

Контроль качества продукции



ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА
ПРОДУКЦИИ**

Конспект лекций

Технический университет
«Центр информатизации»
2005

УДК 338.45(075.8)

Контроль качества продукции: *Конспект лекций.*
Тбилиси: Технический университет – «Центр информатизации», 2005 г. -234 с.

Данная книга посвящена одной из основных функций управления качеством – контролю качества продукции. Кроме методологических, организационных и экономических аспектов контроля качества продукции в конспекте лекций особое внимание уделяется статистическим методам контроля и регулирования технологических процессов.

Книга соответствует программе курса «Контроль качества продукции», читаемого в Грузинском техническом университете и предназначена для студентов бакалавриата и магистрантов кафедры Измерительной техники, экспертизы и менеджмента качества.

ISBN 99928-18-29-

Рецензенты:

Г.Г. Бакрадзе, действительный член академии метрологии РФ

Г.Б. Коренецкий, кандидат технических наук, доцент

© Технический университет –
«Центр информатизации», 2005

ВВЕДЕНИЕ

Продукция – комплексное понятие. Это – результат деятельности фирмы, который может быть представлен товарами, продуктами (имеющими вещественную форму) и услугами (не имеющими вещественной формы). Услуги производственного характера (ремонт и т.п.) называют работами.

Качество продукции – это совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Под свойством продукции подразумевается объективная особенность, которая проявляется при создании, эксплуатации или потреблении изделия.

Для обеспечения конкурентоспособности продукция должна отвечать требованиям заказчика или запросам потребителей. Эти требования обычно включаются в технические условия или стандарты. Однако сами по себе технические условия не являются гарантией удовлетворения требований потребителя, поскольку в конструкции изделия, технологии или организационной системе, охватывающей исследование, проектирование, производство и реализацию продукции (услуг), могут появиться несоответствия. Вероятность того, что созданная продукция будет отвечать требованиям потребителя, повышается, если на фирме действует эффективная система обеспечения качества продукции или услуги.

Вначале до середины 1960-х годов в решении задач обеспечения качества полагались исключительно на контроль качества и отбраковку дефектной продукции. Вся работа выполнялась только одним специализированным подразделением – либо отделом технического контроля, либо отделом контроля качества, и все, что от них требовалось, это стоять «на выходе» и не допускать отгрузки дефектных изделий. Но обеспечение ка-

чества, основанное только на таком контроле, создало ряд проблем, характеризующихся некоторыми важными моментами.

Первый момент заключается в том, что контролеры – это избыточный персонал, который снижает общую производительность труда на фирме. Они ничего не производят. Их доля на многих предприятиях Запада, в том числе и в США, достигала 15%.

Второй момент касается обратного потока информации – от отдела технического контроля к производственному отделению фирмы. На это уходит слишком много времени и, зачастую, эти данные оказываются попросту бесполезными.

Наконец, следует отметить, что выявление дефектов с помощью контроля по существу не способствует реальному обеспечению качества. При обнаружении дефектов изготовитель может только внести коррективы, переделать изделие или превратить его в лом. В любом случае страдает производительность труда и возрастают издержки производства. Кроме того, исправленные или переделанные изделия имеют большую вероятность выхода из строя, что является полной противоположностью обеспечения качества.

Вышеуказанный подход характерен для тэйлоровского периода управления производством, когда управлением занимались только специалисты и полностью игнорировалась роль рабочих, приравненных фактически к машинам, бессловесным исполнителям установленных для них технических и производственных норм.

Время шло. В современном мире, где рабочие уже хорошо образованы и обладают общественным самосознанием, навязывать тэйлоризм оказалось невозможным. Японцы первыми акцентировали внимание на обеспечении качества, основанном на управлении производственным процессом. Здесь уже больше не полагались исключительно на отделы технического контроля и контроля качества. Здесь требовалось участие всех и каждого. Это означало, что помимо отдела технического контроля соответствующие обязанности по управлению качеством должны были выполнять отделы матери-

ально-технического снабжения и организации производства, производственные отделения фирмы, коммерческий отдел и все субподрядчики, работая в тесном контакте друг с другом. Это также означало, что в управлении качеством должны участвовать все работники фирмы, от руководителей высшего звена до производственных рабочих.

Японцы доказали всему миру, что имея необходимую подготовку, производственный персонал сам (а не только отдел технического контроля) может эффективно управлять технологическим процессом и самостоятельно контролировать выпускаемую продукцию до передачи ее на следующий этап производственного цикла; при самоконтроле к тому же обеспечивается мгновенная обратная связь и оперативное проведение корректирующего воздействия. Такой подход позволил японцам не только резко сократить количество дефектных изделий, но и численность контролирующего персонала в службах контроля фирм до нескольких процентов.

Следует чрезвычайно бережно относиться ко всему, что хотя бы в малейшей степени помогает улучшить качество. Опыт должен по крупицам накапливаться, сохраняться и широко распространяться. Опыт японцев сейчас распространяется по всему миру.

В заключение отметим, что пока существует возможность возникновения дефектов, в принципе все изделия должны проверяться. Такая проверка может принимать форму контроля отгруженной продукции, прежде чем такая продукция попадет к заказчикам, или контроля партий продукции в процессе изготовления, или самоконтроля, или контроля, проводимого отделом технического контроля. Контроль качества продукции и в настоящее время является важнейшей функцией обеспечения и управления качеством.

ЧАСТЬ I

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ, ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

1. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Система контроля качества продукции представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов и субъектов контроля, используемых видов, методов и средств оценки качества изделий и профилактики брака на различных этапах жизненного цикла продукции и уровнях управления качеством (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Общий вид структурно-функциональной модели системы контроля качества продукции

Эффективная система контроля качества продукции позволяет в большинстве случаев осуществлять своевременное и целенаправленное воздействие на уровень качества выпускаемой продукции, предупреждать всевозможные недостатки и сбои в работе, обеспечивать их оперативное выявление и ликвидацию с наименьшими затратами ресурсов.

1.1. *Контролируемые стадии жизненного цикла продукции*

Жизненный цикл продукции – совокупность производственных процессов и потребления продукции определенного вида от начала исследования возможности ее создания до

прекращения потребления или эксплуатации, утилизации или уничтожения продукции.

Технический контроль качества продукции осуществляется на всех стадиях жизненного цикла продукции. Рассмотрим задачи технического контроля на таких стадиях, как разработка, производство (изготовление), эксплуатация (потребление), восстановление (ремонт).

Основная задача контроля качества продукции на этапе разработки продукции выявлять и предотвращать явные нарушения установленных требований разработки согласно стандартам и другим нормативным документам, а также механические ошибки в процессе проектирования изделий и оформления технической документации. Каковы же причины нарушений? Это в первую очередь: *а)* недостаточно полный учет современных достижений науки и техники, заниженные требования стандартов, технических условий и других нормативных документов при разработке новых изделий; *б)* недостаточная обеспеченность разработчиков необходимой информацией о лучших отечественных и мировых достижениях в области проектирования и производства аналогичной продукции; *в)* неудовлетворительный учет, анализ и обобщение сведений об эксплуатации аналогичной продукции потребителем; *г)* неполный учет мнения потребителя о качестве и техническом уровне нового изделия; *д)* использование нормативно-технической документации на сырье, материалы, полуфабрикаты и комплектующие изделия, не обеспечивающей разработку новой продукции высокого качества; *е)* недостаточный контроль или отсутствие в ряде случаев проверки проектов технической документации, вследствие чего показатели технического уровня и качества изделий, установленные в ней, оказываются ниже требований технического задания; *ж)* неудовлетворительное выполнение своих функций службами стандартизации, технического контроля и метрологического обеспечения.

Контроль соответствия новых разработок установленным требованиям должен целенаправленно осуществляться раз-

личными компетентными органами, в том числе национальным агентством метрологии, стандартизации и сертификации, соответствующими подразделениями министерств, контролирующими звеньями различных служб предприятий (отделов главного конструктора, главного технолога, стандартизации, технического контроля, метрологической службы и др.).

Техническая документация разрабатывается не только научно-исследовательскими, проектно-конструкторскими и технологическими организациями, но и соответствующими подразделениями (отдел главного конструктора, главного технолога и др.) предприятий. Эта техническая документация должна подвергаться различным видам контроля (конструкторскому, технологическому, метрологическому, нормоконтролю и т.д.), так как и она играет важную роль в формировании качества продукции. Подразделения нормоконтроля обязаны не только контролировать собственную техническую документацию, но и проводить экспертизу поступающих из других организаций чертежей и проектов, выборочно проверять техническую документацию на предприятиях, поставляющих по кооперации полуфабрикаты и комплектующие изделия.

На стадии подготовки производства должен осуществляться входной контроль качества сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, получаемых по кооперации и используемых в собственном производстве конечной продукции. Главная цель организации входного контроля – предотвращение использования в производстве исходных компонентов готовой продукции, не соответствующих по качеству предъявляемым к ним требованиям.

На стадии изготовления продукции технический контроль сводится к контролю качества и состояния технологических процессов. При контроле технологических процессов главное внимание уделяется проверке соблюдения технологической дисциплины в процессе производства изделий. Несоблюдение технологической дисциплины может быть обусловлено: а) несоблюдением требований технологии по вине непосредственных исполнителей; б) использованием в собственном

производстве недоброкачественного сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и др., полученных по кооперации; в) неисправностью или разладкой технологического оборудования, несвоевременной заменой инструмента и т.п.; г) несоответствием оборудования, инструмента, оснастки и контрольно-измерительных средств требованиям конструкторской и технологической документации; д) небезопасностью отдельных рабочих мест всей необходимой технической документацией и др.

Контроль соблюдения технологической дисциплины на предприятиях должен проводиться в следующих целях: а) обнаружение нарушений требований стандартов, технических условий, конструкторской, технологической и другой нормативно-технической документации при осуществлении технологических процессов; б) выявление причин и конкретных виновников этих нарушений; в) определение состава мероприятий, направленных на устранение обнаруженных отступлений от технологии и их предотвращения в дальнейшем.

Кроме того контролируется обеспечение достигнутых показателей качества продукции в процессе ее внутризаводского транспортирования, хранения, упаковки и отправки потребителю.

На стадии эксплуатации или потребления продукции задачами контроля качества являются: а) проверка соответствия показателей качества продукции требованиям научно-технической документации при хранении, транспортировании и функционировании этой продукции; б) проверка правильности эксплуатации продукции.

На стадии восстановления (ремонта) продукции задачей контроля качества является проверка соответствия показателей качества продукции требованиям научно-технической документации после ремонта и технического обслуживания этой продукции.

1.2. Объекты технического контроля

Все объекты технического контроля качества тесно связаны с контролируруемыми этапами жизненного цикла продук-

ции. В число основных объектов технического контроля качества входят:

- методы разработки и содержания стандартов, технических условий, конструкторской, технологической и другой нормативно-технической документации, регламентирующей процессы разработки, производства, обращения, эксплуатации и ремонта изделий (I);
- качество сырья, материалов, полуфабрикатов, заготовок и комплектующих изделий, получаемых по кооперации (II);
- качество сырья, материалов, полуфабрикатов, заготовок и комплектующих изделий собственного производства (III);
- технический уровень и состояние используемого оборудования, технологической оснастки и инструмента, прогрессивность технологии (IV);
- квалификационный уровень исполнителей технологических операций и управленческого аппарата (V);
- технологическая дисциплина в производстве и качество труда работающих (VI);
- методы технического контроля и испытаний продукции, наличие, технические возможности и состояние контрольно-измерительных приборов, приспособлений и инструмента (VII);
- качество изготавливаемых деталей, узлов, сборочных единиц и готовой продукции (VIII);
- качество упаковки и тары, средства и правила складирования, хранения и транспортирования изделий (IX);
- правила эксплуатации, технического обслуживания и диагностики изделий потребителями, их соблюдение (X);
- качество ремонта и восстановления изношенных деталей, узлов и изделий в целом, качество запасных частей (XI);
- деятельность органов управления различных уровней и звеньев по реализации предоставленных им контрольных полномочий, процесс развития и совершенствования систем управления качеством продукции и технического контроля на предприятиях, в отраслях и т.д. (XII).

Взаимосвязь объектов технического контроля с контролируемыми этапами жизненного цикла продукции представлена на рис.1.2.

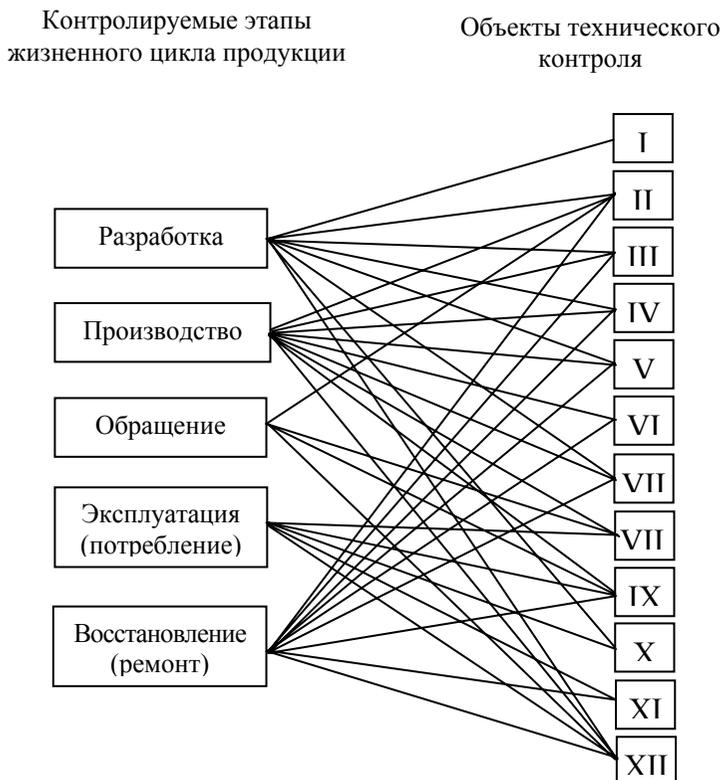


Рис.1.2. Взаимосвязь объектов технического контроля с контролируемыми этапами жизненного цикла продукции

Каждому из перечисленных объектов контроля соответствует определенный вид проверки, отличающийся от остальных по следующим признакам:

- ✓ составу конкретных методов и средств оценки состояния контролируемого объекта;
- ✓ характеру, периодичности и объему получаемой и перерабатываемой информации;

- ✓ составу и специфике средств воздействия на проверяемый объект по результатам контроля;
- ✓ форме организации проверок и др.

1.3. Субъекты контроля качества

Всю совокупность субъектов контроля качества можно классифицировать по их уровням управления, на которых они осуществляют свою деятельность, а также по видам контроля.

На *общегосударственном* уровне проверкой качества выпускаемой и реализуемой продукции, а также применением различных мер воздействия к нарушителям занимаются:

- Национальное агентство стандартизации, метрологии и сертификации Грузии;
- органы по сертификации продукции, работ, услуг, систем качества и производств;
- органы таможенного и антимонопольного регулирования;
- судебные органы Госарбитража;
- комиссии местных органов власти.

На *отраслевом* уровне и уровне предприятий (организаций) ведомственный контроль качества продукции в соответствии с закрепленными обязанностями и предоставленными полномочиями осуществляют:

- министр и его заместители;
- инспекции по качеству продукции министерств;
- отраслевые испытательные центры;
- директора и главные инженеры предприятий отрасли;
- подразделения контроля качества крупных производственных структур;
- отделы технического контроля предприятий и их подразделения;
- бюро технического контроля цехов и участков;
- бригады контролеров ОТК;
- контролеры ОТК;
- исследовательские и измерительные лаборатории, контрольно-испытательные станции, подразделения служб главного

конструктора, главного технолога, главного механика, главного металлурга, главного метролога, главного бухгалтера, материально-технического снабжения, сбыта, юридической, финансовой и др.;

- группы качества;
- мастера, бригадиры;
- исполнители производственных операций, переведенные на самоконтроль;
- исполнители производственных операций, не переведенные на самоконтроль.

Межведомственный контроль качества продукции в рамках предоставленных полномочий и действующего законодательства могут осуществлять:

- органы Госторгинспекции, контролирующие подразделения торговых, снабженческо-сбытовых и других организаций;
- заказчики (представители заказчиков на предприятиях-изготовителях);
- потребители (их общества, ассоциации, союзы и т.п.).

Каждому из названных субъектов контроля соответствует свой вид контроля качества, отличающийся от других видов следующими признаками: основные направления и конкретные задачи проверок; арсенал имеющихся средств и методов осуществления контроля качества продукции (работ, услуг); место и время проведения контроля; глубина проникновения в суть явлений и степень охвата всей совокупности факторов и причин, прямо или косвенно влияющих на качество продукции (работ, услуг); уровень обобщения результатов проверок; совокупность рычагов и каналов воздействия на объект контроля; характер воздействия на контролируемый объект.

1.4. Виды технического контроля

Организационные формы и виды процессов технического контроля качества продукции весьма разнообразны. Поэтому целесообразно их деление на группы по классификационным признакам (рис.1.3).

Выделяют следующие виды контрольных операций:

- По стадиям производственного процесса:

▪ *входной контроль*, предназначенный для проверки качества сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, получаемых по кооперации, а также инструментов и приспособлений до начала производства;



Рис. 1.3. Классификация видов контроля качества продукции

▪ *пооперационный (промежуточный) контроль* деталей, узлов, заготовок и т.п., выполняемый по ходу технологического процесса;

▪ *приемочный (окончательный) контроль*, проводимый над заготовками, деталями, сборочными единицами, готовыми изделиями;

▪ *контроль транспортировки продукции;*

▪ *контроль хранения продукции.*

-По степени охвата продукции (по объему проверки):

▪ *сплошной контроль*, выполняемый при полном (100%-ном) охвате предъявляемой продукции. Он применяется в следующих случаях: а) при ненадежности качества поставляемых материалов, полуфабрикатов, заготовок, деталей, сборочных единиц; б) когда оборудование или особенности технологического процесса не обеспечивают однородность изготавливаемых объектов; в) при сборке в случае отсутствия взаимозаменяемости; г) после операций, имеющих решающее значение для качества последующей обработки или сборки; д) после операций с возможным высоким размером брака; е) при испытании готовых изделий ответственного назначения;

▪ *выборочный контроль*, осуществляемый не над всей массой продукции, а только над выборкой. Обычно он используется в следующих случаях: а) при большом числе одинаковых деталей, б) при высокой степени устойчивости технологического процесса; в) после второстепенных операций.

-По особенностям проверки (по характеру воздействия на контролируруемую продукцию):

▪ *разрушающий контроль*, при котором последующее использование продукции невозможно;

▪ *неразрушающий контроль.*

-По степени механизации и автоматизации:

▪ *ручной (немеханизованный) контроль;*

▪ *механизованный контроль;*

▪ *автоматизированный контроль* (автоматизированные системы управления качеством).

-По контролируемому параметру:

▪ *контроль по количественному признаку*, когда определяют численные значения одного или нескольких показателей, которые сравнивают с нормативными значениями;

- *контроль по качественному признаку*, когда каждую единицу проверяемой продукции приписывают к определенной группе, а решение принимают в зависимости от того, какое изделие попало в каждую группу;

- *контроль по альтернативному признаку* представляет собой частный случай контроля по качественному признаку, когда существуют две группы – годные и дефектные изделия.

-По организационным формам выявления и предупреждения брака:

- *летучий контроль*, который выполняется контролером внезапно, в случайные моменты времени (без графика) при систематическом обходе закрепленных за ним рабочих мест;

- *кольцевой контроль*, заключающийся в том, что за контролером закрепляется определенное количество рабочих мест, которые он обходит «по кольцу» периодически в соответствии с часовым графиком, причем продукция проходит контроль на месте ее изготовления;

- *статистический контроль*, являющийся формой периодического выборочного контроля, основанный на методах математической статистики и позволяющий обнаружить и ликвидировать отклонение от нормального хода технического процесса раньше, чем эти отклонения приведут к браку;

- *текущий предупредительный (превентивный) контроль*, выполняемый с целью предупреждения брака в начале и в процессе обработки. Он включает: а) проверку первых экземпляров изделий; б) контроль соблюдения технологических режимов; в) проверку вступающих в производство материалов, инструментов, технологической оснастки и др.

-По времени выполнения:

- *непрерывный* (например на конвейре или в потоке);

- *периодический*.

-По месту выполнения:

- *стационарный контроль*, выполняемый в стационарных контрольных пунктах, оснащенных сложной измерительной аппаратурой;

▪ *скользящий контроль*, выполняемый непосредственно на рабочих местах (когда возможно применение простых контрольно-измерительных инструментов либо приборов; при проверке громоздких изделий, неудобных для транспортировки; при изготовлении малого числа одинаковых изделий).

-По исполнителям:

- *самоконтроль*;
- *контроль мастеров*;
- *контроль службы технического контроля*;
- *инспекционный контроль*;
- *одноступенчатый контроль* (исполнителя плюс приемка службой технического контроля);
- *многоступенчатый контроль* (исполнителя плюс операционный плюс специальный плюс приемочный);

-По используемым средствам контроля:

▪ *измерительный (инструментальный) контроль*, осуществляемый с помощью всевозможных средств измерения (являются в этом случае средствами контроля) и применяемый для оценки значений контролируемых параметров изделия;

▪ *регистрационный контроль*, осуществляемый для оценки объекта контроля на основании результатов подсчета (регистрации определенных качественных признаков, событий, изделий, например количества дефектных единиц продукции). При регистрационном контроле в качестве средств контроля могут быть использованы как органы чувств человека, так и специальные счетчики;

▪ *органолептический контроль*, осуществляемый посредством только органов чувств без определения численных значений контролируемого объекта; *визуальный контроль* – вариант органолептического, при котором контроль осуществляется только органами зрения. В некоторых случаях при визуальном и органолептическом контроле применяются усиливающие средства, например микроскопы и т.п.;

▪ *контроль по образцу*, осуществляемый сравнением признаков контролируемого изделия с признаками контрольного образца (эталона);

- *технический осмотр*, осуществляемый в основном с помощью органов чувств и при необходимости с привлечением простейших средств контроля.

Особым видом контроля являются испытания готовой продукции. В словаре терминов Европейской организации по качеству дается следующее определение: испытание – это определение или исследование одной или нескольких характеристик изделия под воздействием совокупности физических, химических, природных или эксплуатационных факторов и условий.

Испытания проводятся по соответствующим программам. В зависимости от целей существуют основные виды испытаний:

- *предварительные испытания* – это испытания опытных (головных) образцов для определения возможности приемочных испытаний;

- *приемочные испытания* – это испытания опытных (головных) образцов для определения возможности их постановки на производство;

- *приемо-сдаточные испытания* – это испытания каждого изделия для определения возможности его поставки заказчику;

- *периодические испытания* – это испытания, которые проводятся один раз в 3-5 лет для проверки стабильности производства;

- *типовые испытания* – это испытания серийных изделий после внесения существенных изменений в конструкцию или технологию.

Точность средств контроля и испытания должна быть такова, чтобы не происходило значительное искажение измеряемого параметра.

1.5. Элементы системы контроля качества

В данном блоке системы контроля качества продукции (рис.1.1) выделяют основные и дополнительные элементы.

- В основные элементы системы контроля качества продукции входят следующие общие подсистемы:

- планирования;
- инспекционного контроля;
- стимулирования и ответственности.

Главная цель *подсистемы планирования* – составление взаимосвязанных текущих и перспективных планов работ по контролю качества продукции на разных уровнях управления и стадиях жизненного цикла изделий.

Главная цель *подсистемы инспекционного контроля* – постоянные и целенаправленные проверки состояния работ по оценке технического уровня и качества выпускаемой продукции, совершенствованию организационных форм, методов и средств контроля и испытаний изделий, а также определение истинной достоверности результатов технического контроля и обнаружение в общей совокупности контролирующих органов, подразделений и лиц конкретных виновников пропуска недоброкачественной продукции.

Главная цель *подсистемы стимулирования и ответственности* – обеспечение необходимой материальной и моральной заинтересованности работников в достижении высоких стабильных положительных результатов при контроле качества продукции и осуществлении работ по комплексному совершенствованию различных элементов системы контроля качества. В рамках этой подсистемы следует установить жесткую прямую зависимость форм и размеров материального и морального стимулирования: а) контролируемых лиц от достижения и превышения установленного уровня параметров контроля; б) контролирующего персонала от изменения достоверности и эффективности проводимых проверок, степени выполнения планов контроля, наличия ошибок в работе.

Планирование деятельности, контроль и стимулирование персонала являются общей, наиболее важной и неотъемлемой частью работы по реализации целей и задач всей системы контроля качества продукции.

-Дополнительные элементы системы контроля качества продукции представлены рядом специальных и обеспечивающих подсистем.

В структурно-функциональной модели системы контроля качества продукции можно выделить следующие специальные подсистемы:

- профилактики брака и низкого качества в процессе разработки и производства продукции (включает виды и методы контроля качества на этапе разработки изделия; входной контроль качества сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, инструмента и другой продукции, получаемой по кооперации; контроль соблюдения технологической дисциплины в цехах и на участках; активный контроль качества, при котором принимаются решения по улучшению качества продукции и др.);

- испытаний продукции;

- сертификации продукции, работ, услуг, систем качества и производств;

- аттестации технологических процессов, рабочих мест и исполнителей производственных операций;

- государственного надзора за внедрением и соблюдением стандартов, метрологическим обеспечением производства и другими условиями и факторами выпуска продукции требуемого качества;

- самоконтроля качества в производстве;

- стандартизации методов и средств контроля качества продукции:

- использования вневедомственных форм контроля качества (заказчиками, потребителями, продавцами и др.).

Обеспечивающими подсистемами системы контроля качества продукции являются подсистемы:

- методологического обеспечения;
- материально-технического обеспечения;
- технологического обеспечения;

- кадрового обеспечения;
- информационного обеспечения;
- метрологического обеспечения;
- математического обеспечения;
- правового обеспечения;
- финансового обеспечения;
- организационного обеспечения.

Эффективность системы контроля качества продукции определяется эффективностью функционирования подсистем, обеспечивающих правильное и своевременное решение задач контроля качества на различных уровнях и стадиях жизненного цикла изделий.

Эффективная система контроля качества продукции позволяет в большинстве случаев осуществлять своевременное и целенаправленное воздействие на уровень качества выпускаемой продукции, предупреждать всевозможные недостатки и сбои в работе, обеспечивать их оперативное выявление и ликвидацию с наименьшими затратами ресурсов.

2. МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Методы контроля можно классифицировать на разрушающие и неразрушающие.

2.1. Разрушающие методы технического контроля

Разрушающие методы контроля включают в себя такие виды испытаний, как испытание на растяжение и сжатие, испытание на удар, жаропрочность, твердость, испытание при термических, электрических и повторно-переменных нагрузках (испытание на выносливость).

Разрушающие методы контроля обладают следующими достоинствами:

- ✓ Методы направлены непосредственно на определение надежности контролируемого изделия; они позволяют имитировать условия, близкие к эксплуатационным.
- ✓ Позволяют получить количественные характеристики контролируемого параметра и установить сроки службы изделия до разрушения при заданных нагрузках.

К недостаткам разрушающих методов контроля следует отнести следующее:

- Разрушающие методы проводятся на ограниченной части изделий из партии. Ценность полученных результатов будет зависеть от стабильности параметров изделий в партии, иначе поведение изделия в реальных условиях не будет соответствовать результатам проведенных испытаний. Выборочный контроль, каким является разрушающий контроль, неприемлем для особо ответственных изделий космической, авиационной и оборонной промышленности.

• Использование разрушающих методов контроля приводит либо к полному разрушению контролируемого изделия, либо к значительному ухудшению его рабочих характеристик. После электрических или термических нагружений (без разрушения) необходимо проконтролировать деталь одним из неразрушающих методов контроля, так как возможны зна-

чительные структурные изменения материала изделия, могущие стать причиной быстрого выхода из строя дорогостоящего оборудования.

- Разрушающие методы непригодны для контроля в условиях эксплуатации изделия.
- Разрушающие методы весьма трудоемки и требуют большой затраты времени высококвалифицированного персонала. Поэтому они экономически невыгодны и применяются для ограниченного числа деталей и узлов.

2.2. Неразрушающие методы технического контроля

Под неразрушающими методами контроля понимаются методы контроля по косвенным признакам, не изменяющие (в отличие от разрушающих методов) качества, параметров, характеристик, эксплуатационных свойств изделия. Исходной информацией для неразрушающих методов контроля являются вызванные наличием в изделии дефектов различного рода аномалии в регистрируемых физических параметрах. Это могут быть искажения потока теплового излучения; изменения окраски специальных контролирующих покрытий; рассеяние, отражение и поглощение ультразвуковых или электромагнитных волн, корпускулярного потока и т.д. По характеру аномалий делаются заключения о наличии дефектов в изделии, их особенностях (тип дефекта, размеры, форма, место расположения) и причинах возникновения.

Отметим следующие преимущества неразрушающих методов контроля:

- ✓ Определение и измерение основных параметров изделия можно проводить в процессе его производства, испытания, эксплуатации или ремонта без нарушения режима функционирования и изменения его характеристик.
- ✓ Возможность контроля качества в динамическом режиме, в том числе при ускоренных испытаниях.
- ✓ Повышение объективности и достоверности контроля при техническом обслуживании.

✓ Возможность обнаружения скрытых (глубинных) дефектов типа воздушных раковин, непроая, отслоений в многослойной конструкции и т.д., определение степени опасности обнаруженных дефектов для нормального функционирования изделия.

✓ Возможность использования многих неразрушающих методов контроля как профилактической меры, способной предупредить катастрофические разрушения изделия.

✓ Неразрушающие методы контроля обладают большой точностью, надежностью и чувствительностью. Применение этих методов и анализ результата испытаний способствует улучшению параметров изделия и нахождению оптимальных конструкторских решений.

✓ Стоимость неразрушающих методов контроля ниже, чем стоимость разрушающих методов, применяющихся для измерений одних и тех же параметров изделий.

✓ При неразрушающих методах снижаются затраты на производство, поскольку некачественные детали обнаруживаются на начальном этапе изготовления изделий.

✓ Современные методы неразрушающих испытаний позволяют проводить 100%-ный контроль продукции и во многих случаях автоматизировать операции контроля.

Несмотря на очевидные преимущества неразрушающих методов контроля перед разрушающими, им также присущи свои недостатки:

- Неразрушающие методы контроля, как правило, являются косвенными методами (например, для обнаружения немагнитных включений в сплавах или металлах используют электромагнитные поля, по изменению напряженности которых судят о наличии дефекта в контролируемом изделии).

- Воздействие различных дефектов на срок службы и надежность изделия не может быть установлено с помощью неразрушающих методов контроля. Связь между косвенными измерениями и эксплуатационной надежностью должна быть определена другими способами.

- Результаты испытаний носят преимущественно качественный характер, а не количественный. С их помощью можно обнаружить дефект или проследить механизм разрушения, но невозможно, в основном определить срок службы изделия до разрушения.

- Результаты большинства методов неразрушающего контроля требуют квалифицированной расшифровки и интерпретации и большой подготовительной работы: обследования однотипных изделий, подготовки образцов дефектов (составления таблицы дефектов), а также подготовки и тренировки обслуживающего персонала.

При практическом использовании методов неразрушающего контроля необходимо учитывать их специфические особенности. Большинство дефектов могут быть обнаружены, как правило, не одним, а несколькими методами неразрушающего контроля, характеризующимися различной чувствительностью, уровнем достоверности, сложностью, длительностью контроля и другими параметрами. Это требует решения задачи рационального выбора методов неразрушающего контроля с учетом специфики методов и контролируемых изделий.

В зависимости от физических явлений, положенных в основу методов неразрушающего контроля они подразделяются на следующие виды: оптические, капиллярные, тепловые, радиационные, акустические, магнитные, электромагнитные, электрические, радиоволновые, теплеискусием.

В общем случае неразрушающие методы контроля включают сбор и оценку информации, осуществляемые чувствительным элементом (датчиком) или использующей энергией и средой (жидкостями, лучами и т.д.), которые претерпевают изменение при взаимодействии с контролируемым материалом или изделием.

Кратко рассмотрим основное назначение методов неразрушающего контроля, нашедших наиболее широкое применение на практике.

2.2.1. Визуально-оптические методы неразрушающего контроля

Какими бы ни были уникальные методы и средства последующих операций контроль изделий многих отраслей промышленности (например, изделий радиоэлектронной аппаратуры), в основном, начинается с визуального осмотра изделия невооруженным глазом или с помощью соответствующих оптических приборов (лупы, специальных микроскопов и т.д.). В объеме, отведенном для данного конспекта, невозможно детально изложить современное состояние визуальных методов неразрушающего контроля, так как число работ, посвященных этим вопросам, с каждым годом возрастает. Поэтому мы решили ознакомить читателей лишь с некоторыми визуальными методами неразрушающего контроля применительно к задачам оценки качества радиоэлектронных и электротехнических изделий, широко производимых в нашей стране в недалеком прошлом.

Визуальная дефектоскопия позволяет обнаружить только поверхностные дефекты (трещины, плены, закаты и др.) в изделиях из металла, характерные поверхностные дефекты пластмассовых и керамических изделий (трещины, сколы, выкрашивание отдельных участков, толстый облой и т.д.), внутренние дефекты в изделиях из стекла или прозрачных для видимого света пластмасс, дефекты покрытий, нанесенных на металлическую и неметаллическую основу, оценить качество изоляции проводов и кабелей, а также вести контроль наружных слоев на всех стадиях изготовления многослойных печатных плат. При механической обработке могут быть повреждения плат и проводников, поэтому их проверяют внешним осмотром на отсутствие сколов, трещин, отслаивания металлического слоя от основания, расслаивания диэлектрика и коробления плат. В процессе контроля выявляется правильность размещения всех проводников, качество их нанесения и взаимное влияние. Правильность размещения проверяют путем сравнения с эталонами и чертежами.

Минимальный размер дефектов, обнаруживаемых невооруженным глазом, составляет 0,1-0,2 мм, поэтому рабочие

места лиц, осуществляющих контроль, обычно оснащаются лупами четырех-десятикратного увеличения изображения. Однако и в этом случае обнаружение мелких дефектов приводит к максимальному напряжению зрения, не дает должного эффекта и требует эффекта оснащения совершенной техникой – микроскопами с диапазоном увеличений 30×40000 и более, что дает возможность уменьшить размер обнаруживаемых дефектов до десятков микрон и менее.

Более широкое распространение получил метод оптического контроля в связи с созданием оптического квантового генератора. С его помощью производят контроль геометрических размеров изделий со сложной конфигурацией, неплоскостей, неоднородностей, деформаций, вибраций, внутренних напряжений прозрачных объектов, концентраций, чистоты газов и жидкостей, толщины пленочных покрытий, шероховатости поверхности изделий.

Одним из наиболее перспективных направлений визуальных методов неразрушающего контроля являются голографические методы в видимом диапазоне оптического излучения. Особое место среди методов оптической голографии занимает голографическая интерферометрия. Метод контроля, основанный на интерференции волн впервые был предложен в 1948 г. физиком Д. Габором. В процессе контроля качества на фотопленку одновременно с «сигнальной» волной, рассеянной объектом, направлялась «опорная» волна от того же источника света. При интерференции этих волн возникала картина, содержащая полную информацию об объекте, которая фиксировалась на светочувствительной поверхности – голограмме. При облучении голограммы или ее участка опорной волной видно объемное изображение контролируемого объекта с регистрацией возможных изменений данного объекта. Голограмму можно получать с помощью волн любой природы и любого диапазона частот.

Основными элементами установки для реализации голографической интерферометрии являются источник излучения

(лазер), оптические элементы для формирования и распределения световых пучков и регистрирующий элемент (фотопластинка).

Интерферограммы дают богатую информацию относительно распределения локальных деформаций и позволяют обнаружить потенциально надежные участки. Контроль качества оптически прозрачных деталей, выявление неоднородностей стекла, контроль и измерение геометрических размеров интегральных схем, качество поверхности полупроводников и изучение деформаций, связанных с локальными перегревами изделий, – далеко не полная область применения голографической интерферометрии в рассматриваемой нами радиоэлектронике и электротехнике.

2.2.2. Капиллярные методы неразрушающего контроля

Капиллярная дефектоскопия основана на искусственном повышении свето- и цветоконтрастности поверхностных дефектов (трещин, раковин, несплошностей, пористости) изделий из металлов, керамики, металлокерамики, стекла, полимерных и резиновых изделий относительно неповрежденного участка путем проникновения специальных индикаторных веществ (пенетрантов) в поверхностные макродефекты изделия под действием капиллярного давления.

Методы капиллярной дефектоскопии разделяются на цветковые и люминесцентные.

Предварительно подготовленное контролируемое изделие (поверхность должна быть очищена от нагара, шлака, краски, металлической пленки и т.д.) помещается в резервуар, заполненный красящей или люминесцентной жидкостью. Жидкость (пенетрант) должна легко проникать в трещины и поры и задерживаться в них. Пенетрант должен иметь малую вязкость, должен хорошо растворять краску или люминоформ, не вызывать коррозии материала изделия. В качестве пенетрантов используются составы на основе бензин-скипидар, бензол-скипидар-керосин и др. В состав люминесцентных пенетрантов

входят керосин, нориол, автол, трансформаторное масло и др. После смачивания изделия пенетрантом, промывки и просушки на его поверхность наносится слой быстровысыхающего покрытия – проявителя (водоспиртовой раствор каолина или окиси магния). Пенетрант, проникший в поверхностные дефекты изделия, окрашивает покрытие в красный цвет, благодаря чему на белом фоне отчетливо проявляются поверхностные следы дефектов.

При использовании люминесцентного метода после смачивания поверхности контролируемого изделия пенетрантом, промывки и нанесения тонкого слоя проявителя (окись магния или силикагель) изделие освещается ультрафиолетовым светом – происходит люминесценция индикаторного состава, попавшего в поверхностные дефекты, в лучах ультрафиолетового света.

Результаты капиллярной дефектоскопии фиксируются фотографически.

Чувствительность капиллярной дефектоскопии определяется абсолютными размерами дефектов и ограничивается верхним и нижним пределами их выявляемости. Нижним пределом чувствительности являются различные тупиковые неплотности с шириной раскрытия менее 1 *мк*, верхним – не более 0,4 *мм* любой протяженности. Дефекты с большей шириной раскрытия подвергать капиллярной дефектоскопии нельзя ввиду интенсивного вымывания пенетранта из устья пороков металла.

При капиллярном методе контроля изделия, как правило, осматриваются невооруженным глазом или с применением лупы 2 – 4-кратного увеличения. В качестве эталона, с которым сравниваются дефекты на проверяемых изделиях, используются образцы контролируемых изделий, изготовленные из того же материала, по той же технологии, с дефектами, близкими по размерам к нижнему пределу чувствительности метода. Кроме рабочих эталонов обычно должны быть и контрольные. Оба эталона должны иметь паспорт с описанием и

фотографией имеющихся на них пороков материала, выявленных капиллярным методом.

2.2.3. Тепловые методы неразрушающего контроля

Тепловые методы неразрушающего контроля основываются на связи между тепловым потоком и температурным градиентом, возникающим при наличии дефектов в исследуемых объектах. Качество деталей, узлов и изделий в целом оценивается как по характеру распределения температуры, так и по изменению температуры отдельных участков их поверхности.

Тепловое (инфракрасное) изображение дефекта получают в отраженном, проходящем или собственном излучении исследуемого изделия.

Принципиальная схема теплового метода неразрушающего контроля для случая отраженного излучения показана на рис.2.1 .

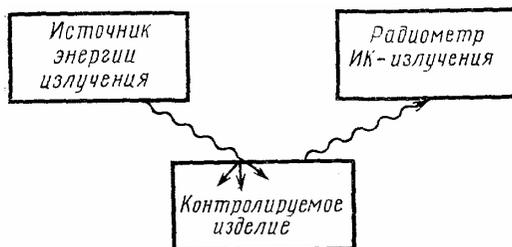


Рис.2.1. Схема теплового метода неразрушающего контроля

Для контроля изделия при нагреве тепловая энергия в форме инфракрасного излучения попадает на поверхность контролируемого изделия. Тепло проникает в изделие со скоростью, зависящей от внутренних его характеристик. Дефектные участки в изделии изменяют тепловой поток. Скорость распространения тепла измеряется теплочувствительным приемником – радиометром, воспринимающим инфракрасное (ИК) излучение от поверхности. Если тепло равномерно распространяется по испытуемой поверхности, оно проникает равномерно и в изделие. При наличии дефекта однородность теплового потока нарушается, и вокруг дефекта тепловой поток

сгущается – появляется горячая точка. На этом принципе основаны тепловые (инфракрасные) дефектоскопы, применяемые для выявления поверхностных дефектов до 3 мм на глубине 1 – 1,5 мм.

В ряде случаев при контроле может быть использовано собственное тепловое (инфракрасное) излучение объектов при их функционировании в рабочем или специально выбранном контрольном режимах. Так, например, наблюдение и оценка теплового поля электрической схемы может быть использована для определения тех из составных элементов схемы, которые изменили свою характеристику, работают в отличном от нормального тепловом режиме или вышли из строя. Аналогично скрытые дефекты в печатных платах (микротрещины, подтравливание, отслаивание и др.), влияя на условие тепловыделения и теплопередачи, существенно изменяют температурное поле в месте дефекта. Структурная схема тепловизора содержит: оптическую систему, сканирующее устройство, приемник инфракрасного излучения, блок индикации. Оптическая система собирает инфракрасное излучение картины и фокусирует его на многоэлементную мозаику чувствительных площадок приемников излучения. Чувствительные элементы преобразуют оптические сигналы в соответствующие электрические, которые затем усиливаются и воспроизводятся в виде изображения на видеоконтрольном устройстве. Методика тепловизионного контроля включает проведение как качественного, так и количественного анализа термограмм. В первом случае тепловой режим оценивается по яркости изображения на видеоконтрольном устройстве, на сравнении термограмм с эталонными. Количественный анализ проводится по распределению вычисленной и истинной температуры поверхности объекта. Определение истинной температуры осуществляется путем масштабирования термограммы в соответствии с калибровочными характеристиками.

Важным свойством теплового метода неразрушающего контроля является то, что он позволяет контролировать качество во времени (динамический режим контроля).

Кроме рассмотренных тепловых методов следует отметить также:

- Термоэлектрическую дефектоскопию, основанную на измерении электродвижущей силы (термо-ЭДС), возникающей в замкнутой цепи при нагреве места контакта двух разнородных материалов. Если один из этих материалов принять за эталон, то при заданной разности температур горячего и холодного контактов величина и знак термо-ЭДС будет определяться химическим составом второго материала.

- Использование температурно-чувствительных красок и составов, изменяющих цвет или испытывающих плавление при определенных режимах работы изделия;

- Люминесцентные методы, основанные на изменении интенсивности свечения некоторых люминофоров под действием ультрафиолетового излучения от температуры (ZnS, JnCdS и др.);

- Жидкокристаллические методы, основанные на использовании свойств холестерических жидкокристаллических соединений, окраска которых чувствительна к температуре и обратимо изменяется с температурой вследствие дифракции и интерференции в тонких пленках;

- Фотоэмульсионные методы, использующие свойства фотографических эмульсий, скорость проявления которых зависит от температуры.

2.2.4. Радиационные методы неразрушающего контроля

Методы с использованием проникающего излучения получили название *радиационной дефектоскопии*. Радиационные методы неразрушающего контроля основаны на регистрации изображения, получающегося в результате различного ослабления корпускулярного потока участками контролируемого объекта. Проникающие излучения особенно эффективны при выявлении несплошностей в литье и сварных конструкциях, в пайках электрических схем.

Для контроля используются потоки нейтронов, электронов, позитронов, тяжелых заряженных частиц (протонов, альфа-частиц и др.), а также рентгеновское или гамма-излучение. Возможности обнаружения дефектов изделия зависят как от вида излучения, его энергии, так и от технических характеристик используемого оборудования. Регистрация изображения, получаемого «просвечиванием» изделия, производится на фотопленке (нейтронография, рентгенография и т.д.) либо на специальном флуоресцирующем или телевизионном экранах (рентгеноскопия), с подчеркиванием градаций в плотности тени различными цветами спектра.

Основной характеристикой излучения для задач контроля является проникающая способность, зависящая от поглощения излучения материалов изделия.

Нейтронный радиографический контроль осуществляется преимущественно потоками нейтронов различных энергий. В качестве источников нейтронного потока используются радиоизотопы (плотность потока нейтронов минимальна – $10 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$), ускорители (плотность потока $10^3 - 10^6 \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$) или реакторы (плотность потока до $10^8 \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$). Радиоизотопные радиографы характеризуются от малой до средней разрешающей способностью, портативностью, но большим временем экспозиции (десятки минут). Более высокое разрешение и меньшее время экспозиции обеспечивается при использовании потока нейтронов из ускорителей и тем более из реакторов.

Электронная дефектоскопия осуществляется при помощи пучка электронов, выведенного из бетатронов или линейных ускорителей. Регистрация электронов прошедших, отраженных или рассеянных изделием осуществляется радиографированием на пленку с помощью чувствительных к электронным потокам преобразователей сцинтилляционного типа с выходом на телевизионный экран (чувствительность порядка 0,3% от толщины изделия), а также спектрометрическим методом (чувствительность достигает 0,05%). Недостатком метода является ограниченная глубина контроля (до 3 мм), обусловленная сравнительно малым пробегом электронов.

Позитронная дефектоскопия (где источником являются испускаемые радиоактивным материалом позитроны) позволяет определить начало усталостного разрушения в металлах еще до появления усталостных трещин. Поскольку позитроны притягиваются к линейным дефектам кристаллической решетки, возникающим до появления усталостной трещины, среднее время жизни позитрона можно связать с наличием дефектов или областей усталости в материале. Это позволяет контролировать характеристики пластической деформации в таких процессах, в частности, как закалка, отпуск или термообработка.

Дефектоскопия с использованием потоков тяжелых заряженных частиц включает в себя протонную радиографию, протонную интроскопию (просвечивание изделия). При *протонной радиографии* фиксируется след (трек) движения частицы с помощью чувствительной пленки или термопластика. В зоне дефекта происходит изменение направления следа, которое может быть измерено. При *протонной интроскопии* с помощью пузырьковой или искровой регистрирующих камер фиксируется направление и энергия протона, прошедшего через контролируемое изделие. Это позволяет установить местоположение, размеры дефектов, а также свойства материала дефектной зоны (атомный номер, заряд ядра). Чувствительность этих методов при оценке локальных изменений плотности – до 0,3%, что во многие десятки раз превышает чувствительность рентгеновских методов контроля.

Основным ограничением при использовании радиационных методов неразрушающего контроля является возможность радиационного повреждения контролируемого изделия.

Рентгеновские методы неразрушающего контроля основаны на регистрации теневого изображения, получаемого в результате «просвечивания» контролируемого изделия рентгеновскими лучами (электромагнитными колебаниями с длиной волны от 10^{-6} до 10^{-8} м). Поглощение рентгеновских лучей зависит от плотности среды и атомного номера элементов, об-

разующих материал среды. Наличие таких дефектов, как трещины, раковины и инородные включения, приводит к тому, что проходящие через материал лучи ослабляются в различной степени. Регистрируя распределение интенсивности проходящих лучей, можно определить наличие и расположение различных неоднородностей материала.

Методы контроля с использованием рентгеновских лучей разделяются на методы рентгеноскопии и методы рентгенографии. *Рентгеноскопия* – визуализация теневого рентгеновского изображения на рентгеновском флуоресцирующем или телевизионном экранах. *Рентгенография* – получение теневого изображения (рентгенограммы) на рентгеновской пленке (кассета с рентгеновской пленкой размещается в рентгеновском пучке за изделием).

Чувствительность методов рентгенодефектоскопии определяется отношением протяженности дефекта в направлении просвечивания к толщине детали в этом сечении и для различных материалов составляет 1-10%. Применение этого метода эффективно для стальных деталей сравнительно небольшой толщины (до 80 мм) и в изделиях из легких сплавов толщиной до 250 мм. Промышленные рентгеновские установки обеспечивают энергию излучения от 5 до 400 кэВ (1 эВ = $1,60210 \cdot 10^{19}$ Дж).

Для рентгенопросвечивания используются аппараты, основными элементами которых являются рентгеновская трубка, источник питания и устройство для управления режимом трубки. Блок-схема рентгенотелевизионного контроля представлена на рис.2.2.

Широкое распространение нашли также рентгенотелевизионные микроскопы, позволяющие обнаруживать дефекты, размеры которых не превышают единиц и десятков микрон.

Рентгеновские методы неразрушающего контроля являются одними из наиболее эффективных методов диагностики и дефектоскопии в машиностроении, металлургии (выявление раковин, трещин, ликвационных включений в литых и свар-

ных изделиях), в радиоэлектронике (определение внутренних монтажных дефектов, поломок деталей, обрывов и замыкания проводников), в медицине и т.д.

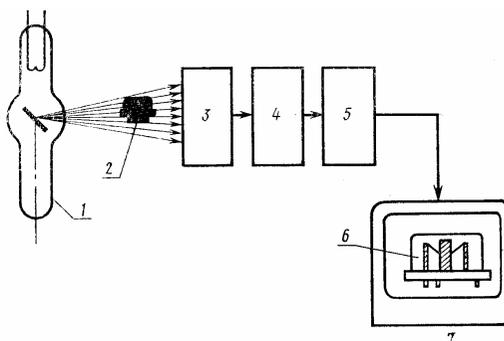


Рис.2.2. Блок-схема рентгенотелевизионного контроля:
1 – рентгеновская трубка; 2 – объект контроля; 3 – рентгеновидикон; 4 – усилитель-преобразователь; 5 – блок телевизионной системы; 6 – увеличенное изображение контролируемого изделия; 7 – видеоконтрольное устройство

Широкое распространение нашли также рентгенотелевизионные микроскопы, позволяющие обнаруживать дефекты, размеры которых не превышают единиц и десятков микрон.

Рентгеновские методы неразрушающего контроля являются одними из наиболее эффективных методов диагностики и дефектоскопии в машиностроении, металлургии (выявление раковин, трещин, ликвационных включений в литых и сварных изделиях), в радиоэлектронике (определение внутренних монтажных дефектов, поломок деталей, обрывов и замыкания проводников) в медицине и т.д.

Гамма-дефектоскопия имеет ту же физическую сущность основы, что и рентгенодефектоскопия, но при этом используются гамма-лучи (электромагнитные колебания с длиной волны менее $10^{-10} м$), испускаемые искусственными радиоактивными изотопами различных металлов (кобальта, цезия, европия, тантала и др.). При гамма-дефектоскопии используют энергию излучения от нескольких десятков кэв до 1-2 Мэв для просвечивания деталей большой толщины. Аппаратура для

гамма-дефектоскопии сравнительно с рентгенодефектоскопической проста, источник излучения компактен.

При работе с источниками рентгеновского и гамма-излучения должна быть обеспечена биологическая защита.

2.2.5. Ультразвуковые методы неразрушающего контроля

Ультразвуковая дефектоскопия основана на использовании упругих колебаний, главным образом ультразвукового диапазона частот. Если в детали есть дефекты и на них попадает луч ультразвука, то он меняет свое направление на дефекте. Индикатор, уловив это изменение, мгновенно показывает, что в отливке дефект.

К числу основных методов ультразвуковой дефектоскопии относятся: эхометод, теневой, резонансный, велосимметричный (собственно ультразвуковые методы), импедансный и метод свободных колебаний (акустические методы).

Эхометод является наиболее универсальным и основан на посылке в изделие коротких импульсов ультразвуковых колебаний специальным излучателем (вибратором) и регистрации индикатором интенсивности и времени прихода эхосигналов, отраженных от дефектов. Излучатель и индикатор могут быть совмещены в одном датчике, работающем в импульсном режиме, чередуя свои функции, т.е. работая вначале как излучатель, а затем как индикатор. Для контроля изделия датчик эходефектов сканирует его поверхность. Этот метод позволяет обнаруживать дефекты, отражающая поверхность которых имеет площадь около 1 мм^2 .

Теневой метод требует расположения излучателя и индикатора друг против друга с помещением испытуемого объекта (например, листового материала) между ними. При отсутствии в теле листа дефекта ультразвуковые колебания проходят сквозь него и воспринимаются датчиком индикатора. При наличии на пути ультразвукового пучка дефекта значительной величины изменяется направление распространения колебаний, так что датчик индикатора попадает в область «звуковой тени» и не воспринимает волн. Ультразвук может передавать-

ся испытываемому изделию через тонкий слой смазки, погружением детали в жидкость (иммерсионный способ) или путем непосредственного контакта излучателя с испытываемым изделием. Таким методом выявляются дефекты диаметром до 1 мм в стальных листах толщиной до 10 мм.

Резонансный метод основан на определении собственных резонансных частот упругих колебаний (частотой 1 – 10 МГц) при возбуждении их в изделии. Этим методом измеряют толщину стенок металлических изделий с точностью до 1%.

Велосимметричный метод, основанный на измерении изменения скорости распространения упругих волн в зоне распространения дефектов в многослойных конструкциях, используется для обнаружения зон нарушения сцепления между слоями металла.

Импедансным методом измеряется механическое сопротивление (импеданс) изделия датчиком, сканирующим поверхность и возбуждающим в изделии упругие колебания звуковой частоты. Этим методом можно выявлять дефекты в клеевых, паяных и других соединениях, между тонкой обшивкой и элементами жесткости или заполнителями в многослойных конструкциях.

Метод *свободных колебаний* основан на анализе спектра свободных колебаний контролируемого изделия, возбужденного ударом. Применяется для обнаружения зон нарушения соединений между элементами в многослойных клееных конструкциях значительной толщины из металлических и неметаллических материалов.

2.2.6. Электромагнитные методы неразрушающего контроля

Среди электромагнитных методов неразрушающего контроля наиболее распространенным и перспективным является метод вихревых токов. Токовихревая дефектоскопия основана на возбуждении в металлических контролируемых изделиях вихревых токов переменным магнитным полем датчика дефектоскопа. Вихревые токи создают свое поле, противоположное по знаку возбуждающему. В результате взаимодей-

ствия этих полей изменяется полное сопротивление катушки датчика, что и отмечает индикатор. Показания индикатора кроме электропроводности и магнитной проницаемости металла, размеров изделия зависят также от изменений электропроводности из-за структурных неоднородностей или нарушений сплошности металла, что именно и используется при построении токовых вихревых (электроиндуктивных) дефектоскопов. Датчики токовых вихревых дефектоскопов изготавливают в виде катушек индуктивности, внутри которых помещают изделие (проходные датчики) или которые накладывают на изделие (накладные датчики).

Главным преимуществом электромагнитного метода неразрушающего контроля является его большая универсальность. Электромагнитные индуктивные дефектоскопы позволяют обнаруживать поверхностные трещины глубиной в несколько микрон при протяженности их в несколько десятых долей миллиметра, оценивать внутренние напряжения в металлическом изделии, оценивать загрязненность высокоэлектропроводных металлов (меди, алюминия), контролировать качество термической обработки, определять глубину слоев химико-термической обработки с точностью до 3 %, сортировать некоторые материалы по маркам, измерять электропроводность неферромагнитных материалов с точностью до 1%.

На этом же принципе основаны и приборы – толщиномеры, использующие информацию вихревых токов об электрофизических свойствах покрытий и той основы, на которую они нанесены. С помощью таких толщиномеров можно измерять изоляционные, металлические и неметаллические покрытия на магнитных и немагнитных металлах, а также неэлектропроводящие покрытия на металлах (керамика, теплоизоляция и т.д.).

В настоящее время разработано и используется большое количество приборов, основанных на применении метода вихревых токов и предназначенных для контроля размеров, дефектов и электромагнитных свойств различных промышленных изделий.

2.2.7. Прочие методы неразрушающего контроля

Магнитная дефектоскопия основана на исследовании искажений созданного магнитным дефектоскопом магнитного поля, возникающих в местах дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов. Индикатором может служить магнитный порошок (например, закись-окись железа) или его суспензия в масле. При намагничивании изделия порошок оседает в местах расположения дефектов. Таким методом – методом магнитного порошка – можно обнаружить трещины и другие дефекты на глубине до 2 мм. Чувствительность метода магнитной дефектоскопии зависит от магнитных характеристик материалов, применяемых индикаторов, режимов намагничивания изделия и др.

Электростатическая дефектоскопия основана на использовании электростатического поля, в которое помещают изделие. Для обнаружения поверхностных трещин в изделиях из неэлектропроводных материалов (стекла, пластмасс, фарфора), а также из металлов, покрытых теми же материалами, изделие опыляют тонким слоем порошка мела из пульверизатора с эбонитовым наконечником (порошковый метод). Частицы мела при этом получают положительный заряд и в результате неоднородности электростатического поля скапливаются у краев трещин. Перед опылением детали необходимо смочить ионогенной жидкостью.

Трибоэлектрическая дефектоскопия основана на измерении электродвижущей силы, возникающей при трении разнородных материалов. Измеряя разность потенциалов между эталонными и испытуемыми материалами, можно различить марки некоторых сплавов.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

3.1. Задачи, функции и пути совершенствования деятельности служб контроля качества предприятий

На предприятиях технический контроль качества продукции осуществляет служба технического контроля – специальное структурное подразделение (отдел, сектор, лаборатория, бюро и т.д.).

Главными задачами службы технического контроля являются предотвращение выпуска (поставки) предприятием продукции, не соответствующей требованиям стандартов и технических условий, утвержденным образцам (эталонам), проектно-конструкторской и технологической документации, условиям поставки и договоров, или некомплектной продукции, а также повышение ответственности всех звеньев производства за качество выпускаемой продукции.

В настоящее время на многих предприятиях сложилась следующая иерархия контролирующих служб и их подразделений: отдел или управление технического контроля предприятия (уровень управления – предприятие), бюро технического контроля цеха (на уровне цеха), бригада контролеров участка (на уровне участка), рабочий контролер (на рабочем месте).

3.1.1. Функциональный состав служб контроля качества на предприятиях

Ввиду многообразия задач контроля качества продукции и необходимости соответствующих проверок на различных этапах процесса производства в составе служб технического контроля предприятий можно выделить следующие специализированные функциональные подразделения:

в сфере контроля именно в процессе производства:

- входного контроля качества продукции, получаемой по кооперации;
- контроля качества продукции (изделий) в цехах и на участках;

- изоляции брака;
- учета, анализа и классификации брака в производстве;
- инспекционного контроля;
- исследования надежности выпускаемой продукции;
- контроля качества упаковки и хранения продукции на складах;

в сфере контроля готовой продукции:

- приемочного контроля готовой продукции;
- контроля качества продукции (изделий) в процессе эксплуатации потребителем и по завершении отдельных этапов эксплуатации;

- анализа претензий и рекламаций потребителей на выпускаемую продукцию;

в сфере контроля использованного оборудования, оснастки, инструмента:

- контроля технического состояния и точности оборудования;
- контроля технологической оснастки;
- контроля качества инструмента собственного изготовления;

в сфере контроля использованной измерительной и испытательной аппаратуры:

- измерительной техники;
- линейных и угловых измерений;
- особо точных измерений;
- дефектоскопии;
- ремонта контрольно-испытательного оборудования, измерительных приборов и оснастки;

в сфере совершенствования методов и средств контроля:

- внедрения новых средств и методов технического контроля;
- разработки, внедрения и контроля функционирования системы управления качеством продукции на предприятии;
- технического и технологического обеспечения процессов контроля качества.

Структура служб контроля качества многих предприятий не содержит в настоящее время перечисленный выше набор

необходимых подразделений, что, естественно, отражается на самом качестве работы предприятия.

3.1.2. Основные недостатки в работе служб контроля качества предприятий

За годы работы служб контроля предприятий накоплен определенный опыт. Отмечаются определенные характерные недостатки, такие как:

- слабая техническая вооруженность и несовершенство метрологического обеспечения;
- несовершенство методик измерений, дублирование и па-раллелизм в работе по оценке качества;
- несоответствие по квалификации разряда контролеров разряду выполняемых контрольных работ;
- низкий общеобразовательный уровень работников служ-бы технического контроля;
- низкая пропускная способность контрольных служб из-за недостаточной численности персонала и других причин, при-водящая зачастую к невыполнению отдельных работ по кон-тролю качества, появлению бесконтрольных участков произ-водства;
- относительно низкая заработная плата и непродуман-ность систем премирования персонала контрольных служб.

Особо следует отметить недостоверность результатов контроля, низкую требовательность и субъективизм в оценке качества продукции. Все это приводит к ослаблению работы по выявлению брака, увеличению количества рекламаций на выпускаемую продукцию.

Многие недостатки в работе служб контроля качества продукции предприятий связаны с невыполнением (или недолжным выполнением) отдельных видов работ, а также с неправильным распределением обязанностей по техническому контролю между различными подразделениями соответствующих служб и, естественно, с отсутствием многих важных подразделений в составе служб контроля качества предприятий.

3.1.3. Совершенствование деятельности служб контроля качества предприятий

Совершенствование деятельности служб контроля качества предприятий должно предусматривать создание, развитие и укрепление тех подразделений этой службы, которые способны эффективно решать следующие задачи:

- разработку и внедрение прогрессивных методов и средств технического контроля, способствующих росту производительности труда, повышению объективности проверок;
- подготовку необходимой информации для нормирования трудоемкости контрольных операций (что позволит оптимизировать количество контролеров), объективного учета и комплексной дифференцированной оценки качества труда различных категорий персонала контрольной службы;
- проведение работ по внедрению самоконтроля основных производственных рабочих (сюда входит и формирование перечня технологических операций, передаваемых на самоконтроль, и оснащение рабочих мест необходимыми контрольно-измерительными и испытательными приборами, инструментами, документацией и специальное обучение рабочих и многое другое);
- проведение исследований динамики качества продукции как в процессе производства, так и в процессе эксплуатации, предполагающих сбор данных как в процессе производства, так и эффективную информационную взаимосвязь между поставщиками и потребителями по вопросам качества продукции.
- координацию работы всех структурных подразделений службы технического контроля качества предприятия.

Особо следует выделить разработку и реализацию мероприятий по профилактике брака в производстве а также определение величины и динамики затрат на контроль качества продукции, оценку эффективности работы контрольных служб. Но об этом более детально в последующих двух разделах.

3. 2. Система профилактики брака на предприятии

Пассивная фиксация брака в производстве вряд ли может активно воздействовать на процесс формирования качества изделий. Это обстоятельство обусловило необходимость создания системы профилактики брака на предприятии, предусматривающей профилактику брака как на стадии подготовки производства, так и непосредственно в производстве.

На *стадии подготовки производства* с целью профилактики брака предусмотрен контроль качества новых разработок и входной контроль качества, а на *стадии производства* – контроль соблюдения технологической дисциплины и самоконтроль качества.

3. 2. 1. Контроль качества новых разработок

Контроль качества новых разработок предусматривает: а) оценку и регулирование технического уровня разработок; б) нормоконтроль конструкторской и технологической документации.

Контроль качества продукции на этапе разработки

Основная задача контроля качества продукции на этапе разработки – выявление и предотвращение с одной стороны, неизбежных творческих поисковых ошибок конструкторов и технологов, а с другой – явных нарушений установленных требований и механических ошибок в процессе проектирования изделий и оформления технической документации.

Каковы же причины таких нарушений? Это:

- недостаточная обеспеченность разработчиков необходимой информацией о лучших мировых достижениях в области проектирования и производства аналогичной продукции;
- неполный учет мнения потребителя о качестве и техническом уровне нового изделия, а также неудовлетворительный учет, анализ и обобщение сведений об эксплуатации аналогичной продукции;
- использование нормативно-технической документации на сырье, материалы, полуфабрикаты и комплектующие изделия, не обеспечивающей разработку новой продукции высокого

качества, а также заниженные требования стандартов, технических условий и других нормативных документов при разработке новых изделий;

■ неудовлетворительное выполнение своих функций службами стандартизации, *технического контроля* и метрологического обеспечения.

Контроль соответствия новых разработок установленным требованиям осуществляется различными компетентными органами, в том числе и национальными органами стандартизации, контролирующими звеньями различных служб предприятия (отделов главного конструктора, главного технолога, стандартизации, технического контроля, метрологической службы и др.). Весомая роль при контроле должна отводиться заказчику технической документации на производство новых и модернизацию выпускаемой продукции.

Нормоконтроль документации на новую продукцию

Нормоконтроль конструкторской и технологической документации представляет собой совокупность операций, посредством которых определяются соответствие ее требованиям действующей нормативно-технической документации и необходимые мероприятия по ее совершенствованию.

Нормоконтроль документации на новую продукцию направлен на соблюдение в разрабатываемых изделиях норм и требований, установленных в стандартах, и на достижение в них высокого уровня стандартизации и унификации на основе широкого использования ранее спроектированных, освоенных в производстве и стандартизованных изделий, типовых конструкторских решений и исполнений. В процессе нормоконтроля проверяется соблюдение действующей системы классификации и кодирования, оформление технической документации в соответствии с требованиями стандартов.

Нормоконтролю подвергается не только документация, разработанная отделами главного конструктора, главного технолога и др. данного предприятия, но и осуществляется входной нормоконтроль конструкторской документации, поступившей от других организаций или предприятий. При этом

проверяется также комплектность документации, наличие обязательных подписей, правильность обозначения стандартов и другой нормативно-технической документации, наличие на предприятии указанной в чертежах разработчика ссылочной нормативно-технической документации и др.

Специалисты по нормоконтролю должны обладать широким кругозором и отличаться глубокой компетентностью. Изменения и исправления технической документации, связанные с нарушением действующих стандартов и других нормативно-технических документов, вносят в технические документы на основании нормоконтроля в обязательном порядке. Предложения, направленные на повышение уровня стандартизации и унификации изделий, сокращение их типоразмеров и т. д. вносят в техническую документацию по согласованию с ее разработчиком.

Следует отметить, что процесс исправления ошибок, выявленных нормоконтролерами в конструкторской и технологической документации, а также процедура внесения необходимых изменений в чертежи, схемы, технологические карты и прочее нередко требуют существенных затрат времени и приводят к задержке производства. В связи с этим основное количество проверок целесообразно перенести на наиболее ранние стадии создания технической документации, организовать повседневный профилактический контроль хода разработок.

Специалисты по нормоконтролю должны осуществлять учет обноруженных отклонений и ошибок, анализировать их характер и причины возникновения, накапливать информацию, необходимую для оценки деятельности разработчиков технической документации.

При правильной постановке нормоконтроля (правильном нормировании затрат времени и ресурсов на проведение нормоконтроля, определении объемов и норм проверок технической документации, стимулировании нормоконтролеров и др.) улучшается качество конструкторской и технологической документации, а следовательно, и качество изготавливаемой на ее основе продукции.

3.2.2. Входной контроль качества продукции, получаемой по кооперации

Входной контроль качества предполагает выборочную или сплошную проверку: а) получаемых сырья и материалов; б) полуфабрикатов и заготовок; в) комплектующих изделий и запасных частей.

Главная цель организации входного контроля качества, определяющая его сущность и место в производственном процессе, – предотвращение использования в собственном производстве исходных компонентов готовой продукции, несоответствующих по качеству предъявляемым к ним требованиям. На долю комплектующих изделий приходится до 70-80% всех неисправностей продукции (машин, агрегатов, телевизоров, аудио- и видеотехники) при эксплуатации их потребителями.

Отсюда и важность эффективного осуществления входного контроля качества продукции, получаемой по кооперации. В круг первоочередных задач подразделений входного контроля входят:

- квалифицированный контроль качества всей продукции, получаемой предприятием по кооперации; правильное заполнение и оформление необходимых документов по результатам входного контроля;

- совершенствование форм организации, методов проведения входного контроля; методов регулирования номенклатуры и количества контролируемых признаков продукции в зависимости от его входного качества; внедрение научной организации труда работников входного контроля; внедрение высокопроизводительных технических средств контроля качества сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий;

- изоляция и соответствующая маркировка забракованных партий сырья, материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий; организация участия поставщиков в решении спорных вопросов при выбраковке полученных от них крупных партий материалов и полуфабрикатов;

- контроль соблюдения установленного порядка маркировки, складирования, хранения и выдачи подразделениям своего предприятия продукции, полученной от поставщиков и прошедшей входной контроль;

- систематизация и учет данных о работе поставщиков за длительный промежуток времени и в результате этого выработка рекомендаций по улучшению качества поставок, уменьшению количества недоброкачественных поставок.

3.2.3. Контроль соблюдения технологической дисциплины в производстве

Контроль соблюдения технологической дисциплины предусматривает: а) контроль точности и стабильности технологических процессов, состояния оборудования, качества оснастки и инструмента, точности средств метрологического обеспечения; б) контроль уровня квалификации и качества труда исполнителей производственных операций; в) межоперационный, в том числе активный, контроль качества.

Основными целями контроля технологической документации являются:

- обнаружение нарушений требований стандартов, технических условий, конструкторской, технологической и другой нормативно-технической документации при осуществлении технологических процессов, что ведет к негативным последствиям (снижение уровня качества изделий; рост потерь от брака; увеличение затрат ресурсов на осуществление технологического процесса и др.);

- выявление причин и конкретных виновников этих нарушений;

- определение состава мероприятий, направленных на устранение обнаруженных отступлений от технологии и их предотвращение в дальнейшем.

Каковы же основные причины несоблюдения технологической дисциплины? Анализ показал, что это: а) использование в собственном производстве некондиционного сырья, материалов и т. д., полученной по кооперации; б) необеспечен-

ность рабочих мест всей необходимой технической документацией; в) несоблюдение требований технологии по вине исполнителей в результате их низкой квалификации или сознательного их нарушения, выражающееся в невыполнении, ненадлежащем выполнении или самовольном изменении последовательности некоторых операций технологического процесса; г) неисправность или разладка технологического оборудования, несвоевременная замена инструмента; д) несоответствие оборудования, инструмента, оснастки, контрольно-измерительной и испытательной аппаратуры, используемых при оснащении технологических операций, требованиям конструкторской и технологической документации и др.

3.2.4. Самоконтроль качества в производстве

Основная задача самоконтроля качества заключается в осуществлении рабочим-исполнителем непосредственно на рабочем месте всех предусмотренных операций контроля качества продукции в полном соответствии с требованиями контрольной документации. Таким образом основная масса контрольных операций переносится на наиболее ранние стадии процесса формирования качества продукции, что, естественно, способствует своевременному обнаружению и быстрому исправлению или изоляции брака.

Вкратце перечислим и другие преимущества самоконтроля качества в производстве:

- возможность активного профилактического воздействия исполнителя на производственный процесс в целях предупреждения возможных нарушений и появления брака и вследствие этого формирование у него высокой ответственности за качество своего труда, творческого отношения к порученному делу;

- постоянное получение информации о ходе технологического процесса, что позволяет оперативно воздействовать на него, устранять выявленные отклонения с минимальными затратами времени и ресурсов, сосредоточивать внимание на

наиболее ответственных и неустойчивых по качеству операций, создавать условия для повышения качества продукции;

- сокращение пропуска брака на последующие операции технологического процесса; уменьшение взаимных претензий исполнителей и контролеров; снижение издержек производства вследствие возможности перехода от сплошной к выборочной проверке продукции отделом технического контроля в условиях самоконтроля;

- формирование у исполнителей высокой ответственности за качество своего труда, творческого отношения к порученному делу.

Но для внедрения реального самоконтроля должны быть определенные условия. Это:

- организация обучения исполнителей-рабочих методам и приемам контроля качества;

- оснащение рабочих мест современными техническими средствами контроля;

- материальное и моральное стимулирование рабочих, переведенных на самоконтроль;

- готовность технологического процесса к переходу на самоконтроль (в целях повышения оперативности воздействия на процесс временной интервал между производственными и контрольными операциями по возможности должен быть минимизирован; время на контроль качества должно быть включено в общую трудоемкость выполнения операций технологического процесса и др).

На предприятиях на самоконтроль переходят не только отдельные рабочие но и целые бригады основных производственных рабочих. При этом в таких бригадах формируется коллективная ответственность за качество продукции, что способствует усилению взаимного контроля членов бригады, требует повышения квалификации всех рабочих бригады.

3.3. Экономические аспекты контроля качества продукции

3.3.1. Затраты на качество и модели стоимости качества

Затраты на качество – это затраты, которые необходимо понести, чтобы обеспечить удовлетворенность потребителя продукцией (услугами). В соответствии с подходом Джурана-Фейгенбаума все затраты на качество подразделяются на четыре категории:

а) *затраты на предупредительные мероприятия* (превентивные действия) – это затраты на предотвращение самой возможности возникновения дефектов, т.е. затраты направленные на снижение или полное предотвращение возможности появления дефектов или потерь;

б) *затраты на контроль* – затраты на определение и подтверждение достигнутого уровня качества;

в) *внутренние потери (затраты на внутренние дефекты)* – затраты, понесенные внутри организации (т.е. до того, как продукт был продан потребителю) когда запланированный уровень качества не достигнут;

г) *внешние потери (затраты на внешние дефекты)* – затраты, понесенные вне организации (т.е. после того, как продукт был продан потребителю), когда запланированный уровень качества не достигнут.

Типичная структура затрат на качество в области машиностроения по данным Института обеспечения качества в Великобритании (Institute of Quality Assurance) выглядит следующим образом (рис. 3.1).

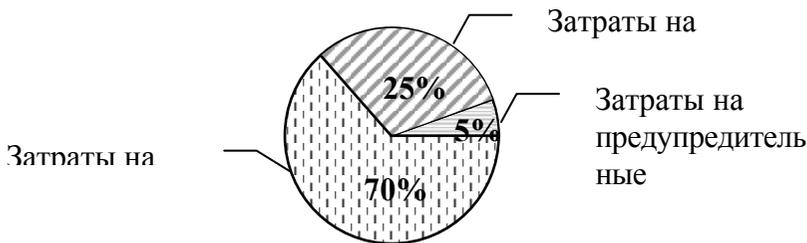


Рис. 3.1. Типичная структура элементов затрат на качество

Как видим из рис.3.1 львиная часть всех затрат приходится на исправление брака и затраты, связанные с дефектами, в несколько раз превышают затраты на контроль.

Вообще же относительные доли элементов затрат на качество изменяются в широких пределах (табл. 3.1)

Таблица 3.1

Элементы затрат на качество	Доли от суммарных затрат, %
Затраты предупредительные мероприятия	0,5 – 5
Затраты на контроль	10 – 50
Внутренние потери	25 – 40
Внешние потери	25 - 40

Так, например, в легкой промышленности доля затрат на контроль качества достигает 1-5%, в авиационной промышленности около 30%, а в электронной промышленности и приборостроении 25-50% общей себестоимости производства изделий.

Первые две категории затрат невозможно свести к нулю, так как не оценивать качество и не проводить предупредительных мероприятий фактически означает пустить качество на самотек. Что же касается затрат на внутренние и внешние дефекты (издержки на несоответствие) – их можно и нужно сделать как можно меньше.

Из табл.3.1 видно, что примерно 50-80% всей стоимости качества составляют затраты на производство и последующее исправление брака. Поэтому производитель должен сосредоточить свое внимание на полном исключении дефектов. Именно поэтому японцы ставят конечную цель «нулевого дефекта». Но это, конечно, не означает, что в любой ситуации в любое время внутренние и внешние потери (издержки на несоответствие) у них близки к нулевым. Для того чтобы избежать неоправданных затрат, производитель должен делать, как говорят японцы, «правильные вещи правильно, в нужное время, в нужном месте и с первого раза». Делать правильные вещи (ценные для потребителя) правильно (хорошо) является целью качества, исповедуемого TQM.

Модель оптимальной стоимости качества со временем претерпевала изменения.

Вначале стоимость качества определялась затратами производителя на контроль и превентивные действия по обеспечению требуемого потребителем качества, которые возрастают с необходимостью улучшения качества продукции. При этом было принято считать, что абсолютное, 100% - ное соответствие продукции технологическим условиям практически недостижимо из-за бесконечно больших затрат. В то же время считалось, что затраты потребителя на эксплуатацию поставленного ему продукта уменьшаются с ростом качества за счет уменьшения затрат на исправление несоответствий и стремятся к нулю при 100% - ном уровне качества. Поэтому можно говорить об оптимальном уровне качества, соответствующем минимуму стоимости качества как для поставщика, так и для потребителя (рис. 3.2,*а*)

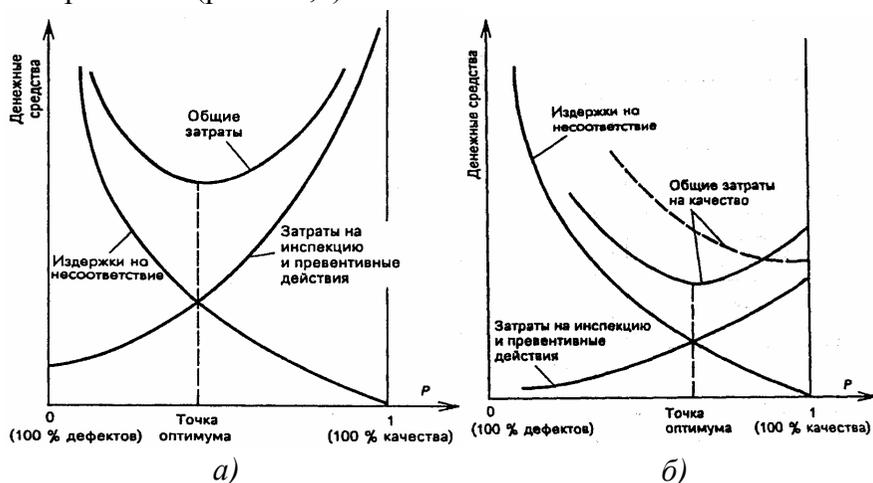


Рис.3.2 Модели оптимальной стоимости качества:
а) – традиционная модель; *б*) – современная модель

Здесь по оси абсцисс отложена вероятность бездефектности продукции $P=(N-D)/N$, где N – объем продукции (количество единиц готовой продукции), D – число дефектных единиц продукции. При отсутствии дефектных изделий в готовой продукции $D=0$, а следовательно, $P=1$, что соответствует 100%-

ному качеству готовой продукции (100% качества). Если же вся готовая продукция является дефектной, т. е. $D=N$, то $P=0$ (100% дефектов). Денежные средства, затрачиваемые производителем и потребителем на единицу продукции, соответствующие определенному качеству, отложены на оси ординат. Общие затраты на качество определялись суммированием затрат производителя и потребителя.

Развитие технологии в последние годы привело к созданию производств, обеспечивающих минимальный разброс параметров продуктов. В результате оказалось возможным изготовить продукты без дефектов. В этом случае затраты производителя на контроль и превентивные действия становятся конечной величиной при абсолютном, 100%-ном соответствии продукта техническим условиям (рис.3.2,б).

Следует отметить также и тот факт, что улучшение качества (рост P) в результате технического прогресса обычно означает увеличение продаж, а следовательно, более высокие доходы для производителя, что фактически сдвигает кривую общих затрат на качество вправо (рис.3.2,б), и стоимость качества в пределе становится минимальной (штриховая линия затрат на рис.3.2,б) при 100%-ном уровне качества.

3.3.2. Классификация и учет затрат предприятия на оценку и контроль качества продукции

Для осуществления точного анализа распределения и динамики затрат на контроль качества по конкретным предприятиям необходим целевой учет затрат на контроль качества изделий с отражением на специальном счете как общего их размера, так и основных составляющих полученной суммы. Для широкого внедрения на предприятиях системы учета затрат на контроль качества продукции в соответствующем стандарте предприятия должны быть четко и однозначно определены основные направления затрат по техническому контролю, методы сбора необходимой информации, правила ее обработки и анализа, сроки предоставления расчетов и ответственные исполнители.

Приведем примерный перечень элементов затрат на контроль. Это затраты на: проверки и испытания; проверки и испытания поставляемых материалов; материалы для тестирования и проверок; контроль процесса; прием продукции заказчика; проверку сырья и запасных частей; аудит продукта. Постараемся более детально расшифровать каждый из элементов затрат на контроль.

- *Проверки и испытания.* Сюда входит оплата инспекторов и испытательного персонала, при плановых проверках производственных операций.

- *Проверки и испытания поставляемых материалов.* Это: оплата работ инспекторов и испытательного персонала, связанных с закупленными у поставщиков материалами, включая инспекторов и служащих различного уровня; затраты на лабораторные испытания, выполняемые для оценки качества поставляемых материалов; затраты, связанные с работой инспекторов и испытательного персонала, проводящих оценку материалов на производстве поставщика.

- *Материалы для тестирования и проверок.* К этой группе относится стоимость расходных материалов, используемых при контроле и испытаниях; стоимость материалов, образцов и т. п., подвергнутых разрушающему контролю.

- *Контроль процесса.* Сюда входит оплата труда персонала, не подчиняющегося управляющему по качеству, выполняющего контроль и испытания на производственных линиях.

- *Прием продукции заказчика.* Это: затраты на запуск и тестирование готовой продукции на производстве для сдачи ее заказчику перед поставкой; затраты на приемочные испытания продукции у заказчика до ее сдачи.

- *Проверка сырья и запасных частей.* Сюда входят затраты на контроль и испытание сырья, запасных частей и т. п., связанные с изменением технических требований проекта, чрезмерным временем хранения или неуверенностью, вызванной другими проблемами.

- *Аудит продукта.* К этой группе относятся: затраты на проведение аудита качества технологических операций либо в

процессе производства, либо по конечному продукту; затраты на все испытания на надежность, проводимых на произведенных изделиях; затраты на подтверждение качества продукта внешними органами, такими как страховые компании, правительственные органы и т. д.

Следует отметить, что основной объем затрат на контроль составляет оплата труда персонала, занятого контролем и испытаниями. Это может составить даже 80 – 90% всех затрат на контроль и эти затраты могут быть определены весьма точно. Оставшиеся затраты же в основном связаны со стоимостью используемых материалов, закупками и со стоимостью технического обслуживания. Они могут быть определены напрямую. Следовательно, можно получить точную картину по затратам на контроль.

3.3.3. Пути оптимизации затрат на оценку и контроль качества

Оптимизация расходов на технический контроль далеко не всегда адекватна простому снижению затрат по всем статьям в результате ослабления или усиления действия определенных факторов, влияющих на эти затраты. Нередко наибольший эффект может быть достигнут в результате: а) изменения структуры расходов; б) правильного определения операций технологического процесса и параметров продукции, подвергаемых контролю; в) нормирования отдельных элементов затрат по оценке и регулированию качества изделий.

В качестве примера эффективности изменения структуры расходов рассмотрим целесообразность переноса центра тяжести контрольной работы на наиболее ранние стадии процесса формирования качества изделия. В результате организованного на предприятиях тщательного учета затрат на технический контроль было установлено, что основная часть текущих затрат предприятия на текущий контроль (до 80% их общего объема) приходится на осуществление приемочного контроля, разбраковку, сортировку и повторную проверку изготовленной продукции. При этом лишь весьма незначительные средства выделяются на профилактику брака в производ-

стве. В результате потери от окончательного брака, а также затраты на устранение исправимых дефектов достигают весьма значительной величины (десятков процентов стоимости производства). В подобных условиях профилактика брака приобретает особую актуальность, причем затраты на предотвращение дефектов целесообразно увеличивать именно за счет сокращения расходов на окончательный приемочный контроль готовой продукции, ее разбраковку, сортировку, повторную проверку и т. д.

Для оптимизации расходов на технический контроль и повышения эффективности проверок за счет изменения технологии контроля необходимо выявлять основные причины и места возникновения наиболее серьезных и часто повторяющихся дефектов продукции.

Затраты на контроль могут включать издержки. Это издержки на необоснованный контроль, без которого можно было бы обойтись. Примеры таких издержек на контроль особенно часто встречаются при: *а) контроле документации* на точность перед ее одобрением (обычно приемлемо приближение $\pm 10\%$ при оценке качества подготовленной документации); *б) инспекционном входном контроле*, объем которого можно значительно сократить или полностью исключить, если поставщики работают в условиях TQM и Вы доверяете полученной от них информации о качестве поставляемых ими материалов; *в) промежуточной проверке* продукта между операциями и заключительном ее контроле.

Но наибольшую вероятность появления издержек на контроль содержат в себе затраты на пооперационный контроль процесса и приемосдаточный контроль продукции. Для уменьшения вероятности появления издержек на этот вид контроля необходимы следующие действия:

1. Определить требуемые показатели качества (IQ – index quality) для каждого этапа производства продукта, как это показано на рис. 3.3 для производства компьютеров.

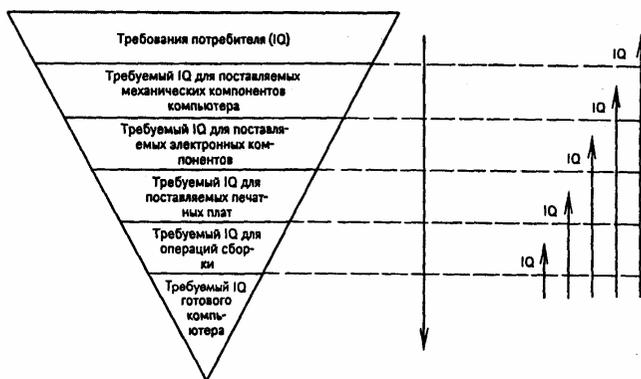


Рис.3.3. Последовательность определения требуемых количественных показателей качества (IQ) для каждого этапа процесса производства компьютера в зависимости от требуемого потребителем IQ на поставляемые ему компьютеры

Показатель качества IQ (например, % дефектных изделий) готового продукта устанавливает потребитель, и в зависимости от его пожелания устанавливаются требуемые IQ для каждого этапа (подпроцесса) планируемого процесса создания продукта.

2. Выявить возможности практической реализации требуемых IQ для каждого subprocessa, входящего в процесс создания продукта. Этот анализ проводит менеджер по качеству совместно с участниками соответствующих subprocessов и их поставщиками.

3. Решить вопрос о необходимости контроля выхода каждого subprocessa. Это либо введение 100%-ного контроля на выходе того или иного этапа, либо выборочный контроль через определенные промежутки времени, либо отсутствие выходного контроля. Так, например, если качество поступающих от поставщиков материалов, комплектующих механических элементов и электронных компонент компьютера соответствует требуемому IQ, то нет необходимости в их контроле, как это показано на рис.3.4. В то же время, как видно из этого же

рисунка, качество подпроцесса «изготовление и сборка печатных плат» по результатам испытаний дает $IQ=20\%$. Менеджер по качеству после анализа подпроцесса устанавливает по согласованию с его участниками 100%-ный выходной статистический контроль (Statistical Quality Control – SQC) и уровень приемочного качества (Appraisal Quality Level – AQL) собранных печатных плат, соответствующий $IQ=3\%$. Такой уровень AQL (в три раза хуже, чем ожидаемый конечным потребителем) менеджер по качеству установил, повидимому, исходя из технических возможностей данного подпроцесса и ресурсов компании. Помимо этого учитывался, видимо низкий уровень качества ($IQ=10\%$) последующего подпроцесса «сборка компьютеров» и необходимость введения 100%-ного контроля готовой продукции после него с целью обеспечения уровня AQL, соответствующего требованию потребителя, т. е. $IQ=1\%$.

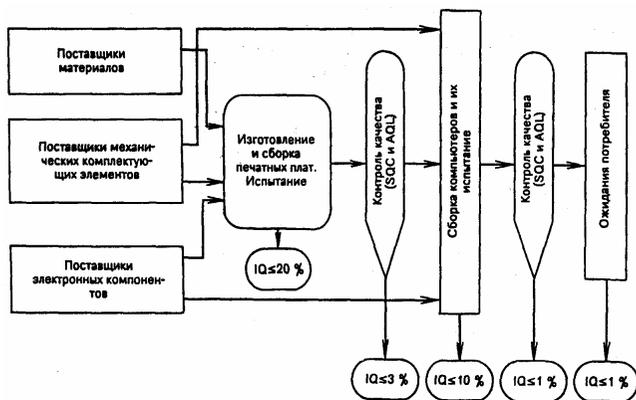


Рис.3.4. Схема введения контроля качества в зависимости от результатов сравнения реального и требуемого IQ

Вместо оценки качества по уровню AQL может применяться метод последовательного контроля. Его суть заключается в следующем. Если при контроле каждой второй детали брак не обнаруживается, то переходят к контролю, например, каждой четвертой детали, поступающей на выход. При продолжающемся отсутствии дефектов переходят к контролю каждой десятой детали и т. д. Если в какой – то детали будет

обнаружен брак, то, начиная с нее, контролируют все поступающие детали до тех пор, пока не убедятся, что брак отсутствует. Тогда опять переходят на контроль каждой второй детали, и процесс уменьшения частоты контроля повторяется после того, когда брак отсутствует.

Одним из первостепенных факторов оптимизации затрат на контроль качества продукции является анализ и совершенствование количественного состава служб технического контроля, так как уже было сказано выше 80-90% всех расходов на контроль качества продукции составляют затраты по оплате труда работников этих служб, включающие расходы на выплату основной и дополнительной заработной платы, отчисления на социальное страхование, а также отдельные виды надбавок и премий.

Совершенствование используемых систем технического контроля должно предусматривать также введение повсеместного нормирования трудоемкости контрольных операций, внедрение в практику планирования типовых нормативов затрат всех видов материальных и финансовых ресурсов, используемых для обеспечения процессов контроля качества.

3.3.4. Внутрипроизводственные и внепроизводственные непроизводительные расходы и потери при неудовлетворительном контроле качества

Раздельно рассмотрим непроизводительные расходы, потери и убытки предприятия, возникающие непосредственно в производстве (внутрипроизводственные) и в непроизводственной сфере (внепроизводственные) из-за неудовлетворительного проведения работ по контролю качества продукции.

а) К непроизводительным расходам, потерям и убыткам предприятия, возникающим непосредственно в производстве из-за неудовлетворительного проведения работ по контролю качества продукции службами технического контроля предприятия, относятся:

расходы из-за обнаруженного вовремя брака. Это:

- стоимость дополнительных работ по обнаружению и устранению брака в изделиях, возвращенных на исправление из производственных цехов предприятия из-за дефектов сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и т. д., не обнаруженных своевременно подразделениями входного контроля;

- стоимость дополнительных работ по обнаружению и устранению брака в изделиях, возвращенных на исправление из цехов последующей обработки в цеха-изготовители из-за наличия дефектов, не обнаруженных своевременно службой технического контроля последних;

- стоимость изделий окончательно забракованных из-за дефектов обусловленных как использованием недоброкачественного сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и др., так и предшествующим пропуском на контроле.

расходы из-за неправильного проведения контроля: это:

- стоимость восстановления (ремонта) или замены сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и готовой продукции, испорченных в результате неправильного проведения контроля;

- стоимость ремонта или замены контрольно-испытательного оборудования, измерительных приборов и инструмента, а также приспособлений и оснастки, испорченных в результате неправильного проведения контроля;

- стоимость годных сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и др., а также самой готовой продукции, ошибочно забракованных контролерами;

- стоимость дополнительных работ по оценке качества и разбраковке деталей и изделий в результате неправильного или нечеткого клеймения годной продукции и брака на предшествующем этапе контроля;

- потери из-за неправильной маркировки и нарушения правил изоляции обнаруженного брака, повлекших его непреднамеренное использование при изготовлении продукции;

- дополнительные потери предприятия в случае несвоевременного принятия мер работниками служб технического

контроля по локализации и устранению массового брака вплоть до остановки производства;

убытки от перерасхода материальных ресурсов, простоев. Это:

❖ убытки от перерасхода сырья, материалов, топлива, энергии и других видов ресурсов при осуществлении контроля качества продукции;

❖ убытки от простоев контрольно-испытательного оборудования и рабочих-контролеров, возникающие в результате необоснованной задержки контроля;

❖ убытки от простоев технологического оборудования и основных производственных рабочих, возникающие в результате необоснованной задержки производства по вине службы контроля качества предприятия.

б) К непроизводительным расходам, потерям и убыткам предприятия, возникающим в непроизводственной сфере из-за неудовлетворительного проведения работ по контролю качества продукции, относятся:

убытки, связанные с поставкой продукции потребителю. Это:

▪ убытки от нарушения сроков и объемов поставки продукции потребителям в результате необоснованной задержки контроля качества и отгрузки готовых изделий службой технического контроля;

▪ стоимость дополнительных работ по обнаружению и устранению брака в изделиях, возвращенных потребителем из-за низкого качества;

▪ дополнительные сверхплановые расходы по гарантийному ремонту некачественной продукции, поставленной потребителям;

▪ дополнительные расходы по транспортировке недоброкачественной продукции в случае ее возврата потребителями;

убытки из-за штрафов. Это:

• суммы уплаченных штрафов за поставку некачественной или некомплектной продукции;

• суммы штрафов, уплаченные предприятием в случаях несвоевременного рассмотрения и удовлетворения reclama-

ций потребителей и претензий торгующих организаций в отношении качества поставленной продукции;

- суммы недополученных предприятием штрафов из-за несвоевременного или неправильного оформления документов на предъявление претензий к поставщикам за отгрузку используемого в производстве недоброкачественного сырья, материалов, комплектующих изделий и другой продукции;

- арбитражные издержки по урегулированию хозяйственных споров, оплачиваемые за счет предприятия в случае применения к нему через арбитраж санкций за отгрузку потребителям некачественной или некомплектной продукции, а также в случае необоснованных и неудовлетворенных претензий по качеству к продукции своих поставщиков (в виду ошибочного отнесения годной продукции поставщиков к браку);

расходы и потери, обусловленные неадекватным использованием различных форм стимулирования и ответственности за качество. Это:

- ❖ суммы незаслуженно выплаченных денежных средств работникам предприятия в виде премий, надбавок и т. д. в случае изготовления недоброкачественной продукции;

- ❖ суммы незаслуженно выплаченных денежных средств лицам, работающим на самоконтроле в случае изготовления ими недоброкачественной продукции;

- ❖ суммы незаслуженно выплаченных денежных средств работникам служб контроля качества продукции в случае неудовлетворительного выполнения ими возложенных на них обязанностей.

Ликвидацию или значительное сокращение перечисленных выше непроизводительных расходов и убытков, возникающих на предприятии в результате неудовлетворительного проведения работ по контролю качества продукции, может обеспечить совершенствование используемой системы технического контроля. А это, несомненно, приведет к существенному повышению эффективности контроля и производства в целом.

ЧАСТЬ II

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Статистический контроль качества зародился в 30-х годах прошлого столетия в связи с промышленным применением контрольных карт¹, изобретенных доктором У. А. Шухартом. Родиной современной статистики можно считать Великобританию, о чем свидетельствует принятие в 1935 г. британских стандартов серии 600, основанных на статистическом анализе Э. С. Пирсона.

В промышленности статистические методы контроля качества применяются уже не первый десяток лет. Вместе с тем нельзя сказать, что эти методы стали неотъемлемой, органической частью работ по улучшению качества, повседневным инструментом выявления причин ошибок при изготовлении продукции. Так в чем же дело? А дело в том, что предлагались слишком сложные методы, рассчитанные только на инженерно-технических работников, использовался математический язык, трудный для понимания простыми людьми. В результате люди стали относиться к статистическим методам контроля качества как к чему-то непомерно трудному и даже у некоторой части специалистов сложилось представление о том, что эти методы стали чем-то давно отжившим.

Кардинальные перемены наступили после того как в Японии после 50-х годов прошлого столетия поняли, что независимо от того, насколько хороши британские, американские или другие методы, их нельзя импортировать в Японию в том виде, как они есть; что для того, чтобы добиться успехов, нужно создавать свои методы. Всемирно известный японский специалист в области управления качеством Каоро Исикава считал: ”мы предлагали людям слишком сложные методы, тог-

¹ Контрольная карта – это карта, на которой для наглядности отображения состояния технологического процесса отмечаются значения соответствующей выборочной характеристики смежных выборок во временной последовательности.

да как на том этапе хватило бы и простых”. Японцы адаптировали к реальным условиям простые статистические методы, почерпнутые из литературы, обучили этим методам в специально созданных кружках качества весь персонал фирм начиная от руководителей и заканчивая производственными рабочими, всячески поощряли решение конкретных проблем, возникающих на рабочем месте, либо самостоятельно, либо с помощью других рабочих этими методами.

В Японии в 50-х годах были даже учреждены две премии Деминга²: для отдельного лица и предприятия. Премия Деминга для отдельного лица присуждалась одному или нескольким лицам, которые способствовали распространению и развитию теоретических принципов статистических методов контроля качества. Существует несколько различных категорий премии предприятию, но в первую очередь это премия, присуждаемая фирме, которая в данном году добилась исключительно больших успехов в области применения статистических методов контроля качества. Эти премии являются высочайшими наградами в Японии, относящимися к статистическому контролю качества и комплексному управлению качеством.

Внимательное рассмотрение японской практики свидетельствует о том, что широкое внедрение автоматизированных производственных процессов, робототехники, гибких автоматизированных комплексов в принципе невозможно без использования статистических методов контроля качества. Актуальность этих методов контроля качества не только утрачена, но стала еще более злободневной, еще более необходимой для современного производства.

Результат не заставил себя долго ждать. Уже к концу 70-х годов прошлого столетия Япония стала мировым лидером по качеству таких товаров массового спроса, как автомобили, телевизоры, копировальная, фото- и кинотехника, интегральные

² Доктор У.Э. Деминг из США - общепризнанный авторитет в области выборочного контроля – приобщил Японию к управлению качеством.

схемы, бытовая электроника. Японские товары и сейчас продолжают теснить на мировых рынках американские товары и товары западноевропейских стран.

В настоящее время по степени трудности статистические методы можно подразделить на следующие три категории:

I. Элементарные статистические методы (семь японских инструментов контроля качества);

II. Промежуточные статистические методы;

III. Передовые статистические методы.

Без овладения семью простыми методами применение более сложных методов не представляется возможным.

4. СЕМЬ ЯПОНСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

К элементарным статистическим методам, с помощью которых решается 95% проблем фирмы, можно отнести: контрольный листок; гистограмму; диаграмму разброса; метод расслоения; диаграмму Парето; причинно-следственную диаграмму (диаграмму Исикава); графики и контрольную карту (рис. 4.1).

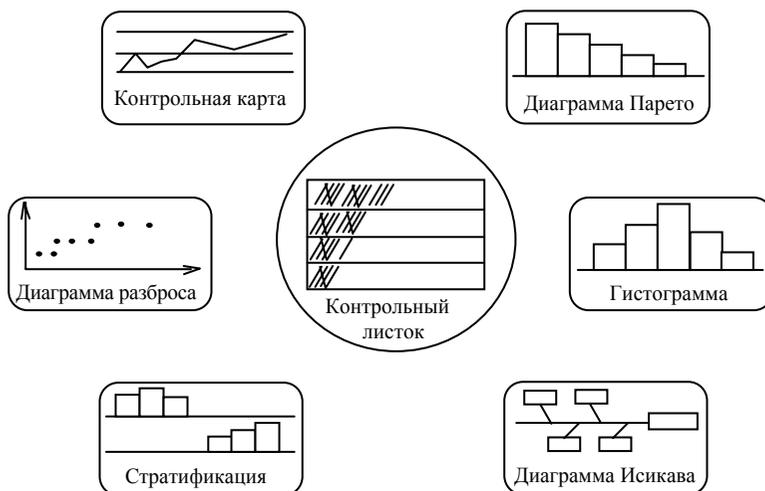


Рис.4.1. Семь инструментов контроля качества

Все вышеизложенные методы должны применяться всеми без исключения – от главы формы до простого рабочего. Ими

могут пользоваться не только в производственном отделе, но и в таких отделах, как отделы планирования, маркетинга, материально-технического снабжения и технологии. Рабочие должны мыслить статистическими категориями, знать о разбросе данных и применять их при определении статистической оценки, принимать решения о проведении необходимых мероприятий и определять действенные статистические критерии.

4.1. Контрольный листок

Контрольный листок (или лист) – инструмент для сбора данных и автоматического их упорядочения для облегчения дальнейшего использования собранной информации. На рис.4.1 контрольный листок расположен в центре семи японских инструментов контроля качества. Только после сбора исходных данных возможно применение любого из шести остальных инструментов контроля качества.

Контрольный листок – бумажный бланк, на котором заранее напечатаны контролируемые параметры, соответственно которым можно заносить данные с помощью пометок или простых символов. При составлении контрольных листков следует обратить внимание на то, чтобы было указано, кто, на каком этапе процесса и в течение какого времени собирал данные, а также чтобы форма листка была простой и понятной без дополнительных пояснений.

В качестве примера приведем контрольный листок, применяемый для фиксации отказавших деталей в телевизорах (рис.4.2).

<p style="text-align: center;">Детали, замененные в ателье</p> <p style="text-align: center;"><i>Отметьте черточкой каждую замененную деталь</i></p> <p>Отмечайте так: I II III IIII IIII</p> <p>Время: 15-20 апреля 2005 г.</p> <p>Ремонтник: Гукасян А.Б.</p>		Ч А С Т О Т А						
<p>Модель 1013</p> <p>Интегральные схемы</p> <p>Конденсаторы</p> <p>Сопротивления</p> <p>Трансформаторы</p> <p>Переключатели</p> <p>Трубки</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> </table>							<p>3</p> <p>26</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>8</p> <p>1</p> <p>Итого 41</p>
<p>Модель 1017</p> <p>Интегральные схемы</p> <p>Конденсаторы</p> <p>Сопротивления</p> <p>Трансформаторы</p> <p>Переключатели</p> <p>Трубки</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> </table>							<p>1</p> <p>24</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>0</p> <p>1</p> <p>Итого 31</p>
<p>Модель 1019</p> <p>Интегральные схемы</p> <p>Конденсаторы</p> <p>Сопротивления</p> <p>Трансформаторы</p> <p>Переключатели</p> <p>Трубки</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;"> </td></tr> </table>							<p>4</p> <p>27</p> <p>1</p> <p>4</p> <p>3</p> <p>1</p> <p>Итого 40</p>

Рис.4.2. Контрольный листок

На основании собранных с помощью контрольного листка данных легко составить таблицу суммарных отказов (табл. 4.1.)

Таблица 4.1.

Суммарное число отказавших деталей телевизоров

По всем моделям	Число отказов	Процентное содержание
Интегральные схемы	8	7,1
Конденсаторы	77	68,8
Сопротивления	4	3,6
Трансформаторы	9	8,0
Переключатели	11	9,9
Трубки	3	2,6
Итого	112	100

4.2. Гистограмма

Гистограмма (Histogram) – инструмент контроля качества, позволяющий визуально оценить закон распределения статистических данных.

Рассмотрим построение гистограммы на конкретном примере, В таблице 4.2 даны результаты измерений пробивного напряжения диэлектрических слоев 60 однотипных МОП-структур, значения которых фиксировались в порядке поступления на измерительную установку.

Таблица 4.2

Пробивные напряжения в вольтах диэлектрических слоев 60 однотипных МОП-структур

153	158	161	168	165	161	164	168	173	163
150	159	163	165	168	171	151	161	163	171
161	155	157	161	163	167	172	158	162	166
157	156	160	164	162	166	169	172	152	158
162	167	170	154	157	160	159	155	162	171
170	162	154	156	160	166	159	165	160	169

Для построения гистограммы среди приведенных в таблице данных найдем минимальное значение y_{\min} (в нашем примере $y_{\min}=150$) и максимальное значение (в нашем примере

Таблица 4.3

Интервальный ряд пробивного напряжения диэлектрических слоев
60 однотипных МОП-структур

№ интервала (класса)	Границы интервалов (классов)			Частота (частость) m_i
	\geq	$<$		
1	150	153		3
2	153	156	###	5
3	156	159	###	8
4	159	162	### ###	12
5	162	165	### ###	11
6	165	168	###	8
7	168	171	###	7
8	171	174	###	6
Σ				60

По частотам можно построить гистограмму. Для этого на каждом интервале нужно построить столбик (прямоугольник), высота которого равна (пропорциональна) частоте попадания наблюдений в данный интервал.

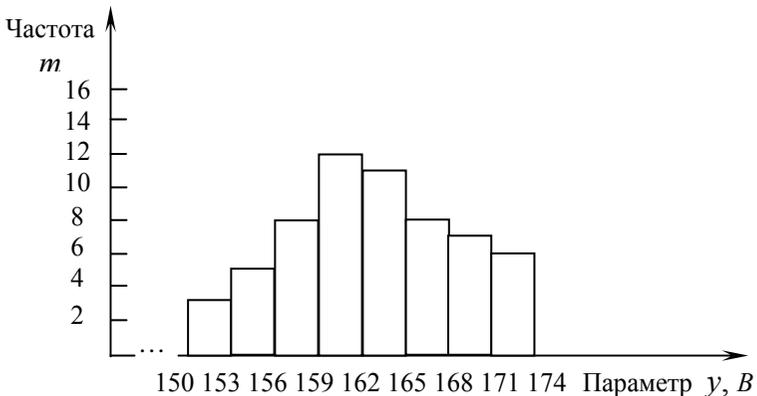


Рис.4.3. Гистограмма пробивного напряжения

Как видим, гистограмма представляет собой столбиковый график. Нанося на график допустимые значения параметра

можем определить, как часто попадает этот параметр в допустимый диапазон.

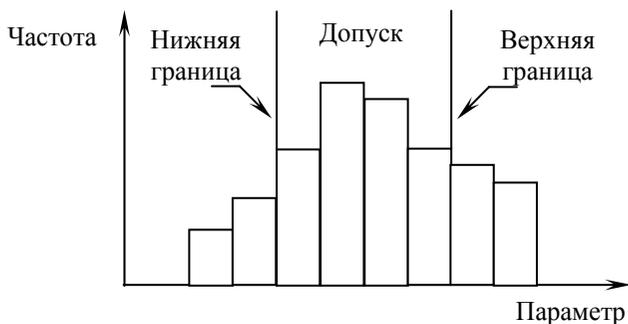


Рис. 4.4. Гистограмма с допустимыми зонами

При анализе полученных данных применяют другие методы:

- долю дефектных изделий и потери за счет брака исследуют с помощью диаграммы Парето;
- причины дефектов определяют с помощью причинно-следственной диаграммы, методом расслоения и диаграммы рассеяния;
- изменение показателей во времени определяют с помощью контрольных карт.

4.3. Диаграмма разброса (рассеивания)

Диаграмма разброса (Scatter diagram – корреляционная диаграмма) строится как график зависимости между двумя параметрами (переменными). Эти две переменные могут относиться к: а) характеристике качества и влияющему на нее фактору; б) двум различным характеристикам качества; в) двум факторам, влияющим на одну характеристику качества.

Диаграмма разброса инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи между парами (x, y) соответствующих переменных. Если на плоскости $хоу$ в качестве точек обозначим каждую пару (x_i, y_i) , получим диаграмму разброса. Некоторые типичные варианты скоплений точек приведены на рис.4.5-4.10.

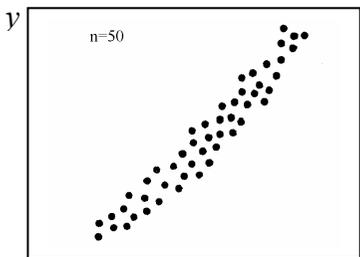


Рис.4.5.Прямая корреляция

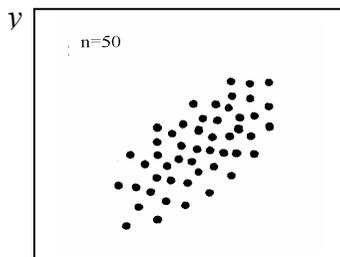


Рис.4.6.Легкая прямая корреляция

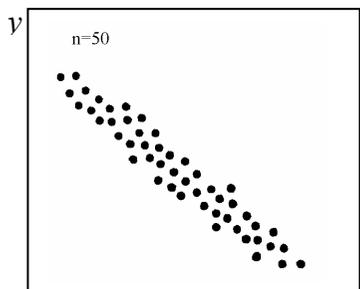


Рис.4.7.Обратная(отрицательная) корреляция

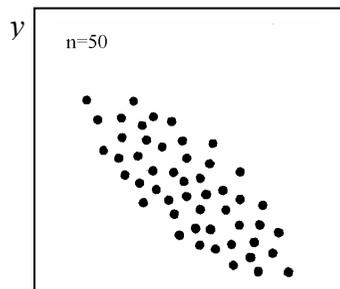


Рис.4.8.Легкая обратная корреляция

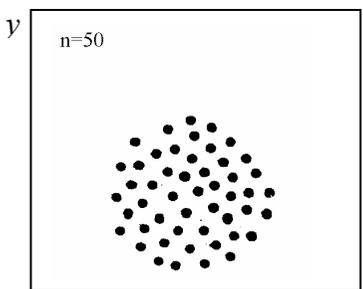


Рис.4.9.Отсутствие корреляции

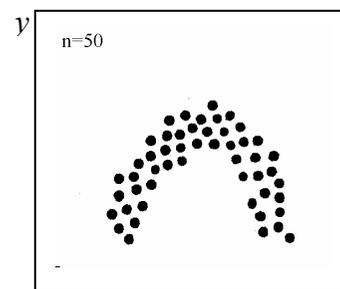


Рис.4.10.Легкая криволинейная корреляция

На рис.4.5 четко просматривается прямая корреляция между x и y . В этом случае при осуществлении контроля за причинным фактором x можно управлять значением параметра y .

На рис.4.6 приведен также пример прямой корреляции. При увеличении x увеличивается также y , но разброс y велик

по отношению к определенному значению x . Поэтому такую корреляцию называют легкой. В этом случае с помощью контроля причинного фактора x можно до некоторой степени держать под контролем характеристику y , но необходимо также иметь в виду и другие факторы, оказывающие влияние на y .

На рис.4.7 показан пример обратной (отрицательной) корреляции. При увеличении x характеристика y уменьшается. Если причинный фактор x находится под контролем, характеристика y остается стабильной.

На рис.4.8 отражен случай легкой обратной корреляции, когда при увеличении x характеристика y уменьшается, но при этом велик разброс значений y , соответствующих фиксированному значению x .

На рис.4.9 показан пример отсутствия корреляции, когда никакой выраженной зависимости между x и y не наблюдается. В этом случае необходимо продолжить поиск факторов, коррелирующих с y , исключив из этого поиска фактор x .

Между параметрами x и y возможны также случаи криволинейной корреляции (рис.4.10). Если при этом диаграмму разброса можно разделить на участки, имеющие прямолинейный характер, то проводят такое разделение и исследуют каждый участок в отдельности, как прямолинейную корреляцию.

Построение диаграммы разброса осуществляется в следующей последовательности:

1. Собирают не менее 25 – 30 пар данных (x , y), между которыми должны исследовать зависимость; собранные данные помещают в таблицу.

2. Находят максимальные и минимальные значения для x и y . Выбирают шкалы на горизонтальной и вертикальной осях так, чтобы обе длины рабочих частей получились приблизительно одинаковыми (для облегчения чтения диаграммы). Если одна переменная – фактор, а вторая – характеристика качества, то для фактора выбирают горизонтальную ось x , а для характеристики качества – вертикальную ось y . На каждой оси

берут от 3 до 10 градаций и используют для облегчения чтения круглые числа.

3. На отдельном листе бумаги чертят график и наносят на него данные. Если в разных наблюдениях получаются одинаковые значения, покажите эти точки либо рисуя концентрические кружки(◎), либо нанося вторую точку рядом с первой.

4. Делают все необходимые обозначения: название диаграммы; интервал времени; число пар данных; названия и единицы измерения для каждой оси; фамилию (и прочее) лица, строящего эту диаграмму.

Степень корреляционной связи x и y в случае прямолинейной корреляции (рис.4.5-4.8) может быть оценена простым методом – *методом медиан*. Для этого:

- На диаграмме разброса проводятся вертикальная и горизонтальная линии медиан (рис.4.11). Выше и ниже горизонтальной медианы, справа и слева от вертикальной медианы будет равное число точек. Если число точек окажется нечетным, следует провести линию через центральную точку.

- В каждом из четырех квадратов, получившихся в результате деления диаграммы разброса вертикальной и горизонтальной медианами, подсчитывают число точек и обозначают их n_1 , n_2 , n_3 , и n_4 соответственно. Точки, через которые прошла медиана, не учитывают.

- Отдельно складывают точки в положительных и отрицательных квадратах:

$$n_{(+)}=n_1+n_3,$$

$$n_{(-)}=n_2+n_4,$$

$$n'=n_{(+)}+n_{(-)}.$$

Так как некоторые точки находятся на медианах, поэтому n' не равно n .

- Для определения наличия и степени корреляции по методу медиан используется специальная таблица (табл.4.4) кодовых значений n_T , соответствующих различным n' при двух значениях коэффициента риска β (0,01 и 0,05).

Сравнивая меньшее из чисел $n_{(+)}$ и $n_{(-)}$ с их кодовым значением n_T из табл.4.4, соответствующим значению n' (для выб-

ранного значения β), делают заключение о наличии и характере корреляции. Если меньшее из чисел $n_{(+)}$ и $n_{(-)}$ оказывается равным или меньше табличного кодового значения, то прямолинейная корреляционная зависимость имеет место. Если подсчитанные значения окажутся больше соответствующего кодового значения – прямолинейная корреляция отсутствует,

Таблица 4.4

Таблица кодовых значений

n'	β		n'	β		n'	β	
	0,01	0,05		0,01	0,05		0,01	0,05
8	0	0	36	9	11	64	21	23
9	0	1	37	10	12	65	21	24
10	0	1	38	10	12	66	22	24
11	0	1	39	11	12	67	22	25
12	1	2	40	11	13	68	22	25
13	1	2	41	11	13	69	23	25
14	1	2	42	12	14	70	23	26
15	2	3	43	12	14	71	24	26
16	2	3	44	13	15	72	24	27
17	2	4	45	13	15	73	25	27
18	3	4	46	13	15	74	25	28
19	3	4	47	14	16	75	25	28
20	3	5	48	14	16	76	26	28
21	4	5	49	15	17	77	26	29
22	4	5	50	15	17	78	27	29
23	4	6	51	15	18	79	27	30
24	5	6	52	16	18	80	28	30
25	5	7	53	16	18	81	28	31
26	6	7	54	17	19	82	28	31
27	6	7	55	17	19	83	29	32
28	6	8	56	17	20	84	29	32
29	7	8	57	18	20	85	30	32
30	7	9	58	18	21	86	30	33
31	7	9	59	19	21	87	31	33
32	8	9	60	19	21	88	31	34
33	8	10	61	20	22	89	31	34
34	9	10	62	20	22	90	32	35
35	9	11	63	20	23			

однако это не значит, что не может быть криволинейной корреляционной зависимости. Для выяснения этого вопроса необходимо проводить регрессионный и корреляционный анализы, которые вкратце будут нами рассмотрены далее.

Пример. Необходимо исследовать влияние температуры сушильной печи на прочность высушиваемого образца. Для проведения эксперимента было взято 25 образцов ($n=25$). При их раздельной сушке фиксировалась температура печи и измеренное значение прочности. Данные внесены в таблицу 4.5.

Таблица 4. 5

Значения прочности образцов при различных значениях температуры

Номер образца	Значение температуры, x , °C	Прочность образца, y , кг/см ²	Номер образца	Значение температуры, x , °C	Прочность образца, y , кг/см ²
1	74	26	14	78	27
2	85	31	15	70	17
3	88	31	16	72	23
4	78	30	17	99	48
5	89	35	18	88	32
6	76	28	19	88	28
7	89	30	20	85	34
8	79	33	21	72	20
9	75	30	22	95	36
10	79	29	23	80	28
11	77	33	24	96	42
12	93	36	25	94	35
13	75	21			

Построенная по этим данным диаграмма разброса приведена на рис.4.11.

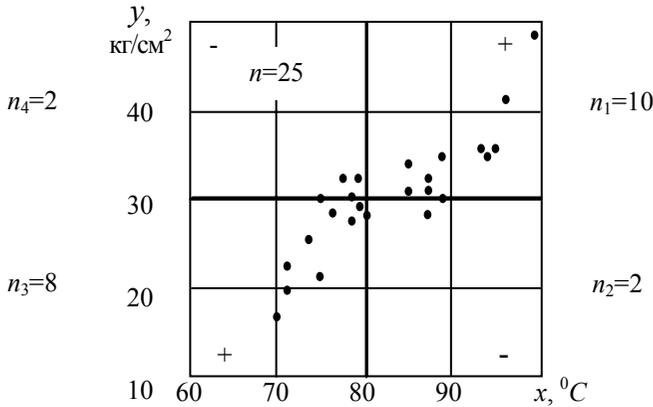


Рис.4.11. Диаграмма разброса

Разделим диаграмму разброса вертикальной и горизонтальной медианами, подсчитаем количество точек, попавших в каждый из четырех квадратов (без учета тех точек, по которым прошли медианы). Получим $n_1=10$, $n_2=1$, $n_3=8$, $n_4=2$. Раздельно сложим количество точек в положительных и отрицательных квадратах:

$$n_{(+)}=n_1+n_3=10+8=18;$$

$$n_{(-)}=n_2+n_4 = 1+2= 3;$$

$$n'=n_{(+)}+n_{(-)}=18+3=21.$$

Ввиду того, что четыре точки попали на медианы, поэтому n' не равно $n=25$.

Для случая коэффициента риска $\beta=0,01$ из таблицы 4.4 находим соответствующее $n'=21$ табличное кодовое значение $n_T=4$. Из чисел $n_{(+)}=18$ и $n_{(-)}=3$ наименьшим является $n_{(-)}$ и оно к тому же меньше табличного кодового значения, равного 4, т. е. можно утверждать, что в данном случае между двумя параметрами существует прямолинейная корреляционная зависимость.

4. 4. Метод расслаивания

Метод расслаивания (стратификации) исследуемых статистических данных – инструмент, позволяющий произвести селекцию данных, отражающую требуемую информацию о процессе. В соответствии с этим методом производят расслаи-

вание (разделение) статистических данных, т. е. группируют данные в зависимости от условий их получения и производят обработку каждой группы данных в отдельности. Разделенные на группы в соответствии с их особенностями данные называют слоями (стратами), а сам процесс разделения на слои (страты) – расслаиванием (стратификацией).

Существуют различные методы расслаивания, применение которых зависит от конкретных задач.

В производственных процессах часто используется метод 5М. Он учитывает факторы, зависящие: от человека (man), машины (machine), материала (material), метода (method), измерения (measurement). Расслаивание осуществляется примерно так: расслаивание по исполнителям – по квалификации, полу, стажу работы, и т. д.; расслаивание по машинам и оборудованию – по новому и старому оборудованию, марке, конструкции, выпускающей фирме и т. д.; расслаивание по материалу – по месту производства, фирме-производителю, партии, качеству сырья и т. д.; расслаивание по способу производства – по температуре, технологическому приему, месту производства и т. д.; расслаивание по измерению – по методу измерения, типу средств измерения или их точности и т. д.

В сервисе для расслаивания используется метод 5Р. Он учитывает факторы, зависящие: от работников (peoples) сервиса, процедур (procedures) сервиса; потребителей, являющихся фактическими покровителями (patrons) сервиса; места (place), где осуществляется сервис и определяется его окружающая среда; поставщики, осуществляющие снабжение (provisions) необходимыми ресурсами, обеспечивающими выполнение сервиса.

При расслаивании по тому или иному фактору (например, по фактору “оборудование”) определяется влияние этого фактора (влияние использованного оборудования) на качество изделия, что дает возможность провести необходимые мероприятия для исключения недопустимого разброса.

Пример. Из заказанных и изготовленных в цехе 1000 валов 48 оказались дефектными. Часть заказа была выполнена

на новом, а другая часть – на старом оборудовании; часть выполнялась мужчинами, а часть – женщинами; часть заказа выполнялась из материала партии А, часть – из материала партии В. Проведем анализ причин возникновения дефектной продукции.

Пример раслаивания по оборудованию приведен в таблице 4. 6.

Таблица 4.6

Оборудование	Выполнение заказа, число случаев			
	всего	годные	дефектные	Дефектные изделия, %
Новое	600	582	13	3,0
Старое	400	370	30	7,5
Всего	1000	952	48	

Результаты раслаивания по полу исполнителей приведены в таблице 4. 7.

Таблица 4.7

Исполнители	Выполнение заказа, число случаев			
	всего	годные	дефектные	Дефектные изделия, %
Мужчины	550	525	25	4,5
Женщины	450	427	23	5,1
Всего	1000	952	48	

Результаты раслаивания по материалам приведены в таблице 4. 8.

Таблица 4.8

Партия материала	Выполнение заказа, число случаев			
	всего	годные	дефектные	Дефектные изделия, %
Партия А	300	274	26	8,6
Партия В	700	678	22	3,1
Всего	1000	952	48	

Таким образом, анализ данных по методу расщепления в рассматриваемом нами примере приводит к выводу, что для решения проблемы (уменьшения количества дефектных изделий) следует предпринять следующие меры:

1. Не пользоваться материалом из партии А;
2. Использовать при производстве валов новое оборудование.

Что же касается пола исполнителей, то причиной возникновения брака его считать нельзя.

4. 5. Диаграмма Парето

Диаграмма Парето – инструмент, позволяющий распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, с которых нужно начинать действовать. Различают два вида диаграмм:

1. Диаграмма Парето *по результатам деятельности*, предназначенная для выявления главной проблемы и отражающая следующие нежелательные результаты деятельности:

- с точки зрения качества – дефекты, поломки, ошибки, отказы, рекламации, ремонты, возвраты продукции;
- с точки зрения себестоимости – объем потерь, затраты;
- с точки зрения сроков поставок – нехватка запасов, ошибки в составлении счетов, срыв сроков поставок;
- с точки зрения безопасности – несчастные случаи, трагические ошибки, аварии.

2. Диаграмма Парето *по причинам*, отражающая причины проблем, возникающих в ходе производства и использующаяся для выявления главной из них, таких как:

- в случае исполнителей работы – смена, бригада, опыт работы, квалификация, индивидуальные характеристики;
- в случае оборудования – станки, агрегаты, инструменты, оснастка, организация использования, модели, штампы;
- в случае сырья – изготовитель сырья, вид сырья, фирма-поставщик, партия;

- в случае методов работы – условия производства, заказы-наряды, приемы работы, последовательность операций;
- в случае используемых средств измерений – точность, повторяемость, стабильность, тип измерительного прибора (аналоговый или цифровой) и т. д.

Построение диаграммы Парето начинают с выбора исследуемой проблемы (например, проблемы, связанные с браком; проблемы, связанные с работой оборудования или исполнителей и т. д.) . Затем определяют, какие данные должны быть собраны и как должна быть проведена их классификация (например, по видам дефектов, по методу их появления, по технологическим причинам, по оборудованию, по методам измерения и используемым средствам измерения). Если выбрана, например, классификация по видам дефектов, выделяют наиболее часто встречающиеся дефекты (трещины, царапины, пятна, деформации, разрывы, раковины), остальные, не встречающиеся часто, объединяют под общим заголовком “прочие”.

Затем производят сбор статистического материала по каждому признаку (дефекту). Для этого рекомендуется применять контрольный листок, в котором производится регистрация данных (таблица 4. 9).

Таблица 4.9

Контрольный листок регистрации данных

Типы дефектов	Группы данных	Итого
Трещины		3
Царапины	#	10
Пятна		2
Деформации	### ## # # #	25
Разрывы		1
Раковины	###	5
Прочие		4
Итого		50

После заполнения листка регистрации данных подсчитывают итоги.

Далее для построения диаграммы Парето данные помещают в специальную таблицу, где должны быть предусмотрены

графы для итогов по каждому проверяемому признаку в отдельности, накопленной суммы числа дефектов, процентов к общему итогу и накопленных процентов (таблица 4.10). Полученные по каждому проверяемому признаку данные вносят в эту таблицу в порядке значимости. Группу “прочие” нужно поместить в последнюю строку независимо от того, насколько большим получилось число – это совокупность неучтенных признаков, числовой результат по каждому из которых меньше, чем самое маленькое значение, полученное для признака, выделенного в отдельную строку.

Таблица 4.10

Таблица данных для построения диаграммы Парето

Типы дефектов	Число дефектов	Накопленная сумма числа дефектов	Процент числа дефектов по каждому признаку в общей сумме	Накопленный процент
Деформации	25	25	50	50
Царапины	10	35	20	70
Раковины	5	40	10	80
Трещины	3	43	6	86
Пятна	2	45	4	90
Разрывы	1	46	2	92
Прочие	4	50	8	100
Итого	50	–	100	–

В прямоугольной системе координат на горизонтальной оси отмерим равные отрезки, соответствующие рассматриваемым (контролируемым) признакам. Порядок расположения факторов должен быть таков, чтобы влияние каждого расположенного на горизонтальной оси последующего фактора уменьшалось по сравнению с предыдущим. Начертим две вертикальные оси. На левую вертикальную ось нанесем шкалу с интервалами от 0 до числа, соответствующего общему итогу.

На правую ось нанесем шкалу с интервалами от 0 до 100%. Вначале по данным второго столбца таблицы 4.10 в виде столбикового графика построим гистограмму распределения вклада дефектов различного типа в суммарное количество дефектов (см. нижнюю часть на рис. 4.12). Затем по результатам последовательного суммирования высот столбиков этой гистограммы (фактически по данным третьего столбца таблицы 4.10) получим гистограмму накопленных дефектов. Соединив соответствующие накопленным суммам точки правых концов каждого интервала отрезками прямых получим кумулятивную кривую, которую называют кривой Парето или диаграммой Парето (рис. 4.12).

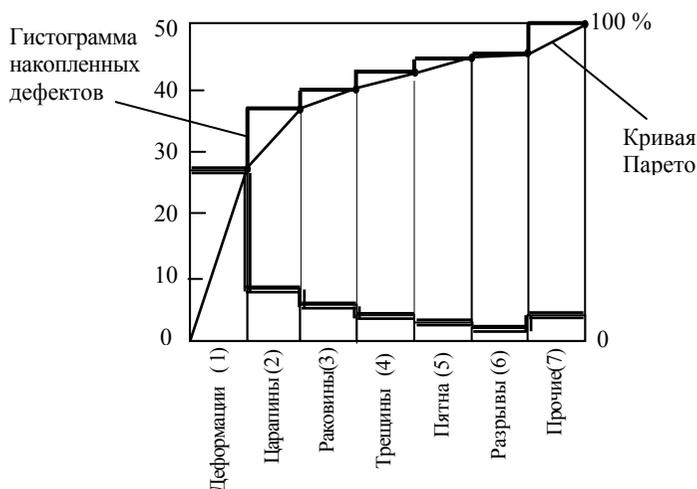


Рис. 4.12. Построение диаграммы Парето

Применение кумулятивной кривой возможно для вычисления совокупного процента потерь, вызванного несколькими дефектами.

Для облегчения чтения диаграммы Парето в некоторых случаях не строят гистограмму распределения, а непосредственно по данным третьего столбца таблицы 4.10 строят накопленную гистограмму и кривую Парето (рис.4.13, а); Иногда удовлетворяются построением диаграммы распределения и по данным последнего столбца таблицы 4.10 строят кумулятив-

ную кривую (рис. 4.13,б). В некоторых случаях же по данным последнего столбца таблицы 4.10 строят только кумулятивную кривую (рис. 4.13, в).

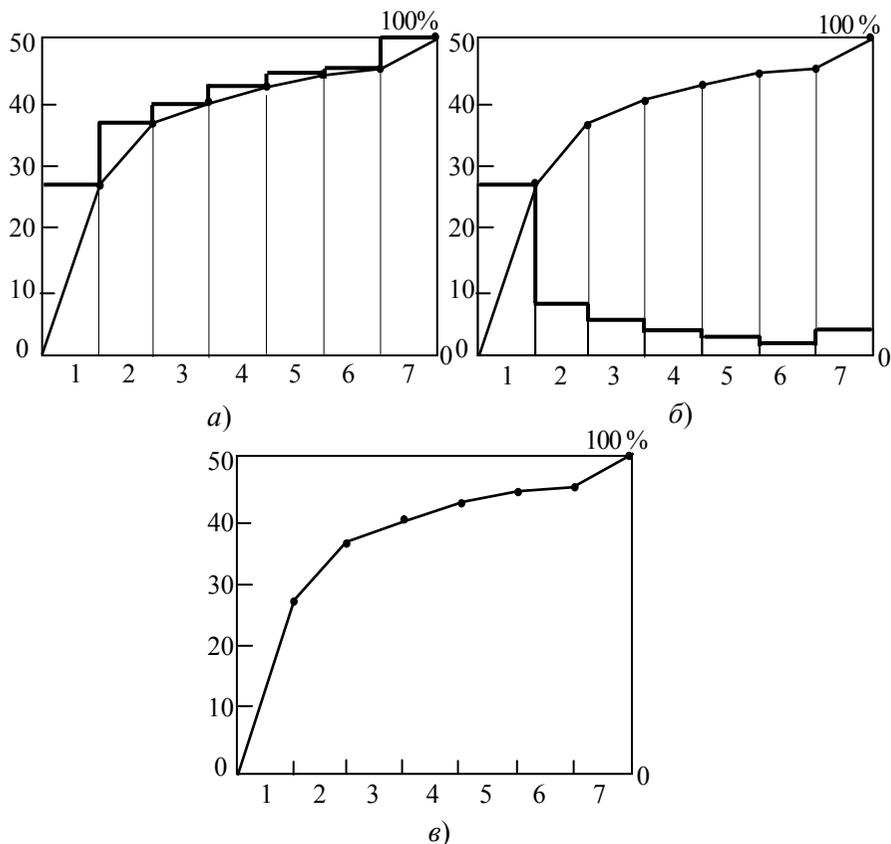


Рис. 4.13. Различные варианты изображения диаграммы Парето

На диаграмму Парето должны быть нанесены все обозначения и надписи. К надписям, касающимся диаграммы, относятся: название, разметка числовых значений на осях; наименование контролируемого изделия, фамилия составителя диаграммы. К надписям, касающимся данных, относятся: период сбора информации, объект исследования и место его проведения, общее число объектов контроля.

Для контроля наиболее важных факторов при применении диаграммы Парето наиболее распространенным методом яв-

ляется так называемый метод ABC-анализа. Суть этого метода заключается в следующем. Диаграмма Парето делится на зоны (рис.4.14). Группе А (согласно доктору Джурану жиз-

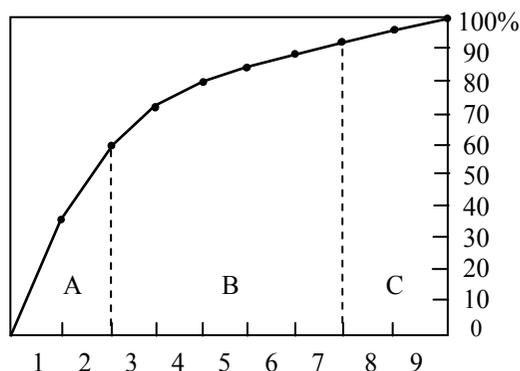


Рис.4.14. Для пояснения ABC-анализа

ненно важная зона) соответствуют факторы, вносящие самый большой процентный вклад (суммарный вклад примерно 60%), группе В – факторы с меньшим процентным вкладом (суммарный вклад примерно 30%), группе С – факторы, имеющие существенно меньший процентный вклад. Наиболее внимательно должно быть проанализировано влияние на качество продукции факторов группы А (иногда групп А и В) и разработан план улучшений.

После выявления проблемы путем построения диаграммы Парето по результатам деятельности важно определение причины появления проблемы. Это поможет решить проблему в дальнейшем. Поэтому, если мы хотим улучшения, необходимо построить диаграмму Парето по причинам. Например, на рис.4.15 показаны диаграммы Парето: *a* – на которой рассмотрены конкретные детали; *b* – на которой отображены причины возникновения дефектов для детали первого наименования; *c* – на которой отображены причины одного конкретного дефекта.

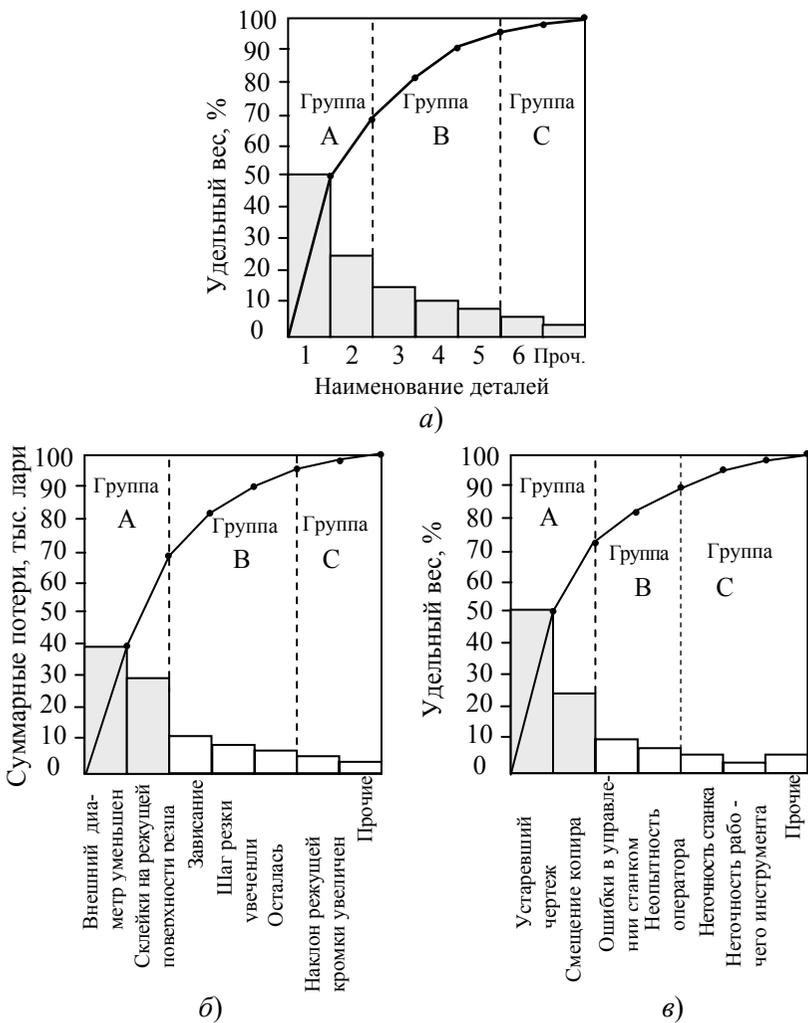


Рис.4.15. Диаграммы Парето

Применение диаграммы Парето целесообразно вместе с причинно-следственной диаграммой, так как для решения проблемы, связанной с низким качеством изделий, необходимо осознать сущность происхождения дефекта каждого конкретного вида.

После проведения корректирующих мероприятий желательно заново построить диаграмму Парето для измененных

вследствие коррекции условий и проверить эффективность улучшения.

В сложной экономической жизни предприятия проблемы могут возникнуть в любой момент, в любой форме и в любом подразделении. Анализ этих проблем целесообразно начинать с построения диаграммы Парето. Решение каких проблем возможно наиболее эффективно с помощью диаграмм Парето:

В сфере производства: анализ качества отдельно в зависимости от отдельных рабочих операций; анализ количества неисправностей отдельно по станкам; анализ количества переделок по рабочим участкам; анализ процента брака отдельно по дням недели; случаи остановки процесса отдельно по процессам и т. д.

В сфере материально – технического снабжения: анализ количества дней задержки поставок в зависимости от сырья и материалов; анализ денежных потерь из-за бесполезной задержки на складе в зависимости от сырья и материалов и др.

В сфере сбыта: анализ прогнозов потребителей отдельно по видам изделий; анализ прибыли, полученной продажей изделий отдельно в зависимости от продавцов и материалов; случаи получения рекламаций отдельно по содержанию рекламаций и анализ суммарных потерь из-за рекламаций; анализ количества возвращенных изделий отдельно в зависимости от вида изделия; анализ выигрыша отдельно для суммарного выигрыша, отдельно в зависимости от вида продукции и т. д.

В финансовой сфере: анализ себестоимости изделий отдельно в зависимости от вида изделия, анализ продажи продукции; удельный анализ затрат на деятельность в сфере контроля в зависимости от факторов контроля; анализ прибыли отдельно по видам изделий; анализ процента выигрыша и др.

В сфере делопроизводства: анализ количества предложений отдельно по сотрудникам (по кружкам качества); анализ затраченных на разработку документа количества дней отдельно по предложениям; анализ количества ошибок в накладной в зависимости от их вида; анализ процента выполнения плана отдельно по подразделениям и др.

Диаграмма Парето успешно применяется и в таких случаях, когда положительный опыт отдельных подразделений должен быть внедрен во всей фирме. С помощью диаграммы Парето выявляют основные причины успехов и пропагандируют эффективные методы работы.

4.6. Причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикава)

Причинно-следственная диаграмма – инструмент, позволяющий выявить наиболее существенные факторы (причины), влияющие на конечный результат (следствие).

Профессор Токийского Университета, ведущий специалист в области управления качеством Каоро Исикава разработал метод объединения влияния различных факторов на окончательный итог процесса и его систематизации на причинно-следственной диаграмме. Процесс изготовления продукции, влияющий на ее качество здесь рассматривается как взаимодействие 5М (см. раздел 4.4). Зависимость между процессом, представляющим собой систему причинных факторов 5М, и качеством, представляющим собой результат действия этих причинных факторов, можно выразить графически, как показано на рис.4.16.

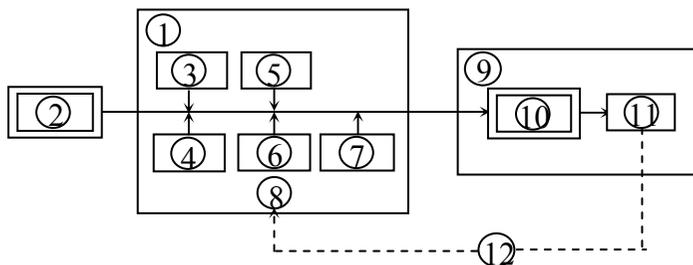


Рис.4.16. Причинно-следственная диаграмма: 1 – система причинных факторов; 2 – основные факторы производства; 3 – материалы; 4 – операторы; 5 – оборудование, включая инструменты; 6 – методы операций; 7 – измерения; 8 – процесс; 9 – следствие; 10 – параметры качества продукта; 11 – показатели качества; 12 – контроль процесса по фактору качества

На этой схеме полученный результат – показатели качества (точность размеров, степень чистоты и т.д.) – выражается конкретными данными (одиннадцатая позиция на рис.4.16). Используя эти данные о факторе качества осуществляют контроль процесса (двенадцатая позиция на рис.4.16). Если в результате процесса качество изделия окажется неудовлетворительным, это значит, что в системе причин, т.е. в какой-то точке процесса, произошло отклонение от заданных условий. В этом случае проверяется система причинных факторов и путем соответствующего воздействия на конкретные факторы процесса процесс приводят в стабильное состояние.

В этом случае удобно использовать причинно-следственную диаграмму, приведенную на рис.4.17, которую из-за своего внешнего вида часто называют «рыбьей костью» или «рыбьим скелетом».

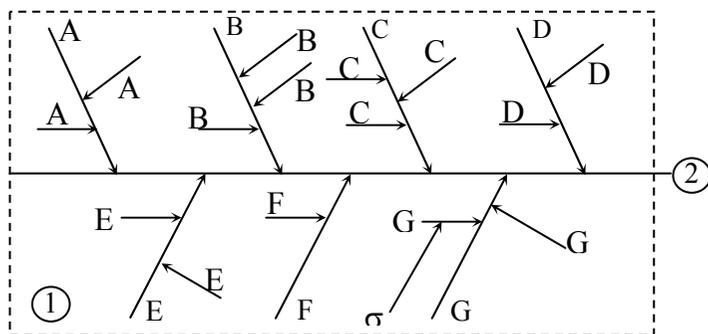


Рис.4.17. Причинно-следственная диаграмма с разделением причин по уровням: 1 – система причинных факторов; 2 – показатель качества (следствие); A,B,C,D,... – главные причины (или причины 1-го уровня); A₁,B₁,C₁,..., A₂,B₂,C₂,... – причины 2-го уровня; σ₁ – причина 3-го уровня и т.д.

Как показано на рис.4.17, показатели качества (2), являющиеся «хребтом» этого скелета и в то же время следствием различных причин (факторов) – причины А, причины В, причины С и т.д. На рис. 4.17 они обозначены стрелками и их называют «большими костями». Эти причины являются в свою очередь, следствием других причин: A₁,A₂,A₃,... (для следствия

А); V_1, V_2, V_3, \dots (для следствия В); C_1, C_2, C_3, \dots (для следствия С) и т.д. («средние кости»). Все они также обозначены стрелками, направленными к соответствующим следствиям. Вторичным причинам могут соответствовать третичные причины и т.д. («малые кости»).

«Большие кости» соответствуют главным причинам или причинам 1-го уровня, а «средние» и «малые» кости – причинам более низкого уровня (соответственно причинам 2-го, 3-го и т.д. уровней).

При поиске причин нужно помнить, что показатели качества, являющиеся следствием процесса, обязательно испытывают разброс. Поиск факторов, оказывающих особенно большое влияние на разброс показателей качества изделия (т.е. на результат), называют исследованием причин.

Как же строят причинно-следственную диаграмму?

В первую очередь определяют показатель качества. Информацию о показателях качества, необходимую для построения диаграммы, собирают из всевозможных источников: используется журнал регистрации операций; журнал регистрации данных текущего контроля, сообщения работников производственных участков и т. д. Выбранный показатель качества пишут в середине правого края чистого листа бумаги заключив его в прямоугольник. Слева направо до этого прямоугольника проводят прямую линию («хребет»).

Далее наиболее важные причины, влияющие на выбранный показатель качества, соединяют с «хребтом» стрелками в виде «больших костей хребта» (главные причины). Для определения главных причин используют экспертные оценки, так называемый «мозговой штурм».

Затем пишут вторичные причины, влияющие на главные причины («большие кости») и располагают их в виде «средних костей», примыкающих к «большим». Аналогично пишут причины третичного порядка, которые влияют на вторичные причины и располагают их в виде «мелких костей», примыкающих к «средним». Прибегнув к такому способу рассуждения на каждой стадии исследования отношений между пока-

зателем качества и «большими костями», между «большими» и «средними», а также между «средними» и «мелкими костями» возможно логическим путем построить полезную диаграмму причин и результатов. Для того чтобы установить, какая «кость» наиболее важная, можно выяснить мнение участников анализа о ранжировании причин (факторов) по их значимости, а затем, используя диаграмму Парето выделить особо важные причины, набравшие большинство голосов.

Наконец, на диаграмму наносят всю необходимую информацию: ее название; наименование изделия, процесса или группы процессов; имена участников процесса; дату и т. д.

Существуют определенные правила построения таких диаграмм:

- используется группа работников, в которой не участвует руководство;
- первыми мнение высказывают младшие по должности;
- должна быть обеспечена анонимность высказываний;
- если решение найдено, автор должен быть награжден.

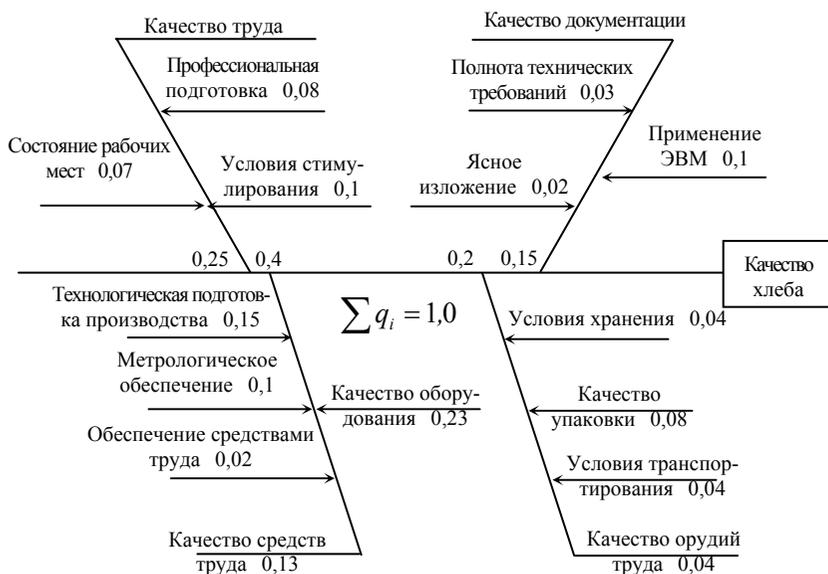


Рис. 4.18. Пример диаграммы Исикава

Допустим, необходимо определить, от каких факторов и насколько зависит качество выпечки хлеба. С самого начала выделяют общие факторы: качество труда, качество документации, качество средств труда и качество орудий. Затем каждую составляющую делят на причины и для каждой из них экспертным методом определяют показатель значимости. Пример причинно-следственной диаграммы показан на рис. 4.18.

4.7. Графики и контрольные карты

а) Графики

С помощью графиков можем оценить не только состояние процесса на данный момент времени, но и прогнозировать отдельный результат в зависимости от тенденций процесса.

График, выраженный ломанной линией (рис. 4.19)

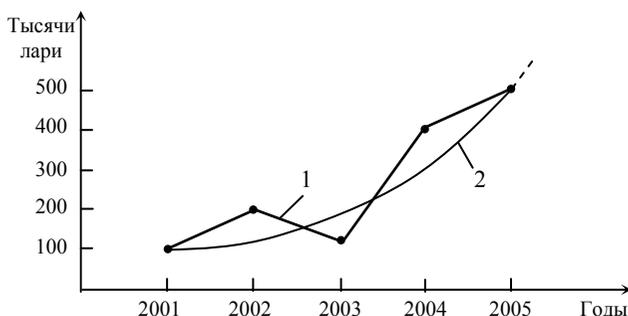


Рис.4.19. Характер изменения прибыли: 1 – реальный участок графика; 2 – отрезок, отражающий тенденцию

Столбиковый график (рис.4.20) представляет собой количественную зависимость, выраженную высотой столбика, например, сумма потерь из-за брака, вызванного процессом. При построении столбикового графика по оси ординат откладывают качество, а по оси абсцисс – факторы; каждому фактору соответствует столбик.

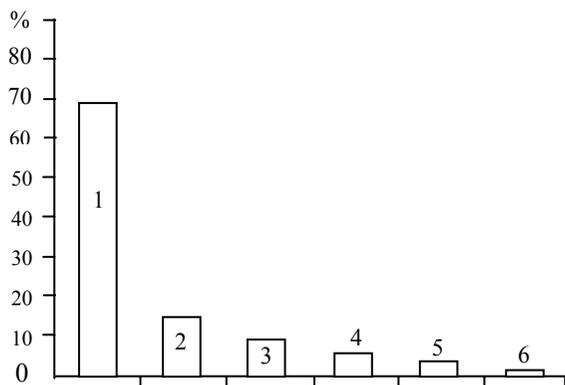


Рис.4.20. Причины потерь клиентов: 1 – невнимательность со стороны какого-нибудь сотрудника фирмы (68%); 2 – неудовлетворенность продукцией (14%); 3 – конкуренция (9%); 4 – влияние друзей (5%); 5 – переход на новое место (3%); 6 – кончина (1%).

Круговой график выражает часть составляющих какого-нибудь целого параметра (рис.4.21).

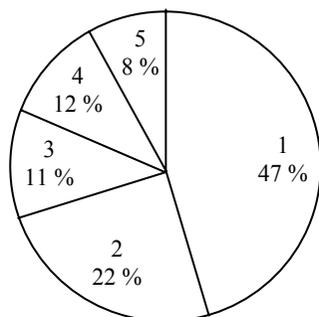


Рис.4.21. Составляющие продажной цены изделия: 1 – материалы; 2 – другие потери завода; 3 – прямые трудовые затраты; 4 – затраты на обеспечение качества; 5 – прибыль

Ленточный график применяют для ясного представления состояния составляющих какого-либо параметра, а также для выражения изменения этих составляющих во времени. При его построении прямоугольник графика делят на пропорциональные составляющим зоны или в зависимости от количес-

твенных значений и на всей длине ленты обозначают участки по каждому из факторов в зависимости от соотношения составляющих. Если осуществим систематизацию ленточного графика таким образом, чтобы ленты расположились последовательно во времени, возможным окажется оценка изменения составляющих во времени.

На рис.4.22 приведен пример ленточного графика, отражающего зависимость суммарной прибыли от продажи по отдельным видам изделий (расположенных в последовательности убывания их доли в прибыли) и их изменение по годам.

Из графика видно, что прибыль от продажи изделия С из года в год растет. Что же касается изделия А (в 2002 г. его доля составляла 36,8%) и В (в 2002 г. его доля составляла 20,7%), то их доля в 2002 году пока еще существенная, но с 1998 года по 2002 год их общая доля в прибыли сократилась с 75,6 до 57,6%. Это объясняется изменением жизненного цикла изделий.

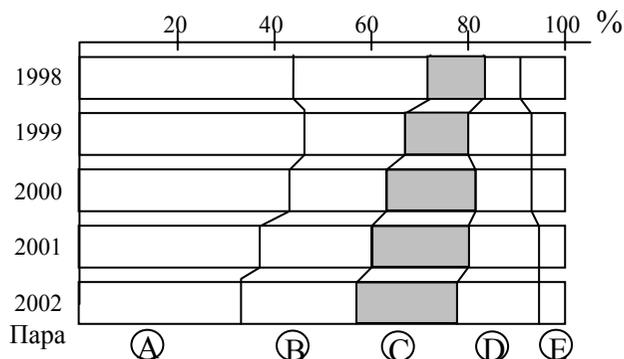


Рис.4.22. Зависимость суммы прибыли от продаж по отдельным видам изделий.

б) Контрольные карты

Описанные простые и доступные методы контроля качества дают возможность зафиксировать состояние процесса в определенный момент времени. В отличие от них метод кон-

трольных карт позволяет отслеживать состояние процесса во времени. Он представляет собой инструмент оперативного управления, так как дает возможность воздействовать на процесс до того, как он выйдет из под контроля.

Контрольная карта (Control chart) разновидность графика с контрольными пределами (границами), обозначающими в обычных условиях диапазон разброса показателей в течение процесса.

Любая контрольная карта состоит обычно из трех линий. Средняя (центральная) линия представляет собой требуемое номинальное (среднее) значение (\bar{X}) характеристики контролируемого параметра; две другие линии, одна из которых находится над центральной – верхний контрольный предел (ВКП) – (UCL – Upper Control Level), а другая под ней – нижний контрольный предел (НКП) – (LCL – Lower Control Level), представляют собой максимально допустимые пределы изменения значений контролируемой характеристики (показателя качества). Ось абсцисс обычно соответствует времени (рис.4.23,*а*) или последовательным номерам изделий (выборок) (рис.4.23,*б*). По оси ординат отложены значения контролируемого параметра. На рис.4.23 приведены образцы простых контрольных карт для какого-нибудь одного условного параметра качества.

Выход контролируемой характеристики (показателя качества) за контрольные пределы свидетельствуют о нарушении стабильности процесса, т. е. процесс не подлежит контролю. В этом случае следует проанализировать причины и провести соответствующие мероприятия.

Контрольная карта является прекрасным средством для сохранения информации. Она помогает в наглядном представлении истории качества исследуемого процесса: кто, когда, на каком оборудовании получил брак в прошлом и насколько эффективно смог его исправить. Появилось основание для принятия решения об остановке производства или его переналадке.

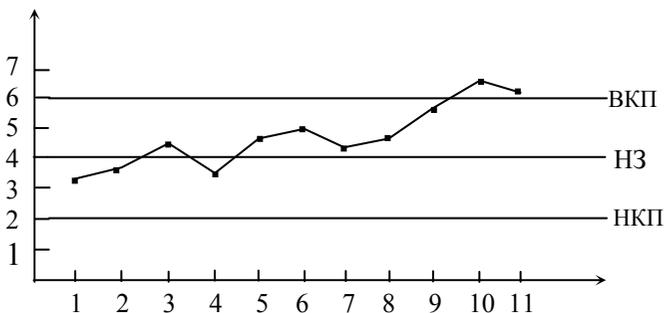
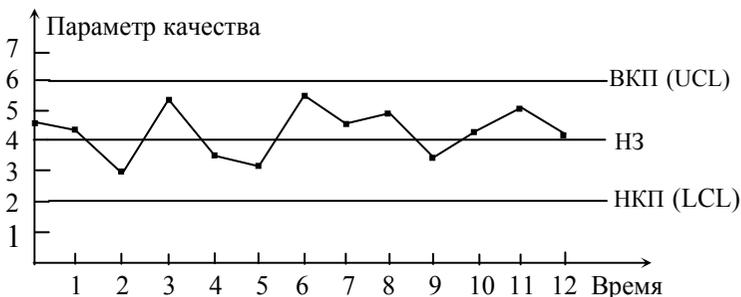


Рис. 4.23. Контрольная карта параметров качества:
a – процесс подлежит контролю; *б* – процесс не подлежит контролю

В рамках семи простых методов используется всего лишь семь типов контрольных карт, а именно контрольные карты:

- средних арифметических и размахов ($\bar{x} - R$);
- медиан и размахов ($\tilde{x} - R$);
- индивидуальных значений (x);
- доли дефектной продукции (p);
- числа дефектных единиц продукции (pn);
- числа дефектов (c);
- числа дефектов на единицу продукции (u).

На рис. 4.23,*a* дана x -карта, на рис. 4.23,*б* – c -карта. Типичный пример контрольной карты средних арифметических и размахов приведен на рис. 4.24. Он представляет собой \bar{x} и R контрольные карты, которые применяются совместно и дополняют друг друга, что отражается в их наименовании: $(\bar{x} - R)$ - карта.

На \bar{x} -карте указывают два предела – верхний UCL и нижний LCL, а на R -карте только верхний UCL (так как достаточно следить только за разбросом (размахом) $R = x_{\max} - x_{\min}$).

Контрольные пределы (пределы регулирования) можно установить исходя из технологии производства или вычислить следующим образом.

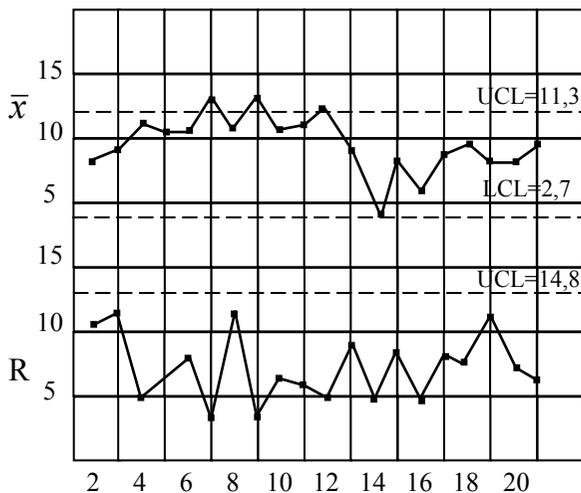


Рис. 4.24. Контрольная ($\bar{x} - R$)-карта

Вначале определяется оценка стандартного отклонения σ^3 . Наиболее просто оценку σ можно получить с помощью размахов – как среднее арифметическое значений R_i , деленное на коэффициент поправки d (таблица 4.11)

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d}, \quad \text{где} \quad R = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i .$$

Таблица 4.11

Значения коэффициентов d , A и D для выборок различного объема

Коэффициенты	Объем выборки, n							
	3	4	5	6	7	8	9	10
d	1,69	2,06	2,33	2,83	2,70	2,85	2,97	3,08
A	1,96	1,63	1,43	1,29	1,18	1,10	1,03	0,98
D	2,57	1,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78

³ Характеризует обусловленные случайными причинами изменения значений качества.

Тогда для \bar{x} -карты пределы регулирования можно получить следующим образом:

$$UCL = \mu_0 + A \left(\frac{\bar{R}}{d} \right); \quad LCL = \mu_0 - A \left(\frac{\bar{R}}{d} \right),$$

где μ_0 – среднее значение контролируемого параметра при налаженном технологическом процессе (может быть определено как среднее значение допуска), а значение коэффициента A выбирается из таблицы 4.11 в зависимости от объема n выборки.

Для R -карты предел регулирования получаем следующим образом:

$$UCL = D \cdot \bar{R},$$

где значение коэффициента D выбираем из таблицы 4.11 в зависимости от объема выборки.

Пример. Измеряли по 5 штук болтов через каждый час (всего 20 серий) и получили следующие значения отклонений диаметров изготовленных болтов от заданного размера 25,980 мм (таблица 4. 12). Нижняя и верхняя границы допуска $T_s=25,995$, $T_n=25,981$ мм.

Таблица 4. 12

Номер выборки	Результаты контроля, мкм					\bar{x}_i	R_i
1	10	3	5	14	10	8,4	11
2	2	14	8	13	11	9,6	12
3	12	12	3	8	10	11,0	5
4	12	14	7	11	9	10,6	7
5	10	11	9	15	7	10,4	8
6	11	12	11	14	12	12,0	3
7	15	11	14	8	3	10,2	12
8	12	14	12	11	11	12,0	3
9	11	7	11	13	9	10,2	6
10	14	10	9	12	8	10,6	6
11	9	11	14	10	13	11,4	5
12	13	13	6	4	13	9,8	9
13	5	8	3	3	4	4,6	5
14	8	5	6	9	13	8,2	8
15	8	4	9	5	8	6,8	5
16	4	12	10	6	10	8,4	8
17	10	6	13	10	5	8,8	8
18	7	9	12	1	7	7,2	11
19	4	7	6	7	12	7,2	8
20	10	10	6	9	3	7,6	7
Среднее значение $\mu = 9$ мкм Среднее квадратическое отклонение $\sigma = 3$ мкм	Σ					185,0	147

Вычисленные средние арифметические для каждой выборки приведены в столбце \bar{x}_i а значения размахов – в столбце R_i .

Например, для первой выборки имеем

$$\bar{x}_i = \frac{1}{5}(10 + 3 + 5 + 14 + 10) = \frac{42}{5} = 8,4; \quad R_i = 14 - 3 = 11.$$

Учитывая суммарное значение $R_{\Sigma} = 147$ и количество выборок $k = 20$, получим среднее значение $\bar{R} = R_{\Sigma} / k = 147 / 20 \approx 7$ мкм. Из таблицы 4.11 для объема выборки $n = 5$ получим $d = 2,33$. Поэтому для оценки стандартного отклонения получим $\sigma = 7 / 2,33 = 3$ мкм.

Так как среднее значение допуска

$$\mu_0 = \frac{25,995 - 25,981}{2} = 0,007 = 7 \text{ мкм},$$

для пределов регулирования \bar{x} -карты, с учетом значения коэффициента $A = 1,43$, получим:

$$UCL = 7 + 1,43 \cdot 3 = 11,3 \text{ мкм};$$

$$LCL = 7 - 1,43 \cdot 3 = 2,7 \text{ мкм}.$$

Определим предел регулирования для R -карты. С учетом значения коэффициента $D = 2,11$ получим

$$UCL = 2,11 \cdot 7 = 14,8 \text{ мкм}.$$

Полученные на основании выборочного контроля значения \bar{x}_i и R_i отметим на контрольной карте в виде точек (рис.4.24).

После нахождения пределов регулирования и их отображения в виде линий строим контрольную карту (рис.4.24). Для этого отметим точки соответствующие полученным вследствие выборочного контроля значениям \bar{x}_i и R_i .

После построения контрольной карты возможно проведение статистического регулирования данного технологического процесса. Для этого осуществляют переналадку оборудования, убеждаются, что выпускаемая продукция годная и через заранее установленный промежуток времени (1 час) вновь осуществляют контрольную выборку болтов в количестве $n = 5$ штук, измеряют их, определяют \bar{x}_i и R_i , сравнивают, обозначают на карте. Если точки не выходят за пределы регулирования, процесс производства продолжается, если выходят за пределы – вновь перенастраивают оборудование (осуществляют управляющее воздействие).

5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

5.1. Статистический анализ технологических процессов

На предприятиях применение статистического анализа технологических процессов сводится в основном для решения следующих задач: оценки точностных возможностей технологического процесса в целом или на отдельных операциях; оценки точностных возможностей действующего оборудования, вновь поступающего и отремонтированного; выявления рационального уровня наладки процесса; оценки устойчивости процесса; оценки возможности внедрения статистического регулирования технологических процессов и статистического приемочного контроля.

Вначале более детально остановимся на статистическом анализе точности технологических процессов. Статистический анализ точности технологических процессов представляет собой единовременное обследование надежности процесса путем изучения качественных характеристик большого числа изделий, обработанных в определенных условиях на данной операции. Такой анализ дает возможность определить фактическую точность процесса и сравнить ее с заданной, оценить качество и устойчивость настроенности процесса, выявить вероятный процент дефектов, определить экономически целесообразные допуски.

Наиболее распространенными методами статистического анализа точности технологических процессов являются:

- сравнение средних значений параметров с номинальными;
- сравнение дисперсий;
- оценка коэффициентов корреляции;
- регрессионный анализ и др.

Метод сравнения средних значений параметров с номинальными используется в тех случаях, когда необходимо установить соответствие изготавливаемого изделия эталону и в других случаях при сравнении значений одноименных показателей качества у нескольких групп изделий.

Дисперсия характеризует изменчивость показателей качества, их рассеивание в зависимости от способа обработки или других факторов.

Коэффициент корреляции используется при оценке степени зависимости показателей качества от других показателей.

К *регрессионному анализу* прибегают в случаях оценки показателя качества по результатам наблюдений за другими показателями.

Получаемые при контроле результаты зависят от нестабильности свойств и неоднородности продукции, погрешностей измерений показателей качества образцов продукции и параметров внешних воздействий факторов, других факторов.

Отклонения таких параметров, как геометрические размеры деталей, твердость, толщина слоя, влажность, плотность, температура, газонепроницаемость, масса, химический состав, упругость, имеют положительные и отрицательные значения. Сюда же относятся электрические допуски по величинам сопротивлений, емкостей и самоиндукций для ряда радиодеталей, а также допуски на некоторые параметры электровакуумных или полупроводниковых приборов, а также многие параметры, характеризующие взаимозаменяемость отдельных элементов, блоков и целых подсистем в сложной радиоэлектронной и электротехнической аппаратуре. Рассеивание отклонений этих параметров подчиняется нормальному закону Гаусса.

Распределение рассматриваемого количественного признака качества (размера, отклонения и т.д.) в большинстве практических случаев можно представить в виде кривой нормального распределения (кривой Гаусса), определяемой уравнением

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.1)$$

где $f(x)$ – плотность вероятностей или частота появления случайной переменной;

x – значение случайной переменной;

μ – центр распределения (математическое ожидание), при котором значение $f(x)$ наибольшее;

σ – среднее квадратическое отклонение случайной переменной x ;

e – основание натуральных логарифмов.

Параметры μ и σ характеризуют соответственно центр и масштаб распределения. Из рис.5.1 следует, что параметр μ не действует на форму кривой $f(x)$ – его изменение вызывает лишь смещение кривой вдоль оси x . Но при изменении σ форма кривой меняется (рис.5.2). Максимум функции плотности нормального распределения достигается при $x = \mu$ и равен $1/\sigma\sqrt{2\pi}$.

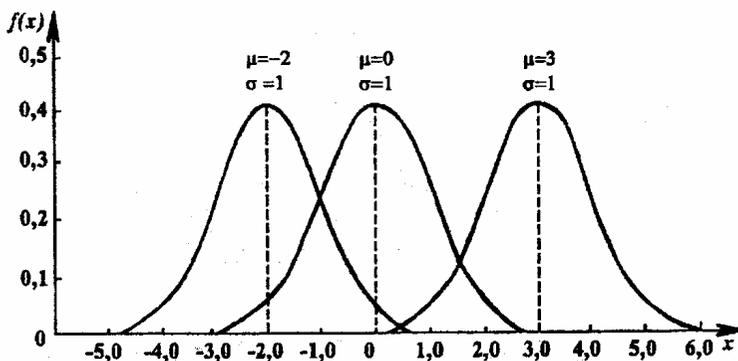


Рис.5.1. Нормальное распределение с различными значениями μ и одинаковыми значениями σ

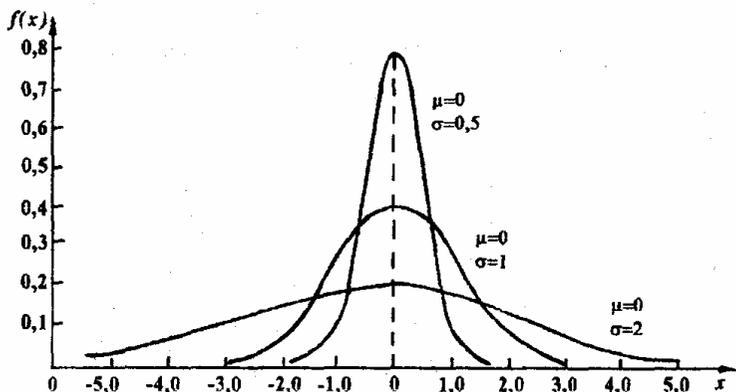


Рис.5.2. Нормальное распределение с различными значениями σ и одинаковыми значениями μ

Вследствие ограниченности объема выборок при контроле, а, следовательно, ограниченности количества данных об исследуемом признаке качества мы можем получить по этим данным лишь оценки (приближенные значения) параметров μ и σ нормального распределения, которые в дальнейшем будем обозначать \bar{x} и S соответственно.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n, \quad (5.2)$$

где x_i – замер контролируемого параметра i -того изделия в выборке;

n – количество единиц изделий в выборке (число замеров).

Пример. В результате измерения длины представленных на контроль $n=16$ валов получены следующие результаты: 20,51; 20,53; 20,49; 20,50; 20,52; 20,49; 20,48; 20,51; 20,47; 20,52; 20,50; 20,51; 20,48; 20,50; 20,49; 20,50 см.

Определим среднее арифметическое. Сумма всех результатов наблюдения:

$$\sum_{i=1}^{16} x_i = 20,51 + 20,53 + 20,49 + 20,50 + 20,52 + 20,49 + 20,48 + 20,51 + 20,47 + 20,52 + 20,50 + 20,51 + 20,48 + 20,50 + 20,49 + 20,50 = 328 \text{ см.}$$

Тогда

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{16} x_i}{16} = \frac{328}{16} = 20,50 \text{ см.}$$

Оценка среднего квадратического отклонения случайной величины (значения качественного параметра), характеризующего величину поля фактического рассеивания размеров контролируемого параметра определяется по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (5.3)$$

Пример. Для рассмотренного выше случая контроля длины $n=16$ валов определим среднее квадратическое отклонение

$$\text{Найдем } \sum_{i=1}^{16} (x_i - \bar{x})^2 = (20,51-20,50)^2 + (20,53-20,50)^2 + (20,49-20,50)^2 + \\ + (20,50-20,50)^2 + (20,52-20,50)^2 + (20,49-20,50)^2 + (20,48-20,50)^2 + (20,51-20,50)^2 + \\ + (20,47-20,50)^2 + (20,52-20,50)^2 + (20,50-20,50)^2 + (20,51-20,50)^2 + (20,48-20,50)^2 + \\ + (20,50-20,50)^2 + (20,49-20,50)^2 + (20,50-20,50)^2 = 0,01^2 + 0,03^2 + (-0,01)^2 + 0^2 + 0,02^2 + \\ + (-0,01)^2 + (-0,02)^2 + 0,01^2 + (-0,03)^2 + 0,02^2 + 0^2 + 0,01^2 + (-0,02)^2 + 0^2 + (-0,01)^2 + 0^2 = 0,004.$$

Тогда

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{16-1} \cdot 0,004} = \sqrt{0,000266} \approx 0,0163 \text{ см.}$$

Эмпирические параметры \bar{x} и S являются выборочными точечными оценками для математического ожидания μ и среднего квадратического отклонения σ случайной величины X . При увеличении объема выборки n эти оценки становятся точнее, приближаясь к истинным параметрам μ и σ исследуемой случайной величины $\bar{x} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \mu$; $S \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \sigma$.

Величина оценки случайной ошибки в некоторый фиксированный момент времени характеризуется величиной мгновенного рассеивания, за которую принимают значение $6S$. Для нормального закона величина $6S$ охватывает 99,73% всех значений случайной величины, т.е. приблизительно равна разности между максимальными и минимальными значениями контролируемых параметров (размеров, отклонений) в выборках.

Например, для рассматриваемого выше случая величина мгновенного рассеивания будет $6S = 6 \cdot 0,0163 = 0,0978 \text{ см.}$

Понадобится нам также и размах рассеивания. Размах рассеивания R представляет собой разность между наибольшим и наименьшим значениями контролируемого параметра

$$R = x_{\max} - x_{\min}. \quad (5.4)$$

Например, для рассматриваемого выше случая с учетом того, что $x_{\max} = 20,53 \text{ см}$ и $x_{\min} = 20,47 \text{ см}$, для размаха получим

$$R = x_{\max} - x_{\min} = 20,53 - 20,47 = 0,06 \text{ см.}$$

Между оценкой среднего квадратического отклонения S и размахом R установлена следующая зависимость $S = R_n/d_n$, где R_n – размах при объеме выборки n ; d_n – коэффициент, зависящий от объема выборки n . Значения коэффициентов d_n приведены в Приложении 5.

Например, учитывая значение $R_{16} = 0,06$ см в предыдущем примере и выбрав из таблицы Приложения 5 соответствующее значение для $n = 16$ – $d_{16} = 3,532$, для оценки среднего квадратического отклонения получим $S = 0,06 / 3,532 = 0,0169$, что не существенно отличается от оценки, полученной по формуле (5.3).

Таким образом процедуры оценивания и контроля показателей качества используются для определения приближенного значения неизвестного параметра генеральной совокупности по результатам наблюдения этих показателей и проверки соответствия полученных при контроле результатов установленным требованиям.

В первом случае – это статистические оценки характеристик положения центра распределения результатов (например, среднее арифметическое значение, медиана⁴ и др.), характеристик степени рассеивания результатов (среднее квадратическое отклонение S , дисперсия S^2 , размах R и др.). Во втором случае – это статистические заключения по результатам контроля вида «соответствует» - «не соответствует». Нередко при

⁴ В математической статистике медианой \tilde{x} называется срединное значение упорядоченного по возрастанию или убыванию ряда чисел. Если объем выборки нечетное число, например $n=5$, то медианой будет являться третий член любого упорядоченного наблюдаемого ряда величин.

Пример. Имеем выборку объемом $n=5$ по результатам измерений сопротивления резисторов: 20,7; 20,2; 20,6; 20,3; 20,4 Ом. Расположим этот ряд по степени возрастания: 20,2; 20,3; 20,4; 20,6; 20,7. Медианой этого ряда будет значение $\tilde{x} = 20,4$ Ом.

Если ряд измерений представляет собой четное число, например $n=6$: 20,2; 20,3; 20,4; 20,5; 20,6; 20,7 Ом, то в этом ряду нет среднего члена и поэтому за медиану условно принимается значение между двумя средними членами ряда, т.е.

$$\tilde{x} = (20,4 + 20,5) / 2 = 20,45 \text{ Ом.}$$

контроле проводят анализ данных и результатов, проверяют различные статистические гипотезы, оценивают качество статистических оценок.

5.1.1. Порядок отбора выборок штучной продукции

Представление штучной продукции на контроль качества может осуществляться четырьмя способами «ряд», «россыпь», «в упаковке», «поток».

Способ «ряд» характеризуется следующими особенностями: поступающие на контроль единицы продукции должны быть упорядочены – пронумерованы сплошной нумерацией и расположены таким образом, чтобы единицу продукции, отмеченную любым номером, можно было легко найти и взять; единицы продукции должны поступать на контроль в виде однородных партий. К продукции, поступающей на контроль способом «ряд», можно отнести телевизоры, мобильные телефоны, радиоприемники, соковыжималки и др.

Способ «россыпь» имеет такие отличительные особенности: единицы продукции неупорядочены, их трудно нумеровать и почти невозможно отыскать и взять определенную единицу продукции; в партии большое количество единиц продукции; единицы продукции поступают на контроль в виде партий, сформированных независимо от количества продукции, изготовленной в процессе производства. К продукции, поступающей на контроль способом «россыпь», можно отнести резисторы, винты, шайбы, гайки и др.

Способ «поток» имеет свои отличительные особенности: единицы продукции поступают непрерывным потоком одновременно с выпуском продукции; на контроль поступает большое количество единиц продукции в упорядоченном виде, можно легко отыскать и взять каждую пятую, десятую, двадцатую и т.д. единицы продукции. К продукции, поступающей на контроль способом «поток», можно отнести изделия, изготавливаемые на станках-автоматах.

На практике способы «россыпь» и «в упаковке» применяются одновременно; при этом образцы следует брать примерно в равных количествах из выбранных упаковочных единиц.

Пример. Партия винтов, упакованная в ящики, представлена на контроль. При приемке партии винтов контролируется внешний вид и размеры, механические свойства. Объем партии составляет 30 000 штук, упакованных в 100 ящиках, содержащих каждый 300 штук. Внутри ящиков винты находятся в россыпи.

Количество ящиков (первичных упаковочных единиц), подлежащих отбору из партии устанавливаем согласно рекомендациям в следующей таблице.

Таблица 5. 1

Количество первичных упаковочных единиц (ящиков) в партии	Количество первичных упаковочных единиц (ящиков), подлежащих отбору
1 – 5	Все
6 – 99	5
100 – 399	1/20 часть
400 и более	20

Объем выборки в зависимости от объема партии определяем по таблице 5. 2

Таблица 5. 2

Объем партии, шт.	Объем выборки для контроля, шт.		
	Внешнего вида и размеров	Механические свойства	
		без разрушения	с разрушением
До 1200	32	} 13	} 5
1201 – 3200	50		
3201 – 10 000	80	} 20	
10001 – 35 000	125		

Так как в рассматриваемом нами примере 100 ящиков, согласно табл. 5.1 определяем количество ящиков для контроля: $1/20$ часть, т. е. $100/20=5$ ящиков. Для того, чтобы определить какие именно ящики следует взять для контроля, воспользуемся таблицей случайных чисел (Приложение 3). За начало отсчета примем строку 15 колонки 4; откуда получим числа 8, 53, 10, 73, 31. Таким образом, для контроля выбираем 8, 10, 31, 53 и 73 ящики.

По табл.5.2 данного примера объем выборки для внешнего вида и размеров составляет 125 штук. Из каждого из пяти отобранных ящиков методом «вслепую» (так как нумерация каждого из винтов технически невозможна) отбираем $125 / 5 = 25$ шт. Не допускается перемешивать образцы из отдельных ящиков.

Для контроля механических свойств без разрушения по табл. 5.2 в выборку требуется 20 шт. Они отбираются методом «вслепую», 4 штуки от каждого ящика, т. е. из ранее отобранных 25 штук в ящике. Всего из пяти ящиков получим требуемые $5 \times 4 = 20$ шт.

Для контроля механических свойств с разрушением отбирается 1 штука от каждого ящика, что составит требуемые согласно табл. 5. 2 $5 \times 1 = 5$ шт.

Следует отметить, что в случае представления на контроль однородной продукции в упаковочных единицах, содержащих одинаковое количество единиц продукции может применяться многоступенчатый отбор единиц продукции. При этом отборе выборку образуют по ступенькам и единицы продукции в каждой ступени отбирают случайным образом из единиц, отобранных в предыдущей ступени. Если первичные упаковочные единицы содержат вторичные и т.д. упаковочные единицы, то сначала отбирают первичную, затем вторичную и т.д. упаковочные единицы. Для упаковочных единиц применяют метод отбора с использованием случайных чисел.

В случае однородной продукции, представляемой на контроль способом «ряд» отбор единиц продукции в выборку после их предварительной сплошной нумерации осуществляется с применением случайных чисел, для чего используют, например таблицы случайных чисел (см. Приложение 3).

В случае продукции, представленной на контроль «россыпью» применяют отбор «вслепую».

В случае продукции, представленной на контроль в виде потока осуществляют *систематический* отбор – единицы продукции или количество единиц продукции отбираются через определенный интервал времени. Например, если выборка должна составить 2% от контролируемой партии, отбирают каждую пятидесятую единицу; если выборка должна соста-

вить 5%, – каждую двадцатую единицу и т. д. Начало отсчета определяется случайным образом, например, с помощью таблиц случайных чисел.

Пример. Необходимо проконтролировать продукцию, поступающую с конвейра на первые пять смен месяца. Выборка должна составить 10% от продукции, изготавливаемой за смену. За смену изготавливают 100 единиц продукции. Для отбора в выборку применим метод систематического отбора. Случайным образом выберем начало отсчета для первых пяти смен. Если возьмем 21 строку 4, 5, 6, 7, 8 колонок таблицы случайных чисел, то получим числа 8, 5, 1, 9, 4. Так как выборка в 10%, то отберем каждую десятую единицу. Для первой смены в выборку попадут единицы 8, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78, 88, 98, для второй смены 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, для третьей смены 1, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91 и т. д.

Для отбора представительной выборки необходимо обеспечить однородность партии и предупредить смешивание неоднородных подпартий. Сохранение однородности партий необходимо для того, чтобы после проведения контроля заключение было сделано именно о той партии единиц продукции, из которой была произведена контрольная выборка.

Изделия, составляющие выборку, измеряются с помощью измерительных инструментов или приборов, у которых цена деления шкалы $\left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{10}\right)\Delta$, где Δ - поле допуска измеряемого признака качества.

Прежде чем проводить определение погрешностей и других показателей точности и стабильности технологических процессов, необходимо убедиться, что во взятых для наблюдения экспериментальных данных нет грубых ошибок, могущих привести к искажению всех последующих результатов.

5.1.2. Определение грубых ошибок наблюдений

К грубым относятся ошибки: в записи показаний измерительного прибора; в технологии (поломка инструмента и т.д.); в вычислениях при измерении; из-за неосторожности и невнимательности оператора и т.д. Грубые ошибки приводят к то-

му, что отдельные результаты наблюдений по своей величине значительно отличаются от других. Если имеются данные, что такие наблюдения есть результат ошибки, то их необходимо отбросить, не подвергая статистическим оценкам. Если такой уверенности нет, то для определения того, являются ли резко выделяющиеся наблюдения результатом грубой ошибки или случайного отклонения, необходимо использовать один из методов выделения грубых ошибок наблюдения.

Согласно Q -критерию результаты наблюдений необходимо расположить в порядке возрастания. Тогда сомнительный большой результат окажется справа, а сомнительный малый – слева.

Пример: 10, 20, 12, 13, 14, 11 – 10, 11, 12, 13, 14, 20;
10, 11, 2, 13, 12, 14 – 2, 10, 11, 12, 13, 14.

После расположения в порядке возрастания получим:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n.$$

По расположенным в порядке возрастания результатам наблюдений нужно вычислить две вспомогательные величины:

$$Q'_1 = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1} \text{ – для сомнительного малого результата; } (5.5)$$

$$Q'_2 = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} \text{ – для сомнительного большого результата. } (5.6)$$

После вычисления этих двух вспомогательных величин необходимо по числу параллельных наблюдений n найти соответствующее табличное критическое значение Q_T .

Таблица 5.3

		Значения Q_T								
n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q_T	0.94	0.77	0.64	0.56	0.51	0.48	0.44	0.42	0.41	0.405

Если расчетные значения Q'_1, Q'_2 превышают табличное, т.е. $Q' > Q_T$, сомнительный результат является промахом, грубой ошибкой, и этот результат обязательно надо исключить из

рассмотрения. Статистические характеристики (среднее арифметическое, среднее квадратическое отклонение и др.) определяются без сомнительного результата наблюдения.

Пример. Допустим, имеется $n=6$ результатов параллельных наблюдений: 10, 11, 20, 13, 12, 14. Сомнение вызывает третий результат «20». Проверим, является ли результат «20» промахом. Для этого расположим результаты наблюдений в порядке возрастания:

10, 11, 12, 13, 14, 20.

Найдем вспомогательные величины Q'_1 и Q'_2 :

$$Q'_1 = \frac{11 - 10}{20 - 10} = \frac{1}{10} = 0,1, \quad Q'_2 = \frac{20 - 14}{20 - 10} = \frac{6}{10} = 0,6.$$

Для $n=6$ из вышеприведенной таблицы найдем соответствующее значение Q_T : $Q_T = 0,56$.

Ввиду того что $Q'_1 = 0,1 < Q_T = 0,56$, малый результат «10» принадлежит к данной группе наблюдений.

Так как $Q'_2 = 0,6 > Q_T = 0,56$, большой результат «20» не принадлежит к рассматриваемой группе наблюдений.

5.1.3. Построение эмпирического распределения и определение его основных статистических характеристик

Любой контролируемый показатель качества может рассматриваться как некоторая случайная величина x_i . Все свойства случайной величины наиболее полно отражаются законом распределения случайной величины. Между состоянием технологического процесса и законом распределения показателей качества существует органическая связь. Проведение статистического анализа точности и стабильности любого технологического процесса заключается в изучении закона распределения показателей качества, в определении вида закона распределения и его статистических характеристик, несущих информацию об уровне настроенности процесса и его точности.

Воспользуемся примером построения гистограммы (раздел 4.2) по результатам измерений пробивного напряжения

диэлектрических слоев 60 однотипных МОП-структур (таблица 4.2). Там данные были сгруппированы в $L=8$ интервалов при длине интервала $h=3$ (таблица 4.3) и построена гистограмма (рис.4.3). Чтобы описать эмпирическое распределение, необходимо определить его числовые характеристики (среднее арифметическое \bar{x} и дисперсию S^2 или среднее квадратическое отклонение S).

При расчете числовых характеристик используем таблицу частот (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Номер интервала	Границы интервала		Середина интервала x_{i0}	Частота m_i	Середина условного интервала x_{i0}^*	$m_i \cdot x_{i0}^*$	$m_i \cdot (x_{i0}^*)^2$
	\geq	$<$					
1	150	153	151,5	3	-3	-9	27
2	153	156	154,5	5	-2	-10	20
3	156	159	157,5	8	-1	-8	8
4	159	162	160,5	12	0	0	0
5	162	165	163,5	11	1	11	11
6	165	168	166,5	8	2	16	32
7	168	171	169,5	7	3	21	63
8	171	174	172,5	6	4	24	96
Σ						45	257

где $x_{i0}^* = (x_{i0} - x_a)/h$, а x_a – середина интервала с наибольшей частотой ($x_a=160,5$). Согласно данным таблицы 5.4

$$\sum_{i=1}^L m_i \cdot x_{i0}^* = 45, \quad \sum_{i=1}^L m_i \cdot (x_{i0}^*)^2 = 257.$$

С учетом общего количества наблюдений $n = 60$, получим две вспомогательные величины

$$a_1 = \left(\sum_{i=1}^L m_i \cdot x_{i0}^* \right) / n = 45/60 = 0,75 \text{ и } a_2 = \left(\sum_{i=1}^L m_i \cdot (x_{i0}^*)^2 \right) / n = 257/60 = 4,28.$$

Для искомым статистических характеристик получим:

$$\bar{x} = h a_1 + x_a = 3 \cdot 0,75 + 160,5 = 162,75,$$

$$S^2 = h^2 (a_2 - a_1^2) = 3^2 (4,28 - 0,75^2) = 33,46; \quad S = \sqrt{S^2} = \sqrt{33,46} = 5,78.$$

5.1.4. Оценка сходимости эмпирического распределения с теоретическим

Численным методом оценки того, принадлежит ли данная выборка генеральной совокупности с нормальным распределением является метод, разработанный К. Пирсоном и основанный на применении критерия χ^2 . Согласно этому методу, наблюдаемое эмпирическое распределение выборки, выраженное частотами сгруппированного ряда измерений, сравнивается с гипотетическим теоретическим распределением соответствующей генеральной совокупности.

Результаты расчета согласно критерию согласия χ^2 для рассматриваемого выше примера измерения пробивного напряжения диэлектрических слоев 60 однотипных МОП-структур занесем в табл. 5.5.

Таблица 5.5

№ интервала, i	x_{i0}	\tilde{m}_i	$x_{i0} - \bar{x}$	$z_i = \frac{x_{i0} - \bar{x}}{S}$	$\varphi(z_i)$	m_i	χ_i^2
1	151,5	3	-11,25	-1,95	0,0596	1,86	0,441
2	154,5	5	-8,25	-1,43	0,1435	4,76	
3	157,5	8	-5,25	-0,91	0,2637	8,21	0,005
4	160,5	12	-2,25	-0,39	0,3697	11,51	0,021
5	163,5	11	0,75	0,13	0,3956	12,32	0,141
6	166,5	8	3,75	0,65	0,3230	10,06	0,422
7	169,5	7	6,75	1,17	0,2012	6,27	0,085
8	172,5	6	9,75	1,69	0,0957	2,98	3,060
Σ		60					4,175

Во II и III столбцы перенесена информация о средних точках интервалов и количестве наблюдений, попавших в эти интервалы, из предыдущего примера (табл. 5.4). В IV столбце приведены разности между средней точкой интервалов и средним арифметическим (результатом измерения) $x_{i0} - \bar{x}$ (например, для первого интервала получим $x_{10} - \bar{x} = 151,5 - 162,75 = -11,25$).

В V столбце приведены значения $z_i = (x_{i0} - \bar{x})/S$ для каждого интервала. Например, для первого интервала получим $z_1 = (x_{10} - \bar{x})/S = -11,25 / 5,78 = -1,95$.

В VI столбце приведены табличные значения $\varphi(z_i)$ (значения плотности вероятности нормированного нормального распределения – см. Приложение 1), а в VII столбце – теоретическое число наблюдений в каждом интервале $m_i = n \cdot h \cdot \varphi(z_i)/S$. Например, в первом интервале $m_1 = 60 \cdot 3 \cdot 0,0596 / 5,78 = 1,86$.

В результате объединения интервалов, в которых имеется 5 и меньше результатов контроля ($\tilde{m}_1=3, \tilde{m}_2=5$), осталось $L'=7$ интервалов. Для каждого интервала (объединенного интервала) по формуле $\chi^2 = (\tilde{m}_i - m_i)^2 / m_i$ были найдены значения χ^2 . Для первого объединенного интервала получим $\chi_1^2 = (8-6,33)^2/6,33=0,441$, для второго интервала получим $\chi_2^2 = (8-8,21)^2/8,21=0,005$ и т.д.

Суммарное значение для критерия Пирсона $\chi^2 = \sum_{i=1}^{L'} \chi_i^2 = 0,441+0,005+0,021+0,141+0,422+0,085+3,060 = 4,175$. Для $L'=7$ интервалов число степеней свободы будет $k=L'-3 = 7-3 = 4$. Учитывая это, из таблицы Пирсона (Приложение 7) из 95%-го столбца находим нижнее критическое значение $\chi_{\alpha}^2 = 0,711$, а из 5%-го столбца – верхнее критическое значение $\chi_{\beta}^2 = 9,488$.

Так как расчетное значение $\chi^2 = 4,175$ оказалось между нижним и верхним граничными значениями

$$0,711 < 4,175 < 9,488,$$

то гипотеза о нормальности распределения результатов контроля не отвергается.

В тех случаях, когда в выборке относительно небольшое количество наблюдений ($n < 50$) и данные не сгруппированы по интервалам, проверка гипотезы о нормальности распределения осуществляется по так называемому *d-критерию*. Для этого следует вычислить расчетное значение:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot S^*}, \quad (5.7)$$

где x_i – результаты наблюдений данной группы,
 n – число наблюдений в группе,
 \bar{x} – среднее арифметическое,
 S^* – вычисляется по формуле

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (5.8)$$

После того как найдено расчетное значение d -критерия, необходимо его сопоставить с соответствующими критическими табличными значениями (см. Приложение 6), которые выбираются в зависимости от числа параллельных наблюдений. Нижнее граничное значение обозначается $d_{1-\frac{q}{2}}$, а верхнее – $d_{\frac{q}{2}}$.

В таблице Приложения 6 не даются результаты при числе наблюдений $n \leq 10$, так как при столь малом числе параллельных наблюдений проверка гипотезы о нормальности распределения практически невозможна.

Если расчетное значение \tilde{d} окажется между соответствующими табличными значениями

$$d_{1-\frac{q}{2}} \leq \tilde{d} \leq d_{\frac{q}{2}}, \quad (5.9)$$

считается, что результаты наблюдений распределены по нормальному закону.

Пример. Допустим, что в одних и тех же условиях 16 раз повторялось измерение и полученные результаты наблюдений записывались в столбец x_i следующей таблицы:

Таблица 5.6

№ опыта	x_i	$ x_i - \bar{x} $	$(x_i - \bar{x})^2$
1	51	1	1
2	53	3	9
3	49	1	1
4	50	0	0
5	52	2	4
6	49	1	1
7	48	2	4
8	51	1	1
9	47	3	9
10	52	2	4
11	50	0	0
12	51	1	1
13	48	2	4
14	50	0	0
15	49	1	1
16	50	0	0
Σ		20	40

Определим в первую очередь результат измерения:

$$\bar{x} = \frac{51 + 53 + 49 + 50 + 52 + 49 + 48 + 51 + 47 + 52 + 50 + 51 + 48 + 50 + 49 + 50}{16} = 50.$$

Сумма элементов четвертого столбца составляет 40, тогда

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{16} (x_i - \bar{x})^2}{16}} = \sqrt{\frac{40}{16}} = \sqrt{2,5} \approx 1,58.$$

Для расчетного значения d -критерия получим:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^{16} |x_i - \bar{x}|}{16 \cdot 1,58} = \frac{20}{25,28} = 0,791.$$

В последней формуле в числитель подставляется сумма элементов третьего столбца. Полученное расчетное значение нужно сопоставить с соответствующими критическими табличными значениями, которые выбираются из таблицы Приложения 6 для числа наблюдений $n=16$. Нижнее граничное значение $d_{1-\frac{\alpha}{2}} = 0,7236$, а верхнее граничное значение $d_{\frac{\alpha}{2}} = 0,8884$.

Так как расчетное значение \tilde{d} оказалось между нижним и верхним граничными значениями

$$0,7236 \leq 0,791 \leq 0,8884,$$

можно сделать заключение о том, что 16 результатов нашего примера распределены по нормальному закону.

Статистические характеристики играют большую роль не только в определении вида закона распределения случайной величины, но и в объяснении физической сущности явлений, влияющих на характер процесса производства изделий.

5.1.5. Точность статистических оценок и доверительные интервалы

Точность приближений величинами \bar{x} и S параметров μ и σ распределений определяется размерами доверительных интервалов: чем меньше ширина доверительного интервала, тем точнее оценка.

Доверительным интервалом для какого-нибудь параметра (например, μ , σ и т.д.) распределения вероятностей называется интервал со случайными границами, определяющимися выборочной оценкой этого параметра (например, \bar{x} , S и т.д.), охватывающий неизвестный параметр с доверительной вероятностью α .

а) Для математического ожидания доверительный интервал имеет вид

$$\bar{x} - t_{\alpha,k} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\alpha,k} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (5.10)$$

где $t_{\alpha,k}$ – коэффициент Стьюдента, определяемый в зависимости от числа степеней свободы $k = n - 1$ (n – объем выборки, по которой были найдены \bar{x} и S) по таблице t – критерия (см. Приложение 8) при доверительной вероятности α (обычно $\alpha=0,95$).

Пример. Объем выборки $n = 16$. По результатам наблюдений приведенного в начале раздела 5.1 примера : 20,51; 20,53; 20,49; 20,50; 20,52; 20,49; 20,48; 20,51; 20,47; 20,52; 20,50; 20,51; 20,48; 20,50; 20,49; 20,50 см построим доверительный интервал для истинного значе-

ния (математического ожидания) измеряемой величины. Оценка среднего арифметического для данного примера была $\bar{x} = 20,50$ см, а оценка среднего квадратического отклонения — $S = 0,0163$ см. Ввиду того, что у нас имеется $n=16$ результатов наблюдений, число степеней свободы будет $k = n-1=16 - 1=15$. Для 15 степеней свободы из таблицы Стьюдента для доверительной вероятности $\alpha=0,95$ получим $t_{0,95;15}=2,131$. Тогда для нижней границы доверительного интервала получим

$$\bar{x} - t_{\alpha,k} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 20,50 - 2,131 \frac{0,0163}{\sqrt{16}} = 20,50 - 0,009 = 20,491 \text{ см,}$$

а для верхней границы

$$\bar{x} + t_{\alpha,k} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 20,50 + 2,131 \frac{0,0163}{\sqrt{16}} = 20,50 + 0,009 = 20,509 \text{ см.}$$

Таким образом, доверительный интервал для истинного значения измеряемой величины (математического ожидания) в нашем примере имеет следующий вид: $[20,491 ; 20,509]$, а интервальная оценка среднего арифметического

$$\bar{x} \pm t_{\alpha,k} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 20,50 \pm 0,009.$$

Для вычисления доверительных границ среднего значения удобна модифицированная таблица распределения Стьюдента, исключая необходимость извлечения квадратных корней (Приложение 9), так как в ней прямо даны значения t_{α}/\sqrt{n} .

В случае вышеприведенного примера при $n=16$ из этой таблицы для $\alpha = 0,95$ и двустороннего интервала получим $t_{\alpha}/\sqrt{n} =$ и тогда для нижней границы будем иметь

$$\bar{x} - \frac{t_{\alpha}}{\sqrt{n}} \cdot S = 20,50 -$$

для верхней

$$\bar{x} + \frac{t_{\alpha}}{\sqrt{n}} \cdot S = 20,50 +$$

б) Для среднего квадратического отклонения доверительный интервал имеет вид

$$\frac{\sqrt{n-1}}{\chi_*} \cdot S < \sigma < \frac{\sqrt{n-1}}{\chi_{**}} \cdot S, \quad (5.11)$$

где χ_* и χ_{**} – квадратный корень из соответствующих табличных значений критерия χ^2 ($\chi_* = \sqrt{\chi_*^2}$, $\chi_{**} = \sqrt{\chi_{**}^2}$), определяемых из таблицы Пирсона (см. Приложение 7) для числа степеней свободы $k = n - 1$; значение χ_*^2 находим из 5%-го, а χ_{**}^2 – из 95%-го столбца таблицы χ^2 .

Пример. Объем выборки $n=16$. По результатам наблюдений приведенного в начале раздела 5.1 примера : 20,51; 20,53; 20,49; 20,50; 20,52; 20,49; 20,48; 20,51; 20,47; 20,52; 20,50; 20,51; 20,48; 20,50; 20,49; 20,50 см найдем доверительный интервал для среднего квадратического отклонения. Оценка среднего арифметического для данного примера была $\bar{x} = 20,50$ см, а оценка среднего квадратического отклонения – $S = 0,0163$ см.

Ввиду того, что у нас $n = 16$ результатов наблюдений, число степеней свободы будет $k = n-1=16 - 1=15$. Из таблицы Пирсона для пятнадцати степеней свободы из 5%-го столбца находим $\chi_*^2 = 24,996$, а из 95 %-го столбца – $\chi_{**}^2 = 7,261$. Тогда искомые значения будут:

$$\chi_* = \sqrt{\chi_*^2} = \sqrt{24,996} = 5,00 ; \quad \chi_{**} = \sqrt{\chi_{**}^2} = \sqrt{7,261} = 2,69.$$

Тогда для нижней границы доверительного интервала для среднего квадратического отклонения получим $\sqrt{n-1} \cdot S / \chi_* = \sqrt{16-1} \cdot 0,0163 / 5,00 = 0,0126$, а для верхней границы – $\sqrt{n-1} \cdot S / \chi_{**} = \sqrt{16-1} \cdot 0,0163 / 2,69 = 0,0234$.

Таким образом, доверительный интервал для среднего квадратического отклонения в нашем примере имеет следующий вид: $[0,0126; 0,0234]$.

Точность оценок параметров распределения повышается с увеличением числа n (ширина доверительных интервалов с ростом объема выборки уменьшается). Но отсюда вовсе не следует, что объем выборки следует брать как можно большим – такой контроль может оказаться экономически невыгодным. Выбор объема выборки, необходимого для получения доверительного интервала заданной ширины при выбранной доверительной вероятности относительно сложен.

5.1.6. Планирование экспериментов по определению объема выборки

Общий метод планирования экспериментов состоит в задании доверительной вероятности и ширины доверительного интервала, определяющей точность результата, и в вычислении по этим данным необходимого количества испытанных образцов. Для определения различных параметров распределения (среднего значения, дисперсии, среднего квадратического отклонения и др.) это количество оказывается различным при одинаковых точности и достоверности.

Остановимся на довольно широко распространенном на практике случае планирования определения среднего значения. Для определения числа образцов изделия n в выборке необходимо задаться величиной

$$\delta = \frac{\bar{x} - \mu}{S},$$

представляющей собой относительную ошибку оценки истинного среднего значения по выборочным данным.

Учитывая, что

$$\frac{\bar{x} - \mu}{S} = \delta = \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}}, \quad (5.12)$$

для расчета можно применить таблицу значений t_α/\sqrt{n} Приложения 9. Для решения поставленной задачи, задавшись величиной δ , достаточно определить по таблице Приложения 9, для какого n значение δ совпадает со значением t_α для двустороннего интервала. Например, по вышеуказанной таблице находим, что для определения среднего значения с относительной ошибкой 0,4 и доверительной вероятностью 0,95 достаточно 27 измерений.

В табл.5.7 приведены значения минимального числа измерений для шести значений δ и доверительной вероятности 0,90; 0,95; 0,99.

Таблица 5.7

$\delta = \frac{\bar{x} - \mu}{S}$	Доверительная вероятность, α			
	0,90	0,95	0,99	0,999
1,0	5	7	11	17
0,5	13	18	31	50
0,4	19	27	46	74
0,3	32	46	78	127
0,2	70	99	171	277
0,1	273	387	668	1089

На рис.5.3 представлены зависимости ширины одностороннего и половины ширины двустороннего доверительных интервалов среднего значения от числа измерений n для доверительной вероятности 0,95 по уравнению (5.12) и изображенные в логарифмическом масштабе по оси абсцисс.

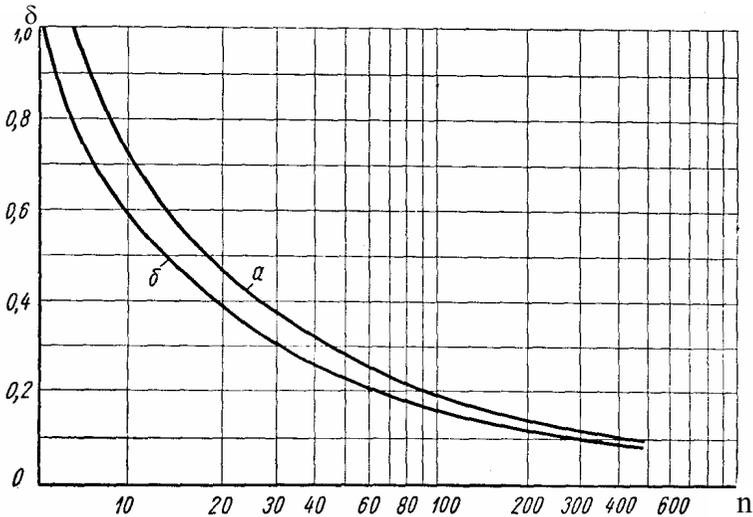


Рис.5.3. Зависимость относительной ошибки $(\bar{x} - \mu)/S$ определения среднего значения с доверительной вероятностью 0,95 от числа измерений n : a – для двустороннего доверительного интервала; b – для одностороннего доверительного интервала

Анализ приведенных на рис.5.3 кривых показывает, что при увеличении числа измерений доверительные интервалы постепенно сужаются, но наклон кривых уменьшается, а это

значит, что эффект от увеличения числа измерений снижается. Следует отметить, что для не очень ответственных и дорогостоящих измерений достаточно 20-30 и даже 10 образцов. И вообще для определения среднего значения не следует брать более 50 образцов, так как дальнейшее увеличение числа измерений и связанные с этим затраты на изготовление образцов и их измерения не оправдываются увеличением точности результата.

Изложенное справедливо, если закон распределения не слишком отличается от нормального. Для неизвестного закона распределения справедлива формула

$$n = \frac{1}{\delta^2(1-\alpha)^2},$$

но она дает слишком большое число измерений. Так, например для тех же исходных данных, что и в предыдущем примере, при неизвестном законе распределения, отличном от нормального, необходимо 125 измерений вместо 27.

5.1.7. Допуски и точность технологического процесса

Изложенные методы обработки экспериментальных данных для определения параметров распределения характеристик качества и доверительных интервалов этих характеристик позволяют (при использовании соответствующих таблиц) найти со сравнительно небольшой затратой времени доверительные границы среднего значения и среднего квадратического отклонения исследуемой характеристики. Эти доверительные границы являются основой для расчета номинальных и предельных значений, а также для оценки показателей качества технологического процесса и контроля точности технологических процессов.

Рассмотрим кратко некоторые понятия о номинальном, действительном и предельных значениях контролируемого параметра, а также о предельных отклонениях и допусках.

Действительное значение – это значение, установленное измерением с допустимой погрешностью; *номинальное значение* – это значение, относительно которого определяются предельные значения и который служит началом отсчета отклонений. *Предельные значения* – два допустимых значения, меж-

ду которыми должно находиться или которым может быть равно действительное значение. Меньшее из двух предельных размеров называется наименьшим предельным значением, большее – наибольшим предельным значением.

Предельное отклонение – это алгебраическая разность между предельным и номинальным значениями. Различают верхнее и нижнее отклонения. *Верхнее* отклонение – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным значениями; *нижнее* – между наименьшим предельным и номинальным значениями. *Среднее* отклонение – среднее арифметическое верхнего и нижнего отклонений.

Допуск – разность между наибольшим и наименьшим предельными значениями контролируемого параметра качества или абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями. *Поле допуска* – это поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями.

Значения, допуски и другие параметры контролируемых изделий (заданные нормативно-технической, конструкторской документацией) в производстве обеспечиваются с помощью технологического процесса. От его точности и стабильности (устойчивости) зависит стабильность качества, надежность и долговечность изделий.

Точность технологического процесса – это степень соответствия результатов его исполнения установленным требованиям. Под *стабильностью технологического процесса* понимается способность обеспечивать в течение заданного времени выпуск продукции неизменного качества.

Точность и устойчивость технологического процесса (производственного оборудования) определяется двумя обобщающими показателями – величиной среднего значения контролируемого параметра качества и величиной рассеивания случайных отклонений параметров качества. Получение изделий в пределах заданного допуска будет обеспечено, если вероятное поле рассеивания отклонений по величине будет меньше или равно полю допуска (рис.5.4.а,б), а середина поля рассеивания расположится возможно ближе к середине поля допуска. Если

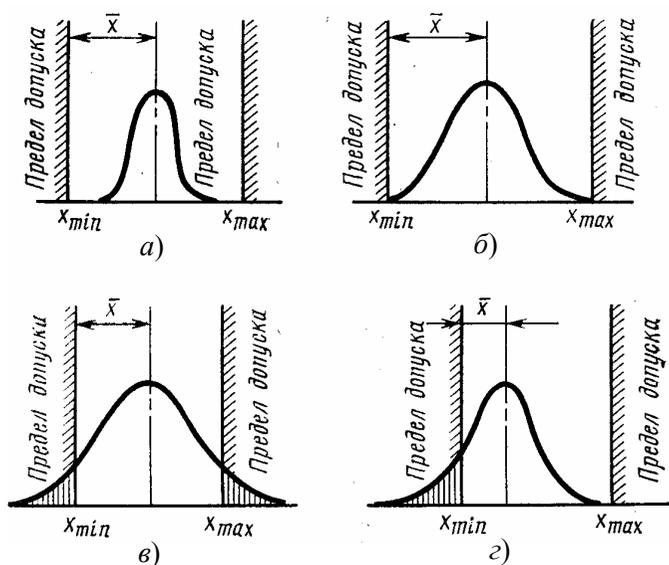


Рис.5.4. Кривые с различным положением относительно пределов допуска:

а – процесс обладает большим запасом в отношении предела допуска; *б* – процесс происходит точно в пределах допуска; *в* – процесс выходит за пределы допуска; *г* – процесс смещается относительно пределов допуска

же вероятное поле рассеивания отклонений по величине будет больше поля допуска (рис.5.4,*в*), или вероятное поле рассеивания отклонений будет равно полю допуска, но середина поля рассеивания окажется смещенной от середины поля допуска (рис.5.4,*г*), то это вызовет появление брака.

5.1.8. Оценка постоянства величины мгновенного рассеивания в пределах одной партии изделий

В зависимости от типа процесса и оборудования величина рассеивания может быть как постоянной в пределах одной партии, так и изменяться по некоторому закону. Для оценки того, изменяется ли величина рассеивания в пределах одной партии, обычно производят сравнение дисперсий первой и

последней групп выборки. Считают, что если расхождение между ними случайное, то погрешности в пределах одной партии не изменяются, если расхождение неслучайно, то делают вывод об изменении величины случайной ошибки по некоторой функциональной зависимости.

Для решения задачи обычно используют критерий Р.Фишера. Допустим, объем первой выборки n_1 и соответствующие значения контролируемого параметра $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n_1}$; объем другой выборки n_2 и соответствующие значения контролируемого параметра $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n_2}$. Определяют выборочные значения дисперсий результатов контроля

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2,$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2,$$

где $\bar{x}_1 = (x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n_1})/n_1$ и $\bar{x}_2 = (x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n_2})/n_2$.

Затем находят расчетное значение критерия Фишера

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (5.13)$$

и это расчетное значение сравнивается с соответствующим верхним (F_6) и нижним (F_n) критическими значениями. Верхнее критическое значение выбирается из таблицы Фишера (Приложение 10) на пересечении столбца, соответствующего числу степеней свободы дисперсии S_1^2 , находящейся в числителе ($k_1 = n_1 - 1$), и строки, соответствующей числу степеней свободы дисперсии S_2^2 , находящейся в знаменателе ($k_2 = n_2 - 1$). Нижнее критическое значение F_n находится следующим образом:

$$F_n = \frac{1}{F_6}.$$

Если расчетное значение окажется между нижним и верхним критическими значениями

$$F_n \leq F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \leq F_6,$$

считается, что дисперсии этих двух групп существенно не отличаются друг от друга (расхождение дисперсий случайное, а следовательно, погрешности в пределах одной партии не изменяются).

Пример. Допустим, имеются результаты контроля двух выборок одной партии:

$$\begin{array}{ll} \text{I.} & 10, 11, 12, 13, 14, \quad n_1=5, \\ \text{II.} & 11, 13, 15. \quad n_2=3. \end{array}$$

Необходимо проверить, изменяются или нет погрешности в пределах партии.

Согласно критерию Фишера найдем средние арифметические группы:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{5}(10+11+12+13+14) = \frac{60}{5} = 12,$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{3}(11+13+15) = \frac{39}{3} = 13.$$

и дисперсии результатов контроля в группах:

$$\begin{aligned} S_1^2 &= \frac{1}{5-1} \left[(10-12)^2 + (11-12)^2 + (12-12)^2 + (13-12)^2 + (14-12)^2 \right] = \\ &= \frac{1}{4} (4+1+0+1+4) = \frac{1}{4} \cdot 10 = 2,5, \end{aligned}$$

$$S_2^2 = \frac{1}{3-1} \left[(11-13)^2 + (13-13)^2 + (15-13)^2 \right] = \frac{1}{2} (4+0+4) = \frac{1}{2} \cdot 8 = 4.$$

Найдем расчетное значение критерия Фишера:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{2,5}{4} = 0,625.$$

Из таблицы Фишера на пересечении $k_1=n_1-1=5-1=4$ столбца и $k_2=n_2-1=3-1=2$ строки найдем $F_6=19,25$. Тогда нижнее критическое значение $F_n=1/F_6=1/19,25 \approx 0,05$.

Ввиду того, что расчетное значение критерия Фишера 0,625 находится между нижним и верхним критическими значениями $0,05 < 0,625 < 19,25$,

считаем, что дисперсии рассматриваемых двух групп однородны, не отличаются существенно друг от друга (т.е. погрешности в пределах партии не изменяются).

Однако сравнение выборочных дисперсий, вычисленных в начале и конце партии, еще не может являться достаточным критерием для того, чтобы считать мгновенные рассеивания постоянными в пределах партии. Часто берут не две, а более выборок (рис. 5.5).

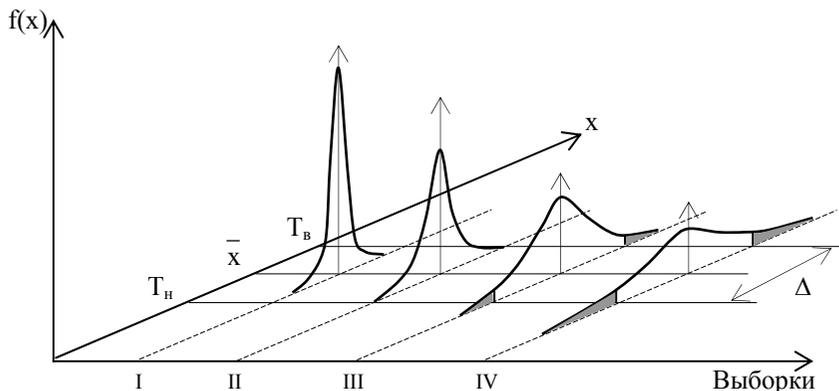


Рис.5.5. К иллюстрации изменения величины рассеивания в пределах одной партии

Для определения параметров мгновенных рассеиваний все результаты измерения разбиваются на группы, в каждую из которых входит 5-25 изделий. Во всех случаях, где это возможно, в каждую группу должно входить одинаковое число изделий. Например, если имеем 240 деталей, разбивку на группы можно провести так, чтобы в каждую из них входило по 20 деталей. Таким образом, 1-ю группу составят детали с порядковыми номерами 1-20, 2-ю – с номерами 21-40, 3-ю – с номерами 41-60 каждого размера (или отклонения от номинальной величины). Далее производится вычисление средних значений (\bar{x}) и средних квадратических отклонений (S) (или дисперсий S^2) по каждой группе.

В тех случаях, когда объемы всех выборок, по которым вычислялись дисперсии одинаковы

- I. $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n},$,
 II. $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n},$,

 L. $x_{L1}, x_{L2}, \dots, x_{Ln},$,

для оценки однородности дисперсий целесообразно использовать критерий Кокрена. Кокрен предложил рассматривать отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum_{i=1}^L S_i^2} . \quad (5.14)$$

Полученное расчетное значение сравнивают с критическим табличным значением G_T (Приложение 11). Эта таблица имеет два входа: L – число выборочных значений S_i^2 , $k=n-1$ – число степеней свободы. Если найденное по заданным дисперсиям значение G не превышает табличное, т.е. если $G \leq G_T$, расхождение между дисперсиями следует считать незначимым (дисперсии однородны).

Пример. Допустим, имеются результаты контроля отклонений размера детали от номинала в мкм для трех выборок ($L=3$) с равным числом объемов этих выборок ($n=5$):

- I. 10, 11, 14, 12, 13,
 II. 9, 12, 11, 10, 13,
 III. 8, 10, 12, 14, 16.

Необходимо проверить, изменяются или нет дисперсии в пределах партии.

Согласно критерию Кокрена найдем средние арифметические группы:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{5}(10 + 11 + 14 + 12 + 13) = \frac{60}{5} = 12,$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{5}(9 + 12 + 11 + 10 + 13) = \frac{55}{5} = 11,$$

$$\bar{x}_3 = \frac{1}{5}(8 + 10 + 12 + 14 + 16) = \frac{60}{5} = 12$$

и дисперсии результатов контроля в группах

$$S_1^2 = \frac{1}{5-1} [(10-12)^2 + (11-12)^2 + (12-12)^2 + (14-12)^2 + (13-12)^2] =$$

$$= \frac{1}{4} (4 + 1 + 0 + 4 + 1) = \frac{1}{4} \cdot 10 = 2,5,$$

$$S_2^2 = \frac{1}{5-1} [(9-11)^2 + (12-11)^2 + (11-11)^2 + (10-11)^2 + (13-11)^2] =$$

$$= \frac{1}{4} (4 + 1 + 0 + 1 + 4) = \frac{1}{4} \cdot 10 = 2,5,$$

$$S_3^2 = \frac{1}{5-1} [(8-12)^2 + (10-12)^2 + (12-12)^2 + (14-12)^2 + (16-12)^2] =$$

$$= \frac{1}{4} (16 + 4 + 0 + 4 + 16) = \frac{1}{4} \cdot 40 = 10.$$

Затем определим расчетное значение критерия Кокрена:

$$G = \frac{10}{2,5 + 2,5 + 10} = \frac{10}{15} = 0,6666.$$

Ввиду того, что в данном примере $n-1 = 5-1 = 4$, а $L=3$, на пересечении 4 столбца и строки $L=3$ таблицы Приложения 11 находим табличное значение $G_T = 0,7457$. Так как полученное нами расчетное значение меньше табличного ($G=0,6666 < G_T=0,7457$), дисперсии рассматриваемых выборочных групп однородны, т.е. существенно не отличаются друг от друга.

Если взято $L > 2$ выборок, но в выборках неравное значение результатов контроля

I. $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$.

II. $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n}$,

.....

L. $x_{L1}, x_{L2}, \dots, x_{Ln}$.

то для сравнения выборочных дисперсий используют критерий Бартлетта.

Согласно критерию Бартлетта, для проверки однородности дисперсий необходимо вычислить дисперсии результатов каждой из групп $S_1^2, S_2^2, \dots, S_L^2$. Затем вычисляется усредненная дисперсия по формуле

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{N-L} \sum_{i=1}^L S_i^2 (n_i - 1), \quad (5.15)$$

где N – общее число наблюдений во всех группах, т.е.

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_L.$$

Далее определяется коэффициент C :

$$C = 1 + \frac{1}{3(L-1)} \left(\sum_{i=1}^L \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{N-L} \right). \quad (5.16)$$

Если в группах имеется большое число параллельных наблюдений ($n \geq 30$), то в этом случае коэффициент C можно не вычислять и его принимают равным $C=1$.

Затем вычисляют расчетное значение:

$$\chi^2 = \frac{2,303}{C} \left[(N-L) \lg \bar{S}^2 - \sum_{i=1}^L (n_i - 1) \lg S_i^2 \right]. \quad (5.17)$$

Полученное расчетное значение χ^2 необходимо сравнить с соответствующим критическим значением χ^2_{τ} , которое выбирается из таблицы Пирсона (Приложение 7) из 5%-го столбца для числа степеней свободы $L-1$. Если расчетное значение не превышает табличного, т.е. $\chi^2 \leq \chi^2_{\tau}$, то в этом случае считается, что дисперсии рассматриваемых групп однородны (расхождение между дисперсиями, а следовательно и между мгновенными рассеиваниями незначимы).

Пример. Допустим, имеются результаты контроля отклонения размера детали от номинала в мкм для трех выборок ($L=3$):

I. 9,9; 10,1; 10,2; 10,4; 10,5; 10,7;

II. 11,0; 11,2; 10,5; 11,6; 10,7;

III. 12,0; 12,4; 12,6; 12,3.

Общее число наблюдений во всех группах равно:

$$N = n_1 + n_2 + n_3 = 6 + 5 + 4 = 15.$$

Вычислим средние арифметические групп:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{6} (9,9 + 10,1 + 10,2 + 10,4 + 10,5 + 10,7) = 10,3,$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{5} (11,0 + 11,2 + 10,5 + 11,6 + 10,7) = 11,0,$$

$$\bar{x}_3 = \frac{1}{4}(12,0 + 12,4 + 12,6 + 12,3) = 12,32,$$

а также дисперсии результатов наблюдений:

$$S_1^2 = \frac{1}{6-1} [(9,9-10,3)^2 + (10,1-10,3)^2 + (10,2-10,3)^2 + (10,4-10,3)^2 + (10,5-10,3)^2 + (10,7-10,3)^2] = 0,084,$$

$$S_2^2 = \frac{1}{5-1} [(11,0-11,0)^2 + (11,2-11,0)^2 + (10,5-11,0)^2 + (11,6-11,0)^2 + (10,7-11,0)^2] = 0,185,$$

$$S_3^2 = \frac{1}{4-1} [(12,0-12,32)^2 + (12,4-12,32)^2 + (12,6-12,32)^2 + (12,3-12,32)^2] = 0,062.$$

Найдем усредненную дисперсию:

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{15-3} [0,084 \cdot (6-1) + 0,185 \cdot (5-1) + 0,062 \cdot (4-1)] = 0,112.$$

Определим значение коэффициента C :

$$C = 1 + \frac{1}{3(3-1)} \left[\frac{1}{6-1} + \frac{1}{5-1} + \frac{1}{4-1} - \frac{1}{15-3} \right] = 1,117.$$

Найдем расчетное значение χ^2 :

$$\chi^2 = \frac{2,303}{1,117} [(15-3) \lg 0,112 - (6-1) \lg 0,084 - (5-1) \lg 0,185 - (4-1) \lg 0,062] = 1,078.$$

Полученное значение $\chi^2 = 1,078$ необходимо сравнить с соответствующим критическим значением, которое выбирается из таблицы χ^2 для числа степеней свободы $L-1=3-1=2$ из 5%-го столбца: $\chi^2_T = 5,991$.

Ввиду того что расчетное значение меньше табличного $\chi^2 = 1,078 < \chi^2_T = 5,991$, считаем, что дисперсии рассматриваемых трех групп параллельных наблюдений однородны.

5.1.9. Оценка наличия систематического смещения центра рассеивания в пределах одной партии изделий

Оценка наличия систематических ошибок в пределах одной партии деталей может проводится путем определения существенности расхождения между средними значениями, вычисляемыми по выборкам, взятым из начала и конца партии.

Для этой оценки можно использовать критерий Стьюдента t .

По данным контроля двух групп

I. $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n_1}$,

II. $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n_2}$,

содержащих соответственно n_1 и n_2 результатов наблюдений определяем средние арифметические и дисперсии этих двух групп выборок

$$\bar{x}_1 = (x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n_1}) / n_1, \quad \bar{x}_2 = (x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n_2}) / n_2,$$

$$S_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_{1i} - \bar{x}_1)^2, \quad S_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_{2i} - \bar{x}_2)^2.$$

Затем находим расчетное значение

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{|n_1 S_1^2 - n_2 S_2^2|}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (5.18)$$

и сравниваем его с табличным критическим значением t_q , которое выбирается из таблицы критерия Стьюдента (см. Приложение 8) для числа степеней свободы $k = n_1 + n_2 - 2$. Если расчетное значение не превышает табличное $t \leq t_q$, считается, что средние арифметические рассматриваемых двух групп существенно не отличаются друг от друга, центр рассеивания не смещается (систематические ошибки постоянны).

Следует обратить внимание на то, что этот критерий можно использовать только в том случае, если по описанному выше методу Фишера установлено, что расхождение между S_1^2 и S_2^2 случайное, или равенство дисперсий в сравниваемых выборках, очевидно, следует из специфической сущности технологического процесса.

Пример. Пусть имеется две группы данных контроля, соответствующие выборкам, взятым из начала и конца партии:

I. 10, 12, 8, 9, 11, $n_1 = 5$,

II. 11, 9, 13, $n_2 = 3$.

Необходимо проверить существенность расхождения между средними значениями, вычисляемыми по этим выборкам.

Находим

$$\bar{x}_1 = \frac{10+12+8+9+11}{5} = 10, \quad \bar{x}_2 = \frac{11+9+13}{3} = 11,$$

$$S_1^2 = \frac{1}{5-1} [(10-10)^2 + (12-10)^2 + (8-10)^2 + (9-10)^2 + (11-10)^2] = \\ = \frac{1}{4} (0+4+4+1+1) = 2,5,$$

$$S_2^2 = \frac{1}{3-1} [(11-11)^2 + (9-11)^2 + (13-11)^2] = \frac{1}{2} (0+4+4) = 4,0.$$

Затем получим расчетное значение:

$$t = \frac{|10-11|}{\sqrt{|5 \cdot 2,5 - 3 \cdot 4,0|}} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 3(5+3-2)}{5+3}} = 4,74.$$

Далее, учитывая, что число степеней свободы в нашем примере $k=n_1+n_2-2=5+3-2=6$, из таблицы Стьюдента для шести степеней свободы получим критическое значение $t_q=2,447$.

Ввиду того, что расчетное значение больше табличного $t=4,74 > t_q=2,447$, делаем заключение о том, что средние значения, вычисляемые по этим выборкам существенно отличаются друг от друга – центр рассеивания смещается.

Однако такой способ дает возможность выявить наличие изменения во времени величин систематических ошибок только в том случае, когда величина систематической ошибки существенно отлична от величин случайных ошибок. При небольших смещениях в пределах одной партии центра рассеивания этот критерий может приводить к неверным результатам. Такой подход может привести к ошибочным выводам также в том случае, когда систематические ошибки смещаются по сложной зависимости, имеющей максимум в некоторый промежуточный момент, не совпадающий со временем обработки конца партии.

Для определения смещения центра рассеивания размеров деталей в пределах одной партии при наличии более двух выборок [например, в начале, середине и конце партии; через равный промежуток времени; проведя измерение деталей в последовательности их обработки для всей партии, а затем всю партию разбив на некоторое число групп, каждую из

которых приняв за выборку (рис.5.6)] можно применить следующий способ.

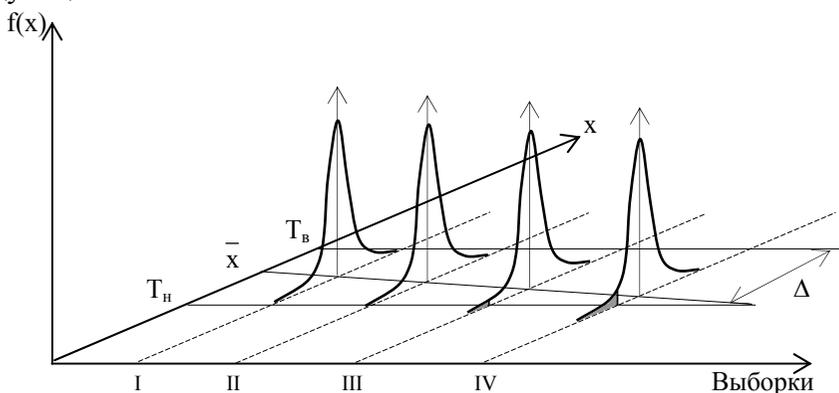


Рис. 5.6. К иллюстрации смещения центра рассеивания в пределах одной партии

Допустим, имеется L групп параллельных наблюдений:

- I. $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n_1}$,
 II. $x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2n_2}$,

 L. $x_{L1}, x_{L2}, \dots, x_{Ln_L}$.

Для проверки смещения центра рассеивания (средних арифметических значений) по критерию Фишера необходимо определить средние арифметические каждой из групп: $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_L$. Затем определяется совокупное среднее по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L n_i \bar{x}_i, \quad (5.19)$$

где N – суммарное число наблюдений всех групп, т.е.

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_L.$$

После этого определяются межгрупповая дисперсия

$$S_{\Sigma L}^2 = \frac{1}{L-1} \sum_{i=1}^L n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (5.20)$$

с числом степеней свободы $k_I = L-1$ и среднее значение внутригрупповых дисперсий:

$$\bar{S}_{nL}^2 = \frac{1}{N-L} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (5.21)$$

с числом степеней свободы $k_2=N-L$.

Затем определяется расчетное значение критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{\Sigma L}^2}{\bar{S}_{nL}^2}.$$

Полученное расчетное значение сопоставляется с критическими значениями F_α и F_n , из которых верхнее критическое значение находят из таблицы Фишера (см. Приложение 10) на пересечении $k_1=L-1$ столбца и $k_2=N-L$ строки. Нижнее критическое значение получают следующим образом: $F_n = 1/F_\alpha$.

Если расчетное значение окажется между нижним и верхним критическими значениями, т.е.

$$F_n \leq \frac{S_{\Sigma L}^2}{\bar{S}_{nL}^2} \leq F_\alpha,$$

считается, что средние арифметические этих групп наблюдений существенно не отличаются друг от друга, т.е. смещение центра рассеивания не имеет места.

Пример. На станке обрабатывались последовательно 100 одинаковых деталей. Для контроля было взято 5 выборок объемом по 6 деталей. Каждая выборка бралась через 20 отработанных деталей, т.е. первая выборка – это детали № 1-6, вторая – детали № 21-26, третья – детали № 41- 46, четвертая – детали № 61-66, пятая – детали № 81-86 (номера деталей соответствуют последовательности их обработки). Ниже приведены отклонения размеров отобранных деталей партии от номинала в мкм, полученные в результате контроля:

- I. -5; -4; -5; -4; -5; -5;
- II. -7; -6; -6; -6; -6; -5;
- III. -4; -4; -4; -4; -4; -5;
- IV. -2; -4; -2; -3; -3; -3;
- V. -3; -2; -4; -2; -3; -4.

Для определения смещения центра рассеивания отклонений размеров деталей в пределах партии используем вышеописанный критерий. Найдем средние значения групп:

$$\bar{x}_1 = [(-5)+(-4)+(-5)+(-4)+(-5)+(-5)]/6 = -4,67;$$

$$\bar{x}_2 = [(-7)+(-6)+(-6)+(-6)+(-6)+(-5)]/6 = -6,00;$$

$$\bar{x}_3 = [(-4)+(-4)+(-4)+(-4)+(-4)+(-5)]/6 = -4,17;$$

$$\bar{x}_4 = [(-2)+(-4)+(-2)+(-3)+(-3)+(-3)]/6 = -2,83;$$

$$\bar{x}_5 = [(-3)+(-2)+(-4)+(-2)+(-3)+(-4)]/6 = -3,00,$$

совокупное среднее

$$\begin{aligned}\bar{\bar{x}} &= \frac{1}{30} [6 \cdot (-4,67) + 6 \cdot (-6,00) + 6 \cdot (-4,17) + 6 \cdot (-2,83) + 6 \cdot (-3,00)] = \\ &= \frac{6}{30} \cdot [-4,67 - 6,00 - 4,17 - 2,83 - 3,00] = \frac{1}{5} \cdot (-20,67) = -4,13.\end{aligned}$$

Межгрупповая дисперсия

$$\begin{aligned}S_{\Sigma}^2 &= \frac{1}{5-1} \{6[(-4,67) - (-4,13)]^2 + 6[(-4,67) - (-4,13)]^2 + 6[(-4,67) - (-4,13)]^2 + \\ &+ 6[(-3,00) - (-4,13)]^2\} = \frac{1}{4} \cdot 6\{0,2916 + 3,4969 + 0,0016 + 1,69 + 1,2769\} = \frac{3}{2} \cdot 6,757 = 10,135,\end{aligned}$$

среднее значение внутригрупповых дисперсий:

$$\begin{aligned}\bar{S}_{nL}^2 &= \frac{1}{30-5} \{[(-5) - (-4,67)]^2 + [(-4) - (-4,67)]^2 + [(-5) - (-4,67)]^2 + [(-4) - (-4,67)]^2 + \\ &+ [(-5) - (-4,67)]^2 + [(-5) - (-4,67)]^2 + [(-7) - (-6,00)]^2 + [(-6) - (-6,00)]^2 + \\ &+ [(-6) - (-6,00)]^2 + [(-6) - (-6,00)]^2 + [(-6) - (-6,00)]^2 + [(-5) - (-6,00)]^2 + \\ &+ [(-4) - (-4,17)]^2 + [(-4) - (-4,17)]^2 + [(-4) - (-4,17)]^2 + [(-4) - (-4,17)]^2 + \\ &+ [(-4) - (-4,17)]^2 + [(-5) - (-4,17)]^2 + [(-2) - (-2,83)]^2 + [(-4) - (-2,83)]^2 + \\ &+ [(-2) - (-2,83)]^2 + [(-3) - (-2,83)]^2 + [(-3) - (-2,83)]^2 + [(-3) - (-2,83)]^2 + \\ &+ [(-3) - (-3,00)]^2 + [(-2) - (-3,00)]^2 + [(-4) - (-3,00)]^2 + [(-2) - (-3,00)]^2 + \\ &+ [(-3) - (-3,00)]^2 + [(-4) - (-3,00)]^2\} = 0,440.\end{aligned}$$

Расчетное значение критерия Фишера в этом случае будет равно: $F = 10,135 / 0,440 = 23,03$. Ввиду того, что дисперсия S_{Σ}^2 имеет число степеней свободы $k_1 = L - 1 = 5 - 1 = 4$, а дисперсия $\bar{S}_{nL}^2 - k_2 = N - L = 30 - 5 = 25$, на пересечении 4-го столбца и 25-ой строки таблицы Фишера находим $F_{\alpha} = 2,76$. Тогда $F_n = 1/F_{\alpha} = 1/2,76 = 0,36$.

Ввиду того, что расчетное значение 23,03 не попало в интервал $[0,36; 2,76]$, следует считать, что средние арифметические отдельных выборок существенно отличаются друг от друга, т.е.

нельзя считать, что центр рассеивания размеров не смещался во времени.

Для определения смещения центра рассеивания некоторого признака в пределах одной партии при наличии нескольких выборок ($L > 2$) можно применить также и метод однофакторного дисперсионного анализа.

Допустим имеется L выборок в каждой из которых по n деталей (образцов). Результаты контроля занесем в следующую таблицу.

Таблица 5.8

Номер детали в выборке	Номер выборки			
	1	2	...	L
1	x_{11}	x_{21}		x_{k1}
2	x_{12}	x_{22}	⋮	x_{k2}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	x_{1n}	x_{2n}		x_{kn}
Σ	X_1	X_2	...	X_k

Дисперсионный анализ проводится в соответствии со следующим алгоритмом.

Вначале определяют суммы результатов контроля по выборкам (суммы по столбцам):

$$X_1 = x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n},$$

$$X_2 = x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n},$$

$$\dots$$

$$X_L = x_{L1} + x_{L2} + \dots + x_{Ln}.$$

Затем находят три вспомогательные величины:

а) сумму квадратов всех результатов контроля, помещенных в таблицу:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 ;$$

б) сумму квадратов сумм по выборкам, деленную на число деталей в выборке:

$$Q_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L X_i^2 ;$$

в) квадрат суммы всех результатов контроля таблицы, деленный на число результатов:

$$Q_3 = \frac{1}{Ln} \left(\sum_{i=1}^L X_i \right)^2.$$

Далее находят дисперсию S_0^2 , связанную с ошибкой воспроизводимости и дисперсию $S_{\text{выб.}}^2$, связанную с влиянием выборок:

$$S_0^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{L(n-1)}, \quad S_{\text{выб.}}^2 = \frac{Q_2 - Q_3}{L-1}.$$

Определяют расчетное значение критерия Фишера $F = |S_{\text{выб.}}^2 / S_0^2|$; Из таблицы Фишера (см. Приложение 10) на пересечении $(L-1)$ -го столбца и $L(n-1)$ -ой строки находят критическое значение F_6 .

Если расчетное значение превышает табличное $F > F_6$, смещение центра рассеивания в пределах исследуемой партии существенно.

Пример. Контролируется время успокоения аналоговых приборов, сошедших с конвейера. Партия состоит из 30 приборов и должны быть проверены все. Измеренное время успокоения в секундах составило (в порядке поступления приборов с конвейера):

3,2; 3,1; 3,1; 2,8; 3,3; 3,0; 2,6; 3,1; 2,7; 2,9; 2,7; 2,8; 2,9; 2,6; 3,0; 3,1; 3,0; 2,8; 3,7; 3,4; 3,2; 3,3; 3,5; 3,3; 3,0; 3,4; 3,2; 3,5; 2,9; 3,1.

Всю партию разобьем на 5 групп (пять выборок) по шесть приборов в каждой в порядке поступления с конвейера. Данные приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9

Номер прибора в выборке	Номер выборки				
	1	2	3	4	5
1	3,2	2,6	2,9	3,7	3,0
2	3,1	3,1	2,6	3,4	3,4
3	3,1	2,7	3,0	3,2	3,2
4	2,8	2,9	3,1	3,3	3,5
5	3,3	2,7	3,0	3,5	2,9
6	3,0	2,8	2,8	3,3	3,1
Σ	18,5	16,8	17,4	20,4	19,1

Согласно описанному алгоритму однофакторного дисперсионного анализа, найдем суммы результатов наблюдений по выборкам:

$$X_1 = 3,2 + 3,1 + 3,1 + 2,8 + 3,3 + 3,0 = 18,5 \quad \text{для выборки №1,}$$

$$X_2 = 2,6 + 3,1 + 2,7 + 2,9 + 2,7 + 2,8 = 16,8 \quad \text{для выборки №2,}$$

$$X_3 = 2,9 + 2,6 + 3,0 + 3,1 + 3,0 + 2,8 = 17,4 \quad \text{для выборки №3,}$$

$$X_4 = 3,7 + 3,4 + 3,2 + 3,3 + 3,5 + 3,3 = 20,4 \quad \text{для выборки №4,}$$

$$X_5 = 3,0 + 3,4 + 3,2 + 3,5 + 2,9 + 3,1 = 19,1 \quad \text{для выборки №5.}$$

Найдем три вспомогательные величины:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^6 x_{ij}^2 = 3,2^2 + 3,1^2 + 3,1^2 + 2,8^2 + 3,3^2 + 3,0^2 + 2,6^2 + 3,1^2 + \dots + 3,1^2 = 285,6,$$

$$Q_2 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^5 X_i^2 = \frac{1}{6} (18,5^2 + 16,8^2 + 17,4^2 + 20,4^2 + 19,1^2) = 284,7,$$

$$Q_3 = \frac{1}{5 \cdot 6} \left(\sum_{i=1}^5 X_i \right)^2 = \frac{1}{30} (18,5 + 16,8 + 17,4 + 20,4 + 19,1)^2 = 283,4.$$

Вычислим дисперсию, связанную с ошибкой эксперимента:

$$S_0^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{L(n-1)} = \frac{285,6 - 284,7}{5(6-1)} = \frac{0,9}{25} = 0,036.$$

$$S_{\text{выб.}}^2 = \frac{Q_2 - Q_3}{L-1} = \frac{284,7 - 283,4}{5-1} = \frac{1,3}{4} = 0,325.$$

$$F = \left| \frac{S_{\text{Аввыб}}^2}{S_0^2} \right| = \left| \frac{0,325}{0,036} \right| = 9,03.$$

Ввиду того что дисперсия $S_{\text{выб.}}^2$ определена с числом степеней свободы $L-1=5-1=4$, а дисперсия S_0^2 – с числом степеней свободы $L(n-1)=5(6-1)=25$, критическое значение F_α находим на пересечении 4-го столбца и 25-ой строки таблицы Фишера – $F_\alpha = 2,76$. Так как расчетное значение $F = 9,03 > F_\alpha = 2,76$, делаем заключение о том, что смещение центра рассеивания времени успокоения в пределах исследуемой партии имеет место.

5.1.10. Корреляционный анализ

Рассмотрим сначала две случайные величины (например, два различных показателя качества) X и Y . В корреляционном анализе они предполагаются равнозначными и измеримыми, появляющимися в виде пар значений при многократном повторении опытов эксперимента. Задача состоит в обработке ре-

зультатов наблюдений, в каждом из которых контролируются одновременно значения величин X и Y . Полученные результаты измерений объема n состоят из n пар значений $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$, которые можно истолковать как реализации двумерного случайного вектора (X, Y) .

Информацию о наличии связи между X и Y , а также о силе (тесноте) этой связи дает эмпирический коэффициент корреляции между значениями x и y :

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y}, \quad (5.22)$$

где средние арифметические \bar{x} и \bar{y}

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{и} \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

являются выборочными точечными оценками для математических ожиданий μ_x и μ_y случайных величин X и Y , а средние квадратические отклонения S_x и S_y

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{и} \quad S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

являются выборочными точечными оценками для средних квадратических отклонений σ_x и σ_y случайных величин X и Y .

Так как случайные величины X и Y равноправные, порядок индексов не важен и $r_{xy} = r_{yx}$.

Эмпирический коэффициент r_{xy} — это выборочная оценка для истинного коэффициента корреляции ρ_{xy} , который является мерой силы (тесноты) и направления линейной связи между значениями компонент случайного вектора (X, Y) . Коэффициент парной корреляции может меняться в пределах $-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$.

Если $|\rho_{xy}| = 1$, то существует линейная функциональная зависимость между x и y . В этом случае результаты наблюдений случайного вектора (X, Y) в выборке объема n находятся на одной прямой (рис.5.7, а, б).

Если $0 < |\rho_{xy}| < 1$, то существует линейная связь между значениями x и y , но она слабее, хотя результаты наблюдений случайного вектора (X, Y) группируются вблизи некоторой прямой (рис. 5.7, в, г).

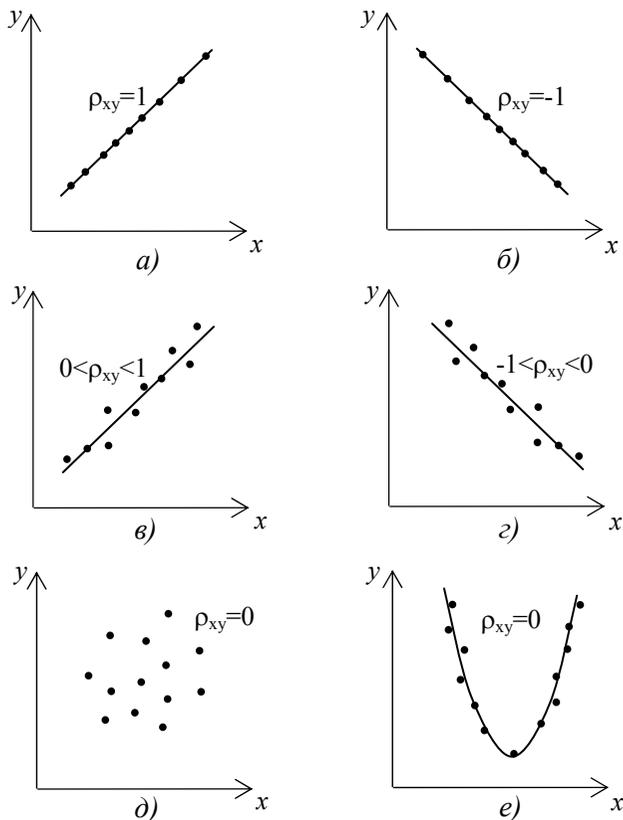


Рис. 5.7. Типичные варианты расположения точек при корреляционном анализе

Если $\rho_{xy} = 0$, то невозможно в общем случае сделать вывод о независимости случайных величин X и Y . Можно лишь утверждать, что линейная связь отсутствует (нелинейная связь при этом не исключается, как это видно из рис.5.7,е). Однако существуют случаи, когда равенство $\rho_{xy} = 0$ означает независимость случайных величин X и Y , например, если

случайные величины X и Y имеют нормальное или равномерное распределение.

Из вышеприведенного рассмотрения свойств коэффициента корреляции можно сделать вывод о том, что корреляционный анализ наиболее эффективен, когда есть основания предполагать преобладающий характер линейной связи между исследуемыми переменными X и Y . Применение корреляционного анализа при нелинейной зависимости между переменными нецелесообразно.

При достаточно большом объеме выборки n выборочный (эмпирический) коэффициент корреляции r_{xy} приближенно равен генеральному коэффициенту ρ_{xy} . В связи со случайностью выборки выборочный коэффициент корреляции r_{xy} может быть отличен от нуля, даже если между наблюдаемыми величинами нет корреляции. Следовательно, для проверки гипотезы об отсутствии корреляции необходимо проверить, значимо ли отличается r_{xy} от нуля.

Если распределение исследуемых величин X и Y можно считать нормальным, то проверку значимости эмпирического коэффициента корреляции осуществляют по таблице Приложения 12, содержащей рассчитанные заранее наибольшие случайные значения коэффициента корреляции.

Между наблюдаемыми величинами есть корреляция, если $|r_{xy}| > r_t$, где критические значения коэффициента корреляции выбираются из соответствующей таблицы (см. Приложение 12) для числа степеней свободы $k = n-2$ при выбранном уровне значимости $q = 1-\alpha$ (обычно доверительная вероятность $\alpha=0,95$ и уровень значимости $q = 0,05$).

После того как установлена значимость эмпирического коэффициента корреляции, он может быть использован для прогнозирования значений одной из случайных величин, если известно значение второй. Чем ближе коэффициент корреляции к единице, тем точнее могут быть предсказаны значения x по известным значениям y . Именно это обстоятельство позволяет при организации статистического текущего контроля кон-

тролировать только один показатель качества и по его величине судить о других показателях качества.

Пример. Нужно определить наличие корреляционной зависимости между двумя контролируруемыми параметрами по данным столбцов x и y нижеследующей таблицы с учетом того, что выборка содержит $n=16$ пар наблюдений (x_i, y_i) и распределения контролируемых величин можно считать нормальным.

Таблица 5.10

№ п/п	x	y	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
1	20,51	41,04	0,01	0,03	0,0001	0,0009	0,0003
2	20,53	41,12	0,03	0,11	0,0009	0,0121	0,0033
3	20,49	41,00	-0,01	-0,01	0,0001	0,0001	0,0001
4	20,50	41,02	0	0,01	0	0,0001	0
5	20,52	41,08	0,02	0,07	0,0004	0,0049	0,0014
6	20,49	40,95	-0,01	-0,06	0,0001	0,0036	0,0006
7	20,48	40,93	-0,02	-0,08	0,0004	0,0064	0,0016
8	20,51	41,05	0,01	0,04	0,0001	0,0016	0,0004
9	20,47	40,91	-0,03	-0,10	0,0009	0,0100	0,0030
10	20,52	41,09	0,02	0,08	0,0004	0,0064	0,0016
11	20,50	41,03	0	0,02	0	0,0004	0
12	20,51	41,04	0,01	0,03	0,0001	0,0009	0,0003
13	20,48	40,94	-0,02	-0,07	0,0004	0,0049	0,0014
14	20,50	41,03	0	0,02	0	0,0004	0
15	20,49	40,96	-0,01	-0,05	0,0001	0,0025	0,0005
16	20,50	41,02	0	0,01	0	0,0001	0
Σ	328	656,21			0,0040	0,0553	0,0145

Необходимые суммы для вычисления $\bar{x}, \bar{y}, S_x, S_y$ и r_{xy} приведены в последней строке таблицы 5.10.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{16} x_i}{16} = \frac{328}{16} = 20,50; S_x = \sqrt{\frac{1}{16-1} \sum_{i=1}^{16} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{15} \cdot 0,0040} = 0,0163;$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{16} y_i}{16} = \frac{656,21}{16} = 41,01; S_y = \sqrt{\frac{1}{16-1} \sum_{i=1}^{16} (y_i - \bar{y})^2} = \sqrt{\frac{1}{15} \cdot 0,0553} = 0,0607;$$

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(16-1)S_x S_y} = \frac{0,0145}{15 \cdot 0,0163 \cdot 0,0607} = \frac{0,0145}{0,0148} = 0,979 \approx 0,98.$$

Вычисленное значение $r_{xy}=0,98>0$. Однако прежде чем делать вывод о наличии корреляционной зависимости между контролируемыми параметрами следует проверить, значим ли этот эмпирический коэффициент корреляции, если он получен из выборки объема $n=16$. Для числа степеней свободы $k = n-2=16-2=14$ из таблицы Приложения 12 для уровня значимости 0,05 (доверительной вероятности $\alpha = 0,95$) получим табличное значение $r_T = 0,47$. Следовательно можно сделать заключение, что с доверительной вероятностью 0,95 корреляция значима ($r_{xy}>0,47$) и, следовательно, при организации статистического текущего контроля достаточно контролировать лишь один из двух исследуемых параметров качества.

Проведенный анализ для двух переменных X и Y легко обобщается на случай многих переменных. Рассмотрим многомерный случайный вектор X (переменные X_1, X_2, \dots, X_p), реализациями которого являются наборы значений $(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi})$, $i=1,2,\dots,n$.

№ п/п	X_1	X_2	...	X_p
1	x_{11}	x_{21}	...	x_{p1}
2	x_{12}	x_{22}	...	x_{p2}
3	x_{13}	x_{23}	...	x_{p3}
.
.
n	x_{1n}	x_{2n}	...	x_{pn}

Вычисляя попарные эмпирические коэффициенты корреляции $r_{x_k x_e}$ образуют эмпирическую корреляционную матрицу

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2p} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \dots & r_{3p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{p1} & r_{p2} & r_{p3} & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

Эта матрица симметрична относительно главной диагонали, так как $r_{x_k x_l} = r_{x_l x_k}$ ($r_{kl} = r_{lk}$); на главной диагонали расположены единицы.

Важным свойством корреляционной матрицы является то, что ее определитель удовлетворяет неравенству

$$0 \leq R_x \leq 1.$$

Определитель корреляционной матрицы характеризует глубину связи между компонентами вектора X : если $|R_x| \rightarrow 1$ то компоненты вектора X независимы, если $|R_x| \rightarrow 0$, то значение отдельного компонента является линейной комбинацией всех остальных. Последнее возможно даже в случае, когда в матрице R_x нет больших значений r_{kl} , т. е. корреляция может быть существенной в целом.

5.1.11. Регрессионный анализ

К регрессионному анализу обращаются в том случае, когда есть основания предполагать наличие причинно-следственной связи между измеримыми переменными X и Y (в случае парной регрессии) или переменными X_1, X_2, \dots, X_k и Y (в случае многофакторной регрессии). Эксперимент по установлению регрессионной зависимости между переменными внешне может ничем не отличаться от эксперимента по установлению корреляционной зависимости. Однако при регрессионном анализе в отличие от корреляционного изначально закладывается неравнозначность между X и Y (в случае парной регрессии) или между X_1, X_2, \dots, X_k и Y (в случае многофакторной регрессии). В случае парной регрессии X считают независимой переменной, а Y – зависимой, принимающей свои значения в зависимости от переменной X . В случае многофакторной регрессии X_1, X_2, \dots, X_k считают независимыми переменными, а Y – зависимой, принимающей свои значения в зависимости от переменных X_1, X_2, \dots, X_k . Рассмотрим сначала две случайные величины X и Y .

а) Парный регрессионный анализ

Целью парного регрессионного анализа является установление количественной связи между значениями зависимой Y и независимой X переменных в виде уравнения регрессии. Задача состоит в обработке результатов наблюдений, в каждом из

которых контролируются одновременно значения величин X и Y . Полученные результаты измерений объема n состоят из n пар значений аргументов и функций $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$.

Построение регрессионной модели осуществляется в два этапа.

На *первом этапе* устанавливается вид эмпирической формулы, связывающей независимые значения x с зависимой переменной y , — $y=f(x)$.

Парная регрессия при парной зависимости может быть аппроксимирована прямой линией, параболой, гиперболой, логарифмической, степенной или показательной функцией, полиномом высокой степени и др. Для выбора вида аппроксимирующего выражения (модели) данные измерений наносят на сетку прямоугольных координат, по возможности соединяют экспериментальные точки прямой или плавной кривой и по типовым графикам зависимости двух переменных выбирают вид модели (рис. 5.8).

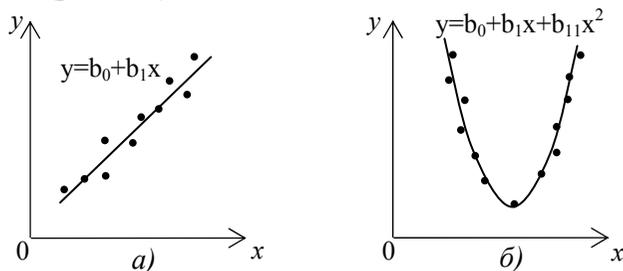


Рис. 5.8. К подбору вида эмпирической формулы

Подбор эмпирических формул необходимо начинать с самых простых выражений. Так, например, результаты измерений многих процессов аппроксимируются простейшими эмпирическими уравнениями типа

$$y = b_0 + b_1x, \quad (5.23)$$

где b_0 и b_1 - постоянные коэффициенты. Поэтому при анализе графического материала необходимо по возможности стремиться к использованию линейной функции (рис.5.8,а).

На втором этапе оценивают параметры (коэффициенты) выбранного аппроксимирующего уравнения. В случае линейных по параметрам моделей оценивание проводят методом наименьших квадратов.

Для этого вначале составляется функция:

$$\Phi = \sum_{u=1}^n \varepsilon_u^2 = \sum_{u=1}^n (y_u - \hat{y}_u)^2 = \sum_{u=1}^n [y_u - f(x_u)]^2, \quad (5.24)$$

где y_u и \hat{y}_u - соответственно экспериментальные и рассчитанные по уравнению $y = \varphi(x)$ значения y в u - том опыте, n - общее число опытов, а функция $\varphi(x)$ записана со всеми неопределенными коэффициентами. Величину Φ в таком случае можно рассматривать как функцию от этих неопределенных коэффициентов.

Суть метода наименьших квадратов, впервые предложенного Гауссом, состоит в выборе таких оценок коэффициентов, которые бы минимизировали сумму квадратов отклонений Φ . Минимум функции (5.24) находят приравниванием к нулю частных производных этой функции по искомым коэффициентам и решением получаемой при этом линейной относительно неизвестных коэффициентов системы уравнений.

Рассмотрим более детально случай *линейной регрессии*. Необходимо оценить параметры следующего уравнения линейной регрессии: $y = \alpha + \beta x$.

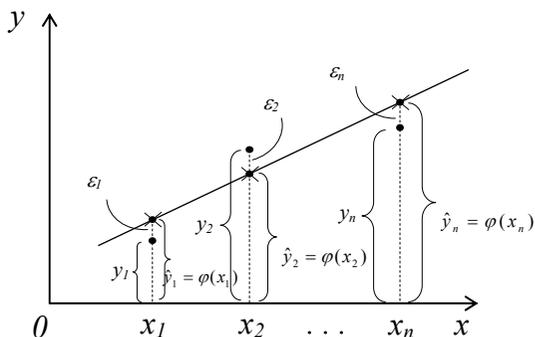


Рис. 5.9. К иллюстрации сущности метода наименьших квадратов

Согласно методу наименьших квадратов найдем такие оценки a и b коэффициентов α и β , которые минимизируют функцию

$$\Phi = \sum_{u=1}^n \varepsilon_u^2 = \sum_{u=1}^n (y_u - \hat{y}_u)^2 = \sum_{u=1}^n (y_u - a - bx_u)^2,$$

Взяв частные производные Φ по a и b , и приравняв их к нулю, получим:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial a} = \sum_{u=1}^n 2(y_u - a - bx_u)(-1) = -2 \sum_{u=1}^n y_u + 2a \sum_{u=1}^n 1 + 2b \sum_{u=1}^n x_u = 0,$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial b} = \sum_{u=1}^n 2(y_u - a - bx_u)(-x_u) = -2 \sum_{u=1}^n x_u y_u + 2a \sum_{u=1}^n x_u + 2b \sum_{u=1}^n x_u^2 = 0.$$

Учитывая, что $\sum_{u=1}^n 1 = n$ и, проведя простые преобразования, получим следующую систему нормальных уравнений:

$$\begin{cases} an + b \sum_{u=1}^n x_u = \sum_{u=1}^n y_u, \\ a \sum_{u=1}^n x_u + b \sum_{u=1}^n x_u^2 = \sum_{u=1}^n x_u y_u. \end{cases} \quad (5.25)$$

Откуда для оценок коэффициентов получим следующие формулы:

$$b_1 = \frac{n \sum_{u=1}^n x_u y_u - \sum_{u=1}^n x_u \sum_{u=1}^n y_u}{n \sum_{u=1}^n x_u^2 - \left(\sum_{u=1}^n x_u \right)^2}, \quad b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n y_u - b_1 \sum_{u=1}^n x_u}{n}. \quad (5.26)$$

Пример. Пусть проведено $n=5$ опытов и получены следующие данные:

x	0	1	2	3	4
y	0	2	4	6	8

Согласно (5.26) найдем оценки a и b линейного уравнения регрессии $\hat{y} = a + bx$, где \hat{y} обозначает предсказанное значение y для данного x , когда a и b определены:

$$b = \frac{5(0 \cdot 0 + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 4 + 3 \cdot 6 + 4 \cdot 8) - (0 + 1 + 2 + 3 + 4)(0 + 2 + 4 + 6 + 8)}{5(0^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2) - (0 + 1 + 2 + 3 + 4)^2} = 2,$$

$$a = \frac{(0 + 2 + 4 + 6 + 8) - 2(0 + 1 + 2 + 3 + 4)}{5} = 0.$$

После оценки коэффициентов уравнения регрессии необходимо провести исследование, носящее название *регрессионного анализа*. Этот анализ состоит из двух существенно различающихся частей. Во-первых, проверяют значимость всех слагаемых найденного регрессионного уравнения в сравнении со случайной ошибкой наблюдений (дисперсией опыта σ_y^2), во-вторых, проверяют гипотезу об адекватности модели, сопоставляя дисперсию неадекватности модели с дисперсией опыта.

Если метод оценивания параметров не требовал никаких предположений о нормальности, то эти предположения становятся необходимыми для проверки вышеуказанных гипотез. Предполагают, что каждое наблюдение отклика имеет нормальное распределение относительно вертикали со средним, получаемым из постулированной модели $E(y_u) = f(x_u)$. Дисперсии же всех нормально распределенных величин y_1, y_2, \dots, y_n предполагаются одинаковыми и равными σ_y^2 . Иными словами, остатки ε_u есть нормально распределенные случайные величины со средним 0 и дисперсией σ_y^2 .

Оценка дисперсии опыта (дисперсии воспроизводимости) S_y^2 определяется по данным параллельных опытов:

- при реализации m параллельных опытов в какой-либо одной точке u

$$S_y^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_{uj} - \bar{y}_u)^2; \quad (5.27)$$

- при реализации m параллельных опытов в каждой из n точек плана

$$S_y^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{u=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{uj} - \bar{y}_u)^2; \quad (5.28)$$

- при различном числе параллельных опытов в точках плана

$$S_y^2 = \frac{1}{\sum_{u=1}^n m_u - n} \sum_{u=1}^n \sum_{j=1}^{m_u} (y_{uj} - \bar{y}_u)^2. \quad (5.29)$$

При отсутствии параллельных опытов в качестве оценки σ_y^2 берут оценку дисперсии относительно регрессии, основанную на $n-2$ степенях свободы и определяемую по данным пар наблюдений (x_u, y_u) согласно формуле

$$S_y^2 = \frac{1}{n-2} \left[\left(\sum_{u=1}^n y_u^2 - n \bar{y}^2 \right) - \frac{\left(\sum_{u=1}^n x_u y_u - n \bar{x} \bar{y} \right)^2}{\sum_{u=1}^n x_u^2 - n \bar{x}^2} \right], \quad (5.30)$$

где \bar{x} и \bar{y} – средние выборки x_u и y_u соответственно.

Наличие ошибок наблюдений вызывает также и разброс коэффициентов b_0 и b_1 . Эти коэффициенты, в зависимости от значения S_y в случае линейной регрессии, определяются со средними квадратическими отклонениями:

$$S_{b_0} = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^n x_u^2}{n \sum_{u=1}^n (x_u - \bar{x})^2}} \cdot S_y, \quad (5.31)$$

$$S_{b_1} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{u=1}^n (x_u - \bar{x})^2}} S_y, \quad (5.32)$$

где \bar{x} – среднее выборки x_u .

100(1- q)%-ные доверительные пределы для β_0 и β_1 получаются, если вычислить

$$b_0 \pm t_{1-\frac{q}{2}} S_{b_0},$$

$$b_1 \pm t_{1-\frac{q}{2}} S_{b_1},$$

где $t_{1-\frac{q}{2}}$ – $(1-q/2)$ %-ная точка t распределения со степенями свободы, соответствующими дисперсии S_y^2 .

Коэффициенты существенны (значимо отличаются от нуля), если

$$\begin{aligned} |b_0| &\geq t_{1-q} S_{b_0}, \\ |b_1| &\geq t_{1-q} S_{b_1}. \end{aligned}$$

Следующим этапом обработки данных является проверка гипотезы об *адекватности модели*, т.е. поиск ответа на вопрос, можно ли использовать полученное уравнение $y=\varphi(x)$ или необходима более сложная модель.

Для этой цели подстановкой в полученное уравнение координат экспериментальных точек x_u ($u=1,2,\dots,n$) вычисляют соответствующие остатки (величины, на которые действительно наблюдаемые значения y_u (или средние нескольких параллельных наблюдений \bar{y}_u) отличаются от значений \hat{y}_u , вычисленных по уравнению), находят так называемую дисперсию неадекватности $S_{неад}^2$:

$$S_{неад}^2 = \frac{1}{n-l} \sum_{u=1}^n m_u (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2, \quad (5.33)$$

где m_u – число параллельных опытов в u -той точке x_u , \bar{y}_u – среднее арифметическое функции отклика, \hat{y}_u – предсказанное по уравнению в u -том опыте, l – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Если все опыты повторяются m раз, тогда вышеприведенную формулу можно переписать в следующем виде:

$$S_{неад}^2 = \frac{m}{n-l} \sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2, \quad (5.34)$$

а при отсутствии параллельных наблюдений:

$$S_{неад}^2 = \frac{1}{n-l} \sum_{u=1}^n (y_u - \hat{y}_u)^2. \quad (5.35)$$

Гипотезу об адекватности чаще всего проверяют с помощью F -критерия (критерия Фишера), расчетное значение которого определяют делением дисперсии неадекватности на дисперсию опыта:

$$F = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}.$$

Гипотеза об адекватности уравнения не отвергается в том случае, если рассчитанное значение F -критерия не превышает табличного F_T для выбранной доверительной вероятности α (уровня значимости $q=1-\alpha$), т.е. при выполнении условия

$$F \leq F_T.$$

Табличное значение выбирают из таблицы F -критерия (см. Приложение 10) на пересечении $(n-l)$ столбца и строки, соответствующей числу степеней свободы, с которым определена дисперсия опыта S_y^2 (т.е. или $m-1$, или $n(m-1)$, или

$$\sum_{u=1}^n m_u - n).$$

Пример. Предположим, что при проведении по $m=3$ параллельных опыта в $n=5$ точках плана были получены результаты наблюдений, приведенные во 2, 3 и 4 столбцах таблицы:

x	$y^{(1)}$	$y^{(2)}$	$y^{(3)}$	\bar{y}	\hat{y}
0	3,25	2,75	3,00	3,00	3,10
1	5,40	5,00	5,20	5,20	5,05
2	6,80	7,05	6,55	6,80	7,00
3	9,30	9,00	9,60	9,30	8,95
4	10,70	11,00	10,40	10,70	10,90

Необходимо найти оценки коэффициентов линейного уравнения регрессии и произвести регрессионный анализ.

Найдем средние арифметические результатов наблюдений в каждой точке плана:

$$\bar{y}_1 = \frac{3,25 + 2,75 + 3,00}{3} = 3,00, \quad \bar{y}_2 = \frac{5,40 + 5,00 + 5,20}{3} = 5,20,$$

$$\bar{y}_3 = \frac{6,80 + 7,05 + 6,55}{3} = 6,80, \quad \bar{y}_4 = \frac{9,30 + 9,00 + 9,60}{3} = 9,30,$$

$$\bar{y}_5 = \frac{10,70 + 11,0 + 10,40}{3} = 10,70.$$

Коэффициенты искомого линейного уравнения регрессии $\hat{y} = b_0 + b_1 x$ будем определять по данным столбцов x и \bar{y} по формулам

$$b_1 = \frac{n \sum_{u=1}^n x_u \bar{y}_u - \sum_{u=1}^n x_u \sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{n \sum_{u=1}^n x_u^2 - \left(\sum_{u=1}^n x_u \right)^2}, \quad b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u - b_1 \sum_{u=1}^n x_u}{n}.$$

$$\sum_{u=1}^5 x_u \bar{y}_u = 0 \cdot 3,00 + 1 \cdot 5,20 + 2 \cdot 6,80 + 3 \cdot 9,30 + 4 \cdot 10,70 = 89,5,$$

$$\sum_{u=1}^5 x_u = 0 + 1 + 2 + 3 + 4 = 10, \quad \sum_{u=1}^5 x_u^2 = 0^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 = 30.$$

$$\sum_{u=1}^5 \bar{y}_u = 3,00 + 5,20 + 6,80 + 9,30 + 10,70 = 35.$$

Тогда

$$b_1 = \frac{5 \cdot 89,5 - 10 \cdot 35}{5 \cdot 30 - 100} = 1,95, \quad b_0 = \frac{35 - 1,95 \cdot 10}{5} = 3,10.$$

Для проведения регрессионного анализа предварительно вычислим дисперсию опыта

$$S_y^2 = \frac{1}{5(3-1)} \{ [(3,25-3,00)^2 + (2,75-3,00)^2 + (3,00-3,00)^2] + [(5,40-5,20)^2 + (5,00-5,20)^2 + (5,20-5,20)^2] + [(6,80-6,80)^2 + (7,05-6,80)^2 + (6,55-6,80)^2] + [(9,30-9,30)^2 + (9,00-9,30)^2 + (9,60-9,30)^2] + [(10,70-10,70)^2 + (11,00-10,70)^2 + (10,40-10,70)^2] \} = 0,069$$

и среднее квадратическое отклонение $S_y = \sqrt{0,069} = 0,263$.

Найдем ошибки определения коэффициентов b_0 и b_1 :

$$S_{b_0} = \sqrt{\frac{0^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2}{5[(0-2)^2 + (1-2)^2 + (2-2)^2 + (3-2)^2 + (4-2)^2]}} \cdot 0,263 = 0,204,$$

$$S_{b_1} = \frac{1}{\sqrt{[(0-2)^2 + (1-2)^2 + (2-2)^2 + (3-2)^2 + (4-2)^2]}} \cdot 0,263 = 0,083.$$

Так как для $n(t-1) = 5(3-1) = 10$ степеней свободы $t_{1-\alpha} = t_{1-0,05} = t_{0,95} = 2,228$, критические значения будут равны:

$$t \cdot S_{b_0} = 2,228 \cdot 0,204 = 0,454, \quad t \cdot S_{b_1} = 2,228 \cdot 0,083 = 0,185.$$

Ввиду того что оба коэффициента по абсолютной величине превышают соответствующие критические значения, оба коэффициента значимы и регрессионное уравнение имеет вид

$$\hat{y} = 3,10 + 1,95x.$$

Для проверки адекватности этой модели путем подстановки в нее соответствующих значений x получим предсказанные значения в точках плана:

$$\hat{y}_1 = 3,10 + 1,95 \cdot 0 = 3,10, \quad \hat{y}_2 = 3,10 + 1,95 \cdot 1 = 5,05, \quad \hat{y}_3 = 3,10 + 1,95 \cdot 2 = 7,00, \\ \hat{y}_4 = 3,10 + 1,95 \cdot 3 = 8,95, \quad \hat{y}_5 = 3,10 + 1,95 \cdot 4 = 10,90.$$

С учетом того что в найденной модели оба коэффициента значимы, для дисперсии неадекватности получим:

$$S_{неад}^2 = \frac{3}{5-2} = [(3,00-3,10)^2 + (5,20-5,05)^2 + (6,80-7,00)^2 + (9,30-8,95)^2 + \\ + (10,70-10,90)^2] = 0,235.$$

Расчетное значение критерия Фишера

$$F = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2} = \frac{0,235}{0,069} = 3,406.$$

Табличное значение находят на пересечении $n-l=5-2=3$ столбца и $n(m-1)=5(3-1)=10$ строки таблицы Фишера – 3,70.

Ввиду того что $F=3,406 < F_T=3,70$ делаем заключение о том, что гипотеза об адекватности полученной линейной модели $\hat{y} = 3,10 + 1,95x$ не отвергается.

5.1.12. Оценка показателей точности и стабильности технологических процессов

Заключительным этапом исследования точности и стабильности технологических процессов является оценка показателей точности и стабильности.

Для оценки точности работы оборудования применяется показатель точности k_T , который вычисляется по формуле:

$$k_T = \frac{6\sigma}{\Delta}, \quad (5.36)$$

где Δ - технологический допуск на контролируемый параметр.

Если величина коэффициента точности $k_T \leq 1$, то процесс имеет удовлетворительную точность, при $k_T > 1$ считается точность работы неудовлетворительной и процесс требует подналадки.

Коэффициент точности $k_T=1$ применяется для действующих процессов и существующего оборудования.

Для вновь проектируемых процессов, а также для вновь вводимого оборудования и автоматических линий должен быть запас точности не менее чем 15 – 25 % допуска, т. е. коэффициент точности k_T должен быть в пределах $0,75 \div 0,85$. Этот запас точности необходим для компенсации неизбежных погрешностей настройки и некоторого износа оборудования.

Точность настройки процесса характеризуется коэффициентом точности настройки:

$$k_H = \frac{E}{\Delta}, \quad (5.37)$$

где E – смещение среднего значения экспериментальной совокупности от середины поля допуска Δ_0 (рис.5.10). Величины E и Δ_0 определяются по формулам:

$$E = \bar{x} - \Delta_0;$$

$$\Delta_0 = \frac{T_v - T_n}{2},$$

где \bar{x} – среднее значение признака качества (номинальное), на которое настраивается оборудование;

T_v, T_n – верхний и нижний пределы изучаемого показателя качества.

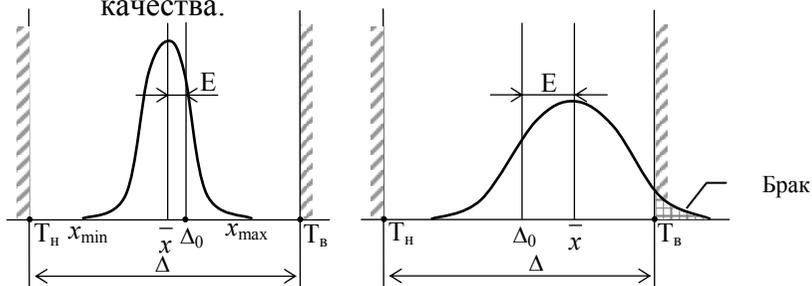


Рис.5.10. Асимметричное распределение контролируемого признака качества

Коэффициент точности настройки может быть большим или меньшим, в зависимости от запаса точности. В связи с этим различают допустимый коэффициент точности настройки $k_{н.д.}$ и фактический $k_{н.ф.}$:

$$k_{н.д.} = \frac{1 - k_T}{2}; \quad (5.38)$$

$$k_{н.ф.} = \frac{\bar{x} - \Delta_0}{\Delta}. \quad (5.39)$$

Технологический процесс необходимо построить так, чтобы фактический коэффициент точности настройки был меньше допустимого. При $k_{н.ф.} < k_{н.д.}$ настройка процесса считается удовлетворительной, при $k_{н.ф.} > k_{н.д.}$ неизбежна некоторая доля бракованных изделий. Такая настройка процесса считается удовлетворительной, и требуется подналадка станка на номинальный размер. Первичная оценка процесса производится по внешнему виду гистограммы распределения и значениям k_T и $k_{н.д.}$.

Если $k_T < 1$ и $k_{н.ф.} < k_{н.д.}$, а внешний вид гистограммы экспериментального распределения близок по виду к теоретической кривой нормального закона распределения, то процесс признается хорошим и подлежит статистическому регулированию.

В тех случаях, когда вид гистограммы далек от теоретической кривой нормального закона распределения, для оценки соответствия поля рассеяния полю допуска можно использовать аналогичный показателю k_T показатель – показатель рассеяния:

$$k_p = \frac{\omega}{\Delta}, \quad (5.40)$$

где Δ - поле допуска;

ω - поле рассеяния контролируемого признака качества

$$\omega = l \cdot S. \quad (5.41)$$

Здесь l - коэффициент, зависящий от закона распределения параметров, а S - среднее квадратическое отклонение параметров в выборке.

Для оценки межнастроечной стабильности может быть использован показатель межнастроечной стабильности

$$k_{\text{м.с.}} = \frac{S_n}{S_i}, \quad (5.42)$$

где S_n, S_i – средние квадратические отклонения в последней и первой мгновенных выборках. Этот показатель характеризует изменение рассеяния параметров за межнастроечный период.

В ходе проведения предварительного статистического анализа может быть найдена и такая важная характеристика технологического процесса, как вероятная доля брака, которую можно использовать при выборе статистического приемочного контроля. Но об этом позднее – в следующем разделе.

5.2. Статистический приемочный контроль качества продукции

Статистический приемочный контроль качества – это выборочный контроль качества продукции, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям и принятия решения.

Целью выборочного контроля качества продукции при приемке является отделение на основе анализа одной или нескольких выборок⁵, отобранных из контролируемой партии, продукции приемлемого качества (годной продукции)⁶ от продукции неприемлемой (бракованной), т.е. продукции, передача которой потребителю не допускается из-за наличия тех или иных дефектов⁷.

⁵ *Выборка* – это единицы продукции (наблюдаемые значения), отобранные из контролируемой партии или потока продукции для контроля и принятия решения о соответствии установленным требованиям. Объемом выборки называется число единиц продукции, составляющих выборку.

⁶ *Годной* называется продукция (изделие), удовлетворяющая всем установленным требованиям.

⁷ *Дефектное изделие* – это изделие, имеющее хотя бы один дефект. Различают критические, значительные и малозначительные дефекты. *Критический дефект* – это дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недопустимо; *значительный дефект* – это дефект, который существенно влияет на использование продукции по назначению и (или) на ее долговечность, но не является критическим; *малозначительный дефект* – это дефект, который существенно не влияет на использование продукции по назначению и ее долговечность.

Такой вид контроля может применяться при приемке службами технического контроля продукции, изготавливаемой на предприятиях, при проверке потребителем соблюдения всех операций, предусмотренных принятой поставщиком системы контроля. Приемочный контроль качества позволяет упорядочить взаимоотношения поставщика и потребителя, создавая атмосферу полного взаимодоверия.

Существует несколько видов выборочного контроля, основными из которых являются контроль по альтернативному признаку и контроль по количественному признаку.

Контроль по альтернативному признаку – это контроль качества, при котором единицы продукции делятся на две группы: годные и дефектные, а решение о контролируемой совокупности принимаются в зависимости от числа дефектных единиц продукции, обнаруженных в выборке или пробе.

При контроле качества по количественному признаку определяется один или несколько числовых параметров изделий, а решение о контролируемой совокупности принимается в зависимости от этих значений.

Основной задачей приемочного контроля является составление приемлемого плана контроля, т.е. совокупности данных о виде контроля; объеме контролируемой партии продукции, выборки или проб; контрольных нормативах и решающих правилах.

Различают следующие типы планов контроля: одноступенчатые, двухступенчатые, многоступенчатые и последовательные.

Одноступенчатый – это план статистического приемочного контроля, характеризующийся тем, что решение относительно приемки партии продукции принимается на основании проверки только одной выборки или пробы. Одноступенчатые планы характеризуются наибольшим объемом выборки, их следует применять в следующих случаях: стоимость контроля изделий является небольшой, продолжительность контроля является слишком длительной и партия не может быть задержана до момента окончания контроля.

Двухступенчатый – это план статистического приемочного контроля, при котором решение о партии принимается по результатам проверки не более двух выборок. Двухступенчатые планы характеризуются промежуточным объемом выборки (меньшим, чем в одноступенчатых планах и большим, чем в многоступенчатых планах). Эти планы следует применять в том случае, если нельзя применять одноступенчатые планы из-за большого объема выборки и многоступенчатые планы из-за большой продолжительности.

Многоступенчатый – это план статистического приемочного контроля, при котором решение о партии принимается по результатам нескольких выборок или проб, число которых заранее установлено. Многоступенчатые планы характеризуются наименьшим ожидаемым числом контролируемых изделий в данном плане контроля. Эти планы следует применять в случае, если время, необходимое для отбора и контроля единиц продукции, является небольшим, а стоимость испытания большой.

Последовательный – это план статистического приемочного контроля, при котором решение о партии принимается после оценки каждого из проверяемых изделий, число которых заранее не установлено. Планы последовательного контроля рекомендуется применять тогда, когда по экономическим и техническим соображениям является необходимым контроль небольших выборок и когда многократный случайный отбор выборки, состоящий из одной единицы продукции, не является затруднительным, а стоимость отбора небольшая.

Характеристика плана контроля, увязывающая объем выборки с объемом партии продукции называется *уровнем контроля*. Принято семь уровней контроля (табл. 5.11): I, II, III - общие, S-1; S-2; S-3; S-4 – специальные.

Контрольный норматив – минимальное или максимальное значение, установленное в нормативно-технической документации и представляющее собой критерий для принятия решения по результатам выборочного контроля относительно соответствия продукции установленным требованиям.

Решающее правило – указание, предназначенное для принятия решения относительно приемки партии продукции по результатам ее контроля.

Различают три различных вида контроля: нормальный, усиленный и ослабленный.

Таблица 5.11

Объем партии	Код объема выборки при уровне контроля						
	специальном				общем		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 – 8	A	A	A	A	A	A	B
9 – 15	A	A	A	A	A	B	C
16 – 25	A	A	B	B	B	C	D
26 – 50	A	B	B	C	C	D	E
51 – 90	B	B	C	C	C	E	F
91 – 150	B	B	C	D	D	F	G
151 – 280	B	C	D	E	E	G	H
281 – 500	B	C	D	E	F	H	J
501 – 1200	C	C	E	F	G	J	K
1201 – 3200	C	D	E	G	H	K	L
3201 – 10000	C	D	F	G	J	L	M
10001 – 35000	C	D	F	H	K	M	N
35001 – 150000	D	E	G	J	L	N	P
150001 – 500000	D	E	G	J	M	P	Q
500001 и выше	D	E	H	K	N	Q	R

Нормальным контролем является статистический приемочный контроль, применяемый в том случае, когда результат контроля заданного числа предыдущих партий продукции не дает основания для заключения о том, что действительный уровень дефектности существенно отклоняется от приемочного.

Усиленный контроль – это статистический приемочный контроль, применяемый в том случае, когда результаты контроля заданного числа предыдущих партий продукции дают достаточное основание для заключения о том, что действительный уровень дефектности выше приемочного, и характеризующийся более строгими контрольными нормативами, чем при нормальном контроле.

Ослабленный контроль – это статистический приемочный контроль, применяемый в том случае, когда результат контроля заданного числа предыдущих партий продукции дает достаточное основание для заключения о том, что действительный уровень дефектности ниже приемочного, и характеризующийся меньшим объемом выборки, чем при нормальном контроле и (или) возможным изменением контрольных нормативов.

После того, как определены виды контроля, можно дать рекомендации к переходу с одного вида контроля на другой и обратно.

Нормальный контроль является основным видом контроля и применяется во всех случаях (если не оговорено применение другого вида контроля) до тех пор, пока не возникнут условия перехода на усиленный или ослабленный контроль.

- С нормального контроля на усиленный контроль переходят в том случае, если в ходе нормального контроля две из пяти последовательных партий будут забракованы (партии, возвращенные для контроля после их забракования при первом предъявлении, не учитывают). Если десять очередных партий (или другое количество партий, установленное компетентным органом) контролируется по правилам усиленного контроля, следует прекратить приемку и принять меры для улучшения качества контролируемой продукции;

- С усиленного контроля на нормальный контроль переходят в том случае, если при усиленном контроле пять очередных партий будет принято.

- С нормального контроля на ослабленный контроль переходят, если выполнены следующие условия: при нормальном контроле не менее десяти последовательных партий были приняты; общее число дефектных изделий, выявленных при контроле последних десяти партий, не превышает предельное число дефектных изделий; технологический процесс стабилен и выпуск продукции ритмичен.

- С ослабленного контроля на нормальный переходят, если выполняется хотя бы одно из следующих условий: очередная партия забракована при первом предъявлении; нет оснований ни

для принятия, ни для забракования партии, в таком случае партию следует принять, но, начиная со следующей партии, применять нормальный контроль; изменение технологии или условий производства; нарушены стабильность технологического процесса или ритмичный выпуск продукции; другие условия требуют возвращения нормального контроля.

5.2.1. Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку

Согласно определению, приведенному в начале раздела 5.2, при контроле по альтернативному признаку продукцию относят к годной или дефектной в зависимости от числа дефектных изделий z в выборке объемом n , т.е. от доли дефектных изделий в выборке

$$q_n = z/n. \quad (5.43)$$

В общем случае, как правило, эта величина не совпадает с долей дефектных единиц в генеральной совокупности (в партии)

$$q = D/N, \quad (5.44)$$

где D – количество дефектных изделий в партии с общим числом изделий N . Отмеченное несовпадение и является главной причиной возникновения ошибок обоих родов, а именно, если $q_n > q$, возникает ошибка первого рода и, наоборот, при $q_n < q$ – ошибка второго рода.

В случаях одноступенчатого контроля план контроля определяется двумя параметрами – объемом выборки n и приемочным числом A_c ⁸. Под приемочным числом понимается контрольный норматив, равный максимальному числу дефектных единиц продукции в выборке (или числу дефектов, приходящихся на сто единиц продукции), при котором контролируемая партия продукции принимается. Если число дефектных изделий z в выборке удовлетворяет условию $z \leq A_c$, то партия считается годной и ее принимают, в противном случае она бракуется. Приемоч-

⁸ A_c и R_e – специальные обозначения, образованные по первым буквам английских слов Acceptance number (приемочное число) и Rejection number (браковочное число) соответственно.

ному числу A_c можно сопоставить приемочный уровень дефектности (качества) q_1 .

Установив заранее приемочный уровень дефектности (приемлемый уровень качества) – некоторое значение доли дефектных изделий $q_1 \geq 0$ (для обозначения приемочного уровня дефектности (качества) часто применяется обозначение AQL, являющееся аббревиатурой английских слов – acceptable quality level, что дословно означает приемлемый уровень качества), партию считают годной если фактическая доля дефектных изделий в партии $q \leq q_1$ ($q \leq AQL$), и негодной, если $q > q_1$ ($q > AQL$).

Число дефектных изделий в выборке z (а следовательно и доля дефектных изделий) является случайной величиной, распределенной по гипергеометрическому закону, которым, строго говоря, и следовало бы пользоваться при разработке программ контроля и контроле партий.

Для любого плана контроля независимо от его вида основным вероятностным показателем является *оперативная характеристика* – это выраженная уравнением, графиком или таблицей зависимость вероятности приемки партии продукции от величины, характеризующей качество этой партии для данного плана выборочного контроля.

Оперативная характеристика, с позиции теории, нужна для того, чтобы определить объем выборки n при заданных уровне дефектности q и браковочного числа A_c и при этом минимизировать риск. К примеру, для одноступенчатых планов контроля оперативная характеристика может быть рассчитана по формуле

$$P(q) = p(n, z \leq A_c) = \sum_{z=0}^{A_c} p(n, z), \quad (5.45)$$

где $P(q)$ – вероятность приемки партии изделий, среди которых доля дефектных изделий составляет q ;

A_c – приемочное число;

$p(n, z)$ – вероятность появления в выборке z бракованных изделий (z пробегает натуральные значения от 0 до A_c включительно).

В идеальном случае оперативная характеристика должна иметь вид (рис. 5.11). Она описывается функцией

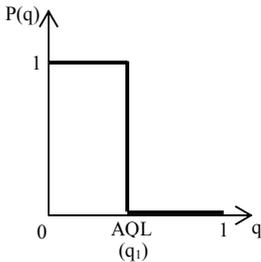


Рис.5.11 Оперативная характеристика одноступенчатого контроля в идеальном случае

$$P(q) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq q \leq AQL; \\ 0 & \text{при } AQL < q \leq 1. \end{cases} \quad (5.46)$$

Такая оперативная характеристика может соответствовать только плану стопроцентного контроля при условии, что во время контроля дефектное изделие не может быть пропущено.

На практике, когда возникают трудности по принятию решения о качестве партии, вместо подобного жесткого разбиения продукции на годные и негодные, вводят еще одну промежуточную категорию качества, при которой оно считается еще допустимым. Границей между плохой и допустимой продукцией является браковочный уровень дефектности (браковочный уровень качества q_2 (LQ) [обозначение LQ является аббревиатурой английских слов limit of quality, что означает предел качества]). При $q \geq LQ$ продукция квалифицируется как брак. Браковочному уровню качества можно сопоставить браковочное число Re .

Поскольку при статистическом приемочном контроле возможна ошибочная приемка отдельных партий, в которых $Q > LQ$, то при задании плана контроля учитывается риск потребителя β , ограничивающий совершение подобных ошибок. Одновременно при выборочном контроле возможно забракование хороших партий, в которых $q \leq AQL$. Для уменьшения подобных ошибок учитывается риск поставщика α . Риском поставщика α называется вероятность забраковки партии продукции, обладающей приемочным уровнем качества AQL (q_1). Риском потребителя β называется вероятность приемки партии продукции, обладающей браковочным уровнем качества LQ.

Зависимость между вероятностью приемки партии $P(q)$ и долей дефектных изделий q в ней (оперативная характеристика плана приемочного контроля) в этом случае приобретает следующий вид

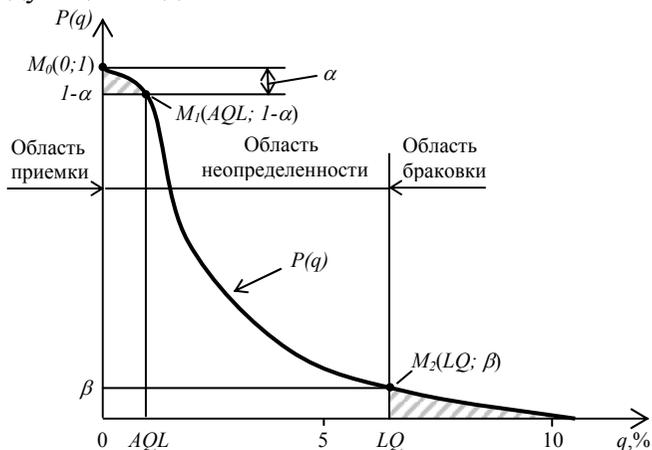


Рис. 5.12. Оперативная характеристика плана приемочного контроля

Значения AQL и LQ должны удовлетворять определенным требованиям поставщика (изготовителя) и потребителя (заказчика) к качеству продукции. К примеру, вероятность ошибки первого рода будет гарантированно не больше наперед заданной величины (определяемой поставщиком), если

$$P(q) \geq 1 - \alpha \quad \text{при} \quad q \leq \text{AQL}, \quad (5.47)$$

а вероятность ошибки второго рода будет приемлемой для потребителя, если

$$P(q) \leq \beta \quad \text{при} \quad q \geq \text{LQ}. \quad (5.48)$$

Таким образом, соотношения (5.46), (5.47) и (5.48) определяют три точки $M_0(0; 1)$, $M_1(\text{AQL}; 1 - \alpha)$ и $M_2(\text{LQ}; \beta)$ на графике оперативной характеристики одноступенчатого плана контроля.

Как видим, при подобном подходе требования относительно плана выборочного контроля сводится к тому, чтобы обеспечить наперед заданные значения вероятностей ошибок

α и β . В стандартах по статистическому контролю рекомендовано использовать не произвольные, а только некоторые значения для α и β , в частности, значения 0,01; 0,05; 0,1. В качестве примера допустим, что меется план контроля с параметрами: $\alpha=0,01$; $\beta=0,05$; AQL=0,003; LQ=0,015. Это означает, что при данном плане контроля из каждых 100 партий с долей дефектных изделий (засоренностью) 0,3% будет забраковано не больше одной, а из 100 партий с засоренностью, большей чем 1,5%, будут пропущены (ошибочно) как годные, не более 5 партий.

На практике нередко AQL (q_1) берут немного большим средней доли дефектных изделий в партии q_{cp} , которая имеет место при нормальном ходе производства ($q_1 \geq q_{cp}$), чем и гарантируют приемку почти всех партий, изготовленных при налаженном технологическом процессе, а LQ (q_2) выбирают немного меньшим предельного уровня качества, т.е. наибольшей допустимой доли дефектных изделий в партии, при превышении которой партия считается бракованной. Значения β и LQ выбираются с учетом требований потребителя.

При использовании планов выборочного контроля по результатам проверки выборки обычно принимают одно из трех решений:

1. Принять непроконтролированную (оставшуюся) часть партии без дальнейшего контроля.
2. Отвергнуть оставшуюся часть партии без контроля.
3. Провести сплошной (100%-ный) контроль оставшейся части партии.

Возможны и другие решения, например снижение сортности, изъятие отдельных частей продукции для последующей переработки и т.д.

В зависимости от принимаемых по результатам выборочного контроля решений будут иметь место различные типы планов. Так, в случае одноступенчатых планов (n, Ac), которые определяются двумя параметрами: объемом выборки n и приемочным числом Ac , возможны следующие типы планов: $(n, Ac)_{12}$, $(n, Ac)_{13}$, $(n, Ac)_{23}$. Согласно плану $(n, Ac)_{12}$ из партии

продукции объемом N отбирают для контроля случайным образом n изделий. Если среди n изделий число дефектных изделий z окажется больше A_c ($z > A_c$), то принимается решение 2 и оставшаяся часть партии ($N-n$) отвергается без дальнейшего контроля; если $z \leq A_c$, то оставшуюся часть партии ($N-n$) следует принять без контроля (решение 1).

Планы типа $(n, A_c)_{12}$ обычно используют при *разрушающем* контроле или когда стоимость контроля велика. Планы $(n, A_c)_{13}$ обычно используют при *неразрушающем* контроле, когда требования к качеству продукции очень высокие и велика стоимость контроля. Планы типа $(n, A_c)_{23}$ используют для получения дополнительной информации о качестве продукции, а также в случае «очищающего» контроля, когда хотят с помощью контроля уменьшить долю дефектных изделий в продукции.

Указанные планы контроля отличаются по среднему объему проконтролированной продукции, а также по доле дефектных изделий в принятой продукции. В случае неразрушающего контроля дефектные изделия могут заменяться на годные, и тогда объем партии до и после контроля останется неизменным.

В дальнейшем, если не будет оговорено особо, будем рассматривать планы неразрушающего контроля типа $(n, A_c)_{12}$, когда обнаруженные дефектные изделия заменяются на годные.

Рассмотрим процедуру расчета оперативной характеристики для одноступенчатого плана $(n, A_c)_{12}$.

Вероятность приемки партии, т.е. вероятность обнаружения в выборке не более заданного числа дефектных изделий A_c , выражается формулой

$$P(q) = p(n, z \leq A_c) = \sum_{z=0}^{A_c} p(n, z), \quad (5.49)$$

где $p(n, z)$ – вероятность появления в выборке z бракованных изделий (z пробегает натуральные значения от 0 до A_c включительно). Если исходить из того, что выборка является случайной бесповторной и число дефектных изделий в вы-

борке z имеет гипергеометрическое распределение (в большинстве практических случаев это так и есть):

$$p(n, z) = \frac{C_D^z C_{N-D}^{n-z}}{C_N^n}, \quad (5.50)$$

для расчета оперативной характеристики получим

$$P(q) = p(n, z \leq A_c) = \sum_{z=0}^{A_c} \frac{C_D^z C_{N-D}^{n-z}}{C_N^n}. \quad (5.51)$$

Пример. Пусть для контроля качества партий из $N=20$ изделий используют одноступенчатый выборочный план с параметрами $n=5$ и $A_c=1$. Требуется построить оперативную характеристику плана контроля.

При расчете оперативной характеристики будем исходить из гипергеометрического распределения (5.50) числа дефектных изделий z в выборке n . Согласно плану контроля партия изделий принимается, когда $z \leq A_c=1$, т.е. когда $z=0$ или $z=1$.

Тогда

$$P(q) = p(5; 0) + p(5; 1) = \frac{C_D^0 C_{20-D}^{5-0}}{C_{20}^5} + \frac{C_D^1 C_{20-D}^{5-1}}{C_{20}^5} = \frac{C_{20-D}^5 + D \cdot C_{20-D}^4}{C_{20}^5}.$$

Задавая значения числа D дефектных изделий в партии получим значения функции $P(q)$. Например

$$\text{при } D=0 \quad P(q) = \frac{C_{20-0}^5 + 0 \cdot C_{20-0}^4}{C_{20}^5} = \frac{20!}{5!(20-5)!} = 1,00;$$

при $D=1$

$$P(q) = \frac{C_{20-1}^5 + 1 \cdot C_{20-1}^4}{C_{20}^5} = \frac{\frac{19!}{5!(19-5)!} + 1 \cdot \frac{19!}{4!(19-4)!}}{C_{20}^5} = \frac{11628 + 3876}{15504} = \frac{15504}{15504} = 1,00;$$

при $D=2$

$$P(q) = \frac{C_{20-2}^5 + 2 \cdot C_{20-2}^4}{C_{20}^5} = \frac{\frac{18!}{5!(18-5)!} + 2 \cdot \frac{18!}{4!(18-4)!}}{C_{20}^5} = \frac{8568 + 2 \cdot 3060}{15504} = \frac{14688}{15504} = 0,947;$$

и т.д. Учитывая, что $q=D/N$ занесем полученные значения в таблицу 5.12.

Таблица 5.12

D	0	1	2	3	4	5
q	0	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25
$P(q)$	1,00	1,00	0,947	0,860	0,751	0,634
D	6	7	8	9	10	
q	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	
$P(q)$	0,517	0,406	0,307	0,221	0,152	

Расчет по (5.50) при больших N и n встречает значительные трудности вычислительного характера. Однако при небольших n ($n \leq 0,1N$) гипергеометрическое распределение хорошо (с приемлемой для практических целей точностью) аппроксимируется биномиальным распределением:

$$P(n, z) = C_n^z q^z p^{n-z}, \quad (5.52)$$

где q – вероятность появления события при одном испытании тании (появление брака);

$p=1-q$ – вероятность появления противоположного события (появление годного изделия);

$C_n^z = \frac{n!}{z!(n-z)!}$ – число сочетаний появления элементов в

испытаниях;

z – число дефектных изделий в выборке;

n – объем выборки.

Тогда для расчета оперативной характеристики получим

$$P(q) = p(n, z \leq A_c) = \sum_{z=0}^{A_c} C_n^z q^z p^{n-z} = \sum_{z=0}^{A_c} C_n^z q^z (1-q)^{n-z}. \quad (5.53)$$

В выражение (5.53) не входит N , т.е. вероятность приемки не зависит от величины партии, из которой взята выборка.

Пример. Пусть для контроля качества партий из $N=100$ изделий используют одноступенчатый выборочный план с параметрами $n=8$ и $A_c=2$. Требуется построить оперативную характеристику плана контроля. Так как объем выборки $n=8$ не превышает 10% объема партии ($N=100$), будем исходить из биномиального распределения (5.52) числа дефектных изделий z в

выборке объемом $n=8$. Согласно плану контроля партии изделий принимается, когда $z \leq A_c = 2$, т.е. когда $z=0$; $z=1$ или $z=2$.

$$\begin{aligned}
 P(q) &= p(8;0) + p(8;1) + p(8;2) = C_8^0 \cdot q^0(1-q)^{8-0} + C_8^1 \cdot q^1(1-q)^{8-1} + C_8^2 \cdot q^2(1-q)^{8-2} = \\
 &= \frac{8!}{0!(8-0)!} q^0(1-q)^{8-0} + \frac{8!}{1!(8-1)!} q^1(1-q)^{8-1} + \frac{8!}{2!(8-2)!} q^2(1-q)^{8-2} = \\
 &= (1-q)^8 + 8q^1(1-q)^7 + 28q^2(1-q)^6.
 \end{aligned}$$

Подставляя в полученное уравнение значения $q(0 \leq q \leq 1)$ получим координаты точек для построения оперативной характеристики:

$q=0$	$P(q)=(1-0)^8 + 8 \cdot 0^1(1-0)^7 + 28 \cdot 0^2(1-0)^6 = 1 + 0 + 0 = 1,00;$
$q=0,01$	$P(q)=(1-0,01)^8 + 8 \cdot 0,01^1 \cdot 0,99^7 + 28 \cdot 0,01^2 \cdot 0,99^6 = 0,99994;$
$q=0,02$	$P(q)=(1-0,02)^8 + 8 \cdot 0,02^1 \cdot 0,98^7 + 28 \cdot 0,02^2 \cdot 0,98^6 = 0,99958;$
$q=0,03$	$P(q)=(1-0,03)^8 + 8 \cdot 0,03^1 \cdot 0,97^7 + 28 \cdot 0,03^2 \cdot 0,97^6 = 0,99865;$
$q=0,04$	$P(q)=(1-0,04)^8 + 8 \cdot 0,04^1 \cdot 0,96^7 + 28 \cdot 0,04^2 \cdot 0,96^6 = 0,99692;$
$q=0,05$	$P(q)=(1-0,05)^8 + 8 \cdot 0,05^1 \cdot 0,95^7 + 28 \cdot 0,05^2 \cdot 0,95^6 = 0,99421;$
$q=0,06$	$P(q)=(1-0,06)^8 + 8 \cdot 0,06^1 \cdot 0,94^7 + 28 \cdot 0,06^2 \cdot 0,94^6 = 0,99038;$
$q=0,07$	$P(q)=(1-0,07)^8 + 8 \cdot 0,07^1 \cdot 0,93^7 + 28 \cdot 0,07^2 \cdot 0,93^6 = 0,98530;$
$q=0,08$	$P(q)=(1-0,08)^8 + 8 \cdot 0,08^1 \cdot 0,92^7 + 28 \cdot 0,08^2 \cdot 0,92^6 = 0,97890;$
$q=0,09$	$P(q)=(1-0,09)^8 + 8 \cdot 0,09^1 \cdot 0,91^7 + 28 \cdot 0,09^2 \cdot 0,91^6 = 0,97111;$
$q=0,1$	$P(q)=(1-0,1)^8 + 8 \cdot 0,1^1 \cdot 0,9^7 + 28 \cdot 0,1^2 \cdot 0,9^6 = 0,96211;$
$q=0,2$	$P(q)=(1-0,2)^8 + 8 \cdot 0,2^1 \cdot 0,8^7 + 28 \cdot 0,2^2 \cdot 0,8^6 = 0,796;$
$q=0,3$	$P(q)=(1-0,3)^8 + 8 \cdot 0,3^1 \cdot 0,7^7 + 28 \cdot 0,3^2 \cdot 0,7^6 = 0,5518;$
$q=0,4$	$P(q)=(1-0,4)^8 + 8 \cdot 0,4^1 \cdot 0,6^7 + 28 \cdot 0,4^2 \cdot 0,6^6 = 0,3154;$
$q=0,5$	$P(q)=(1-0,5)^8 + 8 \cdot 0,5^1 \cdot 0,5^7 + 28 \cdot 0,5^2 \cdot 0,5^6 = 0,1445.$

Если одновременно $n \leq 0,1N$ и доля дефектных изделий q в партии мала $q \leq 0,1$, то расчеты можно еще больше упростить (без практического ущерба для точности вычислений), используя распределение Пуассона

$$p(n, z) = \frac{\lambda^z \cdot e^{-\lambda}}{z!}, \quad (5.54)$$

где $\lambda = nq$ – математическое ожидание числа дефектных изделий в выборке объемом n ;

z – число дефектных изделий.

Тогда для расчета оперативной характеристики получим

$$P(q) = p(n, z \leq A_c) = \sum_{z=0}^{A_c} \frac{\lambda^z \cdot e^{-\lambda}}{z!}. \quad (5.55)$$

Такая замена достаточно точна лишь при малых значениях λ .

Для вычислений $P(q)$ по распределению Пуассона в различных литературных источниках имеются специальные таблицы.

Пример. Вернемся к предыдущему примеру, где $N=100$, используется одноступенчатый выборочный план с параметрами $n=8$ и $A_c=2$ и требуется построить оперативную характеристику плана контроля.

Так как $p \leq 0,1N$ и доля дефектных изделий мала, используем распределение Пуассона для расчета оперативной характеристики. Согласно (5.55) с учетом того, что $z \leq A_c=2$, т.е. $z=0$, $z=1$ или $z=2$, получим

$$P(q) = p(8;0) + p(8;1) + p(8;2) = \frac{(nq)^0 \cdot e^{-nq}}{0!} + \frac{(nq)^1 \cdot e^{-nq}}{1!} + \frac{(nq)^2 \cdot e^{-nq}}{2!} + = \\ = e^{-8q} + 8q \cdot e^{-8q} + (64/2)q^2 \cdot e^{-8q} = e^{-8q}(1 + 8q + 32q^2).$$

Подставляя в полученное уравнение значения q ($0 \leq q \leq 0,1$) получим координаты точек для построения оперативной характеристики:

$$\begin{aligned} q=0 & P(q) = e^{-8 \cdot 0}(1 + 8 \cdot 0 + 32 \cdot 0^2) = 1 \cdot 1 = 1; \\ q=0,01 & P(q) = e^{-0,08}(1 + 0,08 + 32 \cdot 0,01^2) = 0,9231 \cdot 1,0832 = 0,99990; \\ q=0,02 & P(q) = e^{-0,16}(1 + 0,16 + 32 \cdot 0,02^2) = 0,8521 \cdot 1,1728 = 0,99934; \\ q=0,03 & P(q) = e^{-0,24}(1 + 0,24 + 32 \cdot 0,03^2) = 0,7866 \cdot 1,2688 = 0,99804; \\ q=0,04 & P(q) = e^{-0,32}(1 + 0,32 + 32 \cdot 0,04^2) = 0,7261 \cdot 1,3712 = 0,99563; \\ q=0,05 & P(q) = e^{-0,4}(1 + 0,4 + 32 \cdot 0,05^2) = 0,6703 \cdot 1,48 = 0,99204; \\ q=0,06 & P(q) = e^{-0,48}(1 + 0,48 + 32 \cdot 0,06^2) = 0,6188 \cdot 1,5952 = 0,98711; \\ q=0,07 & P(q) = e^{-0,56}(1 + 0,56 + 32 \cdot 0,07^2) = 0,5712 \cdot 1,7168 = 0,98064; \\ q=0,08 & P(q) = e^{-0,64}(1 + 0,64 + 32 \cdot 0,08^2) = 0,5273 \cdot 1,8448 = 0,97276; \\ q=0,09 & P(q) = e^{-0,72}(1 + 0,72 + 32 \cdot 0,09^2) = 0,4868 \cdot 1,9792 = 0,96347; \\ q=0,1 & P(q) = e^{-0,8}(1 + 0,80 + 32 \cdot 0,1^2) = 0,4493 \cdot 2,12 = 0,95252. \end{aligned}$$

Сущность метода планирования выборочного контроля состоит в том, что по договоренности между поставщиками и потребителями фиксируется величина q_1 (AQL) и q_2 (LQ), т.е. устанавливается приемочный и браковочный уровень качества. На их основе для заданного типа плана контроля (в данном случае одноступенчатого) по оперативной характеристике находят риски α и β , являющиеся соответственно ошибками первого и второго рода, или по заданным рискам опреде-

ляется план контроля, т.е. устанавливается объем выборки n и приемочное число A_c .

Пример. По оперативной характеристике плана контроля (для примера на стр.), данной в виде таблицы 5.12 для приемочного $AQL=0,1$ и браковочного $LQ=0,5$ уровней качества найти значения рисков поставщика α и потребителя β .

Так как значение риска поставщика α определяется из условия $\alpha \leq 1 - P(AQL)$, для α получим: $\alpha = 1 - P(AQL) = 1 - P(0,1) = 1 - 0,947 = 0,053$.

Так как значение риска потребителя β определяется из условия $\beta \leq P(LQ)$, для β получим: $\beta = P(LQ) = P(0,5) = 0,152$.

Рациональная организация статистического контроля заключается в обеспечении минимальных рисков α и β при определенных значениях n и A_c .

Задача организации статистического контроля формулируется следующим образом: заданы значения $AQL(q_1)$, $LQ(q_2)$, α и β . Требуется определить n и A_c .

Данная задача решается с помощью системы уравнений распределения Пуассона:

$$P(q_1) = \sum_{z=0}^{A_c} \frac{(nq_1)^z}{z!} \cdot e^{-nq_1} = 1 - \alpha, \quad (5.56)$$

$$P(q_2) = \sum_{z=0}^{A_c} \frac{(nq_2)^z}{z!} \cdot e^{-nq_2} = \beta. \quad (5.57)$$

Значения функций $P(q_1)$ и $P(q_2)$ находятся по таблице [Шор], выдержка из которой представлена в табл.5.13.

Если приемочное число $A_c=0$, то вероятность приемки партии (на основании распределения Пуассона) примет вид

$$P(q) = e^{-nq}.$$

Выражения (5.56) и (5.57) сведутся к виду:

$$\alpha = 1 - e^{-nq_1}; \quad (5.58)$$

$$\beta = e^{-nq_2}. \quad (5.59)$$

Если заданы значения риска поставщика α и приемочного уровня дефектности q_1 , то из уравнения (5.58) определяется объем выборки n . При малых значениях $q \leq 0,1$ уравнение (5.53) можно записать в приближенной форме. Для этого,

разложив выражение (5.58) в ряд и ограничиваясь двумя первыми членами выражения, получим:

$$\alpha = 1 - e^{-nq_1} = 1 - (1 - nq_1 + \frac{n^2 q_1^2}{2} \dots) = 1 - (1 - nq_1) = nq_1,$$

откуда

$$n = \frac{\alpha}{q_1}. \quad (5.60)$$

Таблица 5.13

A _c	nq					
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	0,9512	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065
2	0,9988	0,9953	0,9824	0,9630	0,9384	0,9098
3	1,00	0,9998	0,9988	0,9964	0,9920	0,9856
4		1,00	0,9999	0,9997	0,9992	0,9982
5			1,00	1,00	0,9999	0,9998
6					1,00	1,00

A _c	nq				
	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,5488	0,4966	0,4493	0,4066	0,3679
2	0,8781	0,8442	0,8088	0,7725	0,7358
3	0,9769	0,9659	0,9526	0,9371	0,9197
4	0,9966	0,9942	0,9909	0,9865	0,9810
5	0,9996	0,9992	0,9986	0,9977	0,9963
6	1,00	0,9999	0,9998	0,9997	0,9994
7		1,00	1,00	1,00	0,9998
8					1,00

Рассмотрим случай, когда $\alpha=0,1$. Зависимость n от q_1 представлена в табл.5.14

Таблица 5.14

$$\alpha=0,1$$

q_1	0,01	0,001	0,0001
n	10	100	1000

Из таблицы видно, что чем меньше приемочный уровень q_1 (AQL), тем больше объем выборки необходим для контрольных испытаний.

Если объем контрольных испытаний n установлен, то по уравнению (5.59) можно найти зависимость риска заказчика β

от величины $q_2(LQ)$. Рассмотрим случай, когда $q_1=0,001$; $\alpha=0,1$ и $n=100$ (табл.5.15). Зависимость β от q_2 для этого представлена в табл.5.15.

Таблица 5.15

		$\alpha=0,1$		
q_2	0,002	0,005	0,010	0,022
β	0,82	0,60	0,37	0,10
ζ	0,50	0,20	0,10	0,046

Из этой таблицы видно, что при $q_2=2q_1$ (т.е. $\zeta=q_1/q_2=0,5$) имеет место очень большой риск заказчика ($\beta=0,82$). Для того, чтобы риск заказчика равнялся риску поставщика ($\alpha=\beta=0,1$) надо иметь $q_2=22q_1$. Следовательно, чтобы при приемочном числе $A_c=0$ одновременно были малы риски поставщика и заказчика (по 0,1), браковочный уровень качества должен в 22 раза превышать приемочный уровень качества.

Отсюда следует, что с уменьшением приемочного уровня качества q_1 растет объем выборки (для обеспечения риска $\alpha=0,1$). Это наглядно видно из табл.5.14. Вывод этот справедлив не только при $A_c=0$. При любом плане контроля с уменьшением приемочного уровня качества возрастает объем выборки, необходимой для обеспечения заданного риска.

Когда заказчик задает величину q_2 , то поставщик должен стремиться к тому, чтобы уровень величины q_1 , определяемый конструкцией и технологией, был значительно меньше q_2 .

Введем обозначение

$$\zeta = \frac{q_1}{q_2}. \quad (5.61)$$

Эта величина играет большую роль. Используя ζ , можно по заданным α , β и q_1 определить объем выборки n и приемочное число A_c . Для этой цели служит специальная таблица, составленная при помощи уравнений Пуассона [Шиндовский,Ю], выдержка из которой для $\alpha=0,1$ приведена в табл.5.16.

Таблица 5.16

$$\alpha=0,1$$

Ac	Значения $\zeta=q_1/q_2$			a	k
	$\beta=0,05$	$\beta=0,10$	$\beta=0,2$		
0	0,035	0,046	0,066	0,11	–
1	0,11	0,14	0,18	0,50	0,50
2	0,18	0,21	0,26	1,1	0,55
3	0,22	0,26	0,32	1,7	0,58
5	0,30	0,34	0,40	3,2	0,63
7	0,35	0,40	0,45	4,7	0,67
9	0,40	0,44	0,50	6,2	0,69
11	0,43	0,47	0,53	7,8	0,71
13	0,46	0,50	0,56	9,5	0,73
15	0,48	0,52	0,58	11	0,73
20	0,53	0,57	0,62	15	0,77
30	0,59	0,63	0,68	24	0,80
50	0,67	0,70	0,74	42	0,84

Исходными данными в табл.5.16 являются значения α , β и ζ . В таблице сразу находится искомое число A_c и вспомогательное число a , при помощи которого определяется n по уравнению

$$n = \frac{a}{q}. \quad (5.62)$$

Пример. Заданы $\alpha=\beta=0,1$; $q_1=0,01$; $q_2=0,02$. Найти n и A_c .

По уравнению (5.61) находим $\zeta = q_1/q_2 = 0,01/0,02 = 0,5$, затем по табл.5.16 находим $A_c=13$; $a=9,5$. По уравнению (5.62) определяем $n = a/q_1 = 9,5/0,01 = 950$.

Заданы $\alpha=\beta=0,1$; $q_1=0,02$; $q_2=0,1$. Найти n и A_c .

По уравнению (5.61) находим $\zeta = q_1/q_2 = 0,02/0,1 = 0,2$, затем по табл.5.16 находим $A_c=2$; $a=1,1$. По уравнению (5.62) определяем $n = a/q_1 = 1,1/0,02 = 55$.

Функция распределения Пуассона довольно точно выражается через распределение χ^2 :

$$\sum_{z=0}^{A_c} \frac{\lambda^z \cdot e^{-\lambda}}{z!} = P(\chi^2 \geq 2nq) \quad (5.63)$$

при $f=2(A_c+1)$, где f – число степеней свободы.

Тогда вместо уравнения (5.63) получим:

$$\beta = P(z \leq A_c) = P(\chi^2 \geq 2nq) \quad (5.64)$$

при $f=2(A_c+1)$.

Для разработки программы одноступенчатого приемочного контроля достаточно задать две точки оперативной характеристики, установив риск поставщика (изготовителя) α , риск потребителя (заказчика) β и соответствующие им доли дефектных изделий в партии q_1 (AQL) и q_2 (LQ). Из формулы (5.64) получаем

$$\chi_\alpha^2 = 2nq_1, \quad (5.65)$$

$$\chi_{1-\beta}^2 = 2nq_2 \quad (5.66)$$

при $f=2(A_c+1)$.

Разделив (5.65) и (5.66) и обозначив q_2/q_1 через x , получим

$$x = \frac{\chi_{1-\beta}^2}{\chi_\alpha^2} = \frac{q_2}{q_1}; \quad f=2(A_c+1). \quad (5.67)$$

Определив по таблицам распределения χ^2 (приложение П.7), для какого числа степеней свободы f равенство (5.67) приближенно выполняется, находим допустимое число дефектных изделий A_c , после чего – объем выборки n из формулы (5.65) или (5.66).

Пример. Построим программу приемочного контроля по следующим данным: $q_1=0,02$; $\alpha=0,05$; $q_2=0,08$; $\beta=0,10$.

$$x = \frac{\chi_{1-0,10}^2}{\chi_{0,05}^2} = \frac{0,08}{0,02} = 4.$$

По таблице распределения χ^2 (приложение П.7) находим, что это равенство выполняется при $f=10$:

$$\chi_{0,90}^2 = 16,0; \quad \chi_{0,05}^2 = 3,94.$$

Тогда допустимое число дефектных изделий из $f=2(A_c+1)$, будет $A_c = \frac{f}{2} - 1 = \frac{10}{2} - 1 = 5 - 1 = 4$, а из (5.65) определим

$$n = \frac{\chi_{0,90}^2}{2q_2} = \frac{16,0}{2 \cdot 0,08} = 100.$$

Для облегчения расчетов можно составить таблицы. Для $\alpha=0,05$ и $\beta=0,10$ в таблице П.13 приложения приведены значения x , nq_1 и nq_2 .

Пример. Построим программу приемочного контроля для указанных в предыдущем примере данных $q_1=0,02$; $\alpha=0,05$; $q_2=0,08$; $\beta=0,10$ с помощью таблицы П.13 приложения.

В четвертом столбце таблицы П.13 найдем число, наиболее близкое к $x=q_2/q_1=0,08/0,02=4$. Это «4,06». Ему соответствует из первого столбца $A_c=4$, а из шестого столбца $nq_2=7,99$, откуда для объема выборки получим $n=7,99/q_1=7,99/0,02=99,9\approx 100$, т.е. то же, что и в предыдущем примере.

При очень высоком качестве изделий практически уже трудно организовать контроль по рассмотренному нами методу одноступенчатого контроля. Для этого применяются такие методы контроля, как двухступенчатый, многоступенчатый и метод последовательного контроля, позволяющие уменьшить объем выборки. Наибольшее распространение получил двухступенчатый контроль.

При использовании двухступенчатого плана контроля правило принятия решений о качестве контролируемой партии продукции следующее: сначала отбирают из партии первую выборку объема n_1 , устанавливают для этой ступени приемочное A_{c_1} и браковочное R_{e_1} числа. При этом должно соблюдаться обязательное условие $R_{e_1} > A_{c_1} + 1$. Если в результате контроля окажется, что $z_1 \leq A_{c_1}$, то партию принимают, и если $z_1 \geq R_{e_1}$ – ее отклоняют (условие браковки). В последних неравенствах z_1 есть число обнаруженных дефектных изделий в первой выборке.

При выполнении неравенства $A_{c_1} < z_1 < R_{e_1}$ выносится решение о взятии второй выборки объема n_2 . На основе контроля второй выборки, для которой отдельно установлено новое приемочное число A_{c_2} , партию принимают, если окажется, что $(z_1+z_2) \leq A_{c_2}$ и отклоняют, если $(z_1+z_2) > A_{c_2}$, где z_2 – число выявленных дефектных изделий на второй ступени контроля.

Принятые партии независимо от ступени контроля квалифицируются как годные, а отклоненные либо бракуют, либо подвергают стопроцентному контролю в зависимости от типа выбранного плана контроля.

Таким образом, партия может быть принята на основе проверки только одной (первой) выборки, либо потребуется проверить две (обе) выборки. Если обозначить через $p(n_1, z_1)$ вероятность появления среди n_1 изделий первой выборки z_1 дефектных единиц (что можно определить по уравнениям (5.), (5.) или (5.) в зависимости от вида закона распределения z_1), а через $p(n_2, z_2)$ – вероятность появления z_2 дефектных единиц среди n_2 изделий второй выборки, то очевидно, вероятность приемки партии (т.е. оперативная характеристика) двухступенчатого плана контроля выразится как

$$P(q) = \sum_{z_1=0}^{A_{c_1}} p(n_1, z_1) + \sum_{z_1=A_{c_1}+1}^{R_{e_1}-1} p(n_1, z_1) \cdot \sum_{z_2=0}^{A_{c_2}-z_1} p(n_2, z_2). \quad (5.68)$$

Первое слагаемое в (5.68) представляет собой вероятность $P(q_1)$ того, что контроль завершится на первой ступени [вероятность приемки по первой выборке (риск потребителя β)], а второе – вероятность приемки по второй выборке $P(q_2)$ при условии, что решение не было принято на первой ступени [вероятность того, что партия будет принята сразу по завершении контроля второй выборки].

Чтобы осуществилось последнее событие, нужно чтобы реализовались одновременно два события, выражаемые неравенствами $A_{c_1} < z_1 < R_{e_1}$ и $(z_1 + z_2) \leq A_{c_2}$, т.е. возникла необходимость взятия второй выборки и суммарное число дефектных изделий в обеих выборках оказалось не больше установленного порога A_{c_2} . Отмеченные два события являются независимыми, т.е. вероятность их произведения равна произведению вероятностей умножаемых друг на друга событий, что и отражено во втором слагаемом в (5.68).

То, что полная кривая $P(q)$ плана двухступенчатого контроля состоит из двух компонент $P(q)=P(q_1)+P(q_2)$ графически хорошо видно на рис.5.13.

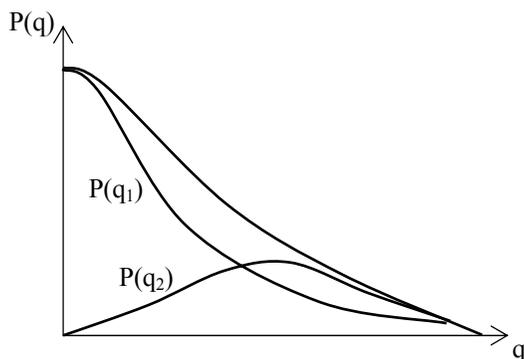


Рис.5.13. Оперативная характеристика плана двухступенчатого контроля

Это свидетельствует о том, что вторая выборочная партия является решающей при выявлении качества, лишь незначительно превышающего риск потребителя β . Очевидно, что продукция очень хорошего качества почти всегда будет принята по результатам первой выборки n_1 , а также и забракована, если она очень плохого качества.

Очевидно, что объем выборок, приемочные и браковочные числа дефектных изделий должны быть такими, чтобы вероятность приемки на первой ступени была больше, чем на второй, а вероятности браковки на отдельных ступенях были пропорциональны вероятности приемки на этих ступенях. Несоблюдение этого правила делает неэффективным следующую ступень контроля и увеличивает средний объем проверки.

Таким образом, в случаях двухступенчатого контроля план контроля определяется пятью числами: объемами выборок n_1 и n_2 , приемочными числами Ac_1 и Ac_2 и браковочным числом Re_1 .

Оценим среднее число подлежащих проверке изделий в партии. Если выбран план контроля типа $(n,Ac)_2$, т.е. когда отклоненные партии бракуются без дальнейшей проверки, тогда математическое ожидание числа проверенных изделий определяется как

$$n_{cp}(q)_{12} = n_1 \cdot 1 + n_2 \sum_{z_1=Ac+1}^{Re_1-1} p(n_1, z_1). \quad (5.69)$$

В (5.69) учтено, что в любом случае первую выборку объема n_1 придется проверить, т.е. вероятность соответствующего события равна 1, а вероятность того, что придется прибегнуть к проверке второй выборки объема n_2 выражается неравенством $Ac_1 < z_1 < Re_1$ [см. первый сомножитель во втором слагаемом в (5.68)].

Перейдем теперь к рассмотрению случая, когда используется план типа $(n, Ac)_{13}$, т.е. когда отклоненные партии изделий подвергаются сплошному контролю. В этом случае партия может быть принята по результатам контроля изделий первой

выборки объема n_1 с вероятностью $\sum_{z_1=0}^{Ac_1} p(n, z_1)$, либо по ре-

зультатам контроля обеих выборок объема (n_1+n_2) с вероятностью, фигурирующей в (5.68) в качестве второй слагаемой. В противном случае партия отклоняется, что согласно данному типу плана контроля означает переход к сплошной проверке всех N изделий с вероятностью $p(q)$, определяемой уравнением (5.68). Таким образом, математическое ожидание числа проконтролированных изделий можно выразить как:

$$n_{cp}(q)_{13} = n_1 \sum_{z_1=0}^{Ac_1} p(n_1, z_1) + (n_1 + n_2) \sum_{z_1=Ac+1}^{Re_1-1} p(n_1, z_1) \cdot \sum_{z_2=0}^{Ac_2-z_1} p(n_2, z_2) + N[1 - p(q)]. \quad (5.70)$$

В качестве иллюстрации сказанного рассмотрим пример.

Пример. Дан двухступенчатый план контроля с параметрами $n_1=n_2=20$; $Ac_1=1$; $Re_1=3$; $Ac_2=2$ и $Re_2=3$. Объем партии N достаточно велик и можно воспользоваться биномиальным законом распределения числа дефектных единиц z в выборке. Требуется вычислить в этих условиях числовые характеристики данного плана контроля.

Составим уравнение оперативной характеристики. Следуя правилу принятия решений при использовании двухступенчатого плана контроля легко установим, что партия изделий будет принята в следующих трех случаях: 1) $z_1=0$; 2) $z_1=1$; 3) $z_1=2$ и $z_2=0$. Для

этих случаев с учетом того, что для величин z можно воспользоваться биномиальным законом распределения, можем написать:

$$p(n_1, z_1 = 0) = (1 - q)^{n_1} ;$$

$$p(n_1, z_1 = 1) = n_1 q (1 - q)^{n_1 - 1} ;$$

$$p(n_1, z_1 = 2) \cdot p(n_2, z_2 = 0) = \frac{n_1(n_1 - 1)}{2} q^2 (1 - q)^{n_1 + n_2 - 2} .$$

Легко видеть, что перечисленные выше случаи несовместимы и согласно теореме сложения вероятностей уравнение оперативной характеристики примет вид:

$$p(q) = (1 - q)^{n_1} + n_1 q (1 - q)^{n_1 - 1} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2} q^2 (1 - q)^{(n_1 + n_2 - 2)} .$$

Принимая во внимание, что по заданию $n_1 = n_2 = 20$, окончательно получим

$$p(q) = (1 - q)^{19} \cdot [1 + 19q + 190q^2 (1 - q)^{19}] . \quad (5.71)$$

График оперативной характеристики, построенной по (5.71) представлен на рис.5.14. С целью сравнения на том же чертеже приведен график оперативной характеристики одноступенчатого плана с $n=40$ и $A_c=2$.

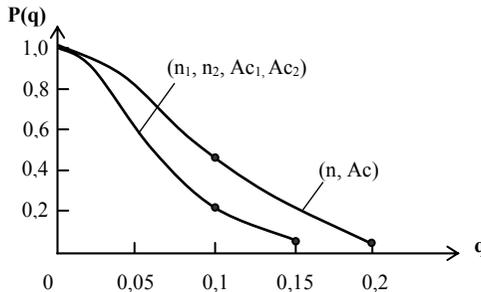


Рис.5.14. Оперативные характеристики двухступенчатого и одноступенчатого планов

Если сравнить приведенные графики с графиком на рис.5.11, соответствующим идеальной оперативной характеристике, то легко видеть, что график оперативной характеристики двухступенчатого плана более близок по форме к идеальному, чем такой же график одноступенчатого плана.

Сравним теперь двухступенчатый и одноступенчатый планы друг с другом по среднему числу контролируемых изделий. В ка-

честве примера используем формулу (5.69), соответствующую плану контроля типа $(n, Ac)_{12}$. Имеем:

$$n_{cp}(q)_{12} = n_1 + n_2 p(n_1, z_1 = 2) = n_1 + n_2 C_{n_1}^2 q^2 (1-q)^{n_1-2}.$$

Подставив сюда $n_1=n_2=20$ и $q=0,05$, получим

$$n_{cp}(q)_{12} = 20[1 + 190 \cdot 0,05^2 \cdot 0,95^{18}] \approx 24.$$

Согласно же одноступенчатому плану $(n=40, Ac=2)_{12}$ среднее число проконтролированных изделий

$$n_{cp(12)} = n = 40.$$

Следовательно двухступенчатые планы контроля позволяют значительно сократить средний объем контрольных испытаний (в рассмотренном примере 24 изделия из партии вместо 40). Кроме того, при заданном приемочном уровне качества двухступенчатый план позволяет уменьшить риск поставщика. Например, при заданном приемочном $AQL=0,02$ использование двухступенчатого плана приводит к значению $\alpha=0,025$ в то время как у одноступенчатого плана тот же показатель равен $\alpha=0,046$.

Методика разработки планов (программ) двухступенчатого приемочного контроля требует довольно громоздких вычислений и не освобождает полностью от необходимости подбора, причем не всегда ясно, какая корректировка плана приемки наиболее целесообразна.

Для того чтобы свести разработку плана двухступенчатого приемочного контроля к простому выбору по таблице, можно воспользоваться тем свойством распределения Пуассона, что вероятность приемки β и браковки α зависят не от объема выборок, а от параметра $\lambda=nq$. Таким образом, представляется возможным рассчитать заранее для любого сочетания оценочных нормативов Ac_1 , Re_1 и Ac_2 показатели плана приемки, если дополнительно задаться отношением объемов второй и первой выборок $r = n_2/n_1$. Показатели будут заданы в таком же виде, как и в таблице приложения П.13 для одноступенчатого контроля. Естественно, что для данного случая таблица получается более обширной. В таблице приложения П.13

приведены показатели большого набора планов для $r=0,1$ и 2 ; $Ac_1 = 0(1)5$.

В число показателей включены: приемочный (q_1) и браковочный (q_2) уровни качества, соответствующие вероятности приемки $0,95$ и $0,10$, предел среднего выходного уровня качества и средний объем проверки. Пользоваться таблицей приложения П.13 следует так же, как и таблицей для однократного контроля, которая является частным случаем $r=0$. Однако большой объем таблицы в определенной степени затрудняет выбор, так как для каждого варианта задания исходных данных имеется несколько подходящих планов, и среди них необходимо провести отбор, задаваясь каким-либо дополнительным требованием, например, минимальным объемом проверки или минимальным объемом суммарной выборки и т.п.

Вместо того, чтобы каждый раз выбирать оптимальный для заданных условий приемки план контроля, можно составить таблицы оптимальных планов, задаваясь диапазоном близких значений исходных данных. Пример такой таблицы приведен в приложении П.15, где для заданных значений q_2/q_1 и nq_1 приведены планы контроля, имеющие минимальный объем проверки. Выбрав по этой таблице план контроля, можно получить все остальные его показатели из таблицы приложения П.13.

Аналогичным образом можно рассмотреть и свойства многоступенчатых планов контроля.

При использовании многоступенчатого плана контроля правило принятия решений о качестве контролируемой партии продукции следующее: проводятся операции, указанные для двухступенчатых планов. Если общее число дефектных единиц в выборке как первой так и второй ступенях контроля больше Ac_2 и меньше Re_2 второй ступени контроля, переходят к контролю на третьей ступени. Для этого выносится решение о взятии третьей выборки объема n_3 . На основе контроля третьей выборки, для которой отдельно установлено новое приемочное число Ac_3 , партию принимают, если окажется, что

$(z_1+z_2+z_3) \leq Ac_3$ и отклоняют, если $(z_1+z_2+z_3) \geq Re_3$, где z_1, z_2, z_3 – числа выявленных дефектных изделий соответственно на первой, второй и третьей ступенях. Если общее число дефектных изделий в выборке объема $n_1+n_2+n_3$ удовлетворяет условию $Ac_3 < z_1+z_2+z_3 < Re_3$ контроль следует проводить на четвертой и, по мере необходимости, на дальнейших ступенях до последней аналогичным образом. Ход действий при применении многоступенчатых планов контроля приведен на рис.5.15.

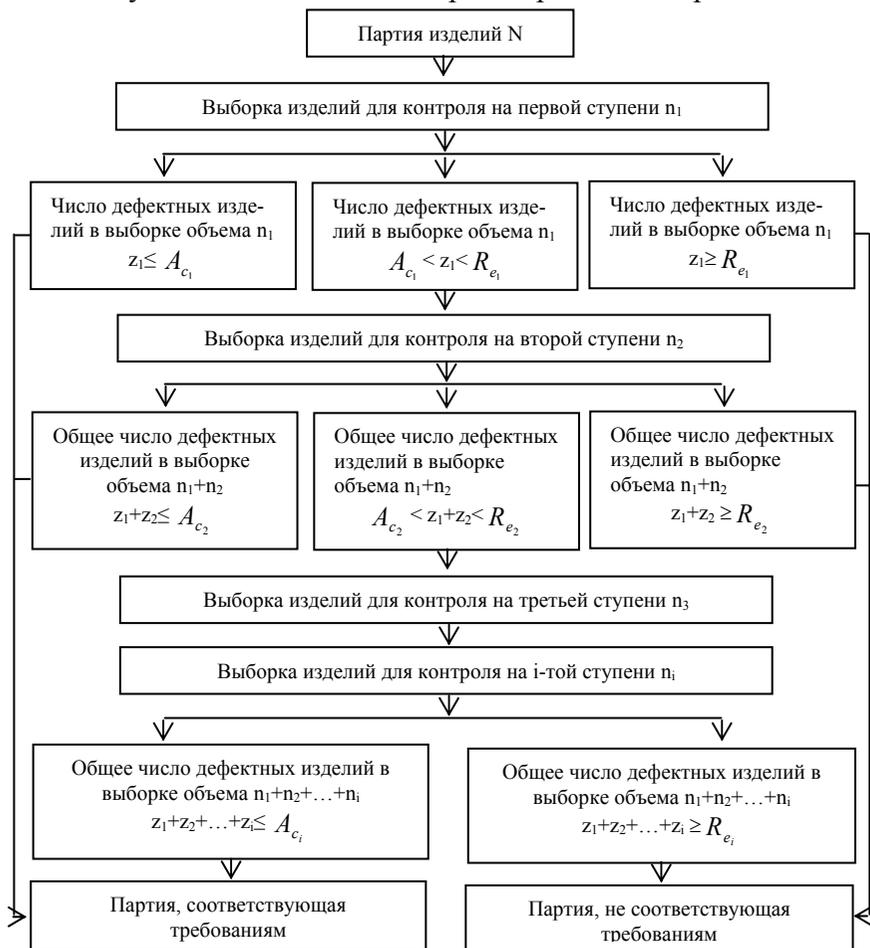


Рис.5.15. Ход действий при применении многоступенчатых планов

Многоступенчатый контроль следует всегда начинать от первой ступени принятого плана контроля и кончать в момент получения информации, позволяющей принять решение о признании партии соответствующей или не соответствующей требованиям.

5.2.2. Оценка качества продукции при контроле по нескольким альтернативным признакам

Развитие методов и средств вычислительной техники позволило создать на промышленных предприятиях системы контроля качества продукции, способные эффективно решать более сложные задачи контроля – например, задачу контроля качества продукции по нескольким альтернативным признакам.

Допустим, качество продукции описывается k независимыми признаками. Тогда результаты контроля можно записать в виде k – мерного случайного вектора $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k)$. Каждой составляющей этого вектора придают значение $x_j = 1$, если имеется дефект по j – му признаку, и 0 – если дефект отсутствует. Задача контроля состоит в оценке качества всей партии продукции на основе контроля ее выборки. Поскольку контроль ведется сразу по нескольким признакам, то качество партии можно оценить двояко: 1) по числу дефектных изделий⁹; 2) по числу выявленных дефектов.

Следует отметить, что к оценке качества продукции по числу обнаруженных в выборке дефектных изделий прибегают в целях приемочного контроля, а к оценке по числу выявленных дефектов в основном тогда, когда интересуются вопросами контроля технологического процесса.

Рассмотрим сначала процедуру оценки качества партии *по числу выявленных дефектных изделий*.

⁹ Изделие будет отнесено к категории дефектных в случае обнаружения дефекта хотя бы по одному признаку. Предполагается независимость признаков.

Для оценки качества отдельного изделия вводят статистику

$$b = \sum_{j=1}^k c_j x_j, \quad (5.72)$$

где $x_j = 1$, если изделие дефектно по j -му признаку и $x_j = 0$ – в противном случае; c_j – весовые коэффициенты.

Изделие классифицируется годным, если справедливо неравенство

$$b = \sum_{j=1}^k c_j x_j \leq b_0,$$

где b_0 некоторый порог дефектности, установленный с учетом интересов поставщика и потребителя.

В дальнейшем будем полагать, что признаки независимы и вероятность появления по j -му контролируемому признаку у каждого изделия постоянна. Пусть эта вероятность равна q_j . Тогда вероятность появления на контроль годного изделия выразится формулой

$$P = \sum_{b \leq b_0} \prod_{j,i=1}^k q_j p_i (j \neq i), \quad (5.73)$$

где p_i – вероятность отсутствия у изделия дефекта по i -му признаку. Вероятность появления дефектного изделия, очевидно, $q = 1-p$.

Для определения вероятности появления среди n проконтролированных изделий z дефектных воспользуемся биномиальным законом распределения

$$p(n, z) = c_n^z q^z p^{(n-z)}. \quad (5.74)$$

Задачу оценки качества партии изделий можно свести к известной в математической статистике задаче – проверке нулевой гипотезы $H_0: q=AQL$ против конкурирующей гипотезы $H_1: q \neq AQL$, где AQL – приемочный уровень дефектности. Статистикой критерия является число дефектных изделий z в выборке объемом n .

Гипотезу проверяют как для левосторонней, так и для правосторонней критических областей. Если выборка левосторонняя критическая область, критерий позволяет опреде-

лить границу z_0 между повышенным и удовлетворительным качествами партии с уровнем значимости α_0 . Если же проверяется правосторонняя критическая область, то можно определить границу $z_{кр}$ между удовлетворительным и плохим качествами партии при уровне значимости $\alpha_{бр}$.

Пример. Изделие контролируется по четырем признакам x_1, x_2, x_3, x_4 , для которых экспертным путем установлены веса: $c_1=5; c_2=2; c_3=2; c_4=1$. Объем выборки $n=20$, среди которых контроль выявил $z=2$ дефектных изделия. Пороговое значение для статистики b равно $b_0=3$. Было проведено предшествующее статистическое исследование, которое установило следующие оценки вероятностей появления дефектов по признакам: $\hat{q}_1 = 0,1; \hat{q}_2 = 0,15; \hat{q}_3 = 0,2; \hat{q}_4 = 0,3$. Требуется определить по вышеуказанным данным качество продукции.

Статистика (5.72) в нашем случае имеет вид $b = \sum_{j=1}^4 c_j x_j$,

которую нужно проверить на предмет выполнения неравенства $b \leq b_0 = 3$. Нетрудно убедиться, что последнему неравенству удовлетворяют лишь шесть наборов (x_1, x_2, x_3, x_4) с учетом заданных значений весов признаков, а именно:

$(0, 0, 0, 0)$	$b = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 0 = 0;$
$(0, 1, 0, 0)$	$b = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 0 = 2;$
$(0, 0, 1, 0)$	$b = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 0 = 2;$
$(0, 0, 0, 1)$	$b = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 1 = 1;$
$(0, 1, 0, 1)$	$b = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 1 = 3;$
$(0, 0, 1, 1)$	$b = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 3.$

Поскольку признаки независимы, а события, заключающиеся в появлении вышеперечисленных наборов признаков несовместны, то согласно (5.73):

$$\begin{aligned} \hat{p} &= \hat{p}_1 \cdot \hat{p}_2 \cdot \hat{p}_3 \cdot \hat{p}_4 + \hat{p}_1 \cdot \hat{q}_2 \cdot \hat{p}_3 \cdot \hat{p}_4 + \hat{p}_1 \cdot \hat{p}_2 \cdot \hat{q}_3 \cdot \hat{p}_4 + \\ &+ \hat{p}_1 \cdot \hat{p}_2 \cdot \hat{p}_3 \cdot \hat{q}_4 + \hat{p}_1 \cdot \hat{q}_2 \cdot \hat{p}_3 \cdot \hat{q}_4 + \hat{p}_1 \cdot \hat{p}_2 \cdot \hat{q}_3 \cdot \hat{q}_4 = \\ &= 0,9 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,7 + 0,9 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 0,7 + 0,9 \cdot 0,85 \cdot 0,2 \cdot 0,7 + \\ &+ 0,9 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,3 + 0,9 \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 0,3 + 0,9 \cdot 0,85 \cdot 0,2 \cdot 0,3 = \\ &= 0,873 \Rightarrow \hat{q} = 0,127. \end{aligned}$$

\hat{p} и \hat{q} являются оценками вероятностей p и q , участвующих в (5.74).

Теперь зададимся значениями уровней значимости для левосторонней критической области $\alpha_0=0,25$ и правосторонней критической области $\alpha_{\text{пр}}=0,1$. Для определения границ этих областей необходимо предварительно рассчитать функцию распределения $F(z)$. К примеру, рассчитаем значение $F(1) = p(n,0) + p(n,1)$. С учетом данных решаемого примера и (5.73) имеем:

$$p(20,0) = C_{20}^0 \cdot 0,127^0 \cdot 0,873^{20} = 0,873^{20} \approx 0,066;$$

$$p(20,1) = C_{20}^1 \cdot 0,127^1 \cdot 0,873^{19} = 20 \cdot 0,127 \cdot 0,0757 \approx 0,192.$$

Следовательно, $F(1) = 0,066 + 0,192 = 0,258$.

Аналогично можно получить и другие пары координат для функции $F(z)$. Результаты таких расчетов отражены в таблице 5.17

Таблица 5.17

z	0	1	2	3	4	5
$F(z)$	0,066	0,258	0,524	0,756	0,899	0,966

Теперь определим искомые границы для отмеченных критических областей. Границу левосторонней критической области z_0 находим из условия

$$\alpha_0 = 0,25 = F(z_0).$$

По таблице 5.17 этому условию ($\alpha_0 = 0,25$) приблизительно соответствует пара координат (1; 0,258), т. е. $z_0 = 1$.

Границу же правосторонней критической области находим из условия

$$1 - \alpha_{\text{пр}} = 1 - 0,1 = 0,9 = F(z_{\text{кр}}).$$

По таблице 5.17 определяем, что этому условию соответствует пара координат (4; 0,899), т. е. $z_{\text{кр}} = 4$.

Сравнивая наблюдаемое значение $z=2$ с найденными границами, видим, что $z_0 < z < z_{\text{кр}}$, т. е. контролируемая партия имеет удовлетворительное качество.

Теперь рассмотрим процедуру оценки качества партии изделий по числу выявленных дефектов, т.е. в целях регулирования или управления качеством.

Допустим, из контролируемой партии для контроля отобрана случайная выборка объемом n . Обозначим через z_j число

дефектов по j -му признаку, $j = 1 \div k$, $0 \leq z_j \leq n$. Представим множество выявленных в выборке дефектов k -мерным случайным вектором $z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$. Для определенности примем, что случайная компонента x_j подчинена биномиальному закону распределения с параметрами n и q_j , где q_j – вероятность появления дефекта у отдельного изделия по j -му признаку. В силу независимости признаков закон распределения вектора z будет иметь вид:

$$p(n, z) = \prod_{j=1}^k C_n^{z_j} q_j^{z_j} (1 - q_j)^{n - z_j}. \quad (5.75)$$

Оценки \hat{q}_j для вероятностей q_j можно получить проводя предварительный контроль и использовать результаты этого контроля при условии, что технологический процесс является стабильным.

Введем обобщенный показатель качества (статистику A):

$$A = \sum_{j=1}^k c_j z_j, \quad (5.76)$$

где c_j – весовые коэффициенты, которые учитывают неравноценность потерь, причиненных дефектными изделиями¹⁰.

¹⁰ В ряде работ по статистическому контролю предлагается классифицировать признаки по степени тяжести ущерба, наносимого дефектом по тому или иному дефекту и объединять контролируемые признаки в соответствующие классификационные группы (например, серьезные, умеренные или второстепенные), а затем присвоить каждой такой группе «собственный» вес c_j . Когда оценка качества производится по числу дефектов, т.е. в целях регулирования или управления качеством можно рекомендовать следующее правило для определения c_j : $c_j = \varphi q_j^e$, где q_j – известная вероятность появления дефекта по j -му признаку или ее оценка; φ – коэффициент, приводящий «веса» к единому показателю (например, стоимостному) привносимого дефектами ущерба. Для параметра e берут три следующие значения: -1 , 0 или 1 . Если взято значение $e = -1$, это означает, что акцент делается на преимущественное выявление дефектов по маловероятностным признакам, при $e = 0$ статистика A наиболее чувствительна к выявлению общего числа дефектов независимо от признаков, а при $e = 1$ статистика лучше приспособлена к выявлению признаков, ведущих за собой максимальную долю дефектов. Заметим, что коэффициент φ не влияет на вид распределения статистики A , а лишь характеризует ее содержательный смысл, как обобщенного показателя. Не нарушая общности рассуждений, для простоты изложения иллюстративных примеров можно принять $\varphi = 1$.

Фигурирующие в (5.76) составляющие вектора z распределены по биномиальному закону. Следовательно, случайная величина A , являющаяся линейной комбинацией величин z_j , имеющих асимптотически нормальное распределение, сама также будет подчинена асимптотически нормальному распределению с математическим ожиданием $M[A]$ и дисперсией $D[A]$:

$$M[A] = n \sum_{j=1}^k c_j q_j ; \quad D[A] = n \sum_{j=1}^k c_j q_j (1 - q_j) .$$

Скорость сходимости распределения статистики A существенно зависит от вектора $c(c_1, c_2, \dots, c_k)$ и вероятностей q_j .

Чтобы применить на практике статистику A при малых объемах n , рассчитывают ее интегральную функцию распределения $F(a)$ путем непосредственного подсчета вероятности попадания z в область $A < a$:

$$F(a) = p(A < a) = \sum_{A < a} p(n, z) . \quad (5.77)$$

Следует также задать вероятности α_0 и $\alpha_{\text{бр}}$ попадания случайной величины A за нижнюю α_0 и верхнюю $\alpha_{\text{бр}}$ границы доверительного интервала и определить эти границы с помощью $F(a)$. После этого остается сравнить наблюдаемое значение a статистики A с границами доверительного интервала. При выполнении неравенства $a \leq \alpha_0$ качество партии признается повышенным; если $\alpha_0 < a \leq \alpha_{\text{бр}}$, то качество партии можно считать удовлетворительным; если же $a > \alpha_{\text{бр}}$ – то партия бракуется.

Пример. Контролируется качество обработки некоторого изделия по четырем признакам: x_1, x_2, x_3, x_4 , для которых экспертным путем установлены следующие веса: $c_1 = 5, c_2 = 2, c_3 = 2, c_4 = 1$. Для контроля отобрали $n = 20$ изделий, среди которых числа дефектных изделий по соответствующим признакам оказались: $z_1 = 0, z_2 = 1, z_3 = 1, z_4 = 2$. Предшествующий контролю статистический анализ дал следующие оценки вероятностей появления дефектов по признакам: $\hat{q}_1 = 0,04; \hat{q}_2 = 0,06; \hat{q}_3 = 0,08; \hat{q}_4 = 0,1$. Требуется по этим данным оценить качество продукции, обработанной на станке за смену.

Зададимся вероятностями выхода за нижнюю границу $\alpha_0=0,25$ и за верхнюю $\alpha_{0p}=0,1$. По уравнению (5.77) рассчитаем функцию распределения $F(a)$ статистики A . В нашем примере $A = \sum_{j=1}^4 c_j z_j$.

Границу между повышенным и удовлетворительным качествами можно найти из условия $F(a) \geq \alpha_0$, а границу между удовлетворительным и плохим – по условию $F(a) \leq 1 - \alpha_{0p}$, т. е. $F(a) \geq 0,25$ и $F(a) \leq 1 - 0,1 = 0,9$. Например, допустим $A = 1$. Тогда

$$F(1) = p(n, 0) + p(n, 1).$$

По (5.76) $A = 0$ лишь только в случае, когда $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = 0$ ($A = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 0 = 0$), значению $A = 1$ соответствуют равенства $z_1 = z_2 = z_3 = 0$ и $z_4 = 1$ ($A = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 1 \cdot 1 = 1$).

Следовательно:

$$\begin{aligned} p(n,0) &= \prod_{j=1}^4 C_{20}^0 \cdot q_j^0 (1-q_j)^{20-0} = [(1-0,04) \cdot (1-0,06) \cdot (1-0,08) \cdot (1-0,1)]^{20} = \\ &= (0,96 \cdot 0,94 \cdot 0,92 \cdot 0,9)^{20} = 0,0029. \end{aligned}$$

Аналогично

$$\begin{aligned} p(n,1) &= \prod_{j=1}^3 C_{20}^0 \cdot q_j^0 (1-q_j)^{20-0} \cdot C_{20}^1 \cdot q_4^1 (1-q_4)^{20-1} = \\ &= (0,96 \cdot 0,94 \cdot 0,92)^{20} \cdot 20 \cdot 0,1 \cdot (1-0,1)^{19} = 0,0065, \end{aligned}$$

т.е. $F(1) = 0,0029 + 0,0065 = 0,0094$.

Подобным образом можно рассчитать значения $F(a)$ и для других a . Результаты расчетов приведены в табл.5.18, где для краткости опущены четные значения α . Расчеты выполнены до $a = 19$ включительно, поскольку $F(19) \approx 0,9$, что соответствует заданной границе $\alpha_{0p} = 0,1$.

Таблица 5.18

a	$F(a)$	a	$F(a)$	a	$F(a)$
1	0,0094	9	0,3909	17	0,8394
3	0,0466	11	0,5322	19	0,8957
5	0,1320	13	0,6595		
7	0,2509	15	0,7630		

По этой таблице находим искомые границы доверительного интервала $\alpha_0=7$ и $\alpha_{0p}=19$. Согласно данным рассматриваемого примера наблюдаемое значение показателя качества

$$A = a = \sum_{j=1}^4 c_j z_j = 5 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 2 = 6 < a_0 = 7.$$

Отсюда приходим к заключению, что качество продукции, обработанной на данном станке за смену, повышенное.

5.2.3. Статистический приемочный контроль по количественному признаку

Статистический приемочный контроль по количественному признаку обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с контролем по альтернативному признаку.

В отличие от контроля по альтернативному признаку, где оценка производится на основании разделения изделий на две категории – годные и негодные – и определения единственного параметра – доли брака в выборке при статистическом приемочном контроле по количественному признаку осуществляется измерение проверяемой характеристики у каждого изделия выборки и определение параметров распределения этой характеристики (математического ожидания, дисперсии контролируемого параметра). Естественно, что по этим параметрам можно составить более полное представление о доле дефектных изделий во всей партии, так как контроль дает значительно больше информации, требуется значительно меньший объем выборок при той же достоверности выводов в сравнении с контролем качественных признаков. В таблице 5.19 приведены объемы выборок для методов контроля по качественным и количественным признакам при $\alpha = \beta = 0,1$.

Из таблицы 5.19 видно, что объемы выборок уменьшаются в случае контроля по количественным признакам в основном в два раза.

Объективность требует отметить и недостатки статистического приемочного контроля по количественному признаку: а) такой контроль качества возможен только для тех техни-

ческих характеристик, которые имеют количественное выражение; б) измеряемые величины должны быть независимы друг от друга и иметь нормальное распределение; в) одновременно можно контролировать только один признак качества, что вынуждает выделить критические признаки качества изделия, о которых будет получаться наиболее полная информация; г) трудоемкость измерений и большой объем вычислительных работ.

Таблица 5.19

Сравнительная оценка планов выборочного контроля

Тип планов	$q_2, \%$	$\frac{q_2}{q_1} = 2$	$\frac{q_2}{q_1} = 2,4$	$\frac{q_2}{q_1} = 3,3$	$\frac{q_2}{q_1} = 4,8$	$\frac{q_2}{q_1} = 22$
Контроль по качественным признакам	10	190	128	80	52	24
	5	380	257	160	105	48
	1	1900	1286	800	524	239
Контроль по количественным признакам	10	104	71	42	28	11
	5	174	117	68	45	17
	1	422	279	156	100	34

Как видно из рис. , доля брака зависит как от среднего значения проверяемой характеристики, так и от ее дисперсии, поэтому естественно, что при контроле должны учитываться одновременно оба эти параметра. Разбраковка продукции при контроле по количественному признаку осуществляется по линейной комбинации $\bar{x} + t'S$ оценок по выборочным данным математического ожидания μ_x и среднего квадратического отклонения σ (если оно неизвестно) параметра x , где коэффициент t' называется критерием приемлемости. Представленная на контроль партия принимается если $\bar{x} + t'S \leq x_B$, если задан верхний установленный предел x_B или $\bar{x} + t'S \geq x_H$, если задан нижний установленный предел. Соответственно критерием браковки будут $\bar{x} + t'S > x_B$, если задан x_B и $\bar{x} + t'S < x_H$, если задан x_H .

Возникает вопрос: какого объема n выборку следует брать и каково значение критерия t' . Совокупность (n, t') называется планом контроля.

В общем случае значения t' и n определяются по формулам

$$t = \frac{U_{1-q_2}U_{1-\alpha} + U_{1-q_1}U_{1-\beta}}{U_{1-\alpha} + U_{1-\beta}}; \quad (5.78)$$

$$n = \frac{t^2 + 2}{2} \left(\frac{U_{1-\alpha} + U_{1-\beta}}{U_{1-q_1} - U_{1-q_2}} \right)^2, \quad (5.79)$$

где q_1 и q_2 два значения доли брака в партии, а α и β – соответствующие им риски.

Для $\alpha = 0,05$ и $\beta = 0,10$ формулы (5.78) и (5.79) принимают вид:

$$t = \frac{U_{1-q_2} \cdot 1,645 + U_{1-q_1} \cdot 1,282}{1,645 + 1,282} = \frac{1,645U_{1-q_2} + 1,282U_{1-q_1}}{2,927} = 0,562U_{1-q_2} + 0,438U_{1-q_1}. \quad (5.80)$$

$$n = \frac{t^2 + 2}{2} \left(\frac{1,645 + 1,282}{U_{1-q_1} - U_{1-q_2}} \right)^2 = \frac{2,927^2}{2} \cdot \frac{t^2 + 2}{(U_{1-q_1} - U_{1-q_2})^2} = 4,284 \cdot \frac{t^2 + 2}{(U_{1-q_1} - U_{1-q_2})^2}. \quad (5.81)$$

Пример. В качестве примера построим план приемочного контроля по количественному признаку для $\alpha=0,05$, $\beta=0,10$ по следующим данным: $q_1 = 0,02$; $q_2 = 0,08$.

Из таблицы П. приложения для $1 - q_1 = 1 - 0,02 = 0,98$ найдем $U_{1-q_1} = U_{0,98} = 2,054$ и для $1 - q_2 = 1 - 0,08 = 0,92$ – $U_{1-q_2} = U_{0,92} = 1,405$.

Тогда согласно (5.80) и (5.81) получим

$$t = 0,562 \cdot 1,405 + 0,438 \cdot 2,054 = 0,7896 + 0,8996 = 1,689,$$

$$n = 4,284 \cdot \frac{1,689^2 + 2}{(2,054 - 1,405)^2} = 49,36 \approx 49.$$

Как видим вычисления довольно трудоемки, поэтому целесообразнее рассчитать заданное значение доли брака для различных сочетаний n и t . Такая таблица приведена в приложении П., где для $t = 0,50$ (0,05) 2,50 даны значения долей брака, соответствующие вероятностям приемки 0,95 и 0,10.

Так, например для $q_1=0,02$ (2,00%) и $q_2=0,08$ (8,00%) в таблице П. находим, что наиболее близкая к заданным комбинация чисел $q_1=1,98$ и $q_2=7,97$ находится на пересечении строки $t'=1,70$ и столбцов, соответствующих $n=50$.

Рассмотрим практическое применение планов выборочного контроля по количественным признакам на следующих примерах.

Пример 1. Контролируется партия диодов по эквивалентному шумовому сопротивлению $R_{ш}$. В нормативно – техническом документе (ТУ) на этот параметр задан верхний установленный предел, равный 0,49 кОм. Установлены характеристики плана контроля $\alpha=0,05$; $\beta=0,1$; $q_1=0,015$; $q_2=0,2$. Параметр $R_{ш}$ распределен по нормальному закону с неизвестной дисперсией.

С помощью приложения 15 для $q_1=0,015$ (1,5%) и $q_2 = 0,2$ (20%) находим объем выборки $n=10$ и критерий приемлемости $t'=1,45$. Отбираем из партии 10 диодов, измеряем $R_{ш}$ (см. табл.5.20). Находим оценку математического ожидания.

Таблица 5.20

Результаты испытаний										
№ диода	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{ш}$ кОм	0,4	0,39	0,42	0,41	0,43	0,50	0,48	0,44	0,45	0,44

$$\bar{x} = \frac{1}{10}(0,4 + 0,39 + 0,42 + 0,41 + 0,43 + 0,50 + 0,48 + 0,44 + 0,45 + 0,44) = 0,436 \text{ кОм.}$$

Рассчитаем оценку среднего квадратического отклонения

$$S = \sqrt{\frac{1}{10-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{9}(0,01064)} = 0,034 \text{ кОм.}$$

Составляем линейную комбинацию

$$R_{ш} = 0,436 \text{ кОм} + 1,45 \cdot 0,034 \text{ кОм} = 0,485 \text{ кОм.}$$

Сравнивая линейную комбинацию с верхним установленным пределом, видим, что значение линейной комбинации оказывается меньше верхнего установленного предела (0,49 кОм). Следовательно, партия принимается.

Пример 2. Контролируется партия приемно-усилительных ламп по току анода I_a . В ТУ на этот параметр задан нижний установленный предел, равный 5 мА. Установлены характеристики плана контроля $\alpha = 0,05$; $\beta = 0,1$; $q_1 = 0,0015$; $q_2 = 0,08$. Параметр I_a распределен по нормальному закону с известным средним квадратическим отклонением $\sigma = 1$ мА.

С помощью приложения 15 для $q_1=0,0015$ (0,15%) и $q_2=0,08$ (8%) находим объем выборки $n=12$ и критерий приемлемости $t'=2,15$. Отбираем из партии 12 приборов и проводим измерения (табл.5.21).

Таблица 5.21

Результаты испытаний

№ при-бора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I_a , мА	9,8	8,3	4,8	8,9	7,1	7,5	8	9,5	10	7,9	6,5	12

Находим оценку математического ожидания $\bar{x} = 8,36 \text{ мА}$.

Рассчитываем линейную комбинацию

$$\bar{x} = t' \sigma = 8,36 \text{ мА} - 2,15 \cdot 1 \text{ мА} = 6,21 \text{ мА}.$$

Поскольку значение линейной комбинации оказалось больше, чем значение нижнего установленного предела (5 мА), то результаты контроля удовлетворительные. Поэтому несмотря на то, что прибор №3 имеет значение параметра I_a меньше нижнего установленного предела (4,8 мА < 5 мА), контролируруемую партию следует принять.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Аристов О.В., Богданов В.М., Зекунов А.Г. Контроль и управление качеством в радиоэлектронике и электротехнике: Учебное пособие.-М.: Издательство стандартов, 1977.
- 2.Басовский Л.Е., Протасьев В.Б. Управление качеством: Учебник.-М.: Издательство ИНФРА-М, 2002.
- 3.Беляев Ю.К. Вероятностные методы выборочного контроля.-М.: Изд-во «Наука», 1975.
- 4.Беляев Ю.К. Математические модели анализа стандартов приемочного контроля качества- в кн. Статистические методы в теории надежности и контроле качества.-М.: Изд-во МГУ, 1973, вып.43.
- 5.Большев А.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики.-М.: Изд-во «Наука», 19 .
- 6.Браунли К.А. Статистическая теория и методология в науке и технике.-М.: Изд-во «Наука»,1977.
- 7.Вальд А. Последовательный анализ.-М.: Физматгиз,1960.
- 8.Варакута С.А. Управление качеством продукции: Учебное пособие.-М.: Изд-во «ИНФРА-М»,2001.
- 9.Варакута С.А. Управление качеством продукции.-М.: Изд-во РИОР, 2004.
- 10.Венецкий И.Г., Мхитарян В.С., Трошин Я.И. Анализ результатов выборочного контроля по нескольким альтернативным признакам. Заводская лаборатория,1979,№4.
- 11.Всеобщее Управление качеством: Учебник для вузов /О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин: под ред. О.П. Глудкина.-М:Горячая линия-Телеком,2001.
- 12.Гаскаров Д.В. Дахнович А.А. Оптимизация технологических процессов в производстве электронных приборов: Учеб.пособие для вузов.-М.: Высшая школа, 1986.
- 13.Гиссин В.И. Управление качеством продукции: Учебное пособие.-Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2000.
- 14.Derman, Johns, Lieberman. Continuous sampling procedures without control – Ann. Math. Stat., 1959, v. 30.
- 15.Derman, Littauer, Solomon. Tightened multilevel continuous sampling plans. Ann. Math. Stat., 1957, v.32, №2.
- 16.Дунин-Барковский И.В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения:Учебник.-М.: Издательство стандартов, 1987.

17.Журцев В.Г., Кубарев А.И., Усан М.В. Статистические методы контроля качества на часовом производстве.-М.: Изд-во стандартов, 1972.

18.Зедгинидзе И.Г. Организация и планирование инженерного эксперимента: Учебник.-Тбилиси: Изд-во Технический университет – «Центр информатизации»,2000.

19. ზედგინიძე ი.გ. მეტროლოგიის, სტანდარტიზაციის და ხარისხის მართვის ალბათური საფუძვლები: სახელმძღვანელო - თბილისი: გამომცემლობა ტექნიკური უნივერსიტეტი-„ინფორმატიზაციის ცენტრი“, 1999.

20.Избранные труды 40-го конгресса Европейской организации по качеству.Берлин, сентябрь 1996 г.-М.: ГП- Редакция журнала «Стандарты и качество»,1997.

21.Исикава Каору. Японские методы управления качеством.-М.: Изд-во «Экономика», 1988.

22.Коуден Д. Статистические методы контроля качества.-М.: Физматгиз, 1961.

23.Купряков Е.М. Стандартизация и качество промышленной продукции: Учебник для экон. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Высшая школа.

24.Левин С.И. Статистические методы контроля и анализа качества источников света.-М.: Изд-во комитета стандартов, мер и измерительных приборов,1968.

25.Мазур И.И., Шапиро В.Д. Управление качеством: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд.-М.: Омега-Л, 2005.

26.Методика статистического регулирования качества продукции в механических цехах крупносерийного производства. –М.: Изд-во ЦПКТБ НОТ,1971.

27.Мишин В.М. Управление качеством: Учебное пособие для вузов.-М.: Изд-во «ЮНИТИ-ДАНА», 2000.

28.Мхитарян В.С. Статистические методы в управлении качеством. –М.: Финансы и статистика, 1987.

29.Мхитарян В.С. Об одном критерии выбора плана непрерывного выборочного контроля продукции – в кн.: Опыт применения математико-статистических методов в производстве.-М.: Машгиз,1976.

30.Новицкий Н.И., Олексюк В.Н. Управление качеством продукции: Учебное пособие.-Мн.: Издательство «Новое знание»,2001.

31.Огвоздин В.Ю. Управление качеством. Основы теории и практики: Учебное пособие.-М.: Издательство «Дело и Сервис», 1999.

32.Райкин А.А., Мхитарян В.С. Статистические методы контроля качества продукции поточного производства – в кн.: Опыт при-

менения методов математики и вычислительной техники в производстве.-М.: Машгиз,1970.

33.Рейх Н.Н., Тупиченков А.А., Цейтлин В.Г. Метрологическое обеспечение производства: Учебное пособие.-М.: Изд-во стандартов, 1987.

34.Робертсон А. Управление качеством.-М.: Изд-во Прогресс,1974.

35.Управление качеством: Учебник для вузов /С.Д. Ильенкова, Н.Д. Ильенкова, В.С.Мхитарян и др.; Под ред. С.Д. Ильенковой.-М.: Изд-во «ЮНИТИ», 2001.

36.Управление качеством продукции.Справочник.-М.: Изд-во стандартов,1985.

37.Фейгенбаум А. Контроль качества продукции /Сокр. пер. с англ.//Авт. предисл. и науч. ред. А.В. Гличева.-М.: Экономика, 1986.

38.

39.Hiller F.S. New criteria for selecting continuous sampling plans.-Technometrics, v.6, №2, 1964.

40.Хэнсен Б. Контроль качества.-М.: Изд-во Прогресс, 1968.

41.Шиндовский Э. Шюрц О. Статистические методы контроля производства.-М.: Изд-во Мир,1976.

42.Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности.-М.: Изд-во Советское радио, 1968.

43.Шранк Дж., Говиндараджан В. Стратегическое управление затратами: Методы увеличения конкурентоспособности /Пер. с англ. Е.П. Бугаева// Под науч. ред. Е.Н. Бондаревской – СПб.: Изд-во Бизнес Микро,1999.

44.Шторм Р. Теория вероятностей, математическая статистика. Статистический контроль качества.-М.: Изд-во Мир, 1970.

45.ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения.-М.,1981.

46.ГОСТ 15895-77 Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения (СТ СЭВ 547-84).

47.ГОСТ 18242-72 Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Планы контроля. Гос. комитет СССР по стандартам. М

О Г Л А В Л Е Н И Е

В в е д е н и е	3
ЧАСТЬ I. Методологические, организационные и экономические аспекты контроля качества продукции	6
<i>1. Система контроля качества продукции</i>	6
1.1. Контролируемые стадии жизненного цикла продукции ..	6
1.2. Объекты технического контроля	9
1.3. Субъекты контроля качества	12
1.4. Виды технического контроля	13
1.5. Элементы системы контроля качества	18
<i>2. Методы технического контроля качества.</i>	22
2.1. Разрушающие методы технического контроля	22
2.2. Неразрушающие методы технического контроля	23
2.2.1.Визуально-оптические методы неразрушающего контроля	26
2.2.2.Капиллярные методы неразрушающего контроля	28
2.2.3.Тепловые методы неразрушающего контроля	30
2.2.4.Радиационные методы неразрушающего контроля	32
2.2.5.Ультразвуковые методы неразрушающего контроля	37
2.2.6.Электромагнитные методы неразрушающего контроля	38
2.2.7.Прочие методы неразрушающего контроля	40
<i>3. Организация контроля качества продукции на предприятии</i>	41
3.1. Задачи, функции и пути совершенствования деятельности служб контроля качества предприятий ..	41
3.1.1.Функциональный состав служб контроля качества на предприятиях	41
3.1.2.Основные недостатки в работе служб контроля качества предприятий	43
3.1.3.Совершенствование деятельности служб контроля качества предприятий	44
3.2. Система профилактики брака на предприятии	45
3.2.1.Контроль качества новых разработок	45
3.2.2.Входной контроль качества продукции, получаемой по кооперации	48
3.2.3.Контроль соблюдения технологической дисциплины в производстве.	49
3.2.4.Самоконтроль качества в производстве	50

3.3. Экономические аспекты контроля качества	
продукции	52
3.3.1. Затраты на качество и модели стоимости качества	52
3.3.2. Классификация и учет затрат предприятия на оценку	
и контроль качества продукции	55
3.3.3. Пути оптимизации затрат на оценку и контроль качества.	57
3.3.4. Внутрипроизводственные и внепроизводственные	
непроизводительные расходы и потери при	
неудовлетворительном контроле качества.	61
ЧАСТЬ II. Статистические методы контроля и регулирования. . .	65
<i>4. Семь японских инструментов контроля качества</i>	<i>67</i>
4.1. Контрольный листок	68
4.2. Гистограмма	70
4.3. Диаграмма разброса (рассеивания)	73
4.4. Метод расслаивания	79
4.5. Диаграмма Парето	82
4.6. Причинно-следственная диаграмма	90
4.7. Графики и контрольные карты	94
<i>5. Промежуточные статистические методы контроля</i>	<i>102</i>
5.1. Статистический анализ технологических процессов	102
5.1.1. Порядок отбора выборок штучной продукции.	108
5.1.2. Определение грубых ошибок наблюдений	111
5.1.3. Построение эмпирического распределения и определение	
его основных статистических характеристик	113
5.1.4. Оценка сходимости эмпирического распределения с	
теоретическим	115
5.1.5. Точность статистических оценок и доверительные	
интервалы	119
5.1.6. Планирование экспериментов по определению	
объема выборки	122
5.1.7. Допуски и точность технологического процесса	124
5.1.8. Оценка постоянства величины мгновенного рассеивания	
в пределах одной партии изделий	126
5.1.9. Оценка наличия систематического смещения центра	
рассеивания в пределах одной партии изделий	133
5.1.10. Корреляционный анализ	141
5.1.11. Регрессионный анализ	147
5.1.12. Оценка показателей точности и стабильности	
технологических процессов	156

5.2. Статистический приемочный контроль качества	
продукции	159
5.2.1. Статистический приемочный контроль по	
альтернативному признаку.	164
5.2.2. Оценка качества продукции при контроле по	
нескольким альтернативным признакам	187
5.2.3. Статистический приемочный контроль по	
количественному признаку	194
Л и т е р а т у р а	199

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

(к о н с п е к т л е к ц и й)

Печатается в представленном составителями виде

Конспект лекций составлен И.Г.Зедгинидзе и Р.М.Жвания по материалам книг, приведенных в перечне использованной литературы (главы 1, 2, 3, 4, 5 составлены И.Г.Зедгинидзе, в составлении раздела 5.2. принимал участие Р.М.Жвания)

Компьютерное обеспечение: *И.Г.Зедгинидзе, Н.О.Берая*