих условий II.62
 — технических изменений III.171
 Регистрация данных об отказах II.266
 Регрессия линейная I.201
 — экспоненциальная I.202
 Ремонтопригодность I.24, 26, 42
 Ремонтоспособность I.22, 26
 Ресурс I.222
 Риск потребителя I.107
 — производителя I.107
- Сглаживание кривых I.200
 Система индексирования II.76
 — — на картах с краевой перфорацией II.76
 — — на суперпозиционных картах II.76
 — обеспечения надежности и контроля качества III.291
 — сбора данных по надежности СОФЕС II.126
 — — и контроля данных III.148
 — учета трудозатрат III.356
 Служба контроля качества III.263
 — обеспечения надежности III.8, 10, 53, 263
- Случайная величина I.117
 — — дискретная I.117
 — — непрерывная I.117
 События независимые I.114
 Состояние системы I.18
 Среднее абсолютных отклонений I.182
 — арифметическое I.180
 — гармоническое I.181
 — геометрическое I.181
 Статистика I.183
 — порядковая I.192
 Стирлинга формула I.116
 Сумма множеств I.108
- Теорема Байеса I.115
 — центральная предельная I.184
 Теория множеств I.108
 Технические условия III.21
 Технологичность III.7, 150
 Требования безопасности III.111
 — к надежности III.234
- Уравнение правдоподобия I.195
 Уровень браковки I.223
 — нагрузки I.75
 — приемки I.223
 Уход параметра I.248
- Факторный эксперимент I.211
 Факторы психофизиологические III.101
 — ускоряющие испытания I.240
 Функция выборочная I.183
 — надежности I.129, 167, 175
 — потерь I.91, 94
 — распределения I.60
 — — интегральная I.117
 — — одномерная I.125
 — риска I.89
 — совместного распределения I.125
 — стоимости I.94
 — характеристическая I.123
- Характеристика оперативная (рабочая) I.84
 — описывающая центр распределения I.181
 — рассеяния I.181
- Эксплуатация III.85
 Элемент множества I.108
 Эталоны III.319
 Эффективность системы I.17—50; III.220, 250

О Г Л А В Л Е Н И Е

Глава 1. Хёрд В. Принципы конструирования и ведения разработки, обеспечивающие получение надежных систем	5
1.1. Роль этапа конструирования	6
1.2. Роль службы надежности	8
1.3. Условия, определяющие необходимость существования службы надежности	10
1.4. Характер конструирования и задачи разработки	12
1.5. Комплект конструкторской документации	15
1.6. Влияние требования к надежности на процесс конструирования	30
1.7. Увязка программ испытаний	32
1.8. Обычные практические методы конструирования различных систем	33
1.9. Методы конструирования, обеспечивающие получение высокой надежности	35
1.10. Анализ надежности конструкции	40
1.11. Другие функции службы надежности, влияющие на конструкцию	46
1.12. Демонстрация надежности, отчетность и исследования	49
1.13. Управление конструированием и разработками	50
1.14. Управление службами надежности	53
1.15. Заключение	55
Глава 2. Реттерер Б. Л. Учет требований к обслуживаемости в программах обеспечения надежности	56
2.1. Введение	56
2.2. Основные принципы обслуживания	56
2.3. Параметры обслуживаемости	63
2.4. Обслуживаемость и цикл жизни системы	71
2.5. Заключение	89
Глава 3. Мейстер Д. Роль факторов инженерной психологии в обеспечении надежности	90
3.1. Введение	90
3.2. Теория инженерной психологии	92
3.3. Распределение функций между человеком и машиной	95
3.4. Учет психофизиологических факторов при конструировании	101
3.5. Учет принципов инженерной психологии при конструировании	104
3.6. Инженерная психология и производство	117
3.7. Роль психофизиологических факторов при проведении полевых испытаний	121
3.8. Оценка и прогнозирование надежности работы человека	122
Глава 4. Маршик Дж. А. Обеспечение надежности в процессе производства	146
4.1. Важность обеспечения надежности в процессе производства	146

4.2.	Разработка плана обеспечения качества и надежности	117
4.3.	Технологичность	150
4.4.	Технические возможности технологического процесса как показатель технологичности	153
4.5.	Автоматический метод определения технических возможностей технологического процесса	155
4.6.	Контроль за ходом технологического процесса	163
4.7.	Предупреждение снижения потенциальной надежности	165
4.8.	Контроль за изменениями, вносимыми в технические условия и чертежи	166
4.9.	Контроль за изменениями других документов	172
4.10.	Методы контроля правильности комплектации изделий	172
4.11.	Контроль деталей по признаку их принадлежности к определенной партии	182
4.12.	Контроль измерительной и испытательной аппаратуры	186
4.13.	Контроль инструмента	188
4.14.	Контроль сырьевых материалов	188
4.15.	Производственная линия как источник информации о надежности	190
4.16.	Система отчетности по отказам применительно к сложным системам	191
4.17.	Координация корректировочных действий	198
4.18.	Сбор данных и контроль	199
4.19.	Показатели улучшения качества и надежности	200
4.20.	Способности рабочего и его отношение к производству надежных изделий	201
Глава 5. Ланкастер Ю., Олсен Э. Учет требований к надежности в договорах на поставки		205
5.1.	Введение	205
5.2.	Распределение требований к надежности	205
5.3.	Требования к программе надежности	207
5.4.	Программы обеспечения надежности элементов	214
5.5.	Другие технические условия министерства обороны и NASA и документы по надежности	216
5.6.	Учет требований к надежности при заключении контрактов	219
5.7.	Поставка комплектующих изделий	230
5.8.	Взаимоотношения между заказчиком и поставщиком при решении вопросов, связанных с надежностью	231
5.9.	Договорные документы на закупку, учитывающие требования к надежности	233
5.10.	Наблюдение за работой поставщиков и контроль источников комплектующих изделий	236
Глава 6. Макклур Дж. Организационные вопросы обеспечения надежности и контроля качества		241
6.1.	Введение	241
6.2.	Основные положения	241
6.3.	Роль высшего руководства в выполнении программ обеспечения надежности и контроля качества	243
6.4.	Вопросы экономической эффективности	250
6.5.	Влияние размеров фирмы на принятие решений по организационным вопросам	255
6.6.	Особенности организации работ при наличии в составе фирмы нескольких предприятий	260

6.7. Типичная структура служб обеспечения надежности и контроля качества	263
6.8. Анализ ответственности в организации функционального типа	277
6.9. Административная деятельность по обеспечению надежности и контролю качества	286
6.10. Методы и системы обеспечения надежности и контроля качества	291
6.11. Оборудование и аппаратура, используемые для обеспечения надежности и контроля качества	295
6.12. Обучение	297
6.13. Контроль за правильностью комплектации изделия и внесение изменений в конструкцию	307
6.14. Лаборатории проверки измерительных приборов и стандартов	317
6.15. Программа профилактических и текущих корректировочных работ	323
6.16. Качество технических публикаций	327
6.17. Организация проверки выполнения программы обеспечения надежности и контроля качества	332
6.18. Отчеты, предназначенные для использования руководством	336
6.19. Наблюдение, осуществляемое заказчиком	343
6.20. Участие в работе профессиональных и технических обществ	347
Глава 7. Найт Л. Дж. Экономические аспекты программы обеспечения надежности и качества	348
7.1. Основные элементы затрат на обеспечение качества	349
7.2. Калькуляция затрат	351
7.3. Описание ручной системы учета трудозатрат	356
7.4. Формы отчетности	365
7.5. Обеспечение выполнения требований к надежности	368
7.6. Важные преимущества системы планирования и учета затрат на обеспечение надежности и качества	368
7.7. Программирование обеспечения надежности и качества	369
Предметный указатель	370

СПРАВОЧНИК ПО НАДЕЖНОСТИ

Редактор *Л. Якименко*Художник *С. Бычков*Художественный редактор *В. Варлашин*Технический редактор *Н. Толстякова*Корректор *Н. Баранова*

Сдано в производство 3/III 1970 г. Подписано к печати 23/VI 1970 г. Бум. № 1
60×90¹/₁₆=11,75 бум. л. Печ. л. 23,50. Уч.-изд. л. 25,73. Изд. № 20/5216.
Цена 2 р. 40 к. Зак. 996.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

Москва, 1-й Рижский пер., 2

11-я типография Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете
Министров СССР, Москва, Нагатинская ул., д. 1