

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
Практическая работа № 1. Тема: Основные понятия в области надежности изделий. Расчет статистических показателей надежности .....	6
Практическая работа № 2. Тема: Функция, плотность распределения и числовые характеристики в надежности .....	18
Практическая работа № 3. Тема: Биномиальный закон распределения. Распределение Пуассона .....	29
Практическая работа № 4. Тема: Равномерный, экспоненциальный (показательный) и нормальный законы распределения .....	37
Практическая работа № 5. Тема: Расчет надежности по структурно-функциональным схемам изделий .....	49
Практическая работа № 6. Тема: Обработка результатов испытаний. Определение закона распределения .....	61
Практическая работа № 7. Тема: Статистический контроль надежности по альтернативному признаку .....	74
Перечень возможных тем для подготовки докладов (рефератов) .....	86
Перечень вопросов, выносимых на экзамен.....	87
Заключение .....	89
Список использованной литературы .....	90

# ВВЕДЕНИЕ

Данное учебное пособие прежде всего предназначено для студентов и специалистов, имеющих прямое отношение к проектированию, разработке, испытаниям и эксплуатации сложных технических изделий и комплексов, служащих в основном для выполнения задач, связанных с обеспечением безопасности национального суверенитета Российской Федерации и создания научного задела в интересах государства. Поэтому, когда мы будем говорить о надежности, в первую очередь, будем подразумевать надежность сложных технических изделий или их составных частей, созданных оборонно-промышленным комплексом.

Надежность является комплексным показателем качества изделия и определяется «законодателем» (ГОСТ Р 27.102-2021) как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Показатели надежности для изделий, рассматриваемых в рамках данной дисциплины, наряду с другими показателями качества (эстетические, патентно-правовые, экологические и др.), носят первостепенный и директивный характер. На этапах проектирования и разработки изделий государственный заказчик жестко устанавливает в тактико-технических заданиях требования к показателям надежности: вероятности безотказной работы, средней наработки до отказа (средней наработки на отказ, для восстанавливаемых изделий), средний ресурс и срок службы, средний срок сохраняемости и др. В случаях невозможности достижения установленного уровня показателей надежности, дальнейшее выполнение проекта приостанавливается или вовсе прекращается, и как правило, влечет за собой существенные временные и экономические потери.

В процессе освоения материала данного учебного пособия мы с вами научимся производить расчеты основных показателей надежности, строить технические прогнозы относительно эффективности дальнейшей разработки изделий, выбора оптимальных стратегий технического обслуживания, определения достаточности объема и вида испытаний на надежность. Приобретем прикладные навыки обращения с нормативно-технической документацией в области надежности, научимся определять достаточный объем проверяемых изделий при использовании процедуры выборочного контроля. Убедимся в том, что вся практическая деятельность и обоснованность методов и методологий обеспечения надежности, а как следствие, качества изделий, зиждется на теоретических положениях и доказательствах строгих теорем и законов.

Основы теории надежности являются прикладной дисциплиной, основанной на научных положениях теории вероятностей, математической статистики и исследовании физических процессов.

Основные задачи, которые решает теория надежности:

- анализ и выявление закономерностей между наступлениями случайной величины (в нашем случае отказа) и соответствующей ее вероятности;

- разработка прикладных приемов расчета показателей структурных систем надежности;
- прогнозирование наступления отказов на этапах испытаний и эксплуатации;
- подтверждение методов повышения надежности на всех этапах жизненного цикла изделий;
- обоснование и разработка статистических приемов сбора, хранения и обработки статистических данных, полученных в результате проведения различных видов испытаний на надежность.

Стоит отметить, что в рамках данного курса мы будем рассматривать изделия, которые не восстанавливаются (или условно принимать, что изделие эксплуатируется до наступления первого отказа). Таким образом, будем производить анализ надежности невосстанавливаемых сложных технических изделий. А случайной величиной будем считать такое событие, как отказ изделия.

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

## ТЕМА: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ В ОБЛАСТИ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ. РАСЧЕТ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

### 1. Изложение теоретического материала по теме

#### *Основные понятия в теории надежности*

В научной литературе встречаются разные точки зрения на вопрос о причинах возникновения и периоде становления такой предметной области, как надежность. Одной из них и наиболее вероятной считается создание методов расчета показателей надежности в силу необходимости определения степени качества сложных и дорогостоящих технических изделий и комплексов.

Одним из примеров попыток прогнозирования показателей надежности можно привести создание первых баллистических ракет дальнего действия «Фау-1» и «Фау-2» немецким ученым Вернером фон Брауном. В это время были разработаны и доказаны первые методики расчета показателей надежности и сформированы основные понятия и принципы данной научной области. Также в процессе создания указанных ракетных комплексов принимал участие немецкий математик Эрик Пьеружка. Он первым привел доказательства, что итоговая надежность ракеты рассчитывается как произведение показателей надежности всех составных частей, а не принимается по наименее надежному элементу системы, как считалось ранее другими учеными.

Основы теории надежности, как и любая другая предметная научная область, нуждается в своих специализированных терминах и определениях для формирования единого научного пространства. Далее мы определим «предметный словарь» в области надежности.

Ключевым понятием является понятие *надежность* (ГОСТ Р 27.102-2021), которое определяется как свойство изделия сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Рассмотрим, в каких состояниях может находиться изделие с точки зрения анализа надежности.

*Исправное состояние (исправность)* — состояние изделия, в котором параметры изделия соответствуют всем требованиям, установленным в эксплуатационно-технической документации на него или другим документом, определяющим технический облик изделия (тактико-техническое (техническое) задание, технические условия и т. д.).

*Неисправное состояние (неисправность)* — состояние изделия, при котором хотя бы один из его параметров не соответствует требованиям, установлен-

ным в эксплуатационно-технической документации на него или другим документом, определяющим технический облик изделия (тактико-техническое (техническое) задание, технические условия и т. д.).

*Работоспособное состояние (работоспособность)* — состояние изделия, при котором он способен выполнять свою основную функцию (предназначение).

*Неработоспособное состояние (неработоспособность)* — состояние изделия, при котором он неспособен выполнять свою основную функцию (предназначение).

*Предельное состояние* — состояние изделия, при котором дальнейшая эксплуатация запрещена или нецелесообразна в силу экономических факторов или небезопасности использования изделия по назначению.

Также существуют факторы, при которых состояние изделия может измениться по тем или иным причинам. Рассмотрим их более детально.

*Повреждение* — это событие, при котором изделие остается в работоспособном состоянии, но при этом нарушается исправность.

*Отказ* — событие, при котором нарушается состояние работоспособности.

Одной из основных прикладных задач надежности является получение максимально достоверных (с высокой степенью доверительной вероятности) значений показателей ресурса на различных этапах жизненного цикла технического изделия.

Рассмотрим, значения каких ресурсных показателей может спрогнозировать и рассчитать теория надежности.

*Наработка* — продолжительность работы изделия (может измеряться в часах, минутах, циклах, днях и т. д.).

*Средняя наработка до отказа* — наработка изделия от начала его эксплуатации до наступления первого отказа.

*Ресурс* — общая продолжительность наработки изделия от начала его эксплуатации или после проведения капитального ремонта (ремонта) по восстановлению исправности и до момента перехода изделия в предельное состояние.

Стоит отметить, что моментом начала эксплуатации считается не завершение последней технологической операции по изготовлению изделия, как может интуитивно показаться на первый взгляд, а окончательное оформление сопроводительной документации на изделие. Которое заключается в подписании эксплуатационного документа (паспорта, этикетки, сертификата качества и др.) уполномоченными сторонами руководства предприятия, службой качества и военным представительством Министерства обороны Российской Федерации (если изделие производится в рамках выполнения государственной оборонной программы или в интересах других федеральных заказчиков).

*Срок службы* — календарная продолжительность эксплуатации изделия от начала его эксплуатации или после проведения капитального ремонта (ремонта) по восстановлению исправности и до момента перехода изделия в предельное состояние (может измеряться в часах, минутах, циклах, днях и т. д.).

*Срок сохраняемости* — календарная общая продолжительность хранения и/или транспортирования изделия, в течение которой сохраняются в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции (измеряется во временных показателях).

В практической деятельности на предприятиях в основном в документации, регламентирующей технические требования к изделиям, устанавливаются *назначенный ресурс, назначенный срок службы и назначенный срок хранения*. Отличие данных показателей от приведенных выше заключается лишь в том, что по истечении указанных сроков эксплуатация изделия прекращается, вне зависимости от его технического состояния. Диагностика состояния изделия проводится до наступления перехода его в предельное состояние, а далее может быть принято решение о его утилизации или возможности продления ресурсных показателей.

В рамках изучения теории надежности мы будем рассматривать эти ресурсные показатели с точки зрения вероятностных аппроксимаций. Другими словами, данные параметры будут рассчитываться как средние наблюдаемые величины, удовлетворяющие определенному уровню уверенности, а точнее, достоверной вероятности в том, что отказ изделия не наступит ранее, чем установлено в технических требованиях на изделие. И такие параметры надежности будут называться *средним ресурсом, средним сроком службы, средним сроком сохраняемости*, что в свою очередь представляют из себя *математическое ожидание* времени перехода изделия в предельное состояние.

#### *Единичные показатели надежности*

Как отмечалось выше, теория надежности является прикладной наукой и находит свое применение в самых различных областях. Мы же говорим о надежности сложных технических изделий. Само понятие надежности является комплексным, это значит, что она содержит в себе возможность взглянуть и проанализировать свойство надежности под различными «углами зрения». Далее мы рассмотрим составляющие надежности и познакомимся с количественными показателями, при помощи которых возможно в общем смысле говорить о степени надежности изделия и рассматриваемом его определенном свойстве.

*Показатели надежности (характеристики)* — это количественная оценка характеристики одного или нескольких свойств, являющихся составляющими надежности изделия.

Показатели надежности в обязательном порядке задаются в нормативно-технической документации на изделие и в этом случае являются *нормативными, установленными* показателями, которые подтверждаются в процессе разработки, изготовлении и испытании изделия. Полученные показатели по итогам расчетов и проведенных испытаний на надежность будут называться *фактическими*. При минимальной разности фактических и нормативных показателей изделие считается подтвердившим свою надежность.

На диаграмме 1.1 представлены характеристики, описывающие общее свойство надежности.



Ниже детально будут рассмотрены и проанализированы характеристики надежности, которые являются наиболее важными и чаще использованными в практической деятельности, и имеют главенствующую роль при расчете надежности. Будут представлены математические выкладки, примеры их расчета, а также приведены аналоги практической действительности в области обеспечения надежности изделий. Остальные показатели будут рассмотрены с описательной точки зрения.

Первый большой блок характеристик надежности, *безотказность* — свойство изделия сохранять работоспособное состояние в рамках заданного периода времени.

*Вероятность безотказной работы (ВБР)* — вероятность того, что в рамках заданного периода времени отказ не наступит.

Вероятность безотказной работы изделия является наиболее обобщенной характеристикой надежности. При формировании требований к техническим изделиям в директивном порядке задается в нормативно-технической документации. Характеризует уровень качества изделия в общем виде. Значения, которые могут задаваться в технической документации, как правило, находятся в диапазоне  $0,98 \div 0,99$ . Выполнение данных требований говорит о том, что с высокой степенью убежденности изделие не откажет ранее, чем установлены на него ресурсные показатели. Показатель вероятности безотказной работы, как можно догадаться, является величиной безразмерной и измеряется в пределах от 0 до 1.

Статистический расчет данного показателя определяется отношением числа работоспособных изделий в рассматриваемый промежуток времени к числу изделий в начале испытаний:

$$P_{\text{б.р.}}(t) = \frac{N(t)}{N_0(t)}, \quad (1.1)$$

где  $N(t)$  — число работоспособных изделий в рассматриваемый промежуток времени;  $N_0(t)$  — число изделий в начале испытаний.

Вероятность отказа (функция распределения)  $F(t)$  — величина обратно пропорциональна вероятности безотказной работы через единицу, по понятным причинам:

$$F(t) = 1 - P_{\text{б.р.}}(t). \quad (1.2)$$

На рисунке 1.1 представлена функциональная зависимость распределения вероятности безотказной работы и вероятности отказа.

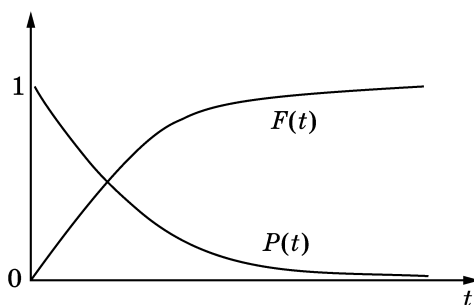


Рис. 1.1

График распределения вероятности безотказной работы и вероятности отказа

*Средняя наработка до отказа* — математическое ожидание наработки изделия до отказа. Или, иначе, среднее значение времени работы объекта до первого отказа.

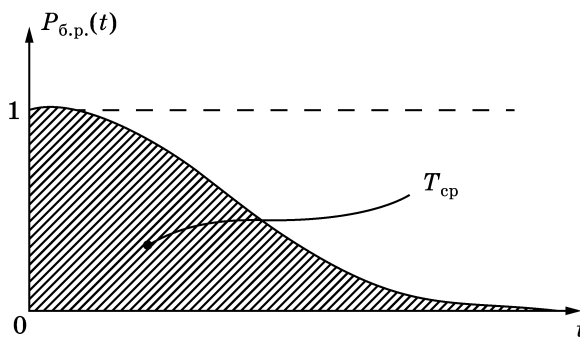
По статистическим данным среднюю наработку можно рассчитать, как отношение суммы времени исправной работы  $i$ -го изделия к общему числу изделий, участвующих в эксперименте (испытании):

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N_0}, \quad (1.3)$$

где  $t_i$  — время исправной работы  $i$ -го изделия;  $N_0$  — число изделий в начале испытаний.

На рисунке 1.2 изображен график распределения вероятности безотказной работы, а его интегральная площадь, ограниченная сверху  $P_{\text{б.р.}}(t)$ , и составляет среднее время наработки до отказа.





**Рис. 1.2**

Средняя наработка до отказа

Математическое выражение для расчета среднего времени наработки изделия, если в данном случае будем рассматривать не дискретные значения моментов наступления отказа, а перейдем на параметрическое непрерывное пространство, будет иметь следующий вид:

$$T_{cp.} = \int_0^{+\infty} P_{б.р.}(t) dt. \quad (1.4)$$

Если значения кривой получены по результатам испытаний, то путем измерения площади под графиком, приближенно можно получить статистическое значение средней времени наработки до отказа.

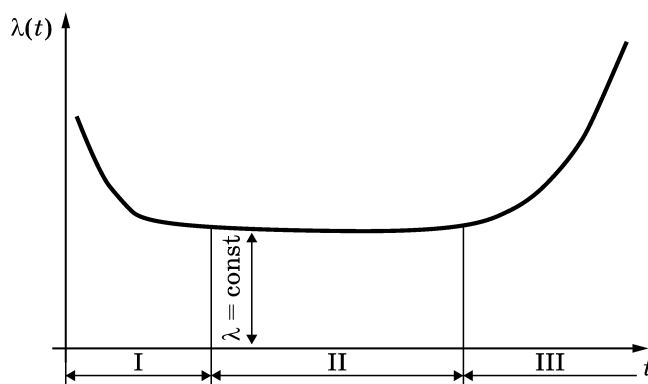
*Интенсивность отказа* — представляет собой условную вероятность возникновения отказа в системе в некоторый момент времени наработки при условии, что до этого момента отказов в системе не было.

Данный параметр характеризует долю изделий, отказавших в единицу времени, приведенную к числу изделий, находящихся в работоспособном состоянии в заданный момент времени. Может быть рассчитана по статистическим данным, как отношение числа отказавших объектов в единицу времени к среднему числу объектов, продолжающих исправно работать в данный интервал времени:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N(t)}{N_{cp}(t) \Delta t}, \quad (1.5)$$

где  $\Delta N(t)$  — число отказавших изделий за наблюдаемый период времени;  $N_{cp}(t) = \frac{N_{i-1} + N_i}{2}$  — среднее число изделий, находящихся в работоспособном состоянии за наблюдаемый период времени  $\Delta t$ .

На рисунке 1.3 представлена зависимость изменения интенсивности отказа в течение жизненного цикла работы изделия.



**Рис. 1.3**

График функциональной зависимости интенсивности отказов от времени работы изделия

Мы можем наблюдать, что на первом этапе (I) — будем считать, что первый этап — это *начало жизненного цикла*, начинается с момента окончания первого изготовления изделия и до его полной отладки, устранения всех выявленных конструктивных и производственных недостатков — интенсивность отказа имеет большое значение, но постепенно в процессе «приработки» экспоненциально уменьшается и переходит на следующий этап. На втором этапе (II), когда изделие доработано до серийного облика и передано заказчику, наблюдаем стабильное работоспособное состояние. Интенсивность отказов приобретает форму «плато»,  $\lambda(t)$  является на этом участке константой. Условно второй период можно считать этапом *эксплуатации*. На третьем этапе (III) — изделие с течением времени устаревает, изнашивается и по естественным причинам отказывает чаще. В связи с этим интенсивность отказа экспоненциально растет. Окончанием данного периода можно считать снятие изделия с эксплуатации и последующую утилизацию.

На данном курсе при вычислении параметров надежности мы будем предполагать в дальнейшем, что находимся на этапе серийной эксплуатации изделия и при вычислениях принимать интенсивность отказов, как постоянное значение, не меняющееся во времени.

*Гамма-процентная наработка до отказа* — это значение наработки, в рамках которой подразумевается, что отказ не проявится с определенной вероятностью  $\gamma$ , которая выражается в процентах:

$$T_{\gamma\%} = \int_0^{T_{\gamma\%}} f(t) dt = \frac{\gamma}{100}, \quad (1.6)$$

где  $f(t)$  — плотность распределения вероятности наступления отказа изделия (данный параметр будет рассмотрен более подробно в следующих разделах).

Плотность распределения вероятности наступления отказа изделия при известных статистических данных можно рассчитать при помощи следующей формулы:

$$f(t) = \frac{\Delta N(t)}{N_0(t)\Delta t}, \quad (1.7)$$

где  $\Delta N(t)$  — число отказавших изделий за наблюдаемый период времени;  $N_0(t)$  — число изделий, находящихся в работоспособном состоянии за наблюдаемый период времени  $\Delta t$ .

Далее рассмотрим оставшиеся характеристики, из которых состоит надежность.

*Долговечность* — понимается свойство объекта сохранять работоспособность изделия до перехода его в предельное состояние при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Долговечность состоит из следующих показателей.

*Средний ресурс* — математическое ожидание наработки объекта от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние. Иначе, это среднее значение суммарного времени работы изделия до момента перехода его в предельное состояние.

*Гамма-процентный ресурс* — наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью, выраженной в процентах. Данный показатель по своему смысловому значению аналогичен уже известной нам гамма-процентной наработке до отказа, рассмотренной выше.

*Средний срок службы* — математическое ожидание календарной продолжительности от начала эксплуатации объекта или его восстановления после ремонта до перехода в предельное состояние.

*Гамма-процентный срок службы* — календарная продолжительность от начала эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью, выраженной в процентах. При  $\gamma = 100$  гамма-процентный срок службы называют установленным сроком службы, при  $\gamma = 50$  — медианным сроком службы.

Показатели долговечности применяются для описания состояния как невосстанавливаемых, так и восстанавливаемых объектов.

Рассмотрим показатели надежности, которые относятся к свойству *ремонтпригодности*.

*Ремонтпригодность* — это свойство изделия, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтпригодность представляет собой совокупность технологичности при техническом обслуживании и ремонтной технологичности объектов. Свойство ремонтпригодности полностью определяется его конструкцией, т. е. предусматривается и обеспечивается при разработке, изготовлении и монтаже

объектов, с учетом будущего целесообразного уровня их восстановления, который определяется соотношением ремонтпригодности и внешних условий для выполнения ремонта, в том числе устанавливаемых для этих пределов соответствующих затрат.

*Вероятность восстановления* — вероятность того, что время восстановления не превысит определенного заданного времени.

*Среднее время восстановления* — математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния изделия после отказа. Время восстановления отсчитывают либо непрерывно с начала выполнения восстановительных работ, либо из этого промежутка времени по определенным признакам исключают интервалы времени, не обусловленные непосредственно выполнением ремонта. В связи с этим различают общее время восстановления работоспособности и оперативное время восстановления работоспособности объекта.

*Гамма-процентное время восстановления* — время, в течение которого восстановление работоспособности изделия будет осуществлено с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах. Интенсивность восстановления — это условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

*Интенсивность восстановления* — условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния изделия, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановления не произошло.

Заключительный блок надежности составляют показатели *сохраняемости*.

*Сохраняемость* понимают, как свойства объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих работоспособность изделия в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Срок сохраняемости представляет собой календарную продолжительность хранения и (или) транспортирования изделия, после которой сохраняются значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в установленных пределах.

*Средний срок сохраняемости* — математическое ожидание общего срока сохраняемости изделия.

Иначе, среднее значение календарного срока сохраняемости, при котором и после которого изделие остается в работоспособном состоянии. Момент окончания срока хранения считается началом течения назначенных сроков службы и (или) ресурса.

## **2. Возможные темы докладов на практическом занятии**

1. Роль службы надежности на этапе разработки конструкции.
2. Серия государственных стандартов по надежности.
3. Возможные состояния объекта.
4. Методы вычисления статистических показателей надежности.

### 3. Быть готовым к опросу по определениям

1. Объект, система, элемент системы.
2. Исправность, неисправность, работоспособность, неработоспособность.
3. Повреждение, отказ, критерий отказа, восстановление, восстанавливаемый объект, невозстанавливаемый объект.
4. Предельное состояние, внезапный отказ, постепенный отказ, конструктивные отказы, производственный отказ, эксплуатационный отказ, деградиационный отказ, явный отказ, скрытый отказ, перемежающийся отказ, сбой.
5. Нарботка, наработка до отказа, средняя наработка, ресурс изделия, назначенный ресурс, остаточный ресурс, срок службы, срок сохраняемости, ремонтпригодность.
6. Вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов, интенсивность восстановления.

#### Пример решения задач

*Условие.* На испытания на надежность было поставлено 1000 изделий. За первые 1000 ч произошел отказ 100 изделий, за период времени от 1000 до 2000 ч произошел отказ еще 100 изделий. Необходимо рассчитать вероятность безотказной работы изделий при эксплуатации 1000 ч, 2000 ч, вероятность отказа при работе 1000 ч, найти интенсивность отказа за период работы последние 1000 ч.

*Решение.* Используя формулы (1.2), (1.2) и (1.5) для вычисления статистических показателей надежности, рассчитаем следующие показатели.

1. Находим вероятность безотказной работы по известной формуле за первые 1000 ч:

$$P_{б.р.}(1000) = \frac{1000 - 100}{1000} = 0,9.$$

2. Далее рассчитываем вероятность безотказной работы по известной формуле за второй наблюдаемый период от 1000 до 2000 ч:

$$P_{б.р.}(2000) = \frac{1000 - 200}{1000} = 0,8.$$

3. Рассчитаем вероятность отказа на периоде 1000 ч:

$$F(1000) = 1 - 0,9 = 0,1.$$

4. На завершающем этапе найдем интенсивность отказа на последнем наблюдаемом периоде:

$$\lambda(1000 - 2000) = \frac{100}{\frac{900 + 800}{2} \cdot 1000} = \frac{100}{850 \cdot 1000} = 1,2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{ч}.$$

*Ответ:*  $P_{б.р.}(1000) = 0,9$ ;  $P_{б.р.}(2000) = 0,8$ ;  $F(1000) = 0,1$ ;  $\lambda(1000-2000) = 1,2 \cdot 10^{-4} 1/ч$ .

## 5. Задачи для самостоятельного решения

**Задача 1.** На оборонном предприятии проводятся испытания блоков из состава бортовой инерциальной навигационной системы в количестве 60 комплектов. Испытания проводились в течение 2000 ч. В ходе испытаний отказало 6 изделий. Определить статистическую оценку вероятности безотказной работы изделий за время 2000 ч.

**Задача 2.** На испытание на надежность поставлено 600 датчиков оборотов газотурбинного двигателя. За период 4000 ч отказало 60 датчиков, а за следующий период 4000–5000 ч вышло из строя еще 30 датчиков. Необходимо определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа за 4000 и 5000 ч испытаний. Найти интенсивность отказов датчиков оборотов газотурбинного двигателя в период времени 4000–5000 ч.

**Задача 3.** На радиоэлектронном предприятии проводятся испытания доплеровских датчиков высоты в количестве 300 изделий. За 3000 ч отказало 150 изделий, за следующие 100 ч отказало еще 50 датчиков. Найти вероятность безотказной работы за 3000 ч, 3200 ч, частоту и интенсивность отказов при наработке 3200 ч.

**Задача 4.** На ресурсные испытания поставлено 60 механизмов выпуска и уборки шасси. Испытания проводились в течение 2000 ч. Зафиксированы отказы механизмов в моменты времени 1200 ч, 450 ч, 900 ч, 720 ч, 950 ч, 1100 ч. Остальные буровые механизмы выпуска и уборки шасси остались в работоспособном состоянии. Найти статистическую оценку среднего значения наработки до первого отказа.

**Задача 5.** Испытание на определение ресурсных показателей проводилось на 200 изделиях. За первые 100 ч работы отказало 25 изделий. За последующие 20 ч отказало еще 5 изделий. Определить статистическую оценку вероятности безотказной работы и вероятности отказа на моменты времени 100 ч и 120 ч, оценку плотности распределения отказов и интенсивности отказов в промежутке времени между 100 ч и 120 ч.

**Задача 6.** На испытания на надежность поставлено 500 компенсаторов радиочастотных помех. Отказы компенсаторов фиксируются каждые 200 ч работы. Распределение числа отказов приведено в таблице. Необходимо заполнить таблицу 1.1 и построить график зависимости изменения вероятности безотказной работы и интенсивности отказов от наработки в интервале времени 0–2000 ч.

Таблица 1.1

$\Delta t$	$N_0(t)$	Количество отказов	$N(t)$	$P_{б.р.}(t)$	$\lambda(t)$
0–200	500	22			
200–400		40			
400–600		30			
600–800		15			
800–1000		9			

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)