

**Понятие надёжности.
Вероятностный смысл
надёжности**

Приобретая какое – либо изделие, мы всегда интересуемся, способно ли оно выполнять своё предназначение в течение устраивающего нас промежутка времени и в соответствующих условиях. Собираясь использовать какое – либо устройство или какую – либо схему действий в работе, мы интересуемся тем же самым. Поскольку изучение этих свойств изделий и процессов производилось, да и сейчас производится практически только для технических изделий и процессов, то и мы будем использовать эту же точку зрения.

Развитие современной техники придало особую важность многочисленным вопросам повышения эффективности различного рода устройств. Комплексная автоматизация производственных процессов ставит перед управляющими устройствами исключительно ответственные задачи, которые должны выполняться безупречно на протяжении всего периода работы автоматической линии, автоматизированного цеха или предприятия. Перерыв в работе управляющего устройства может привести не только к ухудшению качества производимой продукции или к полному прекращению производственного процесса, но и к весьма серьёзным авариям, выходящим за локальные рамки предприятия.

Требования к безотказности механизмов и разного рода устройств приходится, конечно, предъявлять не только к тем из них, которым поручено управление теми или иными процессами. К любому техническому устройству и изделию мы вынуждены предъявлять эти условия. Какой смысл в самолёте, который не может безотказно совершать перелёты? Какой смысл в тракторе, который не в состоянии выполнять поручаемые ему работы, или в автомобиле, который не в состоянии перевозить грузы или пассажиров? В медицине широко используются разного рода технические средства как для диагностических и исследовательских целей, так и для выполнения ответственных функций во время и после операции. К их работе приходится предъявлять особо высокие требования, так как перебои в работе, скажем, искусственного сердца во время операции на сердце могут привести к смерти пациента. С многочисленными примерами, в которых качество продукции играет основную роль, каждый из нас встречается в повседневной жизни. Ненадёжность антивирусной программы, например, может привести к потере информации на жёстком диске и результатов труда многих людей.

Интуитивно надёжность связывают с недопустимостью отказов изделий. Поэтому под надёжностью в широком смысле слова понимается способность объекта (технического устройства) к бесперебойной (безотказной) работе в течение заданного промежутка времени в определённых условиях. Этот промежуток времени обычно обусловлен временем выполнения некоторой задачи, которая осуществляется этим объектом (техническим устройством) и может являться частью общей задачи.

Наиболее заметны непосредственные следствия недостаточной надёжности, связанные с полным или частичным невыполнением требуемых от технического объекта функций. Однако большое значение имеют и косвенные последствия недостаточной надёжности: высокая стоимость эксплуатации, потребность в неоправданно высоком уровне квалификации и излишних затратах труда обслуживающего персонала, дополнительное снабжение запасными частями и т.д.

Ненадёжность сказывается на стоимости, на временных затратах, а также психологически – в виде неудобств – и в определённых случаях грозит безопасностью как отдельных людей, так и больших сообществ. Обычно потери за счёт ненадёжности представляют собой не только стоимость выходящего из строя изделия, но также и стоимость связанного с ним оборудования, которое портится или разрушается в результате отказа, что определяется взаимодействием элементов в сложных системах. Например, отказ полупроводника в радиоприёмнике обычно приводит к небольшим затратам на его замену, в результате отказа такого же полупроводника в космической ракете могут не разделиться её ступени, что приведёт к потере всей дорогостоящей ракеты и может повлечь гибель людей. Подобные примеры очевидны. Менее очевидным примером может служить стоимость профилактических работ. Необходимость иметь подготовленный персонал для постоянной проверки оборудования, даже если результаты ненадёжности не так уж существенны, обходится очень дорого. К тому же за любой элемент, который нуждается в замене, необходимо платить, а это должно включать в себя транспортные расходы, равно как и стоимость связи и организацию снабжения. Если же мы будем иметь в два или три раза больше элементов, чем это требуется теоретически, чтобы надёжность была равна 100% (очень близкой к этой величине), то стоимость компенсации ненадёжности станет излишне высокой.

Затраты времени нередко являются следствием ненадёжности, а в промышленности (да и не только в ней) это почти всегда приводит к денежным затратам. При эксплуатации пассажирских самолётов устранение неисправностей, которые влекут за собой задержки вылета, может привести к штрафу за нарушение графика перевозок и к затратам на организацию ночлега и дополнительное питание пассажиров. В области коммерции частые или нежелательные неудобства, возникающие из – за ненадёжности, сказываются на интересах как потребителя, так и производителя.

Вероятно, наиболее важным следствием ненадёжности является её влияние на безопасность как отдельных людей или их групп, так и целых регионов. Достаточно вспомнить такие техногенные катастрофы, как взрыв газопровода в Башкирии или Чернобыль.

К сожалению, панацея от ненадёжности отсутствует. Нельзя ожидать, что надёжность какого – либо изделия будет равна единице, если на неё влияет множество разных факторов, начиная от момента изготовления и до момента эксплуатации, не все из которых можно проконтролировать. Однако в настоящее время, пользуясь имеющимися в науке и практике средствами, уже можно получить какое – то решение этой проблемы, хотя бы в первом приближении.

Причины ненадёжности

Причин ненадёжности множество, попробуем выделить несколько основных групп факторов, определяющих ненадёжность объектов.

Недостаток знаний. Развитие науки и техники позволяет создавать всё новые и новые устройства для выполнения всё более и более сложных работ. Однако то, что является возможным и осуществимым, не обязательно надёжно. Приборы и системы недостаточно совершенны, и в различных условиях они работают неодинаково. Наши общие сведения о каком – либо изделии могут оказаться недостаточными, так что при помещении его в определённую среду, о которой мы имеем мало сведений, происходят отказы. Другими словами, мы работаем в пределах наших технологических знаний. Конечно, при наличии времени мы бы приобрели и систематизировали знания так, чтобы положение изменилось. Этому служит процесс обучения. Если бы эта эволюция происходила естественным путём, проблема надёжности так бы остро не возникала. Однако существующее положение вещей не даёт нам возможности уделять достаточно времени и внимания всем этим вопросам. Эволюционный процесс вступает в конфликт с «революционной» атмосферой. Вместо того, чтобы использовать время на экспериментирование, синтез и применение знаний, разрабатываются всё новые и новые системы и приборы. Исключается возможность повторения некоторых ошибок, но вместо них обычно появляются другие ошибки за счёт отличия новых систем и условий их эксплуатации.

Сложность оборудования. Сложность является не только свойством самой физической системы, но также и процессов, необходимых для её создания. Рассмотрим сначала физическую систему. Обратимся к системе, для успешной работы которой требуется, чтобы все её подсистемы, составные части и элементы также работали успешно. Теория вероятностей утверждает: вероятность успешной работы системы определяется вероятностью того, что все элементы системы работают успешно. Математически это может быть сформулировано следующим образом: вероятность успешной работы системы (т.е., как мы определим позднее, надёжность системы), равна произведению вероятностей успешной работы каждого её элемента (т.е. произведению надёжностей этих элементов), при условии, что они статистически независимы. Это правило, обычно называемое правилом перемножения, позволяет сделать заключение о том, что, чем сложнее система, тем ниже её надёжность.

Другим проявлением сложности, приводящим к ненадёжности, является взаимодействие подсистем. Это взаимодействие может определяться воздействием окружающей среды или функциональным взаимодействием, когда выходные параметры одного элемента могут превысить технические условия на входе сопряжённого с ним другого элемента. Последнее входит в круг вопросов, решаемых при конструировании системы, и тем не менее может служить причиной ненадёжности. Сложность требует параллельных разработок. Мы добиваемся усовершенствований во многих отраслях сразу и поэтому часто не имеем достаточно сведений о пределах возможностей отдельных частей и компонентов, хотя в то же время знаем, что неправильное поведение любого компонента может отрицательно повлиять на поведение так или иначе связанного с ним соседнего компонента.

Таким образом, при создании системы или её отдельных частей может выявиться столько непредвиденных обстоятельств и неучтённых взаимосвязей, что конструктор в начальном проекте не в состоянии всех их охватить и каким – либо образом учесть. Он сможет сделать это со временем, но при этом будет вынужден пройти весь процесс познания, о котором уже упоминалось выше, с его непременными ошибками и неудачами.

Сложность организации. Кроме физической сложности системы существуют связанные с ней и не менее важные трудности. Сложная система требует хорошо организованного руководства, которое в свою очередь нуждается в эффективной системе связи. Если собрать вместе все сведения, касающиеся использования какого – либо типа оборудования во всевозможных условиях его применения, и правильно интерпретировать, то можно значительно снизить интенсивность его отказов. Этого можно достичь правильным его использованием, изменением его отдельных компонентов и с помощью резервирования. Однако из – за ограничений нашей системы связи невозможно производить полный обмен данными. Более того, существует проблема передачи частной и секретной информации. Никакая фирма не будет делиться знаниями и наработками в своей области деятельности с другими бескорыстно. Это приводит к тому, что мы должны постигать многое на собственном опыте, а не полагаться на чей – то другой. Не менее серьезной, чем отсутствие информации, является проблема неправильной интерпретации фактов производителями и пользователями. В результате это приведёт к напрасной трате сил, времени и денег до тех пор, естественный процесс познания не вернёт нас в правильное русло.

Человеческий фактор. Очень важной причиной ненадёжности является группа факторов, посвящённая ошибке человека. Отказы при этом возникают не столько из – за непонимания оператором того, что он делает (при условии, конечно, что он прошёл соответствующую подготовку), а попросту из – за его невнимательности или забывчивости.

Обычно руководства, учебники и инструкции определяют правильную последовательность операций, которой необходимо следовать при техническом обслуживании и при работе. Тем не менее по мере знакомства с инструкцией обслуживающий персонал иногда пренебрегает ею, в результате чего обычно пропускается нечаянно какая – либо операция или нарушается их последовательность. Кроме того, из – за недостатка времени при выполнении каких – либо внеплановых работ могут быть неправильно подключены провода, не привинчена какая – нибудь деталь и т.п., что, естественно, приводит к отказам.

Но, хотя вмешательство человека может привести к отказу, его отсутствие нанесёт, вероятно, ещё больший ущерб. Способность человека управлять процессом работы представляет собой почти незаменимый фактор с точки зрения принятия решения. Его знания и опыт позволяют предусмотреть или изменить возможные ситуации и компенсировать ухудшение условий. Однако в поисках всё более высоких скоростей, сокращения времени и оптимальных конечных результатов человек всё более и более программирует свои действия при работе с современными сложными системами. Например, пилот реактивного самолёта является менее абсолютным хозяином положения, чем пилот менее скоростного винтового самолёта. Он не может достаточно быстро принять решение, так как факторов, которые необходимо учесть и проанализировать, слишком много и они очень сложно взаимосвязаны. Поэтому большая часть работы должна выполняться за него высокоскоростными автоматическими вычислительными и управляющими устройствами. Здесь мы имеем наложение уже нескольких факторов ненадёжности.

Таковы основные причины ненадёжности. Большую часть отказов можно отнести к общим случаям, рассмотренным выше.

Необходимо особо рассматривать так называемый *внезапный отказ*, который проявляется в резком, практически мгновенном изменении характеристик объектов, приводящем к его неработоспособности. Внезапные отказы обычно проявляются в виде механических повреждений элементов (поломки, трещины, обрывы, пробой изоляции и т.п.), из – за чего эти отказы часто называют грубыми. Внезапные отказы получили своё название из – за того, что обычно отсутствуют видимые признаки их приближения, т.е. перед отказом обычно не удаётся обнаружить количественные изменения характеристик объекта.

Внезапный отказ объекта также является следствием накопления необратимых изменений материалов. Иначе говоря, возникновение внезапного отказа также является следствием случайного процесса изменения какого – то параметра объекта. Внезапным отказ кажется лишь потому, что не контролируется изменяющийся параметр, при критическом значении которого наступает отказ объекта, обычно связанный с его механическим повреждением. Отсюда следует, что внезапный отказ нельзя объяснять только как отказ за счёт неустановленной причины, поскольку мы должны осознавать различие между действительным существованием причины и нашими способностями связать её с определённым влиянием на отказ. Если внезапный отказ относится к событию, которое является случайным во времени, тогда его определение можно считать достоверным.

Тщательный анализ отказов позволит исключить их причины и уменьшить интенсивность отказов до допустимых пределов, а их последствия свести к минимуму.

Предупреждение ненадёжности

Нет оснований полагать, что темпы прогресса и сложность наших систем начнут снижаться. Это означает, что факторы, определяющие ненадёжность, не станут менее значительными. Поэтому мы вправе ожидать решения некоторых основных вопросов этой проблемы.

Резервирование. Одно из основных требований надёжности состоит в том, чтобы пытаться создать систему настолько простой, насколько это позволяют технические требования. Хотя это правило может показаться очевидным, ему в действительности не всегда следуют. Мы должны стремиться согласовывать цели с нашими возможностями, причём с точки зрения надёжности цели должны быть немного ниже воображаемых возможностей. В теории надёжности для этого вводится понятие резервирования. Резервирование может принимать различные формы. Одна из них состоит в выполнении расчётов с большим запасом. Другая заключается в создании запасных вспомогательных составных частей. Наиболее простым примером может служить система, для успешной работы которой требуется безотказная работа только одного из её нескольких элементов. Это означает следующее: чем больше имеется запасных частей, тем выше вероятность того, что хоть какой –нибудь элемент, а значит, и вся система, будет работать безотказно. В теории надёжности эта зависимость является математической противоположностью правилу перемножения, о котором говорилось ранее. Повышая надёжность за счёт резервирования, мы в то же время усложняем конструкцию, увеличиваем её вес и удорожаем её, что в конечном счёте ограничивает возможности применения этого метода.

Организация производства. Проблема отказов, возникающих при взаимодействии элементов в системе, относится к области организации производства. При планировании испытаний и проектировании необходимо проявлять такой подход, чтобы составные части, будучи удобными в обращении и эксплуатации по отдельности, могли быть без особого труда объединены в систему. Если же составные части разрабатываются слишком разобщённо и не испытываются в системе, то их конструкция оказывается часто неприемлемой с точки зрения требований системы. С другой стороны, если составные части собираются в систему на слишком ранней стадии разработки, то происходит слишком много отказов по неизвестным причинам и в результате испытаний этой системы будет получено ничтожное количество полезных сведений. Статистическое экспериментирование поможет получить оценки функционального влияния и воздействия окружающей среды на изменение поведения составляющих элементов как в результате отдельных испытаний элементов, так и внутри системы в целом.

После установления пределов изменения параметров составляющих элементов можно оценить степень перекрытия их слабых областей и недостатки системы в целом, а затем выбрать соответствующий способ для объединения элементов в систему.

Контроль и организация взаимодействия по обмену информацией.
Организационная сложность делает контроль необходимым для эффективной координации, анализа и распространения технических знаний. Всё, что могло способствовать отказу или привело к нему, должно быть обязательно учтено. При плохой связи могут появиться следующие недостатки:

- 1) неполный объём информации, т.е. сообщаются не все относящиеся к делу сведения;
- 2) сообщаются все данные, но не все они попадают к соответствующим лицам;
- 3) неправильно истолковываются данные;
- 4) данные неправильно обрабатываются в первоисточнике.

Наличие любого из этих недостатков или какого – либо их сочетания может способствовать появлению отказов и поэтому необходимо постоянно контролировать их отсутствие.

Конструирование и осведомлённость в вопросах надёжности. Контроль ошибок пользователя производится различным образом. Можно пытаться спроектировать систему так, чтобы её сборка, эксплуатация и техническое обслуживание были предельно просты. Это касается области конструирования. Однако изучение основ надёжности и сообщений об ошибках исполнителя предназначено для повышения понимания происходящего и ответственности всех, кто участвует в выполнении программ конструирования и производства.

Эти общие методы представляют собой основу для разработки конкретных рекомендаций по повышению надёжности изделий и методов.

Надёжность как вероятностное понятие

Надёжность прибора является его качеством, которое, однако, не может измеряться непосредственно. В действительности, за исключением тривиальных случаев, она не может быть измерена вообще. Ограничиваются лишь её оценкой. Вероятностный смысл надёжности очевиден.

Поэтому *надёжность определяется как вероятность успешной работы прибора в том режиме и при тех условиях, которые определяет потребитель.*

Для нахождения этих вероятностей необходимо применять теорию статистических оценок во всех случаях, за исключением таких, когда имеется полная совокупность. Например, пусть в каком – то году надёжность стартовых ракетных ускорителей была равна 99%. Эта цифра представляет собой просто отношение всех успешных запусков ко всем предпринятым попыткам. В этом утверждении не делается попытка предсказать, что может случиться в следующем году или, если бы в рассматриваемом году была использована только половина ракет, какова была бы надёжность остальных. Вероятность вводится тогда, когда мы пытаемся делать утверждение о совокупности, основываясь на наблюдениях, полученных при одной выборке, или по части совокупности, или когда мы пытаемся предсказать заранее исход событий.

Научная дисциплина, изучающая общие методы и приёмы, которых следует придерживаться при проектировании, изготовлении, приёмке, транспортировке и эксплуатации изделий для обеспечения максимальной их эффективности в процессе использования, а также разрабатывающая общие методы расчёта качества устройств по известным качествам составляющих их частей, получила название теории надёжности. Теория надёжности устанавливает закономерности возникновения отказов устройств и методы их прогнозирования; ищет способы повышения надёжности изделий при конструировании и последующем изготовлении, а также приёмы поддержания надёжности во время их хранения и эксплуатации; разрабатывает методы проверки надёжности изделий и способы контроля надёжности при приёмке больших партий продукции. Теория надёжности вводит в рассмотрение количественные показатели качества продукции.

Когда мы делаем предсказания, статистическая теория позволяет связывать степени достоверности с любой оценкой надёжности, которую мы можем задать. Так, мы можем быть на 50% уверены, что истинная надёжность будет выше или в пределах определённых выбранных значений. С другой стороны, мы можем пожелать быть более точными в предсказании, т.е. уверенными на 90% или на 99% и более. Мы никогда не можем быть уверенными на 100%, за исключением тех случаев (подобно указанному выше тривиальному случаю), когда имеем полные данные о нашем изделии. В этом случае мы просто измеряем надёжность, а не предсказываем её. Однако, чем большую достоверность мы желаем получить при наших прогнозах при неизменном объёме исследуемой выборки, тем более осторожными должны быть наши предсказания. Это означает, что доверительные «пределы надёжности» в наших предсказаниях должны быть уже или шире. Или, наоборот, если мы желаем остаться выше или внутри этих заранее заданных пределов, то должны быть подготовлены к тому, чтобы произвести бóльшую выборку. Для иллюстрации этих положений рассмотрим следующий числовой пример.

Предположим, что мы испытали 50 изделий и при этом имели два отказа. Что можно сказать о надёжности этого образца? Одна оценка будет составлять 96%, вторая 90%, третья 84%. Любому человеку, незнакомому со статистикой, наличие трёх различных значений надёжности (в действительности же существует бесчисленное множество значений), оцениваемых по нашим наблюдениям, может показаться странным. Однако ничего странного здесь нет. Требуется только знать основные правила и понимать, что представляют собой эти оценки. Первая величина (96%) – это просто отношение успехов к общему числу испытаний. Второе и третье значения надёжности являются доверительными границами, т.е. нижними границами истинной надёжности. Во втором случае мы на 90% уверены, что истинная надёжность выше 90%. В третьем случае мы на 99% уверены, что истинная надёжность больше 84%.

Как уже указывалось, чем выше доверие, тем осторожнее становятся наши утверждения. Первая величина (96%) – точечная оценка надёжности, а это означает, что она не может иметь связанного с ней доверительного уровня. Она могла бы представлять собой истинную надёжность, если бы, например, 50 изделий составляли полное количество произведённых изделий такого вида и за всё время из них отказали бы только два. Но если мы предположим, что это наблюдение оказалось только выборкой возможно из тысячи подобных изделий, мы можем задаться вопросом: «Что же неправильного в нашей точечной оценке? Почему бы нам всегда ею не пользоваться?» Ничего неправильного в точечной оценке нет, однако она не является достаточно показательной. Точечная оценка одинакова при одном отказе в 25 испытаниях или при двадцати отказах в 500 испытаниях, т.е. обе группы цифр дают оценку в 96%. Очевидно всё – таки, что у нас больше уверенности в утверждении, сделанном по результатам 500, а не 25 или 50 наблюдений. Статистическая теория обеспечивает нас этой уверенностью в количественной форме. Тогда при двадцати отказах в 500-х испытаниях мы можем утверждать с уверенностью в 90%, что истинная надёжность больше, чем 95%, а при одном отказе в 25 испытаниях и с той же уверенностью в 90% мы можем утверждать, что истинная надёжность больше, чем только 85%.

Оценка надёжности допускает большое число статистических вариантов. Ни одна из приведённых цифр не является несостоятельной, но из этих простых упражнений становится очевидным, что, когда мы выбираем, оцениваем или каким – либо образом приводим численные значения надёжности, мы должны хорошо осознать как их статистический смысл, так и их практическое приложение с точки зрения количества и стоимости испытаний.

Надёжность как функция критерия успеха. В нашем определении надёжности приведены слова «успешная работа». Что же под этим подразумевается? Если мы имеем оборудование, которое в течение заданного промежутка времени безотказно работает, и если это время не равно времени работы, заданному заказчиком, то является ли это испытание успехом? Это не отказ. А если это успех, то полный ли? Если нет, то не нужен ли некоторый связанный с ним весовой коэффициент для подстановки в формулу надёжности? Например, какова будет степень успеха при часовой работе вычислительного устройства, которое должно работать в течение только двух минут? Или какова вероятность успеха для ракетного двигателя, который при испытаниях безотказно работает в течение 20 секунд, а в условиях эксплуатации он должен работать в течение 2 минут? Какова вероятность успеха в тех случаях, когда при проведении испытаний мы не можем полностью моделировать влияние окружающей среды, которая будет оказывать воздействие на изделие в реальных условиях?

Критерий успеха и его конечное использование рассмотрим на следующих примерах. Ракетный двигатель, сообщаящий ракете даже 99% общего импульса, необходимого для выведения спутника на орбиту, приводит к полному отказу. Ракетный двигатель, сообщаящий 99% общего импульса тяги, необходимого для доставки боеголовки к месту назначения, может разрушить цель на 50%. Отсюда мы видим, что существует необходимость чётко определить понятие «успешной работы», т.е. следует проявлять осторожность при выборе основных правил для успеха и отказа при любом испытании и связывать их с различными режимами работы. Однако тут нет причины отказываться от установления нескольких критериев для оценки данных в зависимости от различных конечных требований. Например, можно оценить вероятность взлёта ракеты без преждевременного взрыва. Второй оценкой может служить вероятность поражения цели. Каждое из этих чисел важно, но не менее важно знать, о каком числе идёт речь. Это не понятно до тех пор, пока не станут известными основные критерии.

Непредставительные образы и испытания. Следующей отличительной чертой оценки надёжности является интерпретация результатов испытаний непредставительных изделий. В процессе выполнения программы разработок всегда происходит изменение изделий (или их образов) и, тем не менее, мы обязаны оценить, насколько хорош наш продукт и как быстро он совершенствуется. Таким образом, нам следует обсудить использование результатов испытаний систем и предварительных сборок, в которых имеются элементы, нехарактерные для окончательного варианта. Аналогичным образом определяют, какую выгоду можно извлечь из испытаний отдельных элементов и как связаны результаты частных испытаний с результатами испытаний полноразмерных образцов.

Кроме того, мы должны рассмотреть возможность использования данных, полученных при испытаниях, специально проводимых до отказа или с отказами за счёт ошибок обслуживающего персонала или неисправностей в средствах испытаний.

Таковы некоторые основные проблемы оценки надёжности. Очевидно, что большое внимание необходимо уделять выбору соответствующих данных, правильному толкованию результата и применению наиболее подходящих статистических методов оценки надёжности. На многие вопросы можно ответить, однако любой ответ должен соответствовать определённым условиям.

Оценка надёжности

Наибольшие трудности при оценке надёжности возникают не при её определении, а при выборе критериев и статистических методов оценки. Поэтому когда надёжность выступает в качестве требования к изделию, значение различных критериев резко повышается.

Можно считать, что оценка надёжности используется двояко. Во – первых, она используется как относительная мера и, применяя её в ходе выполнения программы разработки, мы можем измерять рост надёжности, т.е. она служит в качестве меры изменения при последовательном применении определённого критерия. Например, нам интересно было бы знать, что надёжность за прошлый месяц возросла на 5% по сравнению с предыдущим месяцем, когда она возросла на 3%. Во – вторых, оценка надёжности используется как абсолютная мера. Мы можем пользоваться тем же критерием для оценки абсолютной величины надёжности, но эта величина абсолютна только в пределах допущений этого критерия. Следовательно, если критерий неправильный, то и абсолютная величина недостоверна. В случае относительной меры при наличии неточности критерия метод можно рассматривать как первое приближение. Однако удовлетворение требования к надёжности изделия должно подтверждаться абсолютной оценкой, поэтому основные правила и статистический метод оценки должны быть полностью и тщательно определены.

Статистические методы служат повышению точности определения надёжности, но надо также осознавать их возможности. Прежде всего, оценка не может быть точнее, чем данные, на которых она основывается. Кроме того, если изделие действительно лишено надёжности, то никакая статистическая обработка не изменит этого. Например, если надёжность прибора равна 90%, никакое количество испытаний не докажет, что она равна 95%. При любом статистическом выборочном методе существуют определённые вероятности наблюдения надёжности, равной 95% или более или какой – либо другой заданной величине.

На первый взгляд кажется странным, что в то время, как мы никогда не можем быть уверены на 100% в способности подтвердить определённую надёжность, мы иногда на 100% гарантируем неспособность её подтвердить. Это может иметь большое значение. Например, очень важно сознавать, что при наличии выборки в 20 изделий при доверительном уровне в 90% невозможно продемонстрировать минимальную надёжность, равную 95%. Лучший результат, который возможен при этой выборке, даже при всех успешных испытаниях, при доверительной границе в 90%, - это минимальная надёжность около 89%.

Статистика – это средство для оценки вероятностей статистического подтверждения (при наблюдении) такого события, как k успехов при n испытаниях. Можно вычислить вероятности наблюдения этого события для различных гипотетических значений истинной надёжности. *Технические возможности создают истинную величину надёжности прибора; статистические же методы позволяют только оценивать эту присущую ему характеристику.* Чем выше возможное значение надёжности, тем больше, конечно, вероятность удовлетворения требований или тем меньше риск их неудовлетворения. Эти вероятности вычисляются статистическими методами. Можно только выдвинуть гипотезу, вычислить и предсказать вероятности удовлетворения требований. Действительная вероятность удовлетворения этих требований соответствует нашим инженерным возможностям и тому, как они обеспечены и организованы.

Наиболее важной задачей является достижение максимального уровня надёжности агрегата или системы, за которые мы несём ответственность. На следующем этапе необходимо узнать, какие требования предъявляет надёжность системы к подсистемам и составным частям. Эти требования необходимо увязать с возможностями их удовлетворения, для чего следует одновременно пересмотреть взаимозависимость составных частей системы с точки зрения надёжности, их действительную и потенциальную или ожидаемую надёжность, а также объём и правильность планируемой программы разработок. Методами для выполнения этого исследования являются распределение надёжности, пересмотр конструкции с точки зрения надёжности, обзор существующих сведений по надёжности, планирование испытаний и анализ. По ходу выполнения программы разработки эти задачи постоянно переоцениваются.

Понятие *распределения требований к надёжности* подразумевает процесс подразделения задачи исследования надёжности системы на задачи исследования надёжности подсистем и составных частей. Это распределение означает проверку согласования требований по надёжности, установленных для каждой подсистемы, с текущим состоянием разработки, предполагаемыми усовершенствованиями, объёмом испытаний и денежными средствами, отпущенными на разработку. После объединения требований к надёжности составных частей взаимозависимость их надёжностей должна быть в состоянии удовлетворить требования к надёжности системы в целом. Распределение играет огромную роль на первом этапе разделения системы на её основные подсистемы. Часто требуется производить распределение требований к надёжности именно на этом этапе, поскольку каждая из основных подсистем обычно создаётся различными предприятиями.

Распределение требований к надёжности приобретает огромное значение, если возникает потребность в подтверждении этих чисел (или числовых эквивалентов). Одно дело, решая задачи оценки надёжности подсистемы, показать важность этой подсистемы или определить объём необходимых работ, и совершенно другое дело, когда речь идёт о выполнении договора. Причина заключается в том, что распределение имеет свои ограничения. Как это часто бывает на практике, математические выкладки основываются на допущениях о статистической независимости и на виде математической модели, описывающей взаимосвязь между составными частями и системой. На более поздних этапах сборки независимость и модель могут оказаться очевидными; а на первых этапах модель может быть и не определена и необходимость допущения о статистической независимости может отсутствовать. При распределении наличие независимости не обязательно, хотя в этом случае математическая задача значительно усложняется. Можно видеть, что эти доводы применимы, только лишь когда мы имеем дело с числовыми значениями надёжности, полученными при отдельных испытаниях составных частей или подсистем. Когда же речь идёт об испытаниях подсистем как части испытаний системы в целом, математические и статистические взаимосвязи учитываются автоматически и всякие прерогативы отсутствуют.

Физическое строение системы также играет важную роль при определении того, насколько подробно мы должны подразделять систему. Электронное оборудование, к примеру, часто состоит из многих повторяющихся элементов (печатные схемы и т.п.). К тому же функциональные влияния и воздействие окружающей среды обычно не велики. Следовательно, в этих условиях имеет смысл оценивать или подтверждать надёжность элемента, так как в процессе оценки одного элемента мы получаем информацию, относящуюся ко всем другим элементам этого типа. Совсем другое дело тот же ракетный двигатель. Здесь имеется большое число совершенно различных составных элементов, которые к тому же испытывают воздействие высокой температуры и вибраций, возникающих при работе системы. Даже если бы мы могли установить задачи по исследованию надёжности составных элементов, трудность подтверждения заданного значения надёжности каждого отдельного элемента и моделирования воздействия окружающей среды делают эту задачу практически неосуществимой.

Пересмотр конструкции с точки зрения надёжности – деятельность очень важная, но она ни в коей мере не является дублированием работы конструктора. Конструктор стремится ориентироваться на новые конструкции и формы и не задумывается о «вероятности». А как уже указывалось ранее, не всякая осуществимая конструкция обязательно надёжна. Оптимальность характеристик очень часто связана с низкой надёжностью. Следовательно, необходимо с помощью определённых методов оценить требования к изделию независимо от самого конструктора. Только таким путём мы сможем получить наиболее эффективную систему.

Запас сведений о надёжности должен содержать перечень типов отказов, причин и последствий этих отказов. Кроме того, должна быть приведена характеристика окружающих и других условий, при которых происходит отказ. Необходимо различать зависимые и независимые отказы. Под зависимым отказом понимается отказ, возникающий в какой – либо части системы в результате отказа, произошедшего где – то в другом месте, т.е. зависимый отказ вызывается независимым отказом, а не происходит сам по себе. Должны быть приведены параметры, служащие для измерения надёжности, а также основные правила, которые определяют успех и отказ и их взаимосвязь с надёжностью. По возможности необходимо получить оценки интенсивности отказов и виды распределений отказов, соответствующих этим отказам.

При *планировании испытаний и их анализе* необходимо проверить, действительно ли выбран наиболее эффективный путь к достижению заданной надёжности в пределах ограничений по времени и стоимости. При этом мы сможем увидеть, на что сделан основной упор: на испытания элементов, испытания неполноразмерных изделий или испытания системы; подходит и достаточна ли поступающая информация. При оценке планов испытаний определяются эффективность статистических методов, достоверность критериев проверок и соответствие объёмов выборок требованиям программы разработок.

Из всех данных должна извлекаться максимальная польза. Анализ данных преследует цель выявления математической модели. В результате подобных исследований получают оценки надёжности, строят кривые изменения надёжности и корреляции информации, поступающей из различных источников, и определяют различные формы и этапы разработки. На основании математической модели и полученных оценок надёжности уже можно пытаться прогнозировать надёжность разрабатываемой системы при различных режимах её работы.