

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ**

**Программа, методические указания и контрольные  
задания для студентов специальности  
1-54 01 03 «Физико-химические методы и приборы  
контроля качества продукции» заочной формы обучения**

Минск 2007

УДК 658.562(075.8)  
ББК 30.10я73  
М 54

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составитель доцент *Н. И. Заяц*

Рецензент  
доцент кафедры высшей математики БГТУ,  
кандидат физико-математических наук *В. В. Игнатенко*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2007 год. Поз. 142.

Для студентов специальности 1-54 01 00 «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции» заочной формы обучения

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2007

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» посвящена изучению методов и средств, которые используются при проведении как измерений, так и испытаний и контроля. Основное внимание уделено применению статистических методов, которые в настоящее время получили широкое распространение во всех промышленно развитых странах мира и с успехом применяются для проведения испытаний, контроля и управления качеством продукции.

Цель преподавания курса «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» – формирование инженерных знаний и навыков по использованию методов и средств измерений, испытаний и контроля, статистических методов оценки качества продукции, регулированию технологических процессов, статистического анализа их точности и стабильности, а также приемочного контроля качества продукции.

Основными задачами дисциплины являются:

- изучение методов и средств, применяемых при проведении измерений, испытаний и контроля;
- ознакомление с основными принципами выбора средств измерений при проведении испытаний и контроля;
- организация и проведение измерений при испытаниях и контроле;
- изучение статистических методов, используемых для оценки точности, стабильности и регулирования технологических процессов, оценки качества выпускаемой продукции и проведения приемочного контроля;
- изучение международного опыта для управления качеством продукции.

Дисциплина изучается студентами специальности 1-54 01 03 «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции».

Курс базируется на основных разделах дисциплин «Физические основы измерений», «Методы оптимизации и статистическая обработка данных», «Планирование и организация эксперимента», а также на разделе «Теория вероятности и математическая статистика» курса «Высшая математика».

В соответствии с учебным планом дисциплина «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» изучается студентами заочного отделения на четвертом курсе главным образом самостоятельно

по учебникам и учебным пособиям путем последовательной проработки всех разделов курса согласно учебной программе, приведенной в данном методическом указании. Курс состоит из лекций, лабораторных занятий, контрольной и курсовой работ.

При изучении дисциплины студенты пользуются литературой, списки которой приведены в данных методических указаниях. При отсутствии рекомендуемых учебных пособий, а также при желании углубить свои знания студенты могут использовать дополнительную литературу.

Вопросы, возникающие у студентов в процессе изучения дисциплины и при написании контрольной и курсовой работ, могут быть выяснены на групповых и индивидуальных консультациях, которые проводятся преподавателями кафедры.

Чтобы помочь разобраться в материале и заострить внимание на наиболее существенных вопросах, в данных методических указаниях приведены вопросы для самопроверки.

После проработки всего учебного материала по дисциплине студенты должны выполнить контрольную работу.

По окончании изучения курса сдается экзамен, к которому допускаются студенты, выполнившие контрольную работу. При подготовке к зачету контрольной работы студент должен учесть замечания, сделанные преподавателем по содержанию работы, и исправить ошибки. На экзамен необходимо предъявить зачетную контрольную работу.

# **1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **Введение**

Понятия «испытание», «измерение» и «контроль». Их различия. Основные определения в области испытаний, контроля и измерений. Роль и место испытаний и контроля в управлении качеством продукции. Измерение. Многообразие измерительных задач. Сущность статистических методов управления качеством продукции. Задачи статистических методов управления качеством и контроля.

## **РАЗДЕЛ 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ**

### **Методы измерений, испытаний и контроля**

Понятие «метод испытаний и контроля». Виды методов испытаний и контроля: измерительные, органолептические, экспертные и диагностирование. Измерение – основной метод испытаний и контроля. Классификация методов измерений.

Измерение и контроль механических, электрических, оптических, радиационных и других физических величин.

### **Средства испытаний, измерений и контроля**

Средства испытаний: испытательное оборудование, средства измерений и вспомогательные технические устройства. Испытательное оборудование. Нормированные точностные характеристики испытательного оборудования. Вспомогательные технические устройства.

Средства измерений. Обобщенная структурная схема средств измерений. Характеристики и параметры средств измерений в статическом и динамическом режимах. Классификация средств измерений. Аналоговые и цифровые измерительные приборы. Информационно-измерительные системы и измерительно-вычислительные комплексы.

Метрологические характеристики средств измерений.

Метрологическая надежность средств измерений. Основные понятия теории метрологической надежности. Изменение во времени метрологических характеристик средств измерений. Показатели метрологической надежности средств измерений. Метрологическая надежность и межповерочный интервал.

Методы повышения точности средств измерений. Градуировка и калибровка средств измерений. Методы поверки средств измерений.

### **Основные принципы выбора средств измерений при проведении испытаний и контроля**

Влияние погрешности измерения на результаты контроля. Допуск изделия и приемочный допуск. Влияние погрешностей измерения на результаты разбраковки (пассивный контроль). Пассивный контроль размеров, распределенных по нормальному закону. Активный контроль размеров. Автоматический контроль размеров. Значения коэффициента точности контроля, применяемые на практике.

### **Организация и проведение измерений при испытаниях и контроле**

Подготовка к измерениям и опробование средств измерений. Выполнение измерений. Требования к обеспечению условий измерений, испытаний и контроля. Защита от внешних нагрузок. Защита от воздействия вибраций и ударных нагрузок. Защита от воздействия пожаров и взрывов. Защита электрических измерительных цепей от влияния помех. Контроль условий выполнения измерений.

## **РАЗДЕЛ 2. ИЗМЕРЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ И ПРИ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ**

### **Краткие сведения из теории вероятности и математической статистики**

Контроль. Виды контроля. Измерительный контроль. Сплошной и выборочный контроль.

Использование статистических методов для проведения выборочного контроля. Основные понятия и определения: испытания, события. События достоверные, невозможные. Случайные события.

Количественные оценки случайных событий. Вероятность события. Частота и частость события.

Дискретная и непрерывная случайная величина. Функция распределения, плотность распределения. Характеристики распределения случайной величины.

Генеральная совокупность. Выборка. Повторная и бесповторная выборка. Многоуровневая, расслоенная выборка. Преднамеренная и случайная. Мгновенная, общая, малая и большая выборка. Выборки с возвращением и без возвращения. Задачи выборочного метода. Вариационный ряд. Интервальный ряд.

Статистические оценки параметров распределения. Точечные и интервальные оценки. Оценки математического ожидания и дисперсии. Состоятельность, эффективность и несмещенность оценок.

Статистическое оценивание и проверка гипотез. Статистическая гипотеза. Статистический критерий. Нулевая гипотеза. Алгоритм проверки гипотез. Проверка средних значений. Проверка дисперсий.

### **Статистические показатели точности и стабильности технологических операций**

Показатели, характеризующие величину случайных и систематических погрешностей за межнастроечный период по мгновенным выборкам. Показатель уровня настройки, показатель смещения центра рассеяния, показатель межнастроечной стабильности.

Показатели рассеяния и стабильности рассеяния.

Индекс возможности процесса. Нецентрированный технологический процесс. Установление индекса возможности процесса.

### **Статистические методы регулирования технологических процессов**

Задача статистического регулирования технологических процессов. Нулевая и альтернативная гипотезы. Этапы внедрения статистических методов регулирования технологических процессов.

Предварительный анализ состояния технологического процесса. Задачи, решаемые при предварительном анализе технологического процесса.

Виды контрольных карт. Контрольные карты регулирования по количественному признаку, контрольные карты регулирования по альтернативному признаку. Количественные характеристики: среднее арифметическое, медиана, среднее квадратическое отклонение, размах. Альтернативные характеристики: число несоответствующих единиц, число несоответствий, доля несоответствующих единиц продукции, число несоответствий на единицу продукции. Границы регулирования.

Классификация контрольных карт: простые контрольные карты (карты Шухарта), контрольные карты с предупреждающими границами, контрольные карты кумулятивных сумм. Области их применения.

Опытное статистическое регулирование технологического процесса.

Статистическое регулирование технологических процессов по количественному признаку. Контрольные карты средних арифметических значений и медиан, средних квадратических отклонений, размахов, с предупреждающими границами, кумулятивных сумм. Методики статистического регулирования с использованием контрольных карт.

Статистическое регулирование технологических процессов по альтернативному признаку. Разновидности контрольных карт: контрольная карта числа несоответствующих единиц продукции (пр-карта); контрольная карта доли несоответствующих единиц продукции (р-карта); контрольная карта числа несоответствий (с-карта); контрольная карта числа несоответствий на единицу продукции (u-карта). Определение границ регулирования. Методики статистического регулирования с использованием контрольных карт.

### **Статистические методы приемочного контроля качества**

Выборочный статистический контроль: основные понятия и определения. Колебание выборочных характеристик. Риск поставщика и риск потребителя. Единица продукции, штучная и нештучная продукция, однородная продукция.

Порядок формирования контролируемой партии. Представления контролируемых партий в виде одиночных и последовательных партий. Методы отбора единиц продукции в выборку (для штучной продукции) или проб (для нештучной продукции).

Виды статистических методов приемочного контроля. Статистический приемочный контроль по количественному, качественному и альтернативному признакам.

Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Виды дефектов и дефектных изделий.

Уровень несоответствий. Параметры уровня несоответствий: входной уровень несоответствий, средний входной уровень несоответствий, выходной уровень несоответствий, приемлемый уровень качества AQL, предельное качество LQ, средний выходной уровень несоответствий, предел среднего выходного уровня несоответствий.

Способы применения параметров уровня несоответствий. Факторы, определяющие приемлемый уровень качества.

Уровни контроля: общий и специальный. Типы планов контроля: одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый и последовательный. Виды контроля: нормальный, усиленный и ослабленный. Корректировка плана выборочного контроля. Оперативная характеристика плана выборочного контроля. Вероятность приемки партии. Величины, определяющие план контроля.

Порядок проведения одноступенчатого, двухступенчатого, многоступенчатого и последовательного планов контроля.

Статистический приемочный контроль при недопустимости несоответствующих изделий в выборке. Выбор плана контроля.

Порядок проведения контроля, основанного на экономических показателях с последующей оценкой среднего входного уровня несоответствий.

Порядок проведения непрерывного статистического приемочного контроля штучной продукции.

Статистический приемочный контроль по количественному признаку. Сущность статистического приемочного контроля по количественному признаку. Методы оценки и способы контроля. Приемлемый уровень качества. Уровни контроля. Виды контроля. Типы планов контроля: S-план, R-план,  $\sigma$ -план. Способы контроля. Контроль при одной заданной границе контролируемого параметра. Контроль при двух заданных границах контролируемого параметра.

### **Международный опыт использования статистических методов при контроле качества продукции**

Использование статистических методов контроля качества и зарубежный опыт.

Семь японских инструментов контроля качества продукции: расслоение, графики, диаграммы Парето, причинно-следственная диаграмма Исикавы, гистограммы, диаграммы разброса, контрольные карты. Методы выявления проблем. Комплексное использование семи инструментов контроля качества. Семь новых инструментов контроля качества: диаграмма сродства, диаграмма зависимости, системная диаграмма, матричная диаграмма, стрелочная диаграмма, диаграмма планирования оценки процесса, анализ матричных данных. Методы Тагути.

## 2. УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛАМ КУРСА

### Введение

Под испытанием понимают экспериментальное определение характеристик образца продукции при заданных значениях параметров режима работы образца и условий, в которых он находится. Многие виды испытаний являются контрольными, в ходе которых проводится проверка соответствия параметров установленным требованиям.

Следует понимать, что измерения являются основным способом получения требуемой информации о количественных свойствах явлений, процессов (в т. ч. и технологических), материальных объектов (материалов, полуфабрикатов, изготовленной продукции) и др.

Испытания и контроль могут осуществляться статистическими методами, т. е. выборочными, основанными на теории вероятности и математической статистике. Причем они могут быть использованы не только для проведения различных видов контроля (входного, приемочного, операционного, летучего и др.) и испытаний (приемодаточных, периодических, сертификационных и др.), но и для оценки состояния технологического процесса и при необходимости для его регулирования.

Статистические методы управления качеством продукции могут быть использованы для статического анализа точности и стабильности технологических процессов, статистического регулирования технологических процессов, статистического приемочного контроля качества продукции; статистической оценки качества продукции.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что такое испытание?
2. Определите основные цели и задачи проведения испытаний?
3. Что такое контроль?
4. Что является объектом контроля и испытаний?
5. Какие существуют виды контроля?
6. Чем отличаются испытания от контроля?
7. Что такое измерение?

8. Какова роль статистических методов в управлении качеством?
9. Назовите основные области применения статистических методов.

## **РАЗДЕЛ 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ**

### **Методы измерений, испытаний и контроля**

При измерениях, которые являются основным способом проведения испытаний и контроля и получения количественной информации об объектах контроля и испытаний, могут быть использованы различные методы. Метод – это совокупность, приемов использования принципов и средств измерений, в основе которого лежит определенный принцип, закон или закономерность. Измерения и контроль осуществляются с использованием различных методов: измерительных, органолептических, экспертных, диагностирования и др. Основным методом является измерительный, так как он позволяет получить количественную информацию о характеристиках объекта испытаний (контроля) с заданной точностью и достоверностью.

В ходе изучения раздела следует научиться проводить измерение и контроль механических, электрических, оптических, радиационных свойств и других физических величин.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Дайте определение метода измерений, испытаний и контроля.
2. Что устанавливает методика измерений?
3. Как классифицируют методы измерений?
4. В чем преимущества измерительных (инструментальных) методов при проведении испытаний и контроля перед другими методами?

### **Средства испытаний, измерений и контроля**

Проведение испытаний и контроля невозможно без использования различных технических средств. Средства испытаний и контроля – это испытательное оборудование, средства измерений и вспомогательные технические устройства. Для обеспечения требуемой точности проведения испытаний и контроля технические средства имеют

установленные нормированные метрологические (для средств измерений) и нормированные точностные (для испытательного оборудования) характеристики, которые периодически контролируются в процессе проведения поверок и калибровок средств измерений и аттестации испытательного оборудования.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Дайте определение средств испытаний и контроля.
2. Какие технические средства относятся к испытательному оборудованию?
3. Как классифицируют испытательное оборудование?
4. Какие характеристики относятся к нормированным точностным характеристикам испытательного оборудования?
5. Что такое аттестация испытательного оборудования и какова цель ее проведения?
6. Какие технические средства относятся к средствам измерений?
7. Что такое нормированные метрологические характеристики средств измерений?
8. В процессе каких операций устанавливаются метрологические характеристики средств измерений?

### **Основные принципы выбора средств измерений при проведении испытаний и контроля**

Средства измерения для проведения испытаний и контроля выбирают, принимая во внимание критерии точности, стоимости, экспрессности, трудоемкости, безопасности и др. Основным из них при выборе средств измерений должна быть точность. От нее зависит погрешность испытаний и достоверность контроля. Повышение точности измерений позволяет избежать экономических потерь, загрязнения окружающей среды, снизить вероятность травматизма и т. д. Однако уменьшение погрешности измерений связано с существенными дополнительными затратами. Поэтому точность измерений должна быть обоснованной и оптимальной. Например, при проведении контроля параметра качества продукции, на который установлен допуск, погрешность средства измерений не должна превышать  $1/3$ – $1/5$  допуска.

Необходимо разобраться, что такое активный и пассивный контроль и как он осуществляется.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Назовите критерии выбора средств измерений при проведении испытаний и контроля.
2. От чего зависит точность испытаний?
3. Как осуществляется выбор средств измерений для проведения испытаний и контроля в зависимости от их погрешности?
4. Что такое активный и пассивный контроль?

### **Организация и проведение измерений при испытаниях и контроле**

Измерительный процесс, являющийся основой испытаний и контроля, состоит из нескольких этапов: подготовка к измерениям, их выполнение, обработка результатов. Для обеспечения требуемого качества и точности каждый этап должен выполняться в соответствии с определенными правилами, изложенными в методике выполнения измерений. При этом также следует обратить внимание на соблюдение правил техники безопасности, требований к квалификации персонала, тщательности проведения измерений, безопасности окружающей среды и др.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Из каких этапов состоит процесс измерения?
2. На какие вопросы следует обращать внимание при подготовке к выполнению измерений?
3. При каких условиях должны проводиться измерения?
4. На какие вопросы следует обращать внимание при проведении измерений?

## **РАЗДЕЛ 2. ИЗМЕРЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ И ПРИ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ**

### **Краткие сведения из теории вероятности и математической статистики**

Значения измеренных показателей качества продукции, количество несоответствующих единиц или несоответствий в проконтролированной выборке или партии являются случайными величинами, поскольку могут принимать то или иное значение, заранее неизвестное.

Случайные величины делятся на дискретные и непрерывные. Случайную величину, которая может принимать изолированные значения, называют дискретной (например, число несоответствий или число несоответствующих единиц). Случайную величину, возможные значения которой заполняют некоторый конечный или бесконечный интервал, называют непрерывной (например, значения показателей качества продукции).

Все случайные величины подчиняются определенным закономерностям, называемым законами распределения, которые устанавливают связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Основным законом распределения дискретной случайной величины является ряд распределения, представляющий собой перечень возможных значений случайной величины и вероятностей, с которыми она их принимает. Непрерывные случайные величины описываются функцией распределения  $F(x)$  или производной от функции – плотностью распределения вероятностей

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}.$$

Для оценки состояния технологического процесса и качества выпускаемой продукции используется закон нормального распределения (распределение Лапласа – Гаусса) для описания непрерывных случайных величин, закон Пуассона и биномиальный закон для описания дискретных случайных величин.

Нормальное распределение (распределение Лапласа – Гаусса) – распределение вероятностей непрерывной случайной величины  $X$  при котором плотность распределения вероятностей при  $-\infty < x < +\infty$  принимает действительное значение

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right], \quad (1)$$

где  $\mu$  – математическое ожидание;  $\sigma$  – стандартное отклонение нормального распределения.

Функция распределения (интегральная функция) равна

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(u)du. \quad (2)$$

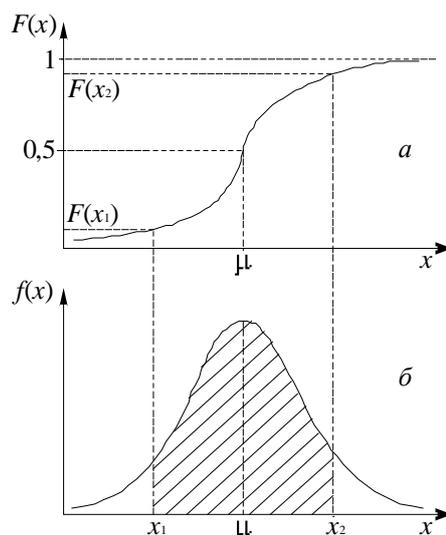


Рис. 1. Интегральная (а) и дифференциальная (б) функции нормального распределения

Функция и плотность распределения вероятностей нормального распределения представлены на рис. 1.

Как видно из формул, нормальный закон распределения характеризуется двумя параметрами:  $\mu$  и  $\sigma$ . Математическое ожидание  $\mu$  характеризует положение центра распределения, а среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  является характеристикой рассеивания.

Линейное преобразование нормально распределенной случайной переменной  $X$ , после которого получается случайная переменная  $Z$  с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1, называется нормированием.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}. \quad (3)$$

Его можно провести для каждой случайной переменной. Нормирование позволяет все возможные варианты нормального распределения свести к одному случаю:  $\mu = 0$ ,  $\sigma = 1$ .

Нормированное нормальное распределение (стандартное нормальное распределение, стандартное распределение Лапласа – Гаусса) – распределение вероятностей стандартизированной нормальной случайной величины  $z$ , плотность которого при  $-\infty < z < +\infty$  равна

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \quad (4)$$

Значение функции  $\Phi(z)$  определяется по формуле

$$\Phi(z) = \int_0^z \varphi(t) dt. \quad (5)$$

Значения функции  $\Phi(z)$  и плотности  $\varphi(z)$  нормированного нормального распределения рассчитаны и сведены в таблицы (табулированы). Таблица составлена только для положительных значений  $z$ :

$$\Phi(-z) = -\Phi(z). \quad (6)$$

С помощью этих таблиц можно определить не только значение функции нормированного нормального распределения для заданного  $z$ , но и значение функции с любым математическим ожиданием и средним квадратическим отклонением, так как

$$F(x) = 1/2 + \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) = 1/2 + \Phi(z). \quad (7)$$

Во многих задачах, связанных с нормально распределенными случайными величинами, приходится определять вероятность нахождения случайной величины  $X$ , подчиняющейся нормальному закону с параметрами  $\mu$  и  $\sigma$ , в определенном интервале. Таким интервалом может быть, например, интервал, ограничивающий поле допуска к параметру качества продукции от нижнего значения  $L$  до верхнего  $U$ .

Вероятность нахождения случайной величины (значение параметра качества продукции)  $X$  в поле допуска будет равна площади, заключенной между  $L$  и  $U$  кривой нормального распределения, и определяется формулой

$$q = P(L \leq X \leq U) = F(U) - F(L) = \Phi\left(\frac{U - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{L - \mu}{\sigma}\right). \quad (8)$$

Таким же образом определяется и площадь между границами  $\mu \pm k\sigma$ , которая равна вероятности нахождения случайной величины в этом интервале. Частота попадания значения случайной величины в определенный интервал отражена в табл. 1.

Таблица 1

Границы	Число наблюдений между границами, %
$\mu - \sigma, \mu + \sigma$	68,26
$\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma$	95,44
$\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma$	99,73

В границах  $(\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma)$  находится 99,73% всех наблюдений, т. е. практически все значения случайной величины. Только 0,27% из них находятся за этими границами, а именно 0,135% за  $\mu + 3\sigma$  и 0,135% – за  $\mu - 3\sigma$ .

Участок, лежащий внутри границ  $\mu \pm 3\sigma$ , называют также областью *статистического допуска* соответствующей машины или процесса.

Необходимо ознакомиться также с биномиальным распределением случайной величины и распределением Пуассона, которые используются для построения контрольных карт и выбора планов контроля по альтернативному признаку.

Целесообразно разобраться в таких понятиях, как генеральная совокупность и выборка. Под генеральной совокупностью понимают множество всех рассматриваемых объектов, свойства которых оцениваются по выборочным данным. Выборка (проба) – любое множество объектов, взятых из генеральной совокупности и предназначенных для получения информации о ней. Число объектов выборки  $n$  называется объемом выборки.

Различают следующие параметры генеральной совокупности: генеральное среднее  $\mu$ , дисперсия генеральной совокупности  $\sigma^2$ , стандартное отклонение совокупности  $\sigma$ . К выборочным характеристикам, которые рассчитываются по результатам контроля выборок и являются оценками параметров генеральной совокупности, относятся: выборочное среднее арифметическое значение  $\bar{X}$ , выборочная медиана  $Me$ , выборочная дисперсия  $S^2$ , выборочное стандартное отклонение  $S$ , размах выборки  $R$ .

Следует обратить внимание на методы отбора единиц продукции в выборку (случайного и систематического отбора, наибольшей объективности), которые зависят от способов представления продукции на контроль (ряд, россыпь, поток), и на виды выборок (повторные и бесповторные, преднамеренные и случайные, простые и расслоенные, единовременные и текущие, многоуровневые и одноуровневые).

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Что такое случайная величина?
2. В чем различие между дискретными и непрерывными случайными величинами?
3. Дайте определение функции распределения и плотности распределения вероятностей.
4. Какие параметры характеризуют нормальный закон распределения?
5. Как изменится график плотности распределения вероятностей нормального распределения с изменением  $\mu$  и  $\sigma$ ?

6. Какой закон распределения называется нормированным нормальным?

7. Как с использованием функции нормированного нормального распределения определить значения функции и плотности любого нормального распределения?

8. Что такое статистическое оценивание?

9. Как получить статистические оценки математического ожидания и среднего квадратического отклонения?

10. Какие есть способы представления продукции на контроль?

11. В чем сущность метода случайного отбора?

12. Как используется метод наибольшей объективности для отбора выборок?

13. Что такое систематический отбор?

14. Как классифицируют выборки?

15. Чем отличаются простая и расслоенная выборка?

16. Что такое повторные и бесповторные выборки?

17. В чем разница между единовременной и текущей выборкой?

### **Статистические показатели точности и стабильности технологических операций**

Статистические методы позволяют осуществить оценку и анализ показателей точности и стабильности технологических процессов. Такой анализ осуществляется на основе результатов периодического контроля выборок, который проводят по количественному или альтернативному признакам.

Контроль по количественному признаку – установление с требуемой точностью чаще всего измерительными методами значения параметра качества продукции.

Контроль по альтернативному признаку заключается в определении соответствия контролируемого параметра или единицы продукции установленным требованиям и нахождении числа несоответствующих установленным требованиям единиц или числа несоответствий.

Анализ и исследование состояния технологического процесса может быть первым этапом на пути внедрения статистических методов регулирования технологического процесса (контрольных карт).

Следует обратить внимание, что в результате предварительного исследования технологического процесса при контроле по количественному признаку, о состоянии которого судят по показателям

качества выпускаемой продукции или заготовок, необходимо получить оценки параметров нормального распределения  $\mu$  и  $\sigma$ . Затем рассчитать характеристики (вероятностную долю несоответствующей продукции, индексы пригодности процесса), по которым можно судить о состоянии технологического процесса. Для этого необходимо проконтролировать как минимум 100 единиц продукции (после наладки оборудования), которые отбирают мгновенными выборками по 3–10 единиц (оптимально 4–5). По результатам контроля мгновенной выборки вычисляют статистические характеристики: среднее арифметическое  $\bar{X}$ , стандартное отклонение  $S$ , медиана  $Me$ , размах  $R$ , по которым определяют оценки параметров генеральной совокупности  $\mu$  и  $\sigma$ .

Вероятную долю несоответствующей продукции определяют по формуле

$$P = 1 - q, \quad (9)$$

где  $q$  – вероятная доля соответствующей установленным требованиям продукции, определяемая по формуле (8).

Показатель пригодности процесса (коэффициент запаса точности, индекс годности, потенциальная пригодность, PCI)  $C_p$  определяется как отношение технического поля допуска к статистическому допуску:

$$C_p = \frac{U - L}{6\sigma}. \quad (10)$$

В зависимости от значений индекса возможности процесса технологический процесс оценивается как точный при  $C_p > 1,33$ ; удовлетворительный при  $1 \leq C_p \leq 1,33$  и неудовлетворительный при  $C_p < 1$ .

Индекс возможности процесса  $C_p$ , рассчитанный по приведенной выше формуле, используется для характеристики центрированного технологического процесса (середина поля допуска  $\mu_0$  совпадает с центром распределения  $\bar{X}$ ). Если технологический процесс не центрирован, то используют следующие параметры оценки состояния технологического процесса:

– верхний и нижний показатели пригодности

$$C_{pL} = \frac{\bar{X} - L}{3\sigma}, \quad C_{pU} = \frac{U - \bar{X}}{3\sigma}. \quad (11)$$

Если  $C_{pL} \neq C_{pU}$ , то технологический процесс нецентрирован;

– коэффициент смещения (поправка на нецентрированность) технологического процесса, рассчитываемый по формуле

$$K = \frac{|\mu_0 - \bar{X}|}{1/2(U - L)}; \quad (12)$$

– подтвержденное качество с учетом нецентрированности процесса, равное

$$C_{pK} = C_p(1 - K); \quad (13)$$

– потенциальная пригодность  $C_{pm}$ , рассчитываемая по формуле

$$C_{pm} = \frac{U - L}{6\sigma_2}; \quad \sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu_i - \mu_0)^2}{n-1}}. \quad (14)$$

При контроле по альтернативному признаку о состоянии технологического процесса судят по среднему уровню процесса  $\bar{P}$  (процент несоответствующих единиц или число несоответствий на 100 единиц), который оценивают по результатам сплошного или выборочного контроля не менее 10 партий (объем партии более 100 единиц).

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i}{\sum_{i=1}^k \Pi_i} 100, \quad (15)$$

где  $k$  – число проконтролированных партий (выборок);  $D_i$  – число несоответствий или несоответствующих единиц, обнаруженных в  $i$ -ой партии;  $\Pi_i$  – число проконтролированных единиц продукции в  $i$ -ой партии.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Как осуществляется контроль по количественному и альтернативному признакам?
2. Назовите преимущества и недостатки каждого вида контроля.
3. Какие параметры позволяют оценить состояние технологического процесса при контроле по количественному признаку?
4. Как оценить параметры генеральной совокупности  $\mu$  и  $\sigma$ ?
5. Как рассчитать вероятную долю несоответствующей продукции?
6. Какой технологический процесс является центрированным?
7. Как рассчитать индекс пригодности центрированного технологического процесса?
8. Какие параметры позволяют оценить состояние нецентрированного технологического процесса?
9. Какие параметры необходимо определить при контроле по альтернативному признаку для оценки состояния технологического процесса?

## Статистические методы регулирования технологических процессов

Статистическое регулирование технологических процессов осуществляется с помощью контрольных карт. Их применяют для сравнения получаемой по выборкам информации о текущем состоянии технологического процесса с контрольными границами, представляющими собой пределы собственной изменчивости технологического процесса ( $\pm 3\sigma$ ).

На контрольной карте есть центральная линия (CL – center line) – значение характеристики, установленное в нормативном документе, либо значение, установленное на основании предыдущих исследований, либо намеченное целевое значение характеристики продукции и две границы регулирования: верхняя UCL (upper control limit) и нижняя LCL (lower control limit).

Границы регулирования на карте находятся на расстоянии  $\pm 3\sigma$  от центральной линии. Они показывают, что около 99,73% значений характеристики попадают в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии.

По количественному признаку используют следующие простые контрольные карты Шухарта:

- индивидуальных значений ( $\bar{X}$ -карта);
- средних арифметических ( $\bar{X}$ -карта);
- медиан ( $Me$ -карта);
- средних квадратических отклонений ( $S$ -карта);
- размахов ( $R$ -карта);
- скользящих размахов ( $R_{ск}$ -карта).

По альтернативным данным строят контрольные карты:

- числа несоответствующих единиц (np-карта);
- доли несоответствующих единиц (p-карта);
- числа несоответствий (c-карта);
- числа несоответствий на одну единицу (u-карта).

Кроме простых контрольных карт Шухарта, приведенных выше, необходимо ознакомиться с другими видами контрольных карт: двойными, картами с предупреждающими границами, приемочными контрольными картами и картами кумулятивных сумм.

При контроле по альтернативному признаку для регулирования технологического процесса достаточно одной простой контрольной карты Шухарта, так как предполагаемое распределение имеет только один параметр – средний уровень несоответствий  $\bar{P}$ . При контроле по количественному признаку чаще всего используются двойные контрольные

карты (например,  $\bar{X}$  – $R$ -карта), чтобы по одной из них следить за сдвигом  $\mu$ , по другой – за увеличением  $\sigma$ .

Контрольные карты могут быть использованы для анализа технологического процесса (обычно за прошедший период времени) и регулирования технологического процесса с остановками или корректировками (регулюировками) в случае необходимости.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что представляет собой контрольная карта Шухарта?
2. Что является центральной линией на контрольной карте Шухарта?
3. Как рассчитывают границы регулирования на контрольных картах?
4. Назовите контрольные карты, которые используют для количественных данных.
5. Какие контрольные карты Шухарта для альтернативных данных существуют?
6. Что такое двойная контрольная карта?
7. Как строится контрольная карта с предупреждающими границами?
8. Что такое контрольная карта кумулятивных сумм?
9. Что такое приемочная контрольная карта?
10. Как использовать контрольные карты для анализа технологического процесса?
11. Как использовать контрольные карты для регулирования технологического процесса?

### **Статистические методы приемочного контроля качества продукции**

Статистический приемочный контроль является завершающим этапом производства продукции – приемкой. Он может быть использован также для приемки партий сырьевых материалов, проведения операционного контроля, контроля закупок и т. д., то есть в тех случаях, когда надо решить вопрос, принять или отклонить партию.

Приемочный контроль осуществляется по альтернативному и по количественному признакам.

В ходе статистического контроля по альтернативному признаку каждую проверенную единицу продукции относят к категории соответствующих и несоответствующих установленным требованиям,

а последующее решение о контролируемой партии принимают в зависимости от результатов сравнения количества обнаруженных в выборке несоответствующих единиц или несоответствий с контрольными нормативами (приемочным  $A_c$  и браковочным  $R_e$  числом).

Особое внимание нужно уделить уровню несоответствий, который делится на входной (характеризуется средним входным уровнем несоответствий), выходной (средний выходной AOQ и предел среднего выходного AOQL), приемлемый уровень качества (AQL) и предельное качество (LQ).

При приемочном контроле необходимо правильно осуществить выбор плана контроля, который устанавливает объем выборки и необходимые критерии приемки партий (приемочные  $A_c$  и браковочные  $R_e$  числа).

При выборе планов контроля с целью его оптимизации могут использоваться различные уровни (I, II, III – общие и  $S_1, S_2, S_3$  – специальные), типы (одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый и последовательный), виды (нормальный, усиленный и ослабленный) контроля.

Так как контроль выборочный, то из-за колебаний оценок возникают ошибки первого ( $\alpha$ ) (риск поставщика забраковать годную партию) и второго ( $\beta$ ) рода (риск потребителя получить негодную партию), которые можно определить по оперативным характеристикам, приведенным в стандартах. Их необходимо учитывать при выборе планов контроля. Чем меньше  $\alpha$  и  $\beta$ , тем эффективнее план выборочного контроля.

Необходимо обратить внимание на порядок выбора и использования плана контроля.

При приемочном контроле по количественному признаку в отличие от альтернативного контроля, соответствие партий устанавливается статистически по результатам измерения показателей качества единиц продукции, входящих в выборку. Контроль заключается в измерении численных значений контролируемого параметра, вычислении выборочного среднего арифметического  $\bar{X}$  и оценке статистики качества

$$Q = \frac{U - \bar{X}}{S} \text{ и (или) } Q = \frac{\bar{X} - L}{S},$$

которую сравнивают с контрольным нормативом  $k$ , определенным из стандартов.

Для выбора плана выборочного контроля необходимо знать:

- объем партии продукции;
- уровень контроля (I, II, III – общие и  $S_3, S_4$  – специальные);
- приемлемый уровень качества AQL (одинаковый или различный для верхней и нижней границ);

- вид контроля (нормальный, усиленный, ослабленный);
  - стандартное отклонение или метод его оценки ( $\sigma$ -план, S-план, R-план);
  - способ контроля (числовой  $k$ -способ, графический и способ с использованием максимального выборочного стандартного отклонения).
- Основным для использования является S-план.

Необходимо разобраться, как осуществляется контроль по количественному признаку и как принимается решение относительно проконтролированной партии с использованием различных планов и способов контроля.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что такое статистический приемочный контроль качества продукции?
2. Что называют планом статистического приемочного контроля?
3. Какие уровни несоответствий существуют?
4. Что такое оперативная характеристика плана выборочного контроля?
5. Дайте определение типа, вида и уровня контроля.
6. Как на практике осуществить одноступенчатый выборочный контроль по альтернативному признаку?
7. Укажите ход действий при проведении двухступенчатого выборочного контроля по альтернативному признаку.
8. Какие параметры необходимо знать для выбора планов контроля по количественному признаку?
9. Как осуществить приемочный контроль качества продукции по количественному признаку с использованием числового способа?
10. Назовите особенности проведения приемочного контроля качества продукции по количественному признаку с использованием графического способа?
11. Как осуществить приемочный контроль качества продукции по количественному признаку с использованием критерия максимального выборочного стандартного отклонения?

### **Международный опыт использования статистических методов при контроле качества продукции**

Для решения различных проблем, связанных с качеством продукции, могут быть использованы семь японских методов управления качеством: расслоение, графики, диаграммы Парето, причинно-следственная диаграмма Исикавы, гистограммы, диаграммы разброса, контрольные

карты. При их изучении необходимо разобраться, как использовать эти методы на практике.

Необходимо изучить методы сбора статистической информации: построение контрольного листка, схемы процесса и т. д.

Следует ознакомиться также с семью новыми инструментами контроля: диаграммой сродства, диаграммой зависимостей, системной диаграммой, матричной диаграммой, стрелочной диаграммой, диаграммой планирования оценки процесса, анализом матричных данных.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Назовите семь японских методов управления качеством.
2. Как строится диаграмма Парето?
3. Как использовать диаграмму Исикавы для решения проблем, связанных с качеством продукции?
4. Как строятся гистограммы?
5. Что такое диаграмма разброса?
6. Какие методы можно использовать для сбора статистической информации?
7. Назовите семь новых инструментов контроля.

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Выполнение контрольных заданий в процессе изучения данной дисциплины является обязательной частью самостоятельной работы студентов. Контрольные работы должны показать степень и глубину усвоения студентами курса и содержать исчерпывающие ответы на контрольные задания.

Работа должна быть написана разборчиво синими или черными чернилами с достаточным интервалом между строками. С левой стороны текста необходимо оставить поля не менее 3 см.

Выполненная контрольная работа представляется в деканат. После проверки на допущенную к собеседованию контрольную работу высылается рецензия с соответствующими замечаниями рецензента. Контрольная работа, не допущенная к собеседованию, возвращается студенту на доработку вместе с рецензией. После исправления работа высылается в университет на повторное рецензирование.

Контрольная работа дается в 10 вариантах. Каждый из них включает в себя четыре практических задания, номера которых приведены в таблице. Студент выполняет тот вариант, номер которого совпадает с последней цифрой номера его зачетной книжки. Номера вариантов и вопросов задания приведены в табл. 2.

Таблица 2

#### Варианты и номера вопросов задания

Номер варианта (последняя цифра номера зачетной книжки)	Номера вопросов			
0	1	11	21	31
1	2	12	22	32
2	3	13	23	33
3	4	14	24	34
4	5	15	25	35
5	6	16	26	36
6	7	17	27	36
7	8	18	28	38
8	9	19	29	39
9	10	20	30	40

#### ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНОМУ ЗАДАНИЮ

##### *Задание 1*

Задано поле допуска, ограниченное предельными значениями  $L = 17,8$  мкм и  $U = 22,2$  мкм. В результате предварительного анализа

установлено, что среднее значение совпадает с серединой поля допуска, т. е.  $\mu = 20$  мкм и  $\sigma = 2$  мкм.

Определить, как изменится вероятная доля несоответствующей продукции и индекс пригодности процесса  $C_p$  при условии, что после ремонта (подналадки) оборудования значение рассеивания параметра уменьшилось до  $\sigma_1$ . Значения  $\sigma_1$  для каждого варианта приведены в табл. 3.

Таблица 3

Номер варианта	$\sigma_1$
1	1,8
2	1,5
3	1,3
4	1,0
5	1,2
6	1,4
7	1,9
8	1,1
9	1,6
0	1,7

### Задание 2

Продукция поступает на контроль партиями по  $N$  единиц. Приемлемый уровень качества AQL, %.

А. Уровень контроля II общий, контроль нормальный, одноступенчатый. Определить план контроля. Нарисовать схему контроля.

Б. Определить план ослабленного и усиленного контроля. Нарисовать схему переключений с нормального на усиленный и ослабленный контроль.

В. Уровень контроля I общий. Определить план контроля. Сравнить риски поставщика и потребителя при использовании I общего и II общего планов.

Г. Уровень контроля II общий, контроль нормальный, двухступенчатый. Определить план контроля. Нарисовать схему контроля. Сравнить средний объем проконтролированных изделий одноступенчатого и двухступенчатого контроля.

Значения величин  $N$ , AQL, LQ для каждого варианта приведены в табл. 4.

Таблица 4

Номер варианта	Объем партии, $N$	AQL, %	LQ, %
1	500	1,5	10
2	1000	2,5	15

Окончание табл. 4

3	2000	4,0	14
4	2500	2,5	11
5	3000	1,5	8
6	10000	4,0	11
7	4000	1,0	5
8	4500	2,5	8
9	6000	1,0	5
0	1200	4,0	15

*Задание 3*

Технологический процесс изготовления деталей является налаженным, если диаметр деталей  $d$ , мм, равен  $\mu_0$ , а рассеивание параметра равно  $\sigma_0$ , мм. Построить форму (бланк) двойной контрольной карты  $\bar{X}-R$ . Регулирование будет осуществляться по мгновенным выборкам объемом  $n = 5$  единиц. Значения  $\mu_0$  и  $\sigma_0$  для каждого варианта приведены в табл. 5.

Таблица 5

Номер варианта	$\mu_0$	$\sigma_0$
1	50	2,5
2	10	1,0
3	20	1,0
4	25	2,5
5	30	1,5
6	10	0,8
7	40	3,0
8	45	2,5
9	60	2,0
0	32	4,0

*Задание 4*

На контроль поступила партия из 100 стабилизаторов напряжения. Установлены верхняя  $U$  и нижняя  $L$  границы стабилизируемого напряжения и значения  $AQL$ , %, для верхней и нижней границ. Уровень контроля  $\Pi$  общий, нормальный. Требуется определить план контроля.

В результате контроля получены следующие значения стабилизируемого напряжения: 205, 210, 220, 215, 207, 203, 210, 212, 208, 213 В. Необходимо принять решение относительно контролируемой партии.

Значения  $U$ ,  $L$ ,  $AQL_U$ ,  $AQL_L$  для каждого варианта приведены в табл. 6.

Таблица 6

Номер варианта	$U$ , В	$L$ , В	$AQL_U$ , %	$AQL_L$ , %
1	220	–	1,5	–
2	220	200	1,0	1,0
3	220	200	1,0	1,5
4	–	200	–	0,65
5	220	202	1,0	1,0
6	–	202	–	1,5
7	222	–	0,65	–
8	222	200	4,0	4,0
9	222	202	2,5	2,5
0	221	202	1,5	2,5

#### 4. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

##### Пример 1

Задано поле допуска, ограниченное предельными значениями параметра  $L = 15,0$  мкм и  $U = 20,0$  мкм. В результате предварительного анализа установлено, что среднее значение совпадает с серединой поля допуска, т. е.  $\mu = 17,5$  мкм и  $\sigma = 1$  мкм. Определить, как изменится вероятная доля несоответствующей продукции и индекс пригодности процесса  $C_p$  при условии, что после ремонта (подналадки) оборудования значение рассеивания параметра уменьшилось до 0,9.

Необходимо определить вероятную долю несоответствующей продукции и индекс пригодности процесса до и после подналадки оборудования. Вероятная доля несоответствующей продукции определяется по формуле (9), индекс пригодности центрированного процесса – по формуле (10).

До подналадки:

– вероятная доля несоответствующей продукции равна

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{20,0 - 17,5}{1}\right) + \Phi\left(\frac{15,0 - 17,5}{1}\right) = 1 - \Phi(2,5) + \Phi(-2,5) = 1 - \Phi(2,5) + \Phi(2,5) = 2 \cdot \Phi(2,5) = 2 \cdot 0,4938 = 0,9876 \approx 98,76\%;$$

– индекс пригодности процесса

$$C_p = \frac{20,0 - 15,0}{6 \cdot 1} = 0,83.$$

После подналадки:

– вероятная доля несоответствующей продукции

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{20,0 - 17,5}{0,9}\right) + \Phi\left(\frac{15,0 - 17,5}{0,9}\right) = 1 - \Phi(2,78) + \Phi(-2,78) = 1 - \Phi(2,78) + \Phi(2,78) = 2 \cdot \Phi(2,78) = 2 \cdot 0,4973 = 0,9946 \approx 99,46\%;$$

– индекс пригодности процесса:

$$C_p = \frac{20,0 - 15,0}{6 \cdot 0,9} = 0,93.$$

После подналадки оборудования вероятная доля несоответствующей продукции уменьшилась на 0,7 % (с 1,24 до 0,54 %), а индекс пригодности процесса возрос с 0,83 до 0,93.

##### Пример 2

Продукция поступает на контроль партиями объемом 1500–1600 единиц. Приемлемый уровень качества  $AQL = 6,5\%$ .

А. Уровень контроля II общий, контроль нормальный, одноступенчатый. Определить план контроля. Нарисовать схему контроля.

Б. Уровень контроля I общий. Определить план контроля. Сравнить риски поставщика и потребителя при использовании I общего и II общего планов ( $LQ = 18\%$ ).

В. Уровень контроля II общий, контроль нормальный, двухступенчатый. Определить план контроля. Нарисовать схему контроля. Сравнить средний объем проконтролированных изделий одноступенчатого и двухступенчатого контроля.

А. По табл. 1 стандарта (СТБ ГОСТ Р 50779.71–2001) по объему партии и уровню контроля находим код объема выборки –  $K$ . По коду объема выборки и AQL для одноступенчатого нормального контроля определяем план контроля: объем выборки, приемочное ( $A_c$ ) и браковочное ( $R_e$ ) числа. План контроля:

$$N = 125; A_c = 14, R_e = 15.$$

Схема контроля приведена на рис. 2.

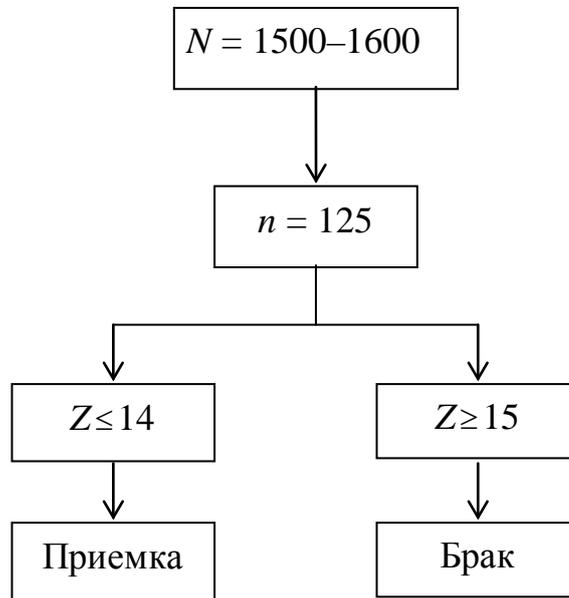


Рис. 2. Последовательность одноступенчатого контроля

Если установленное в ходе контроля число несоответствующих единиц или несоответствий будет меньше либо равно 14, то партия будет принята, если 15 и более – отклонена.

Б. По табл. 1 (СТБ ГОСТ Р 50779.71–2001) стандарта для уровня контроля I определяем код объема выборки –  $H$ . Находим план контроля:

$$n = 50, A_c = 7, R_e = 8.$$

Риски поставщика  $\alpha$  и потребителя  $\beta$  находим по оперативным характеристикам планов контроля: график  $K$  для II уровня и график  $H$  для I уровня.

$\alpha = 100 - P_{AQL}$ , т. е. риск поставщика, %, равен 100 минус вероятность принять продукцию с уровнем несоответствий, равным AQL.

$\beta = P_{LQ}$ , т. е. риск потребителя равен вероятности принять партию с уровнем несоответствий, равным LQ.

По оси  $X$  графиков  $K$  и  $H$  откладываем AQL для нахождения  $\alpha$  и LQ для нахождения  $\beta$ .

По соответствующей кривой AQL находим вероятность принять партию и рассчитываем  $\alpha$  и  $\beta$ .

$$\alpha_{II} = 100 - P_{AQL} = 100 - 97 = 3\%;$$

$$\alpha_I = 100 - P_{AQL} = 100 - 98 = 2\%;$$

$$\beta_{II} = P_{LQ} = 5\%;$$

$$\beta_I = P_{LQ} = 30\%.$$

С изменением уровня контроля с II на I уменьшается объем выборки со 125 до 50 единиц, при этом риск поставщика остается практически неизменным, а риск потребителя сильно возрастает (с 5 до 30 %).

В. По таблицам стандарта (код  $K$ , двухступенчатый нормальный контроль) находим план контроля:

первой ступени  $n_I = 80$ ;  $A_{c_I} = 7$ ,  $R_{e_I} = 11$ ;

второй ступени  $n_{II} = 80$ ;  $A_{c_{II}} = 18$ ,  $R_{e_{II}} = 19$ .

Последовательность проведения двухступенчатого контроля приведена на рис. 3.

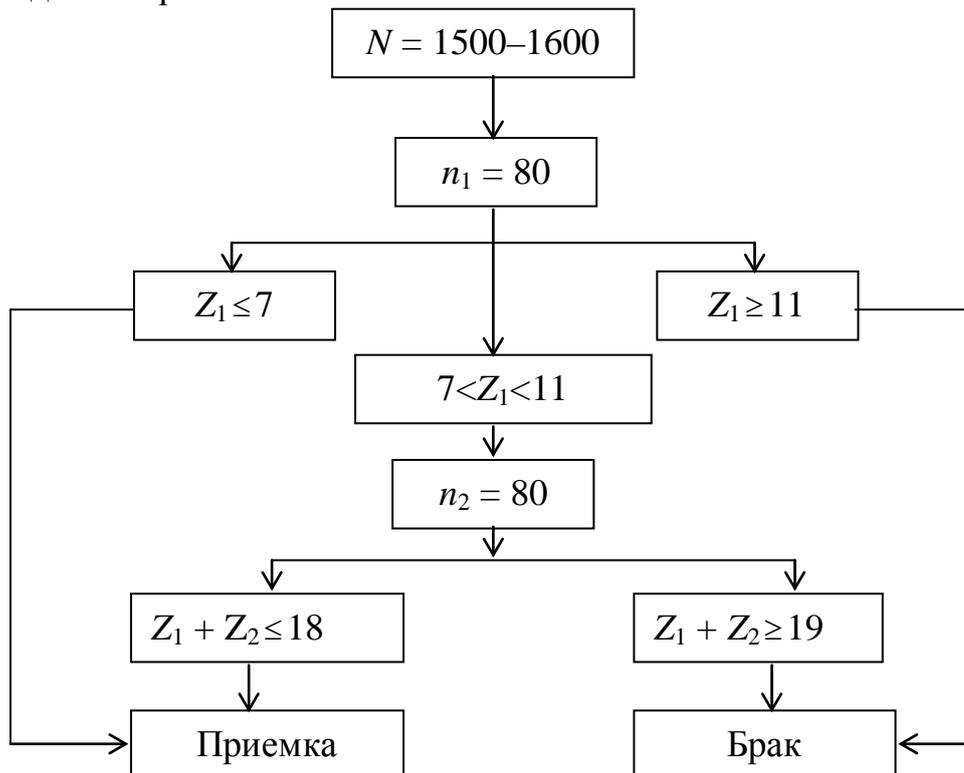


Рис. 3. Последовательность двухступенчатого контроля

Для сравнения среднего объема проконтролированных изделий одноступенчатого и двухступенчатого планов контроля необходимо воспользоваться таблицей IX стандарта. Находим необходимый график ( $A_c = 14$  для одноступенчатого контроля). По графику, двигаясь по стрелке, находим, что средний объем двухступенчатого контроля равен 0,6 от объема одноступенчатого контроля (первая кривая на графике), что равно  $125 \cdot 0,6 = 75$  единиц продукции.

Таким образом, при использовании двухступенчатого плана контроля средний объем проконтролированных изделий уменьшается на 50 единиц.

### Пример 3

Технологический процесс изготовления деталей является налаженным, если диаметр деталей  $d$  равен  $\mu_0 = 50$  мм, а рассеивание параметра равно  $\sigma_0 = 3$  мм. Построить форму (бланк) двойной контрольной карты  $\bar{X}-S$ . Регулирование будет осуществляться по мгновенным выборкам, объемом  $n = 5$  единиц.

Необходимо разработать две формы контрольных карт Шухарта –  $\bar{X}$ -карту и  $S$ -карту, которые будут представлять двойную контрольную карту и анализироваться парно.

Для построения формы контрольных карт необходимо определить центральную линию  $CL$  и две границы регулирования: верхнюю  $UCL$  и нижнюю  $LCL$ .

Границы рассчитываем по табл. 1 ГОСТ Р 50779.42–99 (стандартные значения заданы).

$\bar{X}$ -карта:

$$CL = \mu,$$

$$UCL (LCL) = \mu \pm A_1 \sigma_0.$$

$S$ -карта:

$$CL = C_4 \sigma_0,$$

$$UCL = B_6 \sigma_0,$$

$$LCL = B_5 \sigma_0.$$

Значения коэффициентов при  $n = 5$  находим по табл. 2 стандарта ГОСТ Р 50779.42–99.

$\bar{X}$ -карта:

$$CL = 50;$$

$$UCL = \mu_0 + A_1 \sigma_0 = 50 + 1,342 \cdot 3 = 54,0;$$

$$LCL = \mu_0 - A_1 \sigma_0 = 50 - 1,342 \cdot 3 = 46,0.$$

$S$ -карта:

$$CL = C_4 \sigma_0 = 0,94 \cdot 3 = 2,82;$$

$$UCL = B_6\sigma_0 = 1,964 \cdot 3 = 5,89 ;$$

$$LCL = B_5\sigma_0 = 0 \cdot 3 = 0.$$

Формы контрольных карт представлены на рис. 4.

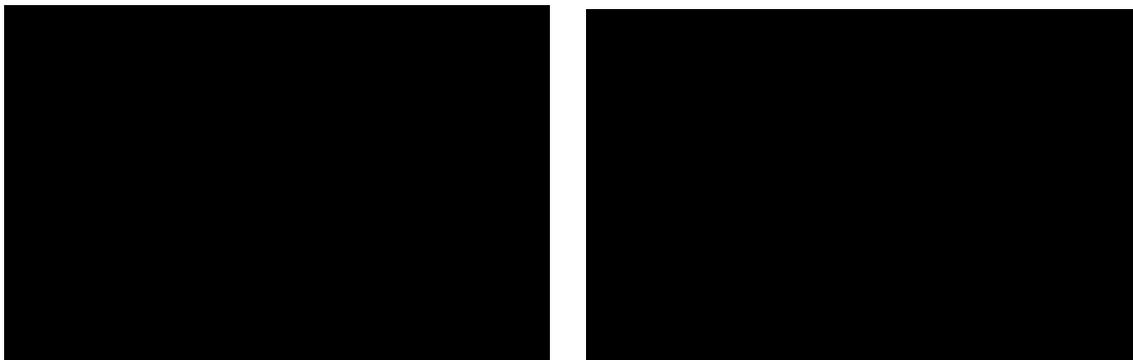


Рис. 4. Двойная контрольная карта  $\bar{X}-S$

#### Пример 4

Согласно техническим условиям на продукцию, максимальная температура работы прибора не должна превышать  $60^{\circ}\text{C}$ . Контролируются партии продукции объемом 100 единиц. Уровень контроля II общий, контроль нормальный,  $AQL = 2,5\%$ .

В результате контроля получены следующие измеренные значения температуры: 53, 57, 49, 58, 59, 54, 58, 56, 55,  $50^{\circ}\text{C}$ . Следует определить, соответствует ли партия критерию приемки.

Приемочный контроль по количественному признаку может осуществляться тремя способами:  $k$ -способом, графическим и способом с использованием максимального выборочного отклонения MSSD. Для оценки партии продукции будем использовать  $S$ -метод, который является основным для применения.

*k-способ.* По уровню контроля и объему партии из стандартов находят код объема выборки. По коду и AQL определяют объем выборки и контрольный норматив  $k$ . Если  $U$  и  $L$  имеют разные AQL, то определяют два контрольных норматива  $k_U$  и  $k_L$ . Взяв случайным образом выборку этого объема, измеряют показатель качества  $X$ . Рассчитывают статистические характеристики  $\bar{X}$  и  $S$ . Если  $\bar{X}$  выходит за пределы поля допуска, партия считается бракованной, т. е. если  $\bar{X} > U$  или  $\bar{X} < L$ , партия бракуется сразу, если нет, то определяют статистику качества по формулам

$$Q_U = \frac{U - \bar{X}}{S} \text{ и (или) } Q_L = \frac{\bar{X} - L}{S}.$$

Статистику качества сравнивают с контрольным нормативом  $k$ .

Если  $Q_U \geq k$  или  $Q_L \geq k$  (при одностороннем допуске),  $Q_U \geq k_U$  и  $Q_L \geq k_L$  (при двухстороннем допуске), партия принимается. Если условия не выполняются – партия бракуется.

Из таблиц стандарта ГОСТ Р 50779.74–99 находим, что объем выборки – 10 единиц, контрольный норматив  $k = 1,41$ . Значения необходимых параметров приведены в табл. 7.

Таблица 7

Необходимая информация	Полученные значения
Объем выборки $n$	10
Среднее выборки $\bar{X} = \sum \frac{X}{n}$	54,9
Стандартное отклонение $S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$	3,414
Верхнее предельное значение $U$	60
Статистика качества $Q_U = \frac{U - \bar{X}}{S}$	1,494
Контрольный норматив $k$	1,41
Критерий приемки: сравниваем $Q_U$ с $k$	$1,494 > 1,41$

Данная партия удовлетворяет критерию приемки и, следовательно, принимается.

*Графический способ.* Используя данные предыдущего примера воспользуемся графическим способом для оценки качества партии.

Для использования графического метода при одностороннем допуске необходимо построить прямую  $\bar{X} = U - kS$  для верхнего предельного значения или  $\bar{X} = L + kS$  для нижнего предельного значения с осями координат  $\bar{X}$  – вертикальная ось,  $S$  – горизонтальная ось.

Для двухстороннего допуска необходимо построить следующие прямые:  $\bar{X} = U - kS$  для верхнего предельного значения и  $\bar{X} = L + kS$  для нижнего предела.

При контроле по верхнему предельному значению допуска зона приемки располагается под прямой. При контроле по нижнему значению она лежит над прямой. При двухстороннем допуске зона приемки соответствует зоне, ограниченной двумя прямыми.

Точку с координатами  $(S, \bar{X})$ , которые рассчитаны по результатам измерений показателей качества изделий выборки, необходимо нанести на график. Если эта точка попадает в зону приемки, партия будет принята, если нет – отклонена.

Для решения задания построим прямую  $\bar{X} = U - kS$ ,  $k = 1,41$ .

Прямая проходит через точки  $(2; 57,18)$ ,  $(0; 60)$ . Зона приемки находится под прямой.

Точку с координатами  $(3,414; 54,9)$  наносят на график (рис. 5). Так как точка попадает в зону приемки, то партию принимают.

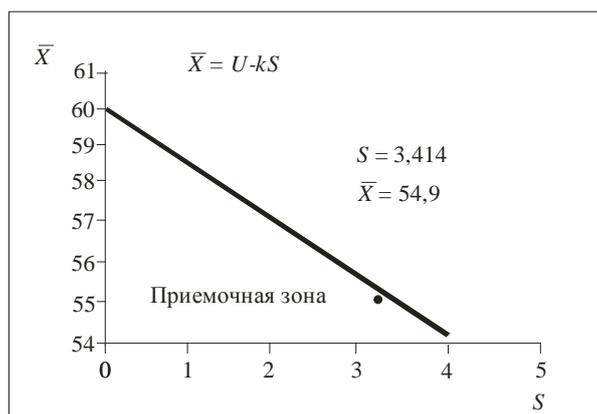


Рис. 5. Графический способ оценки партии продукции

*Критерий с использованием максимального выборочного стандартного отклонения – MSSD.* Для некоторого устройства установлены требования по температуре: минимум  $60,0^{\circ}\text{C}$  и максимум  $70,0^{\circ}\text{C}$ . Продукция контролируется партиями по 96 изделий. Уровень контроля II общий, контроль нормальный,  $\text{AQL} = 1,5\%$ .

Полученные в ходе контроля значения температуры равны:  $63,5; 62,0; 65,2; 61,7; 69,0; 67,1; 60,0; 66,4; 62,8; 68,0^{\circ}\text{C}$ . Требуется найти соответствие критерию приемки.

MSSD – максимальное выборочное стандартное отклонение – это наибольшее допускаемое выборочное стандартное отклонение.

Такой способ используют только в том случае, если заданы  $U$  или  $L$  с одним AQL.

Из таблиц стандарта находят коэффициент  $f_s$ , который устанавливает зависимость между максимальным выборочным отклонением и разностью  $U$  и  $L$ :

$$\text{MMSD} = f_s(U - L)$$

Если  $S > \text{MMSD}$  – партия отклоняется сразу, если нет, то для принятия решения используется график в стандартах. Вычисляют величины

$$\frac{S}{U - L}; \frac{\bar{X} - L}{U - L}$$

и отмечают точку, соответствующую этим значениям на графике, выбранном в стандарте. Если точка попадает в зону приемки, партию принимают, если нет – отклоняют.

Для решения задания из таблиц стандарта находим, что объем выборки – 10 единиц.

Значение  $f_s$ , найденное в стандарте, равно 0,276.

Значения необходимых параметров приведены в табл. 8.

Таблица 8

Необходимая информация	Полученные значения
Объем выборки $n$	10
Среднее выборки $\bar{X} = \sum \frac{X}{n}$	64,57
Стандартное отклонение $S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$	3,01
Значение $f_S$ для MSSD	0,276
$MSSD = f_S (U - L)$	2,76

Соответствующая кривая приемки берется из диаграммы  $S - F$ .  
 Рассчитывают координаты точки, которую наносят на график:

$$\frac{S}{U - L} = \frac{3,01}{70 - 60} = 0,301;$$

$$\frac{\bar{X} - L}{U - L} = \frac{64,57 - 60}{70 - 60} = 0,457.$$

Эта партия отклоняется, так как точка с координатами (0,301; 0,457) выходит за границы кривой приемки для AQL = 1,5%.

Эта партия могла быть сразу отклонена, так как  $S > MSSD$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сакато Сиро. Практическое руководство по управлению качеством: учеб. / Сакато Сиро. – М.: Машиностроение, 1980. – 214 с.
2. Исикава, К. Японские методы управления качеством: учеб. / К. Исикава – М.: Экономика, 1988. – 405 с.
3. Заяц, Н. И. Статистические методы управления качеством продукции: лабораторный практикум / Н. И. Заяц. – Минск: БГТУ, 2004. – 87 с.
4. Гиссин, В. И. Управление качеством продукции: учеб. пособие / В. И. Гиссин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 432 с.
5. Николаева, Э. К. Семь инструментов качества в японской экономике / Э. К. Николаева. – М.: Стандарты, 1990. – 304 с.
6. Леонов, И. Г. Управление качеством продукции / И. Г. Леонов, О. В. Аристов. – М.: Стандарты, 1990. – 208 с.
7. Лифиц, И. М. Основы стандартизации, метрологии и управления качеством товаров: учеб. / И. М. Лифиц. – М.: ТОО «Люкс-арт», 1994. – 168 с.
8. Кусакин, И. А. Статистические методы управления качеством: справочное пособие / И. А. Кусакин, Н. М. Афанасьев, М. Л. Хейфец. – Минск: БелГИСС; Полоцк: ПГУ, 2000. – 56 с.
9. Рекомендации. Применение статистических методов регулирования технологических процессов: Р 50-601-19-91. – Введ. 03.12.91. – М: Всесоюзный научно-исследовательский институт сертификации, 2001. – 49 с.
10. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта: ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91). – Введ. 15.04.1999. – М.: Госстандарт России: Технический комитет по стандартизации ТК 125 «Стандартизация статистических методов управления качеством», 1999. – 31 с.
11. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения: СТБ ГОСТ Р 50779.10-2001 (ИСО 3534.1-93).
12. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 0. Введение в систему выборочного контроля по альтернативному признаку на основе приемлемого уровня качества AQL: СТБ ГОСТ Р 50779.70-2001 (ИСО 2859.0-95). – Введ. 25.04.2001. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2001. – 55 с.
13. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества AQL: СТБ ГОСТ Р 50779.71-2001 (ИСО 2859.1-89). – Введ. 25.04.2001. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2001. – 68 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
1. Программа дисциплины.....	5
2. Указания к разделам курса.....	11
3. Контрольные задания.....	28
4. Примеры выполнения заданий.....	31
Литература.....	42

# МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ

Составитель **Заяц** Наталия Ивановна

Редактор Л. Г. Кишко

Подписано в печать 25.09.2007. Формат  $60 \times 84 \frac{1}{16}$ .  
Печать офсетная. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.  
Усл.-печ. л. 2,3. Уч.-изд. л. 2,4.

Тираж 100 экз. Заказ .

Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет».

220006. Минск, Свердлова, 13а.

ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования  
«Белорусский государственный технологический университет».

220006. Минск, Свердлова, 13.

ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.