

ОГЛАВЛЕНИЕ

Принятые сокращения.....	5
Предисловие	6
Глава 1. Теория вероятности и математическая статистика	10
1.1. Основные понятия теории вероятностей	10
1.2. Непосредственный подсчет вероятностей.....	10
1.3. Случайные величины	12
1.4. Сумма и произведение вероятностей событий	12
1.5. Законы распределения случайных величин	15
1.5.1. Ряд распределения. Многоугольник распределения	15
1.5.2. Функция распределения	16
1.5.3. Вероятность попадания случайной величины на задний участок	18
1.5.4. Числовые характеристики случайных величин	19
1.5.5. Система случайных величин.....	22
1.5.6. Регрессионный анализ	28
Глава 2. Теория надежности и диагностика технологических процессов и машин.....	30
2.1. Эксплуатационно-технические характеристики технологических процессов (ЭТХ ТП).....	30
2.2. Классификация систем	36
2.3. Классификация отказов	37
2.4. Основные показатели эксплуатационно-технических характеристик	38
2.5. Показатели надежности невосстанавливаемых объектов.....	42
2.5.1. Плотность вероятности наработки до первого отказа	42
2.5.2. Математическое ожидание (среднее значение)	44
2.5.3. Второй центральный момент (дисперсия).....	45
2.5.4. Вероятность безотказной работы	45
2.5.5. Интенсивность отказов	45
2.5.6. Надежность объекта с учетом зависимости интенсивности отказов от времени	48
2.5.7. Надежность объектов при разнородных отказах	49
2.5.8. Взаимосвязь характеристик безотказности	51
2.6. Количественные показатели надежности восстанавливаемых объектов	52
2.6.1. Средняя наработка на отказ. Среднее время восстановления	52
2.6.2. Количественные показатели готовности технологических процессов	54
2.6.3. Коэффициент оперативной готовности	55

2.6.4. Коэффициент технического использования.....	56
2.6.5. Надежность объектов в переменном режиме.	
Физический принцип надежности по Н. М. Сидякину	56
2.7. Надежность технологических процессов	61
2.8. Резервирование	63
2.8.1. Классификация методов резервирования.....	63
2.8.2. Количественные оценки безотказности резервированных технологических процессов	67
2.8.3. Количественные оценки безотказности резервированных технологических процессов при наличии разнородных отказов	71
2.9. Количественные оценки ремонтопригодности технологических процессов	73
2.10. Диагностика отказов в ТП.....	74
2.10.1. Метод последовательных поэлементных проверок	74
2.10.2. Метод последовательных групповых проверок.....	74
2.10.3. Комбинационный метод.....	74
2.11. Количественные показатели долговечности ТП.....	75
2.12. Методика количественной оценки долговечности элементов технологического оборудования	77
2.13. Методы повышения надежности технологических процессов	84
2.13.1. Классификация методов повышения надежности	84
2.13.2. Уменьшение интенсивности отказов	85
2.13.3. Методы физического и математического моделирования	85
2.13.4. Прогнозирование отказов технологических процессов	87
2.13.5. Методы прогнозирования.....	91
Глава 3. Управление надежностью при изготовлении машин	97
3.1. Роль технологии в обеспечении надежности машин	97
3.2. Надежность технологического процесса	105
3.3. Контроль качества и надежности продукции в процессе ее изготовления	113
3.4. Технологическая надежность оборудования.....	118
3.5. Остаточные и побочные дефекты технологических процессов	126
3.6. Диагностика машин и технологических процессов	133
3.7. Основные пути повышения надежности машин.....	142
Заключение	147
Литература.....	151

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

ТП — технологический процесс

ЭТХ — эксплуатационно-технические характеристики

ОТО — отдел технического обслуживания

ТЗ — техническое задание

ЧПУ — числовое программное управление

ССРН — структурные схемы расчета надежности

ТИ — триботехническое изделие

ТПП — технологическая подготовка производства

ЭОД — электронная обработка данных

ЦТП — цифровизация технологических процессов

АСТПП — автоматизированные системы технологической подготовки производства

ТУ — технические условия

ТО — техническое обслуживание

ГАУ — гибкий автоматизированный участок

ГАЛ — гибкая автоматизированная линия

ГП — гибкое производство

СУ — система управления

САУ — система автоматизированного управления

Чем дальше от доски конструктора
обнаруживается ненадежность, тем
дороже она обходится.

Академик А. Н. Туполев

ПРЕДИСЛОВИЕ

Под надежностью (в широком смысле) понимается «вероятность удовлетворительного соответствия товара своему назначению, и безотказная работа в определенных условиях окружающей среды и в течение установленного срока».

Вопросы (основные понятия и термины) при расчете и анализе надежности содержатся в ГОСТ 21623-76, ГОСТ 18322-78, ГОСТ-16504-81, ГОСТ-27.002-83, ГОСТ 27.002-89, ГОСТ 27.301-95, ГОСТ Р53480-2009.

В качестве критерия для обозначения надежности используют: вероятность безотказной работы, среднюю наработку на отказ, интенсивность отказов.

На надежность создаваемых машин и механизмов существенное влияние оказывает технология изготовления и сборки деталей, входящих в эти машины. Она определяет их работоспособность и долговечность. Эффективное применение современных технологий механической обработки заготовок деталей машин, современного оборудования (станков) и технологической оснастки (приспособлений для закрепления заготовок, режущего и мерительного инструментов, самого режущего инструмента и пр.) позволяет значительно повысить ресурс их эксплуатации.

Основными источниками погрешностей обработки [11, 22, 43, 48] являются физико-механические свойства материала заготовок, погрешности оборудования (станков) приспособлений и инструмента, погрешности метода обработки, настройки станка, установки и базирования заготовки в приспособлении, силовые, тепловые, динамические воздействия, погрешности износа деталей технологической системы и др.

Погрешности элементов оборудования и надежность обработанных деталей находятся в прямой зависимости. Например, биение переднего подшипника шпинделья токарного станка вызывает не только овальность обрабатываемой поверхности, но и увеличение ее шероховатости, а также возникновение остаточных растягивающих напряжений, что в совокупности может привести к снижению надежности получаемых деталей и всей машины в целом.

Для управления процессами обработки заготовок деталей машин на автоматических станках, станках с ЧПУ, ГПС, ГАЛ и других необходимо знать величину смещения уровня настройки станка во времени и изменение параметров процесса резания. Технические процессы и их управление можно исследовать на динамических моделях. В основу таких исследований положен анализ временных закономерностей.

Изучение законов изменения погрешностей обработки заготовок деталей машин во времени позволяет решать задачи автоматического управления металлорежущим оборудованием.

В процессе эксплуатации машин из-за износа их деталей или появления остаточных деформаций возникают внезапные или постепенные отказы. Их появление может являться следствием некачественной работы конструктора, нарушения или несовершенства технологических процессов при изготовлении деталей изделия, а также неправильной эксплуатации изделия.

Признаком ошибки конструктора является однообразие отказов во всех элементах изделия. О нарушениях технологии свидетельствует появление отказов в разное время и только у части изделия. Нарушение эксплуатации, например вследствие перегрузок, нарушение правил ухода (смазка, осмотры) приводят к отказам только у части неправильно эксплуатируемых машин.

Для повышения эффективности и качества работы, сокращения сроков освоения новых изделий, повышения качества и надежности выпускаемой продукции необходим новый организационный подход, основоположником которого в первой половине XX в. стал выдающийся советский конструктор в области вооружения (артиллерия) В. Г. Грабин. Суть данного подхода заключалась в проектировании технологических процессов, ориентированных на изначально серийный выпуск деталей, одновременно с разработкой конструкции изделия.

Параллельная инженерная разработка нового изделия (*concurrent engineering*) — это систематизированный организационно-технический подход, обеспечивающий интегрированное и, в значительной степени, одновременное проектирование, как самих изделий, так и технологических процессов их производства.

Идея заключается не только в командной работе всех служб предприятия на всех этапах создания изделия, начиная с формирования концепции его разработки, но и необходимости технического наполнения содержания процесса. Основным преимуществом данного подхода является проектирование изделия на заданную себестоимость его изготовления. При этом быстро решаются вопросы возможных упрощений конструкции отдельных деталей, методов получения их заготовок, технологичности обработки заготовок, технология сборки отдельных узлов и всего изделия в целом, технология его ремонта и замены изношенных деталей (если это требуется). При таком подходе, оказание взаимного влияния процессов настолько велико, что нельзя говорить об этапе проектирования, предшествующем этапу разработки технологических процессов.

Параллельную инженерную разработку следует рассматривать как процесс объединения культур, процессов и процедур проектирования новой продукции и производства изделий с определенной точки зрения, в том числе, организационных процедур, т. е. оптимизации процесса технологической подготовки производства (ТПП) при выпуске нового изделия. Параллельная инженерная разработка позволяет на ранней стадии проектирования новой продукции вовлечь к системному взаимодействию всю рабочую силу коллектива предприятия и за счет этого значительно повысить производительность и эффективность производства новой техники.

Экономика XXI в. все более приобретает инновационный характер вследствие ускорения развития общества и, в первую очередь, сферы материального производства, в основе которого лежат технологии, т. е. знания и умения сделать что-либо, любой продукт производства — самолет, ракету, корабль, турбину, автомобиль, трактор и т. п. Если вторая половина XIX в. и первая половина XX в. считаются веком конструкций, то вторая половина XX в. и XXI в. — это век технологий.

Именно технологии определяют положение экономики любой страны в мире, ее стратегические позиции. Наличие современных технологий при производстве любой продукции дает в руки человека мощные инструменты для реализации новых идей и являются объектом инновационной деятельности.

Сегодня, когда говорят об инновационных технологиях, очень часто все сводят к ИТ-технологиям. Это является большим заблуждением и может привести к печальным последствиям. Не умаляя значения ИТ-технологий в современной жизни людей, следует отметить, что для машиностроительного производства и его автоматизации они играют весьма серьезную и большую, но все-таки вспомогательную роль. Это инструмент, без которого, безусловно, невозможно обойтись, но все-таки инструмент. Как нельзя представить себе инженера первой половины ХХ в. без логарифмической линейки, так и нельзя представить себе современного инженера без компьютера.

Инженеру-технологу современного машиностроительного производства необходимы глубокие знания по материаловедению, физике (в том числе, динамике колебательных систем), химии, сопротивлению материалов, деталей машин, основ резания материалов, режущему инструменту, технологическому оборудованию, технологической оснастке и, конечно, научным основам технологий машиностроения, автоматизации технологических процессов и пр.

При подготовке современного производства технологу требуется переработать большой объем технологической и технической информации. Это возможно сделать быстро и качественно лишь при широком использовании в процессе работы средств ИТ-технологий и хорошей базовой технологической подготовки и технического кругозора.

Внедрение цифровых технологий позволяет осуществлять преобразование соответствующей информации по конструкторским, техническим, технологическим, организационным, экологическим, сертификационным и другим аспектам. При этом, фактически одновременно, следует осуществлять преобразование в язык информационных технологий, моделирование всех фаз жизненно-го цикла изделия, использование всех баз знаний, сетевых технологий, мультимедийных технологий и др.

На основе широкой технологической базы знаний представление всех фаз жизненного цикла изделия в информационных технологиях позволит выйти на современный уровень создания необходимых передовых (технически и экономически) изделий.

При написании данного учебного пособия авторами были использованы материалы исследований многих советских и российских ученых:

- в области надежности изделий: А. И. Берга, М. С. Беляева, Б. В. Гнеденко, Г. В. Дружинина, В. А. Костикова, В. Д. Кузнецова, И. М. Маликова, А. А. Маталина, А. С. Проникова, Д. Н. Решетова, Б. Ф. Хазова, Я. Б. Шоря и др.;
- в области диагностики технологических систем: В. Л. Вейца, Д. Г. Евсева, В. Л. Заковортного, В. А. Кудинова, В. С. Малкина, В. Ф. Макарова, В. В. Максарова, Л. С. Мурашкина, В. М. Петрова, В. И. Подураева, А. В. Пуша, А. О. Этина, М. Е. Эльяберга и др.

Данное учебное пособие предназначено для подготовки инженеров-специалистов по направлениям «Машиностроение», «Технологические машины и оборудование», «Автоматизация технологических процессов и производств» и др. Оно также может быть полезно для аспирантов и молодых преподавателей машиностроительных специальностей вузов.

Авторы выражают искреннюю признательность профессору, доктору технических наук В. В. Максарову и профессору, доктору технических наук В. М. Петрову, которые взяли на себя труд по рецензированию данного учебного пособия. Ими был сделан ряд замечаний и предложены некоторые дополнения по тексту, которые были учтены в окончательной редакции рукописи.

Глава 1

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТИ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА

Теория вероятностей (ТВ) — математическая наука, изучающая закономерности в случайных явлениях.

Случайное явление — явление, которое при неоднократном его проявлении (опытах) протекает каждый раз по-разному. Например: сила резания при одинаковых параметрах режимов резания.

В массе случайных явлений проявляются определенные закономерности (устойчивости). Например: сила резания, в среднем, приближается к расчетной, чем больше массовость (количество) изготавливаемых деталей (статистики).

1.1. Основные понятия теории вероятностей

Событие. Вероятность события

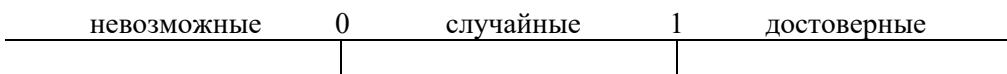
Событие — факт, который в результате опыта (протекания явления) может произойти или не произойти. Например:

- 1) выпадение «орел» или «решка» при подбрасывании монеты;
- 2) возникает брак в ТП выше нормы или нет.

Для количественного сравнения между собой событий степени их возможности используются числа, которые чем больше, тем более возможно событие. Такое число называется вероятностью события, которое практически (опытно, статистически) определяется частотой (частостью) события. Например:

- 1) из 100 подбрасываний 30 раз «орел». Частота $\frac{30}{100}$;
- 2) из 100 дней производства 10 дней с браком больше нормы $\frac{10}{100}$.

Диапазон измерения вероятностей случайных событий находится между: невозможными событиями с вероятностью 0 и невозможными событиями с вероятностями 1.



Примеры:

- 1) невозможные: монета укатилась. Достоверные: монета упала на одну из сторон;
- 2) невозможные: брак = 0%. Достоверные: брак > 0%.

1.2. Непосредственный подсчет вероятностей

Для всякого опыта, в котором возможные исходы симметричны и одинаково возможны, применяется *непосредственный подсчет вероятностей*.

Пример: бросание монеты или кости (игрального кубика с цифрами для настольных игр).

Симметричность (равновозможность) исходов опытов наблюдается только в искусственно организованных опытах — типа азартных игр. Реально естественные явления все неравновозможны, даже кость несимметрична. Однако на равновероятных опытах проще всего познакомиться с основными свойствами вероятностей.

1. Полная группа событий — объединяет все события, одно из которых достоверно произойдет в результате опыта. Например: брак > нормы, брак < нормы.

2. Несовместные события — события, которые не могут проявиться вместе в одном опыте.

3. Равновозможные события — имеют симметричность, равновероятность проявления в опыте.

4. Противоположными событиями называется два несовместных события, образующих полную группу.

5. Независимыми называются события, вероятности проявления которых не зависят от проявления других событий.

Если события являются несовместными, равновозможными и образуют полную группу, то они называются случаями. Их проявления в опытах сводятся к схеме случаев и допускают непосредственный способ подсчета вероятности. Часть случаев из полной группы являются благоприятными некоторому событию A , остальные неблагоприятными. Тогда вероятность благоприятного события A определяется по формуле

$$\widehat{P(A)} = \frac{m}{n}, \quad (1.1)$$

где $P(A)$ — вероятность события A ; n — общее число случаев в полной группе; m — число случаев благоприятных событию A .

Если \bar{A} — противоположное событию A , то вероятность проявления в опытах случаев не благоприятствующих событию A $P(\bar{A})$ определяется по формуле

$$\widehat{P(\bar{A})} = \frac{n-m}{n}. \quad (1.2)$$

Из формул (1.2) видно, что вероятности представляют собой рациональную дробь и изменяются в диапазоне

$$0 \leq [\widehat{P(A)}, \widehat{P(\bar{A})}] \leq 1,$$

а их сумма равна 1:

$$\widehat{P(A)} + \widehat{P(\bar{A})} = 1.$$

Формулы (1.1) и (1.2) определяют частоту (частость) проявления благоприятных или неблагоприятных соответственно случаев, которая при увеличении числа опытов приобретает детерминированный, неслучайный характер, приближаясь к теоретически (аналитически) определенным числам. Поэтому статистические оценки вероятностей благоприятных A и неблагоприятных \bar{A}

событий при $n \rightarrow \infty$ могут использоваться в качестве аналитически точных: $P(A)$, $P(\bar{A})$.

Примеры:

- 1) бросание монеты: $P(A) = \frac{1}{2}$; $P(\bar{A}) = \frac{1}{2}$;
- 2) бросание кости: $P_i(A) = \frac{1}{6}$.

1.3. Случайные величины

Случайной величиной называется величина, которая в результате ответа может принять то или иное значение, причем неизвестно заранее — какое именно.

Случайные величины могут быть:

- дискретными (прерывными) (ПСВ);
- непрерывными (НСВ).

Дискретные случайные величины могут принимать только определенные детерминированные значения. Например: количество бракованных деталей.

Непрерывные — принимают значения и непрерывно заполняют некоторый промежуток значений различных величин: времени, длины, веса, силы и т. д. Например: значение линейных размеров изготавливаемых деталей.

Практически невозможным называется событие, вероятность которого близка к 0, т. е. существует практическая уверенность, что при однократном производстве ответа событие не произойдет. Достоверным называется событие, вероятность которого близка к 1, т. е. существует практическая уверенность, что при производстве одного ответа событие произойдет.

1.4. Сумма и произведение вероятностей событий

Определение вероятностей состояний по частоте событий в большинстве случаев затруднительно, а иногда и невозможно. Например, оценить вероятность работоспособного состояния станка на этапе проектирования. С этой целью используются косвенные методы, позволяющие, по известным вероятностям одних событий (обычно элементов), определить вероятность (вероятности) других событий, с ними связанных (обычно систем).

Суммой событий. Суммой событий A и B называется событие C , состоящее в выполнении событий A или B или обоих вместе, если они совместные: $C = A + B$.

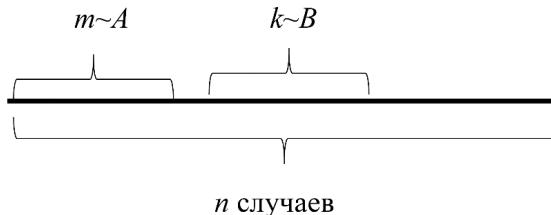
Суммой группы событий называется событие, заключающееся в появлении хотя бы одного из событий.

Пример события: A_0 — 0 бракованных деталей, A_1 — одна бракованная деталь, A_2 — две, A_3 — три, A_4 — четыре, A_5 — пять.

$A = A_0 + A_1 + A_2$ — событие не более 2 бракованных деталей.

$B = A_3 + A_4 + A_5$ — событие не менее 3 бракованных деталей.

Вероятность суммы несовместных событий определяются по формуле $P(C) = P = (A + B)$ или через частоты $P(A) = m/n$, $P(B) = k/n$, тогда $P(C) = m/n + k/n = (m + k)/n$.



Для суммы группы несовместных n событий:

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i). \quad (1.3)$$

Если A_i ($i < 0, n > 1$) образуют полную группу событий, то сумма их вероятностей равна единице:

$$\sum_{i=1}^n P(A_i) = 1. \quad (1.4)$$

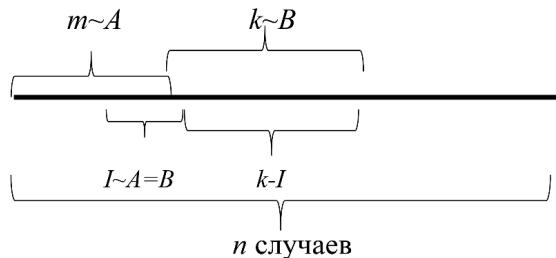
Для совместных событий вероятность их суммы определяется по формуле

$$P(C) = P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A \cdot B), \quad (1.5)$$

где $P(A \cdot B)$ является произведением событий A и B .

Произведением событий называется событие, состоявшее в совместном проявлении всех этих событий. Для двух событий определение вероятности их совместного появления осуществляется по формуле

$$P(A \cdot B) = P(A) \cdot P(B). \quad (1.6)$$



$$\begin{aligned}
 P(c) &= P(A) + P(B); \\
 P(c) &= \frac{m}{n} + \frac{k}{n} - \frac{l}{n} = \frac{m+k-l}{n}; \\
 P(A) &= \frac{m}{n}, P(B) = \frac{k}{n}; \\
 P(A \cdot B) &= \frac{l}{n} \text{ — для независимых;} \\
 P(A \cdot B) &= \frac{l}{n} \text{ — для зависимых.}
 \end{aligned}$$

Вычисления по формулам (1.3) и (1.6) производятся с использованием алгебры логики:

1) сложение (дизъюнкция) — используется союз «или»;

2) умножение (конъюнкция) — используется союз «и» в логических конструкциях алгоритмов.

Наглядная геометрическая интерпретация теорем сложения и умножения вероятностей показано на рисунке 1.1, где площади окружностей равны соответственно $P(A)$ (m случае) и $P(B)$ (k случаев).

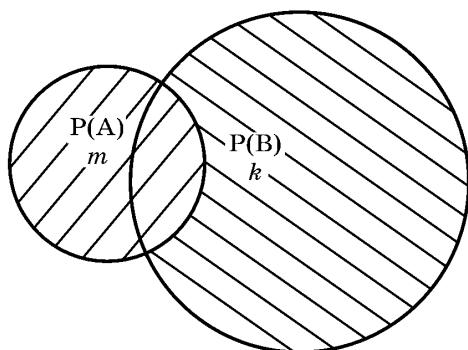
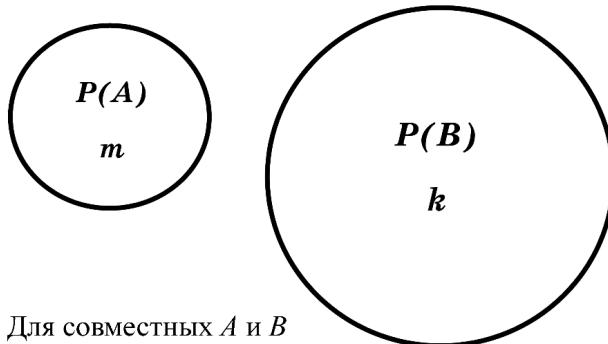


Рис. 1.1
Геометрическая интерпретация теорем сложения
и умножения вероятностей

Для независимых n событий их совместные проявления определяются вероятностью, определяемой по формуле

$$P\left(\prod_{i=1}^n A_i\right) = \prod_{i=1}^n p(A_i). \quad (1.7)$$

Пример.

Главное движение станка осуществляется от электродвигателя через ременную передачу на шкив коробки перемены передач. Ременная передача про-дублирована, т. е. имеет 2 ремня.

Определить вероятность события C — отказа главного движения $P(C)$, если известны (даны) вероятности событий:

$P(R_1)$ — отказа первого ремня передачи;

$P(R_2)$ — отказа второго ремня передачи;

$P(D)$ — отказ двигателя.

Отказы независимы.

Решение.

Отказ главного движения события C произойдет в том случае, если откажет двигатель D или откажут оба ремня R_1 и R_2 :

$$C = D + R_1 \cdot R_2,$$

где $R_1 \cdot R_2$ — событие отказа 2 ремней.

Так как события D и $R_1 \cdot R_2$ совместны, то их вероятности определяются по формуле (1.5):

$$P(C) = P(D) + P(R_1R_2) - P(DR_1R_2),$$

где $P(R_1R_2)$ — вероятность отказа обоих ремней, определяется по формуле (1.6):

$$P(R_1R_2) = P(R_1) \cdot P(R_2);$$

$P(DR_1R_2)$ — вероятность совместного отказа ремней и двигателя, определяемая по формуле (1.7):

$$P(DR_1R_2) = P(D) \cdot P(R_1) \cdot P(R_2).$$

Выбираем произвольно:

$$P(D) = 0,01 = 10^{-2}, \quad P(R_1) = 0,001 = 10^{-3}, \quad P(R_2) = 0,002 = 2 \cdot 10^{-3},$$

$$P(R_1R_2) = 0,000002 = 2 \cdot 10^{-6}, \quad P(DR_1R_2) = 0,00000002 = 2 \cdot 10^{-8},$$

$$P(C) = 0,0100000199,$$

т. е. безотказность определяется в основном двигателем.

1.5. Законы распределения случайных величин

1.5.1. Ряд распределения. Многоугольник распределения

Законом распределения случайной величины называется всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

Прерывные (дискретные) случайные величины (ПСВ) могут иметь только заранее допустимые значения. Случайность заключается в неопределенности

величины допустимого значения. Для прерывных величин исчерпывающей характеристикой является ряд распределения (табл. 1.1).

**Таблица 1.1
Ряд распределения**

X_i	X_1	X_2	...	X_n
P_i	P_1	P_2	...	P_n

Примечание. X_i — доступные значения; P_i — вероятность их получения в опыте.

Многоугольник распределения показан на рисунке 1.2.

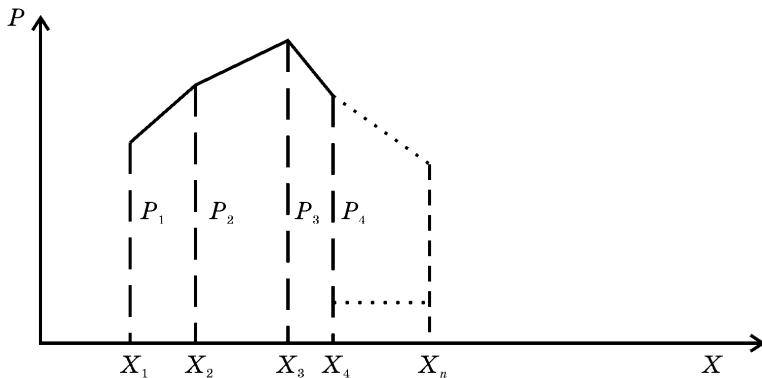


Рис. 1.2
Многоугольник распределения

На рисунке 1.2 на оси абсцисс X расположены доступные значения случайной дискретной величины X_1, X_2, \dots, X_n , на оси ординат (P) отложены значения вероятностей получения величин $X_1, X_2, \dots, X_n, P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$.

Следует помнить, что

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1.$$

Многоугольник показывает распределение материальных точек с различными массами.

1.5.2. Функция распределения

Значения непрерывных случайных величин (НСВ) не могут быть заранее перечислены и непрерывно заполняют некоторый промежуток значений. Составить таблицу (ряд) или многоугольник для таких величин невозможно. Каждое отдельное значение диапазона непрерывных случайных величин имеет вероятность проявления в опыте равную нулю (близкой к нулю). Попадание значений H случайной величины на отдельные участки промежутка значений имеет различную вероятность, что и должно быть отражено в законе распределения.

Вероятность отказа $F(x) = Q(t)$ определяет вероятность события, выраженного неравенством

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru