

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ по дисциплине «Сквозное  
проектирование функциональных узлов РЭС»  
для студентов направления

11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»  
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»)  
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.3.049.7.002 (075)

ББК 38.54

**Составители:**

д-р. техн. наук А.В. Башкиров,

канд. техн. наук А.А. Пирогов

Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Сквозное проектирование функциональных узлов РЭС» для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Башкиров, А.А. Пирогов. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021, 21 с.

Методические указания предназначены для выполнения практических работ по дисциплине «Сквозное проектирование функциональных узлов РЭС» студентами очной и заочной форм обучения.

Предназначены для студентов 3 курса обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ПР1.pdf.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

**УДК 621.3.049.7.002 (075)**

**ББК 38.54**

**Рецензент** - О. Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф.  
кафедры конструирования и производства  
радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ РЯД И ЕГО ОБРАБОТКА ПРИ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

## 1.1. Общие сведения о качестве изделия и возможности его оценки

Качество любого изделия – это совокупность свойств этого изделия, обуславливающая возможность его применения для удовлетворения определенным требованиям потребителя. Параметры изделия, характеризующие его качество, являются параметрами его качества.

Качество изделия, являясь его свойством, закладывается в изделие в процессе его проектирования и изготовления, а оценивается в процессе его эксплуатации. Обеспечение планируемого качества и соответствующая ему корректировка параметров качества требуют решения вопроса контроля качества изделия.

Контроль качества осуществляется путем сравнения запланированного значения параметра качества с действительным показателем качества. Например, параметром качества изделия является его масса, а показателем его качества будет конкретное значение этой массы, записанное в нормативно-технической документации на изделие.

Собственно, контроль качества серийной продукции и состоит в том, чтобы, проверяя нужным образом подобранные показатели качества, обнаружить отклонение параметров качества от запланированных значений, а при его возникновении найти причину его появления и после устранения этой причины проверить соответствие его данных запланированным (стандарту или норме).

В ходе технологического процесса возникают систематические и случайные составляющие производственной погрешности. Обычно систематические составляющие погрешности регулярно выявляются, затем устраняются и остаются только случайные составляющие погрешности. Такой процесс производства считается контролируемым, а технологический процесс является отлаженным.

## 1.2. Виды статистического контроля

В общем случае статистический контроль – это процесс установления соответствия между состоянием объекта и заданными на него нормами. Контролем охватываются все этапы производства ЭС. Различают производственный контроль и эксплуатационный.

Производственный контроль – это статистический контроль, осуществляемый на стадии производства и охватывающий, как правило, все вспомогательные, подготовительные и технологические операции. В зависимости от места в цепи технологического процесса производственный контроль подразделяют на входной, операционный и приемочный.

Входной контроль – это контроль продукции поставщика, поступившей к потребителю или заказчику и предназначенной для использования при изготовлении, ремонте или эксплуатации ЭС. Поступающие в производство материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия подвергаются входному контролю на их соответствие требованиям технической документации (ТУ, чертеж на изделие).

Операционный контроль включает в себя контроль продукции после завершения какой-либо операции.

Приемочный контроль предусматривает контроль готовой продукции по окончании всех технологических операций.

Эксплуатационный контроль – это статистический контроль, осуществляемый на стадии эксплуатации продукции. Он охватывает эксплуатируемые ЭС.

Статистический контроль в основном базируется на контроле фактических значений параметров качества и сравнении их значений с запланированными в соответствии с разработанной нормативно-технической документацией (НТД). Поэтому такой контроль качества часто называют параметрическим контролем.

Кроме того, при приемочном и операционном контроле качества ЭС на конечных операциях их изготовления, а также при эксплуатационном контроле ЭС, как правило, производится их контроль на качество функционирования в

соответствии с их дальнейшим назначением. Этот вид контроля ЭС называют функциональным контролем.

Перечисленные виды контроля могут быть сплошными (100%) или выборочными. Сплошной контроль предусматривает проверку (измерение) каждой единицы продукции. При выборочном контроле подвергаются проверке выборки, производимые из больших партий изделий. Эти большие партии изделий (куда могут входить сотни или тысячи изделий) обычно называются генеральной или общей совокупностью. Сплошной контроль – это дорогостоящее мероприятие, так как требует много квалифицированного персонала, измерительного оборудования и больших производственных площадей. Он может быть рекомендован при большом проценте брака изделий. Выборочный контроль используется при серийном производстве со сравнительно небольшим и малым процентом брака.

### 1.3. Виды выборок

Выборкой называют часть изделий, отобранных из общей их совокупности для получения информации о всем количестве изделий, называемом общей или генеральной совокупностью. При этом последняя подразумевает однородную совокупность параметров качества контролируемых изделий. Если выборка достаточно хорошо представляет соответствующие характеристики генеральной совокупности, то такую выборку называют представительной или репрезентативной. Обычно выборка составляет 100-200 изделий.

При анализе и контроле технологических процессов выборку классифицируют по ряду признаков, например, по способу отбора (повторные и бесповторные), преднамеренности отбора (пристрастные и случайные), по отношению ко времени отбора (единовременные и текущие), целевому назначению (общепроизводственные, одноагрегатные) и т. д.

Повторная выборка образуется отбором изделий из генеральной совокупности для измерения параметров качества каждого изделия, после чего они возвращаются в совокупность. Такая операция может быть проведена многократно, при повторной выборке одно и то же изделие может попасть в выборку и быть измеренным

неоднократно. При неповторной выборке отобранные изделия не возвращаются в генеральную совокупность. При этом гарантируется, что ни одно изделие не попадает дважды в выборку.

Если при отборе изделий из генеральной совокупности отдается предпочтение изделиям с заранее оговоренным признаком, то такую выборку называют пристрастной или расслоенной. Если же возможность попадания в выборку каждого из изделий равновероятна, то такую выборку называют случайной, например, изделия отбираются наугад из разных источников (разные поточные линии, разные единицы оборудования и т. д.).

Единовременная выборка образуется из партии изделий после их изготовления независимо от того, в какой момент времени изготовлено каждое из них. Текущая выборка в отличие от единовременной состоит из изделий, последовательно изготовленных за определенный промежуток времени. Общепроизводственная выборка служит для получения общей оценки технологического процесса независимо от того, сколько поточных линий, единиц оборудования и т. д. занято в производственном процессе. Одноагрегатная выборка составляется из изделий, изготовленных на определенном оборудовании (агрегате или конвейере).

Помимо названных выше применяют и другие, так называемые экспериментальные, выборки, предназначенные для анализа точности и стабильности отдельных технологических операций, для изучения влияния технологических режимов отдельного оборудования или оснастки на точность и стабильность качества продукции и для других целей. Значение параметра качества отдельного изделия, взятого из текущего процесса, изменяется от изделия к изделию. Если при изготовлении изделий отбирать выборки, то статистические характеристики этих выборок тоже будут колебаться. Если же по статистическим характеристикам выборок нужно сделать вывод о числовых характеристиках (параметрах) генеральной совокупности, то для этого менее благоприятна выборка малого объема, чем большого.

## 1.4. Контрольный листок

В последние годы вопросам повышения качества электронных средств уделяется все большее внимание. Для контроля их качества при серийном производстве применяются следующие методы контроля: составление контрольных листов и контрольных карт, раскладывание статистических данных, построение графиков и некоторые другие. Для их применения необходимо набрать достаточное количество статистических данных по параметрам качества изделий. Как правило, эти данные являются случайными величинами, группирующимися около среднего значения этих величин. Степень рассеивания определяет величину дисперсии.

Значения параметров качества изделий выборки представляют собой первичный статистический материал, подлежащий обработке, осмыслению и анализу.

Предположим, что имеются результаты измерений выборки из 80 изделий (таблица 1). Этот статистический материал подвергают обработке: строится так называемый статистический ряд, в котором значения располагают в порядке возрастания (или убывания), а одни и те же значения объединяют.

В реальных условиях важно, чтобы данные регистрировались в простой и доступной форме. Для этого служит контрольный листок - бумажный бланк, на котором заранее напечатаны контролируемые параметры, с тем, чтобы можно было в них легко и точно записать данные измерений. Его главное назначение облегчить процесс сбора данных и автоматически упорядочить данные для облегчения их дальнейшего использования. Каждый раз, когда производится замер, в графу "Отметки" ставится наклонная черточка (таблица 2) и получаем контрольный лист в форме А. Если же в соответствующую клеточку ставится крест, то получим контрольный лист в форме Б (таблица 3). Эта форма контрольного листа представляет собой гистограмму. Порядок сбора и регистрации данных таит в себе много возможностей допустить ошибки. Обычно, чем больше людей обрабатывают данные, тем больше вероятность появления ошибок в процессе записи. В связи с этим лучше автоматизировать построение контрольных листов с помощью ПЭВМ.

Таблица 1 – Статистические данные измерения напряжений (выборка до появления брака)

197	195	198	193	197	196	194	200	195	201
195	198	196	197	195	198	197	192	197	195
203	194	197	195	199	196	199	196	197	202
196	201	196	197	190	198	195	197	199	194
198	192	198	195	196	194	191	197	196	200
199	196	198	195	197	198	196	195	197	196
194	196	197	193	198	195	198	196	193	199
198	200	195	199	196	197	194	198	197	196

Контрольный листок строится в виде гистограммы ручным способом или автоматически по мере введения в ПЭВМ данных (рисунок 2): по горизонтальной оси откладываются значения измеряемого параметра качества  $X$  (например, выходное напряжение блока питания), а по вертикальной оси частота повторений этого значения.

Сначала измеренные значения параметра располагаем в возрастающем или убывающем порядке с тем, чтобы получить так называемый упорядоченный (ранжированный) ряд или упорядоченное распределение различных значений одного и того же параметра качества (таблица 2).

Таблица 2 – Контрольный лист (в форме А) Упорядоченный статистический ряд наблюдений, составленный по результатам измерений параметра качества  $X$ , то есть напряжения блоков питания выборки, представленной в таблице №1.

$X$ , в	Отметки	Количество
190	/	1
191	/	1
192	//	2
193	///	3
194	////	6
195	////////	12
196	//////////	15
197	//////////	15
198	////////	12
199	////	6
200	///	3
201	//	2
202	/	1
203	/	1

Всего: 80 измерений.

Статистический материал такого вида подвергают дополнительной обработке — строится так называемый статистический ряд, в котором одни и те же значения случайной величины объединяют. Число случаев для каждого из повторяющихся значений ( $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ ) называют абсолютной частотой или статистическим весом. Найдя в таблице №1 наибольшее и наименьшее значения (203 и 190), составим таблицу, в которой расположим результаты измерений от 190 до 203 в порядке возрастания.

Для подсчета частоты можно отмечать штрихами одинаковые значения по мере просмотра всех данных. В результате получаем упорядоченный ряд из 80 наблюдений (таблица 2).

Числа, стоящие в столбце X, называют упорядоченным рядом параметра качества, а числа, стоящие в столбце "к-во" — рядом частот. Таблица 3 дает более наглядную картину изменения значений параметра качества, чем таблица 2. Блоки питания с напряжением от 194 до 199 вольт встречаются чаще других, а структуры с напряжением меньше 194 и больше 200 вольт вообще встречаются намного реже. Из таблицы 2 видно, как распределяются значения напряжений 80 измеренных структур в пределах от 190 до 203 вольт.

В реальных условиях важно, чтобы данные регистрировались в простой и доступной для использования форме.

Для этого широкое распространение получил контрольный листок - бумажный бланк, на котором заранее напечатаны контролируемые параметры, с тем, чтобы можно было легко и точно записать данные измерений (таблица 2). Его главное назначение облегчить процесс сбора данных и автоматически упорядочить данные для облегчения их дальнейшего использования. Каждый раз, когда производится замер, в графу "Отметки" ставится наклонная черточка (таблица 2) и получаем контрольный лист в форме А. Если же в соответствующую клеточку ставится крест, то получим контрольный лист в форме Б (таблица 3). Эта форма контрольного листа представляет собой гистограмму.

Таблица 3 – Контрольный лист (в форме Б) Статистические данные измерения напряжений блоков выборки, представленной в таблице №1 (выборка до появления брака)

	1	1	2	3	6	12	15	15	12	6	3	2	1	1
15							X	X						
14							X	X						
13							X	X						
12						X	X	X	X					
11						X	X	X	X					
10						X	X	X	X					
9						X	X	X	X					
8						X	X	X	X					
7						X	X	X	X					
6					X	X	X	X	X	X				
5					X	X	X	X	X	X				
4					X	X	X	X	X	X				
3				X	X	X	X	X	X	X	X			
2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203

### 1.5. Дискретное и непрерывное изменение параметра качества

Изменение параметра качества может быть дискретным или непрерывным. Дискретным изменением параметра качества называют такое, при котором рядом лежащие значения в ранжированном ряду отличаются одно от другого на некоторую конечную величину (обычно целое число). Примером дискретного изменения случайной величины может быть число дефектных изделий в выборках, которые периодически берутся из текущего технологического процесса. Число дефектных изделий может быть только целым.

Непрерывным изменением параметра качества называют такое, при котором рядом лежащие его значения в ранжированном ряду отличаются одно от другого на сколь угодно малую величину. Примером непрерывного изменения случайной величины может служить изменение пробивного напряжения; хотя, например, за-

фиксирован результат измерения — 197 В, пробивное напряжение на диэлектрике обследуемой структуры не обязательно точно равно этому числу. Если применять более точный измерительный прибор, то результат может оказаться равным, например, 196,86 или 197,32 В.

В любом из этих двух случаев измеренное значение находится ближе к 197, чем к 196 или 198 В. Итак, если у 14 структур, зафиксировано пробивное напряжение 197 В, то в действительности значение каждого из них колеблется в пределах, от 166,5 до 197,4 В. При непрерывном изменении параметра качества его распределение называют интервальным.

За величину интервала (его также называют классом), как правило, принимают его середину, т. е. центральное значение.

Если значение случайной величины находится в точности на границе двух классов, то можно считать (чисто условно) данное значение принадлежащим в равной мере к обоим классам и прибавлять одну его половину к верхнему, а другую половину — к нижнему классу. Наряду с этим правилом можно рекомендовать придерживаться следующего порядка: в каждый класс включаются те наблюдения, числовые значения которых больше нижней границы класса и меньше или равны верхней.

Число классов, на которые следует группировать статистический материал, не должно быть слишком большим (тогда ряд распределения становится невыразительным и частоты в нем обнаруживают незакономерные колебания), но не должно быть и слишком малым (тогда свойства распределения описываются статистическим рядом слишком грубо). Практика показывает, что при достаточно большом числе наблюдений рационально выбирать 10...20 классов. Ширина классов (длина интервалов) может быть, как одинаковой, так и различной. Проще брать ее одинаковой. В этом случае ширина класса подсчитывается по формуле

$$|x_i; x_{i+1}| = (x_{\max} - x_{\min}) / k, \quad (1)$$

где  $x_i, x_{i+1}$  — границы  $i$ -го класса;  $x_{\max}, x_{\min}$  — максимальное и минимальное значения;  $k$  — число классов.

При формировании данных о случайных величинах, распределенных крайне неравномерно, более удобно выбирать в области наибольшей плотности распределения ширину классов более узкую, чем в области малой плотности. В случае неодинаковой ширины классов удобнее пользоваться не абсолютной величиной  $m_i$ , а относительной, равной отношению частоты  $m_i$  приходящейся на  $i$ -й класс или  $i$ -е значение параметра, к общему числу наблюдений  $n$ :

$$w_i = m_i / n \quad (2)$$

Эту относительную величину называют относительной частотой или частостью.

Нетрудно заметить, что сумма частостей всех интервалов равна единице, или 100%.

Если заранее подготовить бланки в виде таблицы 2и, производя измерения, вести ее заполнение, заранее выбрав классы (интервалы), то легко узнать состояние производства и качество произведенных за день изделий. Такие таблицы обычно называют контрольными листами. Анализ производства по контрольному листу, являющемуся одним из семи инструментов качества,— основа аналитической работы; он несет большой объем информации.

## 1.6. Графические методы представления статистического ряда

Для наглядного представления тенденции изменения наблюдаемых значений параметра качества применяют графическое изображение статистического материала. Наиболее распространенными графиками, к которым прибегают при анализе и контроле качества, шлются полигон, гистограмма, кумулятивная кривая, представляющая в совокупности один из семи инструментов универсального контроля качества UQC — графики.



Полигоны, как правило, применяют для отображения дискретных изменений значений параметра, но они могут использоваться при непрерывных (интервальных) изменениях. В этом случае ординаты, пропорциональные частотам интервалов, восставляются перпендикулярно оси абсцисс в точках, соответствующих серединам данных интервалов. Вершины ординат соединяются прямыми линиями. Для замыкания кривой крайние ординаты соединяются с близлежащей серединой интервала, в которой частота равна нулю. Пример изображения значений пробивного напряжения, взятых из таблицы 2, приведен на рисунке 1 в виде полигона.

Гистограмма распределения обычно строится для интервального изменения значения параметра. Для этого на интервалах, отложенных на оси абсцисс, строят прямоугольники (столбики), высоты которых пропорциональны частотам интервалов. Гистограмма интервального ряда изображена на рисунке 2, где по оси ординат отложены абсолютные значения частот.

Для построения кумулятивной кривой по данным выборки таблицы 1, контрольный лист которой в форме Б представлен в таблице 3, отложим по оси абсцисс 14 значений параметра качества: 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203 вольта (рисунок 3), а по оси ординат 80 значений от 0 до 80 через каждые 5 значений: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, т.е. столько сколько изделий в выборке. Построив оси координат, наносим сетку (рисунок 3). Далее в столбике со значением 190 отложим горизонтальную черту на высоте, равной 1, т.е. столько раз повторяется значение параметра в 190 вольт. Затем в столбике со значением 191 отложим горизонтальную черту на высоте, равной 2. Цифра 2 получается как сумма числа повторений 191 и числа повторений 190. Далее в столбике со значением 192, отложим горизонтальную черту на высоте 4 единицы.

Цифра 4 получается как сумма числа повторений значений 192 (2 значения) и предыдущего значения (2 значения). Затем отложим горизонтальную черту в столбике со значением 193 на высоте 7 единиц. Цифра 7 получается как сумма числа повторений значения 193 (3 значения) и предыдущего значения, равного 4 единицам. Далее, отложим горизонтальную черточку в столбике со значением 194 на высоте 13 единиц. Эта цифра 13 получается как сумма числа повторений значений 194 (6 единиц) и предыдущего значения, равного 7 единицам. Затем, отложим горизонтальную черточку в столбике со значением 195 на высоте 25 единиц. Эта цифра 25 получается, как сумма числа повторений значений 195 (12 раз) и предыдущего значения, равного 13 единицам. Аналогичным образом, продолжаем откладывать горизонтальные черточки для столбиков со значениями 196, 197, 198, 199, 200 и так далее до 203. Горизонтальная черточка в столбике со значением 202 будет на высоте 79 единиц, а со значением 203 единицы на высоте 80 единиц.

Следует отметить, что кумулятивная кривая в начале и в конце графика нарастает медленно (угол наклона близок к горизонтальному) т.к. прирост значений в начале и в конце гистограммы мал. А в центральной части кумулятивной кривой прирост значений большой, поэтому кумулятивная кривая идет круче.

Заметим, что площадь, ограниченная полигоном и осью абсцисс, в том случае, если по оси ординат отложены значения относительных частот, также равна единице. Как видно из рисунка 2, кривая теоретических распределений имеет идеальную форму, к которой стремится реальный полигон, и она играет важную роль в теоретических исследованиях. Кстати, кривая (рисунок 2) похожа на кривую плотности распределения, которую называют кривой нормального распределения. Для выяснения того, соответствует ли данное распределение результатов измерения нормальному распределению, используют специальную вероятностную бумагу, называемую нормальной вероятностной бумагой. Представление данных по такой бумаге, осуществляется следующим способом. Кумулятивная кривая строится как для дискретного, так и для непрерывного изменения значений параметра. При этом следует отметить, что накопленные частоты (частости) интервального ряда относятся не к серединам интервалов, а к верхним границам каждого из них. Высота

последней ординаты соответствует объему наблюдений всего ряда, или 100%. Зависимость на рисунке 3 представляет собой полигон, построенный на основе таблиц накопленных частот, и носит название накопленного полигона (рисунок 3), а ломаная кривая представляет собой кумулятивную кривую. (Обратите внимание, как в данном случае соединены отрезки ломаной). Кумулятивная кривая имеет более плавный характер изменения, чем гистограмма или полигон частот, ибо накопление приводит к сглаживанию. Значения накопленных частот, соответствующих одно-, двух- и трехкратному стандартному отклонению значения параметра качества от среднего значения исследуемого статического наносят на нормальную вероятностную бумагу.

### 1.7. Численные методы представления статистического ряда

Графические методы представления однородной совокупности, давая более наглядную картину характера распределения параметра качества, чем таблицы, в то же время не могут быть применены для достоверной оценки качества продукции по результатам контрольной выборки. В этом случае удобно представить статистический материал не графически, а числовыми значениями, которые до некоторой степени отражают существенные характеристики статистического ряда — характеристики положения и рассеивания случайной величины.

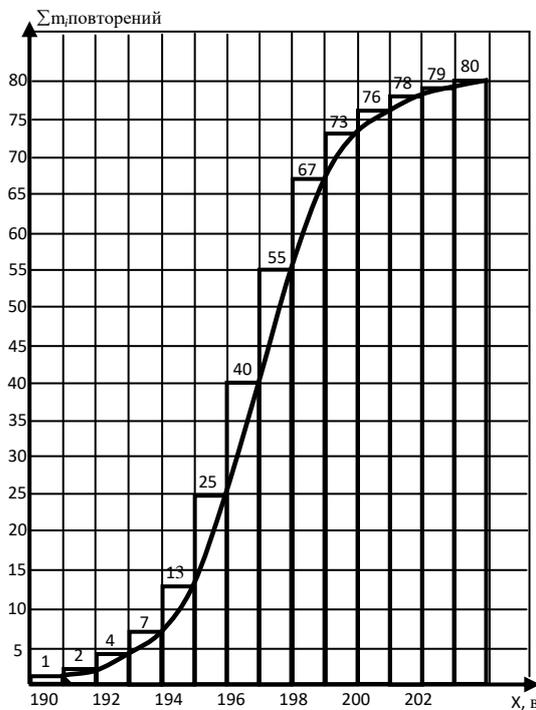


Рисунок 3 – Кумулятивная кривая

Важнейшей характеристикой положения случайной величины является средняя арифметическая величина наблюдаемых значений параметра качества (или просто средняя), которую для характеристики выборки будем называть, выборочной средней арифметической и обозначать через  $\bar{x}$ . Если в результате  $n$  измерений получены значения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i. \quad (3)$$

В случае статистического ряда (когда значению параметра соответствует какая-либо частота) средняя арифметическая величина вычисляется по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k x_i m_i, \quad (4)$$

где  $n = \sum_{i=1}^k m_i$ .

В этом случае среднюю называют средней взвешенной.

Другая статистическая характеристика рассеивания наблюдаемых значений показывает, как тесно группируются отдельные значения вокруг средней арифметической или как они рассеиваются вокруг этой средней. Так как алгебраическая сумма отклонения отдельных значений  $x_i$  от средней арифметической  $\bar{x}$  равна нулю и непригодна в качестве меры рассеивания, за меру рассеивания принимают сумму квадратов отклонений отдельных значений от средней арифметической, делённую на число наблюдений, уменьшенное на единицу. Эту меру называют выборочной дисперсией и обозначают через  $s^2$ . Для простой статистической совокупности

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (5)$$

При наличии частот  $m_i$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i}{n-1} \quad (6)$$

где  $n = \sum_{i=1}^k m_i$ .

Вместо выборочной дисперсии  $s^2$  часто применяют выборочное стандартное отклонение  $s$ . Оно имеет ту же размерность, что и средняя арифметическая  $\bar{x}$ . Выборочное стандартное отклонение для простой статистической совокупности и при наличии частот определяется соответственно по следующим формулам:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (7)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 \cdot m_i}{n-1}}; \quad (8)$$

Отношение стандартного отклонения к средней арифметической, выраженное в процентах, называют коэффициентом вариации  $V$ :

$$V = \frac{s}{x} \cdot 100 \quad (9)$$

Коэффициент вариации, который также используется как статистическая характеристика рассеивания, показывает относительное колебание отдельных значений около средней арифметической. Коэффициент вариации, являясь безразмерным, удобен для сравнения рассеивания случайной величины с её средним значением.

## 2. ВОПРОСЫ К ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ

3.1. Что понимается под статистическим рядом и какие его разновидности Вам известны?

3.2. Приведите пример дискретного и непрерывного изменений случайной величины.

3.3. Как составляется и в дальнейшем заполняется контрольный лист?

3.4. Какие числовые характеристики статистического ряда Вам известны?

3.5. В чем отличие генеральных и выборочных характеристик?

3.6. Поясните порядок построения наиболее распространенных графиков представления статистического ряда.

3.7. Что такое выборка?

3.8. Перечислить и охарактеризовать виды выборок.

3.9. Что понимается под абсолютной и относительной частотами?

3.10. Пояснить способы объединения данных в интервальный ряд.

### 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

- 4.1. По выданному преподавателем номеру варианта получить статистические данные измеренного параметра качества электронного средства.
- 4.2. Построить упорядоченный статистический ряд данных и контрольный листок (по формам А и Б).
- 4.3. Построить интервальный ряд данных.
- 4.4. Построить полигон и гистограмму частот интервального ряда.
- 4.5. Построить кумулятивную кривую частот интервального ряда.
- 4.6. Вычислить среднюю арифметическую величину, медиану, моду и размах статистического ряда данных.
- 4.7. Вычислить выборочную дисперсию, стандартное отклонение и коэффициент вариации.

### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Как строится упорядоченный статистический ряд?
- 6.2. Какие данные содержит контрольный листок, как он заполняется и как используется при управлении качеством?
- 6.3. Как строится и когда используется полигон и гистограмма частот значений измеренного параметра?
- 6.4. Что такое кумулятивная кривая и как она строится?
- 6.5. Как вычисляются средняя арифметическая величина, медиана, мода, размах, выборочная дисперсия, стандартное отклонение и коэффициент вариации? Для каких целей они используются?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стандарт предприятия 338-2003. Дипломное проектирование. Оформление расчетно-пояснительной записки и графической части. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т. 2003. – 42 с.
2. Конструирование радиоэлектронных средств: Учебник для вузов/ В.Б. Пестряков и др; под ред. В.Б. Пестрякова. – М.: Радио и связь, 1992. – 432 с.
3. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: учебник для вузов/ А.П. Ненашев – М.: Высш. шк., 1990. – 432 с.
4. Парфенов Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов/ Е.М. Парфенов, Э.Н. Камашная. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
5. Компоновка и конструкции РЭА/ под ред. Б.Ф. Высоцкого, В.Б. Пестрякова, О.А. Пятлина. – М.: Радио и связь, 1982. – 120 с.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к выполнению практических работ по дисциплине «Сквозное  
проектирование функциональных узлов РЭС» для студентов направления  
11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»  
(профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств»)  
всех форм обучения

Составители:

д-р. техн. наук А.В. Башкиров,  
канд. техн. наук А.А. Пирогов,

Компьютерный набор А.В. Башкиров

Подписано к изданию \_\_\_\_\_

Уч.-изд. л. \_\_\_\_\_

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский проспект, 14