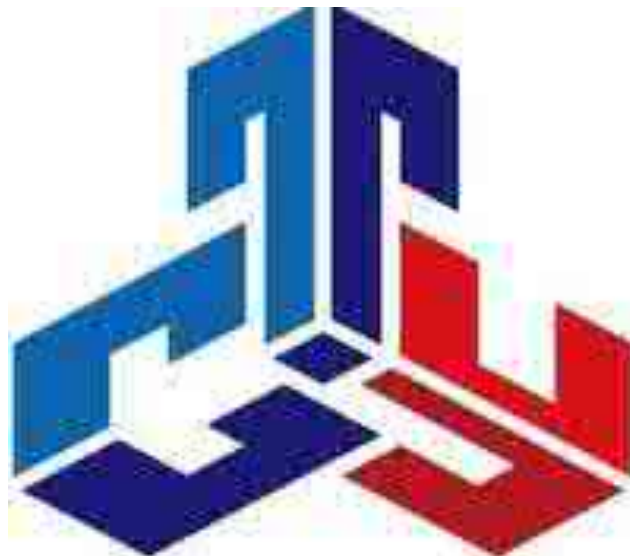


**СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**УПРАВЛЕНИЕ, СЕРТИФИКАЦИЯ И ИННОВАТИКА**  
**Лабораторный практикум**

**Рязань 2021**

УДК 006  
ББК 30.10  
075

Управление, сертификация и инноватика:

Лабораторный практикум / сост. Егоров

А.Г., Фроловский М.Ю., Лебедев Б.С.

Совр. техн. универ-т. - Рязань, 2021. - 135с. - Электронное издание.

Рецензент: Ивкин Ю.В. директор строительной организации ООО  
«Проспект»

Настоящий практикум, включающий в себя занятия по разделам дисциплин «Управление, сертификация и инноватика», «Метрология и измерительная техника», «Метрология».

Учебное пособие для подготовки студентов-бакалавров  
строительных направлений.

*Издается по решению Ученого Совета  
Современного технического университета.*

УДК 006  
ББК 30.10  
075

© А.Г. Егоров, Фроловский М.Ю., Лебедев Б.С.  
© Современный технический университет, 2021

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий практикум, включающий в себя занятия по разделам дисциплин «Управление, сертификация и инноватика», «Метрология и измерительная техника», «Метрология», предназначен для студентов-бакалавров. Выполнение предложенных в практикуме заданий направлено на формирование у (обучающихся следующих профессиональных компетенций: использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий в практической деятельности; обеспечивать соответствие технологических процессов международным и Российским стандартам; осуществлять контроль качества выпускаемой продукции.

Целью проведения предлагаемых занятий по перечисленным выше Дисциплинам является углубление и закрепление теоретического материала, приобретение знаний о метрологическом обеспечении систем контроля, управления и технологических процессах, о назначении и возможности применения основных правил и документов системы сертификации, об обеспечении необходимою уровня качества продукции и услуг на базе стандартизации и сертификации,, о порядке сертификации готовой продукции и услуг.

Задача проведения практических и лабораторных занятий заключается в ознакомлении студентов с правилами определения погрешностей результатов и средств измерений, проведения поверки средств измерений, обработки результатов измерений, основными нормативными документами, регламентирующими деятельность в области стандартизации и сертификации, в изучении их основных положений, а также к изучению и использованию различных методов статистического контроля качества.

Предусмотрено несколько вариантов заданий, что позволяет выполнять их как всей группе студентов, так и индивидуально по вариантам, задаваемым преподавателем. Задания могут выполняться с использованием персональных компьютеров.

Для выполнения заданий студенты должны прослушать лекционный курс по соответствующему разделу и изучить дополнительный учебный материал из библиографического списка, который приведен в конце настоящего практикума. В процессе решения заданий необходимо пользоваться справочными таблицами и соответствующими стандартами.

# I. УПРАВЛЕНИЕ

## Лабораторная работа № 3

### СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Цель работы:** Овладение приемами синтеза и анализа линейных систем автоматического управления (САУ) с использованием средств САПР.

#### 1. Параметрический синтез линейных САУ с использованием средств САПР

Параметрический синтез это выбор значений параметров САУ в соответствии с каким-либо критерием качества.

Рассмотрим САУ, заданную структурной схемой (рисунок 1.1.)

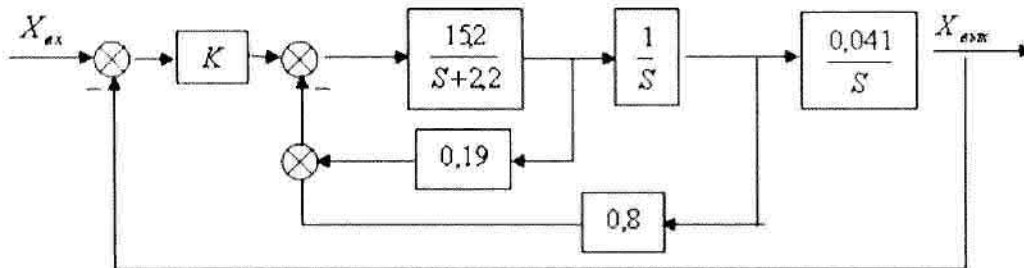


Рисунок 1.1. Структурная схема САУ

#### Постановка задачи:

- Построить область устойчивости системы в плоскости одного параметра - коэффициента усиления  $K$ .
- Определить значение коэффициента усиления  $K$ , при котором обеспечивается минимальное время переходного процесса при перерегулирование  $\sigma < 5\%$ .

Для решения задачи воспользуемся методикой синтеза с использованием корневого годографа. Корневой годограф представляет собой траекторию движения корней характеристического уравнения замкнутой САУ на комплексной плоскости при изменении коэффициента усиления  $K$  от  $0$  до  $\infty$  и содержит информацию, по которой можно судить об устойчивости и о качестве переходного процесса. Ветви кривых годографа начинаются в полюсах разомкнутой системы и заканчиваются при  $K \rightarrow \infty$ , в нулях разомкнутой системы или в бесконечности. Построение корневого годографа САУ (рисунок 1.1) осуществляется по ПФ разомкнутой системы при изменении коэффициента усиления  $K$  с помощью пакета прикладных программ **Control System Toolbox** системы **MatLab**.

#### Методика решения задачи:

- Создание модели разомкнутой САУ и определение по ней передаточной функции разомкнутой системы  $W_{pm}(s)$ .

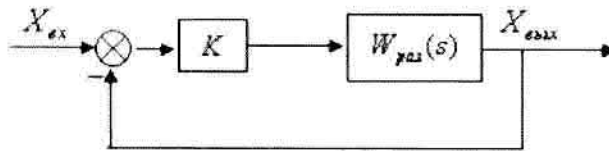


Рисунок 1.2. Расчетная структурная схема САУ

- Построение корневого годографа для замкнутой системы.
- Определение области устойчивости системы в плоскости коэффициента усиления  $K$ .
- Выбор значения коэффициента усиления  $K$  из области устойчивости системы, обеспечивающий заданные показатели качества к переходной функции.

### 1.1. Создание модели разомкнутой САУ

Запустите при помощи ярлыка на рабочем столе Windows программу **MatLab**. На панели инструментов щелкните по кнопке **Simulink**, откроется окно браузера библиотек **Simulink Library Browser**. На панели инструментов щелкните по кнопке создания новой модели, откроется пустое окно файла **untitled**. Блок схема модели САУ, заданной структурной схемой (рисунок 1.1), будет состоять из следующих основных компонентов, находящихся в библиотеке модулей (блоков) **Simulink**:

- Блок **Gain** – коэффициент усиления (модуль **Math Operations**).
- Блок **Sum** – звено-сумматор (модуль **Math Operations**).
- Блок **Integrator** – идеальное интегрирующее звено (модуль **Continuous (Непрерывные звенья)**).
- Блок **Transfer Fcn** - динамическое звено с произвольной ПФ (модуль **Continuous (Непрерывные звенья)**).

Блок схема модели разомкнутой системы рисунка 1.1, ПФ которой совпадает с ПФ  $W_{раз}(s)$  (рисунок 1.2.) представлена на рисунке 1.3.

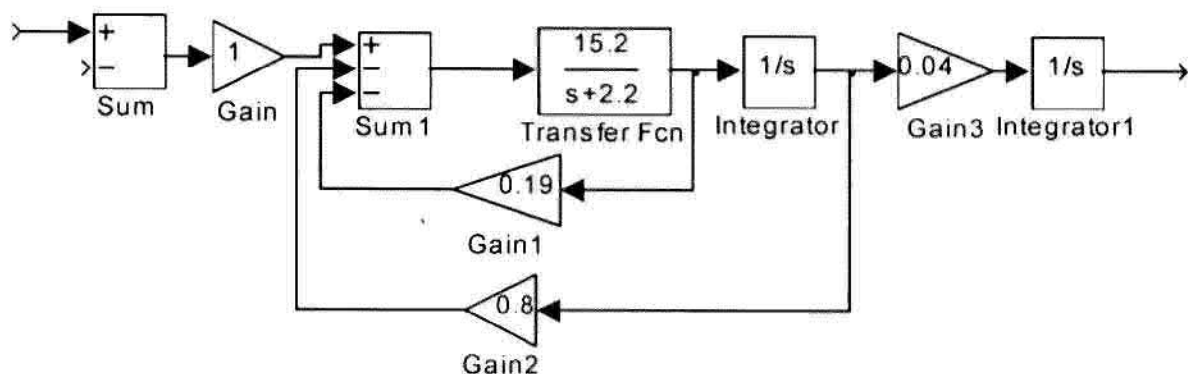


Рисунок 1.3. Блок схема модели разомкнутой САУ

**Порядок построения блок схемы рисунка 1.3 (сведения о редакторе пакета Simulink приведены в Приложении):**

1. В окне браузера **Simulink Library Browser** щелкните по компоненту **Continuous** библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера отбуксируйте блоки **Integrator**, **Transfer Fcn** в окно файла **untitled**. Щелкните по компоненту **Math Operations** библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера отбуксируйте блоки **Gain**, **Sum** в окно файла **untitled**.
2. Изменим форму блока **Sum**: в окне файла **untitled** двойным щелчком по блоку **Sum** откройте окно настройки блока; в раскрывающемся списке поля **Icon shape** выберите **rectangular**, в поле **List of sign** введите + - . Выделите блоки **Gain**, **Sum**, **Integrator**, скопируйте в буфер и вставьте в свободное место.
3. Поочередно выделите блоки в окне файла **untitled** и установите их так, как показано на рисунке 1.3. В окне настройки блока **Sum 1** введите + - -.
4. Разверните блоки **Gain 1** и **Gain 2** на 180 град.
5. Соедините блоки, находящиеся в прямой цепи.
6. Создайте ответвления от блоков **Transfer Fcn** и **Integrator** и соедините их с блоками **Gain 1** и **Gain 2**.
7. Сохраните файл под именем **Zan\_3** и установите параметры блоков.

**Определение передаточной функции разомкнутой системы**

Для ее получения воспользуемся специальной программой анализа линейных систем из пакета программ **SimuLink** и пакетом **Control System Toolbox**.

8. В строке меню выберите **Tools**, а в открывшемся меню команду **Linear Analysis**.  
Обозначьте вход и выход системы на рисунке 1.3. С этой целью отбуксируйте из окна **Model Inputs and Outputs** в окно файла **Zan\_3** элементы **Input Point** и **Output Point** и подсоедините их ко входу сумматора **Sum** и к выходу интегрирующего звена **Integrator** соответственно.
9. Активизируйте окно обозревателя **LTI Viewer**. В строке меню выберите **Simulink**, а в открывшемся меню команду **Get Linearized Model**. В результате выполнения этой команды будет создана модель системы в пакете **Simulink**. Построение корневого годографа для замкнутой системы осуществляется в среде **Control System Toolbox**. Чтобы воспользоваться процедурами пакета **Control System Toolbox**, необходимо загрузить модель в рабочую область.
10. Выберите в раскрывающемся меню **File** команду **Export**. В появившемся диалоговом окне выделите имя модели в данном случае **zan\_3\_1**.

Щелкните на кнопке **Export to Workspace**. Активизируйте окно управления **MatLab**.

**Создание модели ПФ.** В пакете **Control System Toolbox** для описания моделей непрерывных систем используют **tf**-форму передаточной функции.

Синтаксис:

**tf**(имя модели)

11. Введите в окне управления **MatLab**

**tf(Zan\_3\_1)**

и нажмите клавишу **Enter**. Запишите в отчете полученное выражение для  $W_{\text{pas}}(s)$ .

## 1.2. Построение корневого годографа для замкнутой системы

Если характеристическое уравнение замкнутой системы имеет  $r$  действительных не кратных корней и  $n$  пар комплексных сопряженных корней, то выражение для переходной функции можно представить в виде суммы составляющих

$$x(t) = \sum_{i=1}^r C_i e^{\lambda_i t} + \sum_{i=1}^n A_i e^{\alpha_i t} \cos(\omega_i t + \varphi_i),$$

где  $\alpha$  - действительная часть, а  $\omega$  - мнимая часть комплексных сопряженных корней  $\lambda = \alpha \pm j\omega$ . Положение корня на комплексной плоскости можно задать и в полярной системе координат (см. рисунок 1.4).

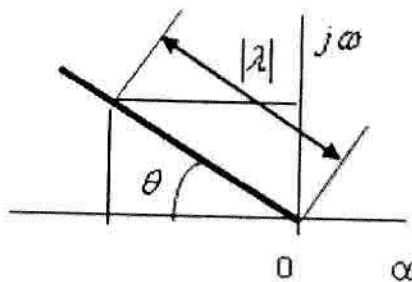


Рисунок 1.4

$$\alpha = -|\lambda| \cos \theta = -|\lambda| \xi; \quad \omega = |\lambda| \sin \theta,$$

$\xi = \cos \theta$  - характеризует угловое положение полюса и называется относительным коэффициентом демпфирования.

Действительная часть полюсов определяет быстроту затухания составляющей, а мнимая часть - частоту колебаний. Чем дальше от мнимой оси расположен полюс, тем быстрее затухает обусловленная им составляющая. Таким образом, основное влияние на поведение системы оказывают полюсы, наиболее близко расположенные к мнимой оси.

Для построения корневого годографа замкнутой системы по заданной модели разомкнутой в среде **Control System Toolbox** служит процедура **rlocus**.

Синтаксис:

**rlocus**(имя модели), **sgrid**

Наряду с графиком корневого годографа выводится сетка постоянных значений относительного коэффициента демпфирования  $\xi$  с шагом 0,1 и собственной частоты  $|\lambda|$  с шагом 1 рад/с.

12. Введите в командное окно

**rlocus(Zan\_3\_1), sgrid**

и нажмите клавишу **Enter**. Отобразите в отчете полученные кривые корневого годографа.

### 1.3. Определение области устойчивости системы в плоскости коэффициента усиления $K$

САУ неустойчива, если хотя бы один из корней характеристического уравнения будет располагаться справа от мнимой оси  $j\omega$ . При расположении корней на мнимой оси САУ находится на границе устойчивости, в этом случае переходной процесс будет представлять собой незатухающие периодические колебания постоянной амплитуды. Для определения граничных значений коэффициента усиления  $K$  воспользуемся процедурой

синтаксис:

**[k, poles]=rlocfind**(имя модели)

Указанная процедура позволяет в интерактивном режиме получать информацию о коэффициенте усиления  $K$  и соответствующих ему значениях полюсах замкнутой САУ с кривых корневого годографа, построенных с помощью процедуры **rlocus**. Процедура **rlocfind** формирует перекрестие курсора, которое необходимо установить в нужную точку кривой корневого годографа. После выполнения указанной процедуры в командном окне выводятся значения коэффициента усиления  $K$  и соответствующие ему полюса замкнутой САУ.

13. Введите в командное окно

**[k, poles]=rlocfind(Zan\_3\_1)** (2)

и нажмите клавишу **Enter**. Установите перекрестие в точке пересечения ветви корневого годографа (совпадающей с отрицательной частью действительной оси) с мнимой осью, так как показано на рисунке 1.5 и щелкните мышью.



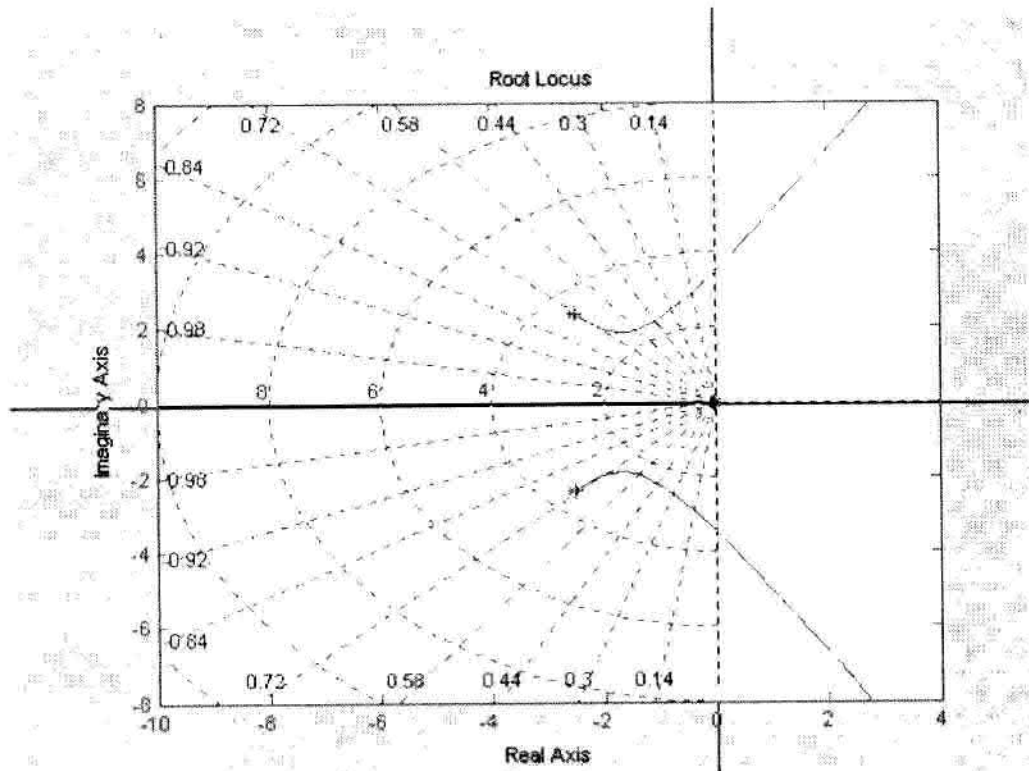


Рисунок 1.5

14. Активизируйте окно управления **MatLab** и занесите в отчет значения  $K$  и полюсов замкнутой САУ. Повторите команду (2), но перекрестие установите в точку пересечения ветви корневого годографа комплексных полюсов.


**Примечание.** Для быстрого введения в командную строку предыдущей команды воспользуйтесь клавишей управления курсором (перемещение вверх) на клавиатуре.

Занесите в отчет значения  $K$  и полюсов замкнутой САУ. Запишите полученный интервал изменения коэффициента усиления  $K$ , в пределах которого замкнутая система (рисунок 1.1) остается устойчивой.

#### 1.4. Выбор значения коэффициента усиления $K$

**Задача синтеза:** Определить значение коэффициента усиления  $K$ , при котором обеспечивается минимальное время переходного процесса для системы (рисунок 1.1) при перерегулировании  $\sigma < 5\%$ .

15. Введите в командное окно  
 $[k, poles]=rlocfind(zan\_3\_1)$  (2)

и нажмите клавишу **Enter**. Увеличим масштаб изображения корневого годографа: щелкните на кнопку  панели инструментов окна.

Чтобы для колебательной составляющей выполнялось условие  $\sigma < 5\%$  значение относительного коэффициента демпфирования не должно превосходить  $\xi=0,7$ . Значения  $\xi$ , большие нежелательны, так как приводят к затягивают протекания переходного процесса, т.е. увеличивают время регулирования переходной функции. Поэтому в качестве первого приближения установите перекрестие в точке пересечения ветви корневого годографа с линией  $\xi=0,7$  (см. рисунок 1.6).

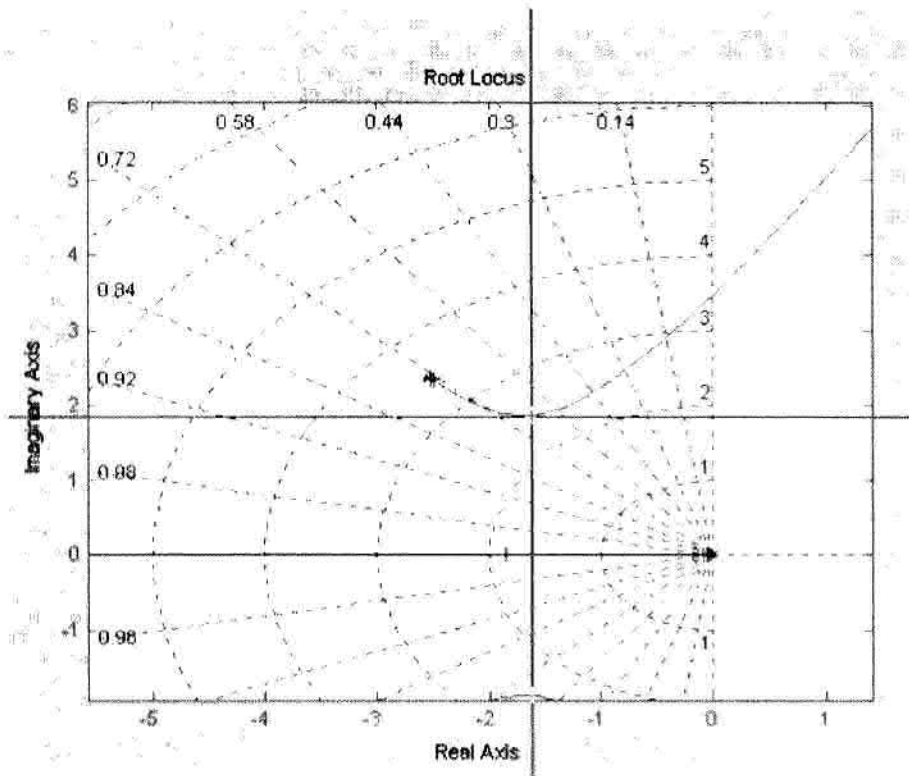


Рисунок 1.6

Отметьте в Отчете на годографе полюсы и запишите напротив каждого из них значение коэффициента усиления  $K$ . Проверим, удовлетворяет ли САУ рисунка 1.1 заданным требованиям для полученного значения  $K$ . С этой целью создадим модель замкнутой САУ и построим для нее переходную функцию.

16. Замкните блок схему модели разомкнутой САУ (рисунок 1.3), создав соединение с выхода интегрирующего устройства на вход сумматора **Sum**. Установите параметры блока **Gain** равным полученному значению  $K$ .
17. Активизируйте окно обозревателя **LTI Viewer**. В строке меню выберите **Simulink**, а в открывшемся меню команду **Get Linearized Model**. В графическом поле появится график переходной функции замкнутой системы для установленного значения  $K$ . В строке меню окна обозревателя выберите **Edit**, а в открывшемся подменю - **Viewer Preferences**. В появившемся диалоговом окне откройте вкладку **Characteristics**. Введите параметры для вычисления  $t_{\eta}$  в поле **settling time - 5%** и в поле для

вычисления  $t_n$  rise time – от 0 до 95%. Нажмите последовательно кнопки **Apply** (Применить) и **ОК** (Закреть). Щелкнув на правую кнопку мышки в окне графика, установите с помощью мышки галочки напротив всех возможных опций раскрывающегося списка команды **Characteristics**. В результате на графиках переходных функций будут обозначены характерные точки, по которым можно определить прямые показатели качества системы

18. Отобразите график переходной функции в отчете, надпишите значение  $K$ , для которого он был получен. Запишите значения  $\sigma$  и времени переходного процесса  $t_n$

Анализ полученных результатов показывает, что существует возможность увеличить быстродействие системы, выполнив требование по  $\sigma < 5\%$ . Поскольку ближайшим к мнимой оси на комплексной плоскости является действительный полюс, то он практически и определяет вид переходной функции. Отодвинем его от мнимой оси или, что тоже самое в данном случае передвинем комплексно сопряженные полюсы поближе к мнимой оси, уменьшив значение  $\xi$  до  $\xi=0,6$ .

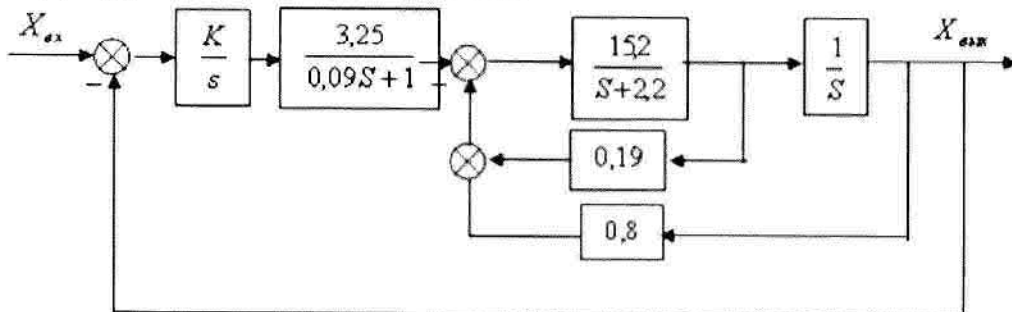
18. Введите в командное окно  
`[k, poles]=rlocfind(zan_3_1)`

и нажмите клавишу **Enter**.

Установите перекрестие в точке пересечения ветви корневого годографа с линией  $\xi=0,6$ . Отметьте в отчете на годографе полюсы и запишите напротив каждого из них значение коэффициента усиления  $K$ . Постройте график переходной функции для замкнутой САУ с новым значением  $K$ . Отобразите график переходной функции в отчете, надпишите значение  $K$ , для которого он был получен. Запишите значения  $\sigma$  и времени переходного процесса  $t_n$

## 2. Самостоятельная работа

Структурная схема САУ имеет вид



**Задание:**

Определить значение коэффициента усиления  $K$  для САУ, изображенной на рисунке выше, при котором обеспечивается минимальное время переходного процесса при перерегулировании

Вариант №1  $\sigma < 5\%$ .      Вариант №2  $\sigma < 20\%$ .      Вариант №3  $\sigma < 10\%$ .  
Вариант №4  $\sigma < 15\%$ .      Вариант №5  $\sigma < 25\%$ .

Следуя методике синтеза, приведенной в п.1, отобразите в отчете:

- Блок схему модели САУ.
- ПФ разомкнутой системы  $W_{раз}(s)$ , корневой годограф замкнутой системы.
- Область устойчивости системы в плоскости коэффициента усиления  $K$ .
- Значение коэффициента усиления  $K$  из области устойчивости системы, обеспечивающий заданные показатели качества переходной функции. ПФ замкнутой системы.
- График переходной функции для выбранного значения  $K$ , показатели качества переходной функции системы.

Продемонстрируйте результаты работы преподавателю.

## Приложение

### Общие сведения о редакторе пакета Simulink.

*Выделение группы объектов:*

- С помощью рамки – установите курсор мыши в точку, которая будет являться начальной точкой рамки, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, переместить мышь в направлении диагонали прямоугольника, охватывая им необходимые блоки. Отпустите мышку.
- Нажмите клавишу [Shift] и, удерживая ее нажатой, щелкните по каждому из выделяемых блоков. Отпустите клавишу [Shift].

*Вращение блоков:*

- Выделите блок.
- Щелкните правой кнопкой мыши на блоке и выберите в раскрывающемся подменю **Format** команду **Flip block** – вращение на 180 град (по команде **Rotate block** осуществляется вращение на 90 град).

*Соединение блоков:*

Установите указатель мыши на выходе первого блока (при этом курсор должен принять форму перекрестия).

- Нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее в этом положении, передвиньте указатель ко входу второго блока. Отпустите кнопку мыши. Программа заменит указатели входов и выходов блоков соединительной линией с указанием направления передачи сигнала.

*Создание разветвления линии:*

Установите курсор в точку ответвления.

- Нажмите клавишу [Ctrl] и одновременно левую кнопку мыши, удерживая их нажатыми проведите линию к нужному блоку.

*Удаления линии*

- Выберите линию (так же, как это выполняется для блока), а затем нажать клавишу **Delete** на клавиатуре.

*Установка параметров блоков* осуществляется в окне настройки блока, которое вызывается после двойного щелчка на изображении блока. Произведенные изменения вступают в силу после нажатия последовательно кнопок **Apply** (Применить) или **OK** (Закреть).

*Блок Sum:*

- осуществляет сложение входных сигналов с полярностью "+" или "-"
- число входов определяется числом знаков "+" или "-".
- В окне настройки блоков **Sum** в поле **List of sign** (список знаков) введите |+- (| - разделитель знаков).

*Блок Transfer Fcn:* В появившемся окне настроек введите в соответствующие поля ввода через пробел, начиная со старшей степени, коэффициенты числителя и знаменателя ПФ.

*Изменение размеров блоков:* Выделите блок и установите указатель мыши на одну из угловых меток блока. Как только форма указателя изменится – «захватите» мышью эту метку и перетяните ее в новое положение.

*Создание подсистемы путем группировки блоков:*

- Выделить при помощи рамки блоки, которые необходимо включить в состав подсистемы.

В меню **Edit** выбрать команду **Create Subsystem**.

## Лабораторная работа № 4

### ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

**Цель работы:** Овладение приемами параметрического синтеза систем автоматического управления (САУ) с использованием средств САПР.

#### 1. Параметрический синтез систем автоматического управления с использованием имитационного моделирования

Параметрический синтез это выбор значений параметров САУ, удовлетворяющий заранее заданным требованиям. Применение пакета **NCD-Blockset** системы **MatLab** позволяет автоматически настраивать параметры

**Simulink**-модели, с учетом заданных пользователем ограничений на характеристики переходного процесса. Качество синтезированной системы оценивается по значению функции штрафа за нарушение построенным переходным процессом (путем имитационного моделирования) области допустимых значений. На рисунке 1.1 возможная область допустимых значений выделена жирными линиями

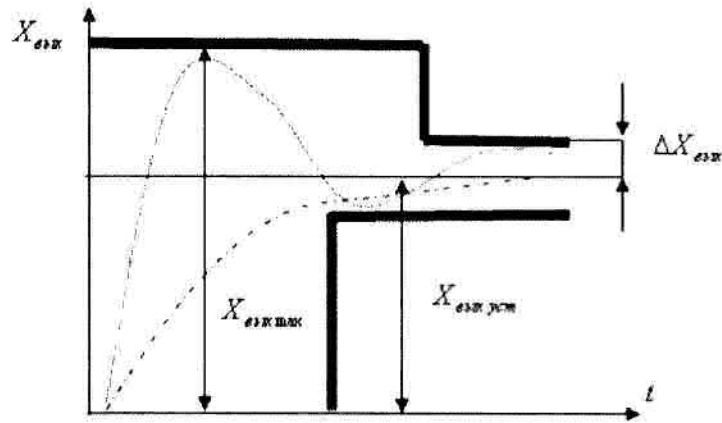


Рисунок 1.1

Пользователь имеет возможность назначить параметры оптимизации, задать их начальные значения, управлять ходом оптимизации, контролируя на экране этот процесс.

Рассмотрим САУ, заданную структурной схемой на рисунке 1.2.

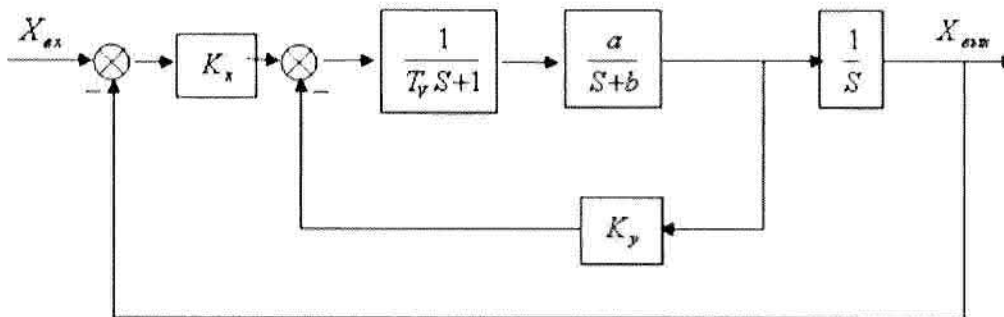


Рисунок 1.2. Структурная схема САУ

**Постановка задачи №1:** Определить значения коэффициента усиления прямой цепи  $K_x$  и коэффициента обратной связи  $K_y$ , при которых:



- время нарастания переходной функции  $t_n < 0.5$  сек;
- время переходного процесса  $t_{\Pi} < 1.8$  сек;
- перерегулирование  $\sigma < 20\%$ .

Для решения задачи воспользуемся возможностями, предоставляемыми инструментальным пакетом **NCD-Blockset** системы **MatLab**.

**Методика решения задачи:**

- Создание **Simulink**-модели САУ на рисунке 1.2.
- Подключение ко входу **Simulink**-модели САУ источника скачкообразного постоянного сигнала **Step**, поскольку контролируемым сигналом является реакция системы на единичное воздействие, т.е. переходный процесс.
- Подключение к выходу модели **Simulink**-модели САУ блока **NCD Outport**, задание в его рабочем окне ограничений на характеристики переходного процесса, параметров оптимизации  $K_x$  и  $K_y$ .
- Запуск процесса оптимизации, считывание оптимальных значений настраиваемых параметров  $K_x$  и  $K_y$  из рабочего пространства **MatLab**.

### Создание **Simulink**-модели САУ (рисунок 1.2)

Запустите при помощи ярлыка на рабочем столе Windows программу **MatLab**. На панели инструментов щелкните по кнопке **Simulink** , откроется окно браузера библиотек **Simulink Library Browser**. На панели инструментов щелкните по кнопке создания новой модели , откроется пустое окно файла **untitled**. Блок схема модели САУ, заданной структурной схемой (рисунок 1.1), будет состоять из следующих основных компонентов, находящихся в библиотеке модулей (блоков) **Simulink**:

- Блок **Gain** – коэффициент усиления (модуль **Math Operations**).
- Блок **Sum** – звено-сумматор (модуль **Math Operations**).
- Блок **Integrator** – идеальное интегрирующее звено (модуль **Continuous (Непрерывные звенья)**).
- Блок **Transfer Fcn** -динамическое звено с произвольной ПФ (модуль **Continuous (Непрерывные звенья)**).
- Блок **Step** (модуль **Sources (Источники сигналов)**).

Блок схема **Simulink**-модели системы рисунка 1.2 представлена на рисунке 1.3.

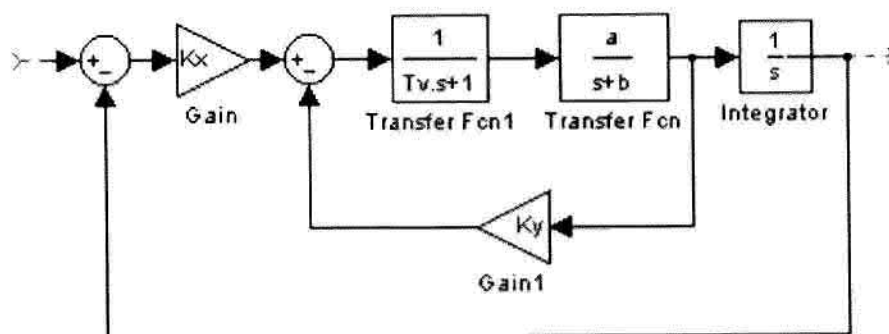


Рисунок 1.3. Блок схема **Simulink**-модели САУ рисунка 1.2

### Порядок построения блок схемы рисунка 1.3

(сведения о редакторе пакета Simulink приведены в Приложении к третьему занятию)

1. В окне браузера **Simulink Library Browser** щелкните по компоненту **Continuous** библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера отбуксируйте блоки **Integrator**, **Transfer Fcn** в окно файла **untitled**. Щелкните по компоненту **Math Operations** библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера отбуксируйте блоки **Gain**, **Sum** в окно файла **untitled**.
2. В окне файла **untitled** выделите блоки **Gain**, **Sum** скопируйте в буфер и вставьте в свободное место.
3. Поочередно выделите блоки в окне файла **untitled** и установите их так, как показано на рисунке 1.3. В окнах настройки блоков **Sum** введите  $|+ -$ .
4. Разверните блок **Gain 1** на 180 град.
5. Соедините блоки, находящиеся в прямой цепи.
6. Создайте ответвления от блоков **Transfer Fcn** и **Integrator** и соедините их с блоками **Gain 1** и **Sum**.

1. Сохраните файл под именем **Zan\_4** и установите параметры блоков.
2. Зададим в командной строке **MatLab** значения параметров **a** и **b** передаточной функции блока **Transfer Fcn**: активизируйте окно **MatLab**, в командной строке, выделенной символом  $>>$ , наберите

**Tv=0.1; a=15; b=0.5**

и нажмите на клавишу **Enter**.

Дополним блок схему **Simulink**-модели САУ рисунка 1.2 блоком **Step** и блоком оптимизации **NCD Output**. Блок схема оптимизации параметров оптимизации  $K_x$  и  $K_y$  системы рисунка 1.2 представлена на рисунке 1.4.

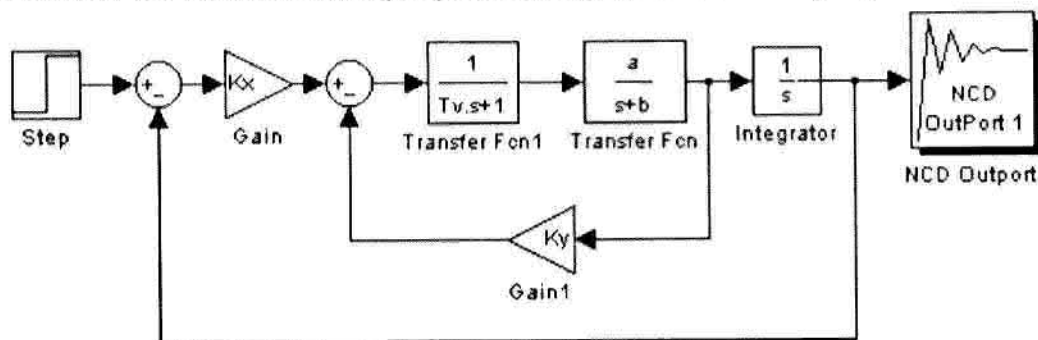


Рисунок 1.4. Блок схема оптимизации параметров  $K_x$  и  $K_y$  системы рисунка 1.2

1. Активизируйте окно браузера **Simulink Library Browser**, щелкните по компоненту **Sources** библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера отбуксируйте блок **Step** в окно файла **Zan\_4**. В окне настройки блока вместо значения **Step time** (время наступления скачкообразного изменения сигнала) равного **1** введите **0**.



2. В окне браузера **Simulink Library Browser** двойным щелчком мышки по **NCD-Blockset**, откройте его содержимое. Из правой части окна браузера отбуксируйте блок **NCD Output** в окно файла **Zan\_4**. Подсоедините указанные блоки согласно схемы рисунка 1.4.
3. Выберите в меню **Simulation** команду **Simulation Parameters**. В открывшемся окне настройки параметров на вкладке **Solver** установите напротив **Stop time** время моделирования **4 сек**. Щелкните на кнопке **Apply** и закройте окно.

#### Задание параметров блока **NCD Output**

1. Двойным щелчком мышки по блоку **NCD Output** откройте рабочее окно блока.  
Установим пределы областей, в которых может находиться переходной процесс системы (рисунок 1.2) согласно требованиям задачи.

2. В строке меню рабочего окна выберите **Options**, а в открывшемся подменю **Step response**. В появившемся окне настройки введите:
  - время переходного процесса  $t_{II}$  в поле **Settling time** – **1.8 сек**
  - размеры "трубки" допустимых отклонений **Percent settling** - **5%**
  - перегулирование **Percent overshoot** – **20 %**
  - время нарастания процесса  $t_n$  - **0.5 сек**
  - положение нижней границы "трубки" первого пересечения кривой переходного процесса **Rise time** – **95 %**
  - отрицательный выброс кривой переходного процесса **Percent undershoot** – **0**

Щелкните по кнопке **Done**.

3. В строке меню рабочего окна выберите **Options**, а в открывшемся подменю **Time range**. В появившемся окне настройки введите пределы изменения по оси  $t$  [**0 4**].

В результате выполненных действий область, в которой может находиться кривая переходного процесса, должна принять вид, показанный на рисунке 1.5.

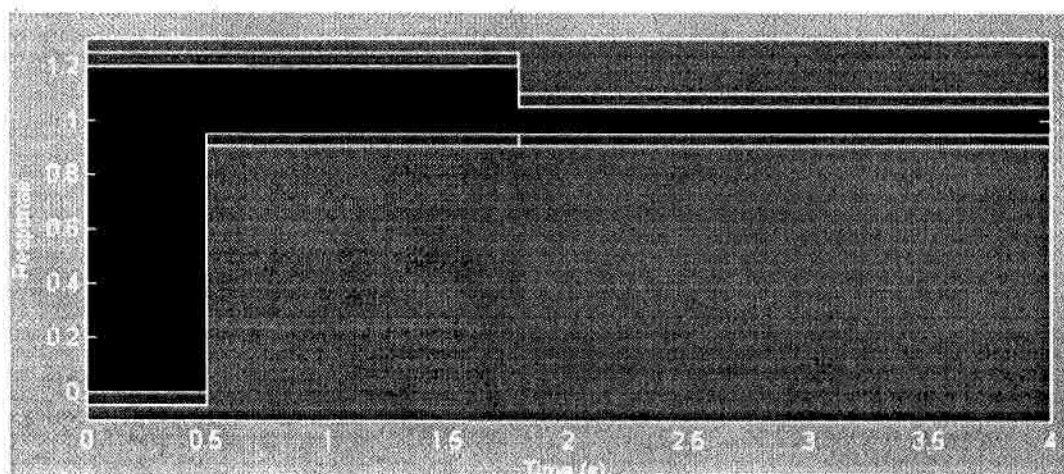


Рисунок 1.5

Теперь зададим параметры оптимизации  $K_x$  и  $K_y$ .

4. В строке меню рабочего окна выберите **Optimization**, а в открывшемся подменю **Params**. В появившемся окне настройки:
  - в поле **Tunable Variables** введите: **Kx, Ky**
  - в поле **Discretization interval** введите: **0.05** (определяет шаг вывода точек на графике)
  - в поле **Stop optimization as soon as the constraints are achieved** установите галочку (для автоматического остановки процесса оптимизации после нахождения оптимального решения).

Щелкните по кнопке **Done**.

Теперь необходимо в командном окне **MatLab** определить начальные значения параметров оптимизации **Kx, Ky**, и запустить процесс оптимизации.

5. Активизируйте окно **MatLab**, в командной строке наберите **Kx=1; Ky=1**
6. Активизируйте рабочее окно блока **NCD Output** и щелкните по кнопке **Star**. Наблюдайте на экране за результатами оптимизации. После окончания процесса оптимизации, оптимальные значения **Kx, Ky** сохраняются в рабочей области **MatLab**.
7. Активизируйте окно **MatLab**, в командной строке наберите **Kx, Ky** и нажмите клавишу **Enter**. Запишите полученные значения. Покажите преподавателю полученные результаты.

Решение задачи №1 в рамках заданной структуры системы не всегда существует. Так исходная система (рисунок 1.2) имеет третий порядок, а следовательно, три полюса характеристического уравнения, вместе с тем настраиваемых параметров только два  $K_x$  и  $K_y$ , варьирование которыми позволяет перемещать в наперед заданной положение только два полюса. Т.е. в системе (рисунок 1.2) принципиально не представляется возможным желаемым образом сформировать все коэффициенты ПФ. Проиллюстрируем выше сказанное следующим примером: изменим значение параметра  $T_v$ .

8. Активизируйте окно **MatLab**, в командной строке введите **Tv=0.2**. Повторите действия 5-6. Убедитесь в том, что с новым значением  $T_v$  решение задачи №1 по окончанию процесса оптимизации не достигнуто.

На практике очень часто параметры отдельных элементов систем в процессе эксплуатации могут изменяться в широких пределах, либо их точные значения неизвестны. В этом случае возникает необходимость обеспечения заданных показателей качества, определенных условиями задачи №1, во всем диапазоне изменения параметров отдельных звеньев системы.

**Постановка задачи №2:** Определить значения коэффициента усиления прямой цепи  $K_x$  и коэффициента обратной связи  $K_y$  системы (рисунок 1.2), параметры которой **a** и **b** могут изменяться в пределах  $a \in [0.8*15, 1.2*0.8]$ ;  $b \in [0.6*0.5, 1.5*0.5]$ , при которых:

- время нарастания переходной функции  $t_u < 0.5$  сек;
  - время переходного процесса  $t_{\Pi} < 1.8$  сек;
  - перерегулирование  $\sigma < 20$  %.
1. В строке меню рабочего окна блока **NCD Output** выберите **Optimization**, а в открывшемся подменю **Uncertain**. В появившемся окне настройки:
- в поле **Uncertain variables** введите: **a, b**
  - в поле **Lower bounds** введите: **0.8\*a, 0.6\*b** (определяем нижнюю границу диапазона изменения параметров от их номинальных значений)
  - в поле **Upper bounds** введите: **1.2\*a, 1.5\*b** (определяем верхнюю границу диапазона изменения параметров от их номинальных значений)
  - установите галочки напротив полей, так как показано на рисунке 1.6 (оптимизация будет осуществляться для номинальных значений параметров и их граничных значений).

Uncertain variables:
a b
Lower bounds:
a*0.8, b*0.5
Upper bounds:
a*1.2, b*1.5
Number of Monte Carlo simulations:
0
<input checked="" type="checkbox"/> Constrain nominal simulation
<input checked="" type="checkbox"/> Constrain lower bound simulation
<input checked="" type="checkbox"/> Constrain upper bound simulation
<input type="checkbox"/> Constrain Monte Carlo simulations
Total simulations per step = 3

Рисунок 1.6

- Проверьте установки согласно рис.1.6. Щелкните по кнопке **Done**.
2. В рабочем окне блока **NCD Output** щелкните по кнопке **Star**. Наблюдайте на экране за результатами оптимизации. Для каждой итерации в окне отображается по три графика (при номинальных значениях параметров **a, b** и их граничных значениях). Белым цветом обозначены графики для исходных значений параметров оптимизации  $K_x$  и  $K_y$  (они извлекаются из рабочей области **MatLab**), зеленым цветом обозначены графики после оптимизации. После окончания процесса оптимизации, оптимальные значения **Kx, Ky** сохраняются в рабочей области **MatLab**.

3. Активизируйте окно **MatLab**, в командной строке наберите **Kx**, **Ky** и нажмите клавишу **Enter**. Запишите полученные значения или скопируйте их текстовой файл. Покажите преподавателю полученные результаты.

Параметры системы **a**, **b** в общем случае могут принимать произвольные значения из заданных интервалов в различных комбинациях, а не только граничные значения, причем одновременно либо максимальные, либо минимальные и для параметра **a** и для параметра **b**. Учет случайности в разбросе параметров системы **a**, **b** обеспечивается путем задания режима моделирования для нескольких случайных значений параметров **a**, **b** из заданного условиями задачи №2 интервала (метод Монте-Карло).

4. В строке меню рабочего окна блока **NCD Output** выберите **Optimization**, а в открывшемся подменю **Uncertain**. В появившемся окне настройки произведите настройки согласно рисунку 1.7.

Uncertain variables:
a b
Lower bounds:
0.8*a 0.6*b
Upper bounds:
1.2*a 1.5*b
Number of Monte Carlo simulations:
10
<input checked="" type="checkbox"/> Constrain nominal simulation
<input checked="" type="checkbox"/> Constrain lower bound simulation
<input checked="" type="checkbox"/> Constrain upper bound simulation
<input checked="" type="checkbox"/> Constrain Monte Carlo simulations
Total simulations per step = 13
Done Revert Help

Рисунок 1.7.

Теперь настройка параметров  $K_x$  и  $K_y$  будет проводиться не только для предельных значений параметров **a**, **b**, но и для 10 случайных комбинаций значений **a**, **b** из заданного условиями задачи №2 интервала.

Щелкните по кнопке **Done**. Выполните действия 2-3. Теперь для каждой итерации в рабочем окне отображается по 13 графиков. Сравните полученные значения **Kx**, **Ky** со значениями из предыдущего примера.

5. Закройте рабочее окно блока **NCD Output** и окно файла **Zan\_4**.

## II. Самостоятельная работа.

Задана структурная схема САУ

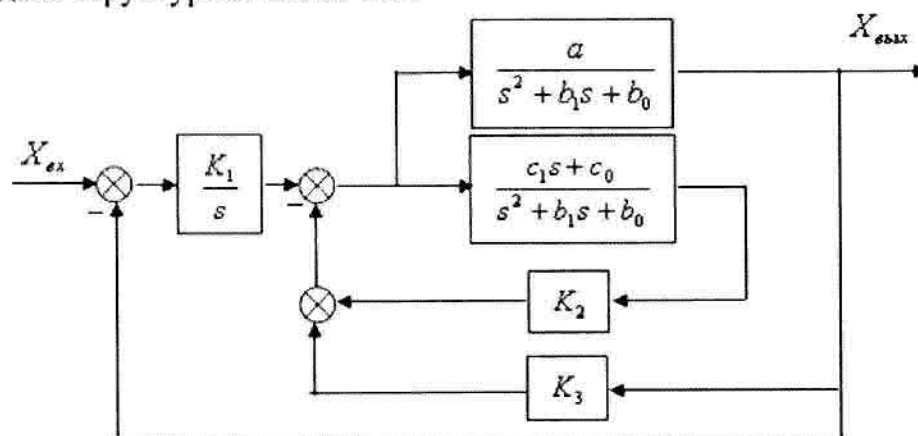


Рисунок 1.8.

Значения параметров САУ сведены в таблицу 1:

Таблица 1

№ Варианта	1	2	3	4	5
$a$	16	14	18	12	15
$b_0$	8.5	6	10	8	7
$b_1$	0.2	0.4	0.3	0.25	0.4
$c_0$	0.12	0.15	0.14	0.1	0.13
$c_1$	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7

### Задание №1:

Определить значения коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  системы (рисунок 1.8), при которых:

- время нарастания переходной функции  $t_n < 1$  сек;
- время переходного процесса  $t_{п} < 2$  сек;
- перерегулирование  $\sigma < 20\%$ .

Запишите полученные значения  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ . Продемонстрируйте результаты работы преподавателю.

### Задание №2:

Определить значения коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  системы (рисунок 1.8, параметры которой  $a$ ,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $c_0$ ,  $c_1$  могут изменяться в пределах  $\pm 14\%$  от их номинальных значений, приведенных в таблице 1, при которых:

- время нарастания переходной функции  $t_n < 1$  сек;
- время переходного процесса  $t_{п} < 2$  сек;
- перерегулирование  $\sigma < 20$  %.

Сравните полученные значения  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  со значениями из задания №1. Проявите результаты работы преподавателю.

## Лабораторная работа №5

### АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**Цель работы:** Овладение приемами синтеза и анализа цифровых систем автоматического управления (САУ) с использованием средств САПР.

#### I. Анализ и синтез цифровых САУ с использованием средств САПР

##### 1.1. Общие сведения о цифровых САУ

Цифровая система автоматического управления – система с кодово-импульсной модуляцией сигнала, содержащая в контуре управления цифровые вычислительные машины или их элементы. Так как управляемые процессы в основном имеют непрерывный характер, то в большинстве цифровых САУ присутствуют как непрерывные, так и цифровые сигналы. Функциональная схема цифровой САУ может быть представлена в виде, показанном на рисунке 1.1.

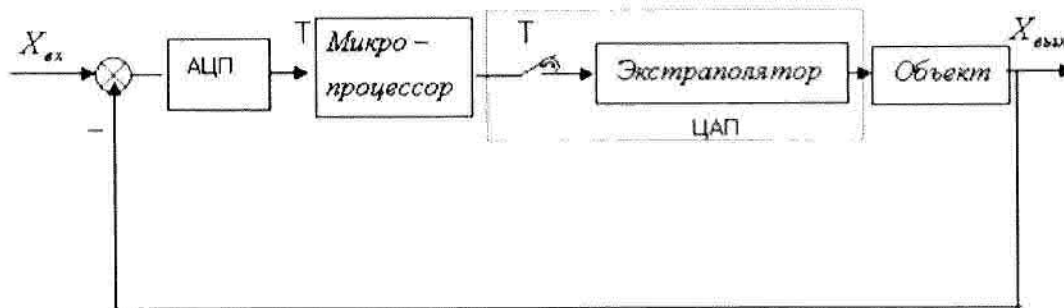


Рисунок 1.1. Функциональная схема цифровой САУ

Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) осуществляет выборку из входного непрерывного сигнала его дискретных значений и преобразует в цифровой код. В соответствии с заложенным алгоритмом производятся математические операции, с использованием дискретных значений входных сигналов микропроцессора формируются коды выходного сигнала, который с помощью цифроаналогового преобразователя (ЦАП) преобразуется в кусочно-непрерывный сигнал. Этот сигнал прикладывается к непрерывной части

системы - объекту. Если выходной сигнал ЦАП является кусочно-постоянным, то это соответствует использованию экстраполятора нулевого порядка. Если разрешение АЦП и ЦАП достаточно велико, то при исследовании цифровой САУ АЦП и ЦАП заменяют устройствами выборки и хранения.

Законы управления могут быть заданы в виде разностных уравнений или в виде импульсных передаточных функций. Импульсная ПФ – аналог ПФ непрерывной системы, полученный с помощью  $Z$  –преобразования. Она связывает  $Z$  –преобразование выходного сигнала с  $Z$  –преобразование входного. По импульсной ПФ можно определить непрерывный сигнал только в дискретные моменты времени  $t=kT$ , что является одним из ограничений метода  $Z$  –преобразования, так как в сигнале между моментами квантования может происходить потеря информации о высокочастотных составляющих. Условием сохранения информации при дискретизации (теорема Котельникова) является: частота квантования непрерывного сигнала должна быть больше или равна удвоенной максимальной частоты спектра этого сигнала.

Одним из возможных подходов к проектированию цифровых САУ является перевод непрерывных законов управления в цифровые (дискретные).

## 1.2. Проектирование цифровой САУ по непрерывному аналогу с использованием средств САПР

Предполагается, что непрерывный аналог САУ задан и необходимо скорректировать закон управления для обеспечения заданных показателей качества.

Рассмотрим непрерывную САУ, заданную структурной схемой

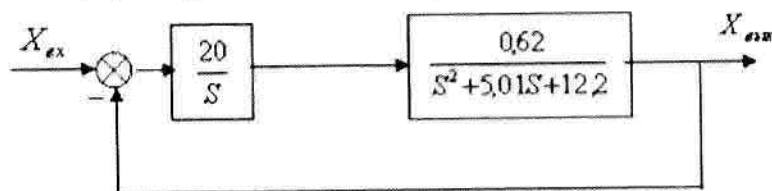


Рисунок 1.2. Структурная схема непрерывной САУ

В САУ рисунке 1.2 реализован интегральный закон управления по ошибке.

Импульсная ПФ интегрирующего звена имеет вид

$$W_k(z) = \frac{T}{z-1}, \quad (1)$$

где  $T$  – период дискретности. Она соответствует интегрированию по методу прямоугольников, что эквивалентно введению устройства выборки совместно с экстраполятором нулевого порядка перед интегратором, как показано на рисунке 1.3.

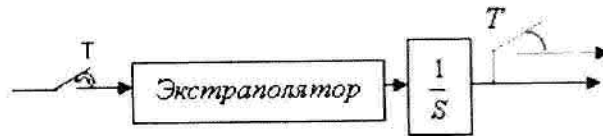


Рисунок 1.3. Интегрирование по методу прямоугольников

При этом выход интегрирующего звена фиктивно синхронно и синфазно квантуется по времени с периодом  $T$ , т.е. выходной непрерывный сигнал звена рассматривается только в дискретные моменты времени.

Структурная схема цифровой САУ, построенной на базе системы рисунка 1.2 примет вид

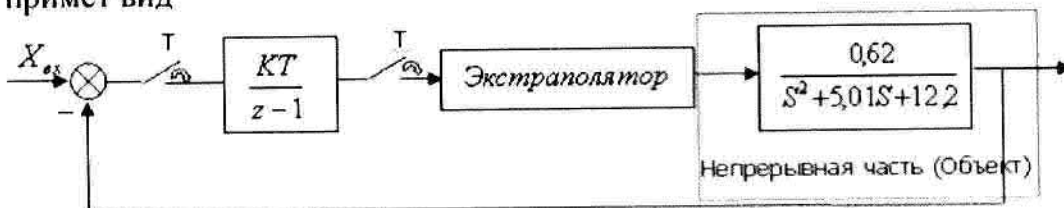


Рисунок 1.4. Структурная схема цифровой САУ

Неизвестными параметрами системы (рисунок 1.4) являются период дискретности  $T$  и значение коэффициента усиления  $K$ . Задача параметрического синтеза (выбора  $K$ ) по какому-либо критерию может быть решена, если задан период дискретности  $T$ .

Выбор период дискретности  $T$  возможен на основе приближенного выполнения условий теоремы Котельникова

$$T \leq \pi / \omega_m, \quad (2)$$

где  $\omega_m$  - максимальная частота спектра циркулирующих в системе сигналов. Ее значение рекомендуется выбирать из условия

$$\omega_m \approx 3\omega_p, \quad (3)$$

где  $\omega_p$  - частота, начиная с которой выполняется условие для амплитудно-частотной характеристики непрерывного аналога (рисунок 1.1)

$$A(\omega_p) \leq 0,1 \text{ или } 20 \lg A(\omega_p) \leq -20 \quad (4)$$

Подставляя (3), в выражение (2) получим

$$T \leq \pi / 3\omega_p \quad (5)$$

Как правило, такой способ выбора  $T$  приводит к завышенным требованиям к быстродействию микропроцессора.

#### Методика решения задачи:

- Создание модели разомкнутой системы (рисунок 1.2). Вычисление ее амплитудно-частотной характеристики и определение по ней  $\omega_p$



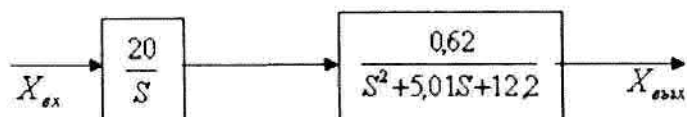




Рисунок 1.5. Модель разомкнутой системы

- Определение расчетного значения периода дискретности  $T$  по выражению (5).
- Создание модели цифровой САУ и исследование влияния величины периода дискретности на качество переходных процессов по результатам имитационного моделирования. Окончательный выбор периода дискретности  $T$ .
- Выбор значения коэффициента усиления  $K$  для цифровой САУ (рисунок 1.4), при котором обеспечивается минимальное время переходного процесса, а перерегулирование  $\sigma$  не превышает значения перерегулирования для непрерывного аналога системы (рисунок 1.2).

#### Определение периода дискретности САУ (рисунок 1.2)

Запустите при помощи ярлыка на рабочем столе Windows программу **MatLab**. На панели инструментов щелкните по кнопке **Simulink** , откроется окно браузера библиотек **Simulink Library Browser**. На панели инструментов щелкните по кнопке создания новой модели , откроется пустое окно файла **untitled**.

1. В окне браузера **Simulink Library Browser** щелкните по компоненту **Continuous** библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера отбуксируйте блоки **Integrator**, **Transfer Fcn** в окно файла **untitled**. Щелкните по компоненту **Math Operations** библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера отбуксируйте блок **Gain** в окно файла **untitled**.
2. Соедините блоки (см. рисунок 1.6). Установите значение параметра блока **Gain** равное 20. Щелкните дважды на изображение блока **Transfer Fcn**. В появившемся окне настроек введите через пробел, начиная со старшей степени коэффициенты числителя и знаменателя ПФ:  
в поле ввода числителя

$$[0.62]$$

в поле ввода знаменателя

$$[1 \ 5.01 \ 12.2]$$

Нажмите последовательно кнопки **Apply** (Применить) и **OK** (Закреть). Измените размеры блока так, чтобы выражение для ПФ звена умещалось в пределах блока.

3. В строке меню выберите **Tools**, а в открывшемся меню команду **Linear Analysis**.

Обозначьте вход и выход системы (рисунок 1.5). С этой целью отбуксируйте из окна **Model Inputs and Outputs** в окно файла **untitled** элементы **Input Point** и **Output Point** и подсоедините их, так как показано на рисунке 1.6.

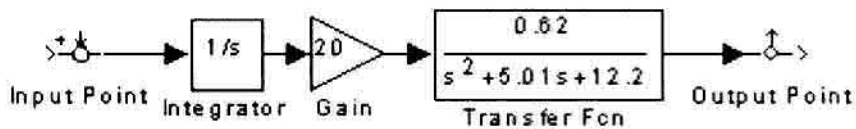


Рисунок 1.6. Блок схема исследования модели разомкнутой САУ

4. Активизируйте окно обозревателя **LTI Viewer**. В строке меню выберите **Simulink**, а в открывшемся меню команду **Get Linearized Model**.
2. Щелкните правой мышкой в окне графика, в открывшемся меню выберите **Plot Types**, в сплывающем списке - процедуру **Bode**. По умолчанию программа построит графики логарифмических частотных характеристик. Включите режим отображения сетки, щелкнув правой мышкой в окне графика, и в открывшемся меню выберите команду **Grid**.
3. Щелкните правой мышкой в окне графика обозревателя **LTI Viewer**, в открывшемся меню выберите **Properties**, а в диалоговом окне перейдите на вкладку **Units**. В раскрывающемся списке **using** установите **linear scale**. Перейдите на вкладку **Limits**, в поле **Limits** установите пределы изменения частоты **0,1 to 10** и нажмите кнопку **Close**. На рисунке 1.7 показана полученная частотная характеристика.

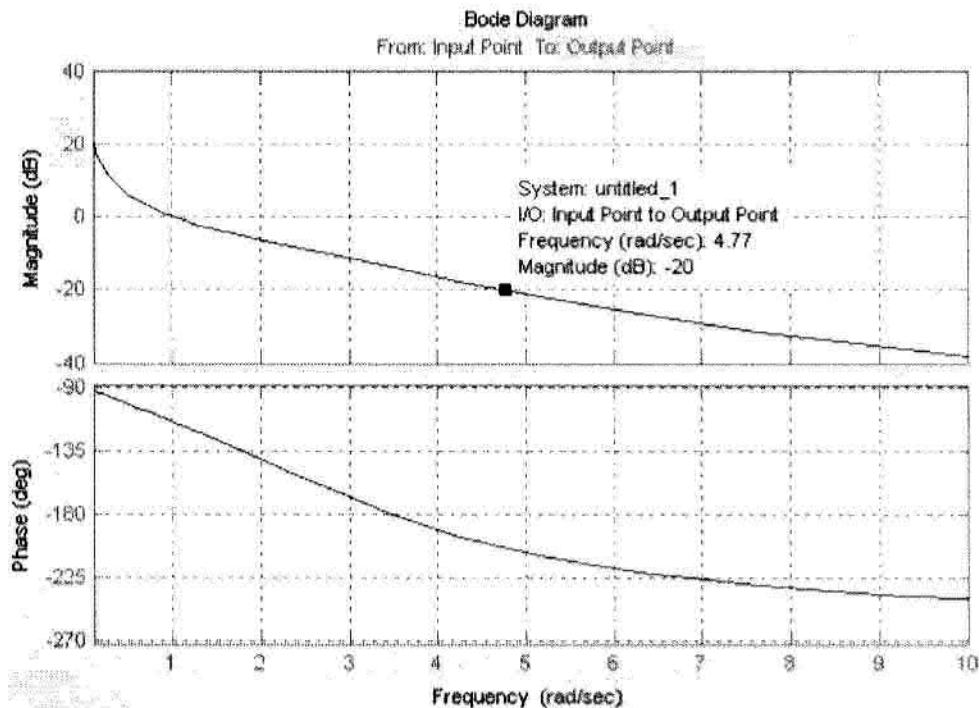


Рисунок 1.7. Частотные характеристики системы (рисунок 1.6)

Наведите курсор мышки на график и нажмите правую кнопку. В окне графика появится информационное окно, в котором отражены координаты текущей точки. Удерживая нажатой кнопку мышки, перемещайте указатель мышки вдоль графика пока в информационном окне значение модуля не примет значение:  $-20$  (см. рисунок 1.7)

Из рисунка 1.7 определяем значение  $\omega_{cp}$ , удовлетворяющее условию (4),

$$\omega_{cp} = 4.77 \approx 5 \text{ рад/сек},$$

подставляя в выражение (5), находим

$$T \leq \pi / (3 * 5) = 0.2 \text{ сек}$$

Таким образом, получено расчетное значение периода дискретности  $T=0.2$  сек, которое необходимо уточнить по результатам моделирования цифровой системы.

7. Закройте окна обозревателя **LTI Viewer** и **Model\_Inputs\_and\_Outputs**. В окне файла **untitled** удалите элементы **Input Point** и **Output Point**.

### Создание модели цифровой САУ

Блок схема модели цифровой САУ, заданной структурной схемой (рисунок 1.4), будет состоять из следующих основных компонентов, находящихся в библиотеке модулей (блоков) **Simulink**:

- Блок-источник **Step**, находящийся в модуле **Sources** (Источники).
- Блок **Gain** – коэффициент усиления (модуль **Math Operations**).
- Блок **Sum** – звено-сумматор (модуль **Math Operations**).
- Блок **Transfer Fcn** -динамическое звено с произвольной ПФ (модуль **Continuous (Непрерывные звенья)**).
- Блок **Discrete –Time Integrator** – цифровое интегрирующее звено (модуль **Discrete**).
- Блок **Zero – Order Hold** – экстраполятор нулевого порядка (модуль **Discrete**).
- Блоки **Scope**, два осциллографа, находящихся в модуле **Sinks** (Приемники).

Блок схема исследования модели цифровой системы (рисунок 1.4) примет вид

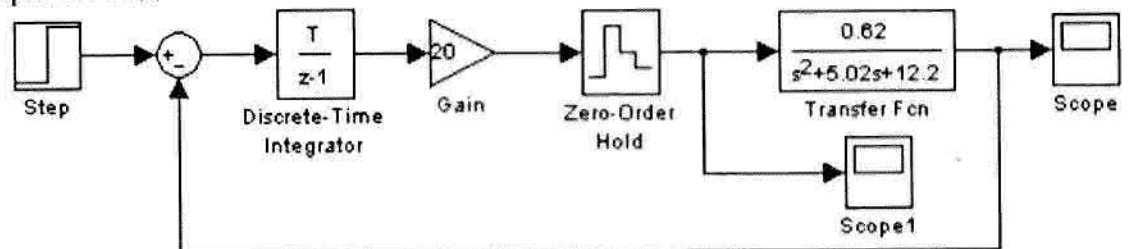




Рисунок 1.8. Блок схема исследования модели цифровой системы (рисунок 1.4)

### Порядок построения блок схемы (рисунок 1.8):

1. В окне браузера **Simulink Library Browser** щелкните по компоненту **Math Operations** библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера отбуксируйте блок **Sum** в окно файла **untitled**.
2. Щелкните по компоненту **Discrete** (Дискретные элементы) библиотеки **simulink**. Из правой части окна браузера последовательно отбуксируйте в свободное место окна файла **untitled** блоки **Discrete –Time Integrator**, **Zero – Order Hold**.
3. Щелкните по компоненту **Sources** библиотеки **simulink**. В окне библиотеки **Library: simulink** откройте двойным щелчком по пиктограмме окно модуля **Sources** (Источники). Из правой части окна браузера отбуксируйте блок **Step** в окно файла **untitled**. Блок **Step** обеспечивает формирование скачкообразного постоянного сигнала.
4. В окне библиотеки **Library: simulink** откройте двойным щелчком по пиктограмме окно модуля **Sinks** (Приемники). Из появившегося окна дважды отбуксируйте блок **Scope** (Индикатор) в окно файла **untitled**.
5. В окне файла **untitled**, удалите лишние элементы и установите блоки так, как показано на рисунке 1.8. В окне настройки блока **Sum** введите  $|+ - \cdot$ . Соедините блоки, находящиеся в прямой цепи.
6. Создайте ответвления от блоков **Transfer Fcn** и **Zero – Order Hold** и соедините их с блоками **Sum** и **Scope1** соответственно.

### Исследование влияния величины периода дискретности на качество переходных процессов

7. Установите параметры блоков **Discrete –Time Integrator** и **Zero – Order Hold**. Для этого поочередно щелкните дважды на изображение блоков и в окне настройки параметров блока в поле ввода с именем **Sample time** введите значение для  $T$  равным 0.2 сек. Нажмите последовательно кнопки **Apply** (Применить) и **OK** (Закреть).
8. Запустите процесс моделирования, щелкнув по кнопке **Start** на панели инструментов .
9. Для получения результатов моделирования необходимо дважды щелкнуть мышью по изображению блоков индикаторов **Scope** и **Scope1**. В результате появятся окна, в которых будут отображены графики переходных функций по выходной координате системы  $X_{вых}$  (индикатор **Scope**) и на выходе экстраполятора нулевого порядка (индикатор **Scope1**). Для управления параметрами окна индикатора **Scope** щелкните на кнопку автоматической установки оптимального масштаба осей . На рисунке 1.9 показаны графики переходных процессов для времени моделирования равного 10 сек.

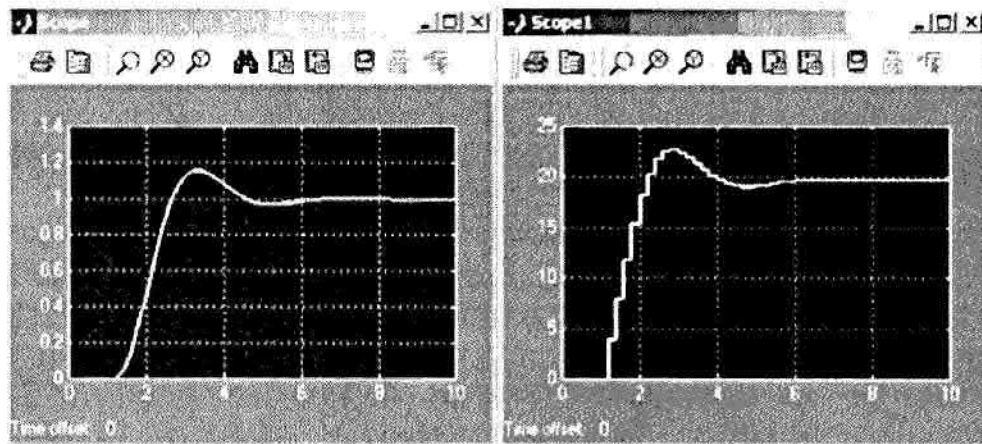



Рисунок 1.9. Графики переходных процессов цифровой системы

**Примечание:** Если график переходного процесса не умещается в окне индикатора Scope, выберите в меню **Simulation** команду **Simulation Parameters**. В открывшемся окне настройки параметров на вкладке **Solver** установите напротив **Stop time** необходимое время моделирования. Щелкните на кнопке **Apply** и закройте окно.

10. Отобразите графики в Отчете, запишите значения  $\sigma$  и времени переходного процесса  $t_{\Pi}$  по  $X_{max}$ . Для более точного съема показаний установите указатель мышки на интересующую точку графика и щелкните мышкой. При необходимости повторите. Снимите показания и занесите их в отчет. Для возвращения исходного масштаба изображения щелкните на кнопке .

**Примечание:** При определении  $t_{\Pi}$  необходимо иметь в виду, что ступенчатая функция  $d$  в данном случае поступает на вход системы с задержкой в 1 сек с момента начала процесса моделирования.

11. Переустановите параметры блоков **Discrete –Time Integrator** и **Zero – Order Hold**. Поочередно щелкните дважды на изображение блоков и в окне настройке параметров блока в поле ввода с именем **Sample time** введите значение для  $T$  равным 0.3 сек. Повторите действия 8, 9 и 10. Аналогично, исследуйте качество системы для  $T$  равного 0.005 сек, что практически соответствует непрерывному аналогу системы, представленному на рисунке 1.2.

### Параметрический синтез цифровой САУ

Рассмотрим задачу параметрического синтеза. Задан период дискретности  $T=0.2$  сек.

**Задача синтеза:** Выбрать по результатам моделирования модели цифровой САУ (рисунок 1.8) значение коэффициента усиления  $K$ , при котором обеспечивается минимальное время переходного процесса, а

перерегулирование не превышает значения перерегулирования для непрерывного аналога системы  $\sigma = 2\%$  (система рисунок 1.2). Определить  $t_{\Pi}$  цифровой САУ, сравнить со значением  $t_{\Pi}$  для непрерывной системы. Отобразить график переходной функции в отчете.

#### Методика решения:

1. Установите в блоках **Discrete –Time Integrator** и **Zero – Order Hold** период дискретности  $T=0.2$  сек.
2. Варьируя параметром  $K$  блока **Gain**, добейтесь выполнения задачи синтеза по результатам моделирования.  
Алгоритм: уменьшите значение  $K=20$ , например на 10%, промоделируйте систему с новым значением  $K$ , найдите значение  $\sigma$ , если  $\sigma > 2\%$  повторите действие, пока не будет выполнено условие  $\sigma = 2\%$ . Отобразите в Отчете для выбранного значения  $K$  полученные результаты:  $t_{\Pi}$ ,  $\sigma$ .

### 1.3. Сравнительный анализ непрерывной и цифровой реализации САУ в частотной области

**Задача исследования:** Оценить влияние цифровой реализации САУ (рисунок 1.2) при учете только дискретизации по времени на динамику всей системы. Определить запасы устойчивости по модулю и по фазе для САУ, структурные схемы которых показаны на рисунке 1.2 и рисунке 1.4.

Перейдем от непрерывной модели объекта к дискретной с периодом дискретности  $T$ . Выходной дискретный сигнал с помощью экстраполятора преобразуются в кусочно-постоянный сигнал. Этот сигнал прикладывается к непрерывной части системы - объекту, выход которого фиктивно синхронно и синфазно квантуется по времени с периодом  $T$ , т.е. выходной непрерывный сигнал объекта рассматривается только в дискретные моменты времени. Структурная схема дискретной модели имеет вид

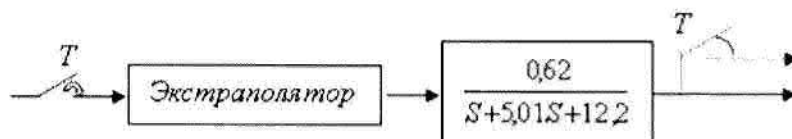


Рисунок 1.10

Обозначим ПФ непрерывной части

$$W = \frac{0,62}{s + 5,01s + 12,2},$$

а ПФ непрерывного интегрирующего звена (см. рисунок 1.2)

$$W_k = \frac{1}{s}.$$

Ввод команд в окне управления **Matlab** имеет ряд недостатков, например, проблематичен повтор предыдущих вычислений и действий при новых значениях исходных данных. Поэтому сложные, однотипные вычисления и команды удобно оформить в виде записанных программ сценарий. Указанные программы хранятся в файлах с расширением **m** и называются **M-файлами**.

### Создание файла сценария анализа непрерывной и цифровой САУ

1. Закройте все окна, кроме окна управления **Matlab**. В меню **Файл** окна управления выберите команду **New**, а в раскрывающемся подменю **M-file**. Появившееся окно Редактора/Отладчика - **Untitled** предназначено для ввода текста программы сценария. Конец строки обозначается нажатием клавиши **Enter**.

### Создание модели непрерывного объекта и интегрирующего устройства в виде ПФ

В пакете **Control System Toolbox** для описания моделей непрерывных систем воспользуемся **tf**-формой передаточной функции.

Синтаксис:

**tf** (имя модели)

2. Введите в окне Редактор/Отладчик **MatLab**  
**W=tf([0.62],[1 5.01 12.2])**  
**Wk=tf([1],[1 0])**

### Создание модели дискретной системы (рисунок 1.10) с экстраполятором

Для преобразования непрерывных моделей в дискретные с использованием в модели экстраполятора нулевого порядка применяют процедуру **c2d**

Синтаксис:

**c2d**(имя модели непрерывной системы с экстраполятором, T)

где T – период дискретности.

3. Введите  
**T=0.2**  
**Wz=c2d(W,T)**

## Ввод модели дискретной системы, заданной в виде импульсной ПФ

К аргументам **tf**-формы передаточной функции необходимо добавить период дискретности **T**.

4. Введите дискретную модель интегрирующего звена (1)

**Wkz=tf([T],[1 -1],T)**

Найдем ПФ разомкнутой непрерывной **olooop** и дискретной **olooopz** систем. С этой целью:

5. Введите значение коэффициента усиления **K**, полученное ранее, и выражения для расчета ПФ разомкнутых систем

**k=14.5** {полученное вами значение может отличаться незначительно}

**olooop=k\*Wk\*W**

**olooopz=k\*Wkz\*Wz**

Для получения частотных характеристик воспользуемся процедурой **bode**.

6. Введите

**bode(olooop,'-',olooopz,'x') , grid**

**pause**

Логарифмическая частотная характеристика непрерывной системы будет показана пунктирной линией '-', дискретной – 'x'. Команда **pause** временно остановит выполнение программы сценария, предоставив возможность перерисовать в отчет полученные графики. Нажатием любой клавиши клавиатуры выполнение сценария возобновится.

7. Введите процедуру вычисления запасов устойчивости для непрерывной системы

**margin(olooop)**

**pause**

8. Аналогично для цифровой системы

**margin(olooopz)**

9. Сохраните файл сценария под именем **script1** в папке с вашей фамилией.

10. Сверните окно файла **script1.m**.

11. В окне управления **Matlab** на панели инструментов, щелкнув по кнопке

**Browse for folder** ... установите текущей папкой с вашей фамилией, запустите выполнение сценария: введите его имя **script1** и нажмите **Enter**.

На рисунке 1.11 показан примерный вид частотных характеристик



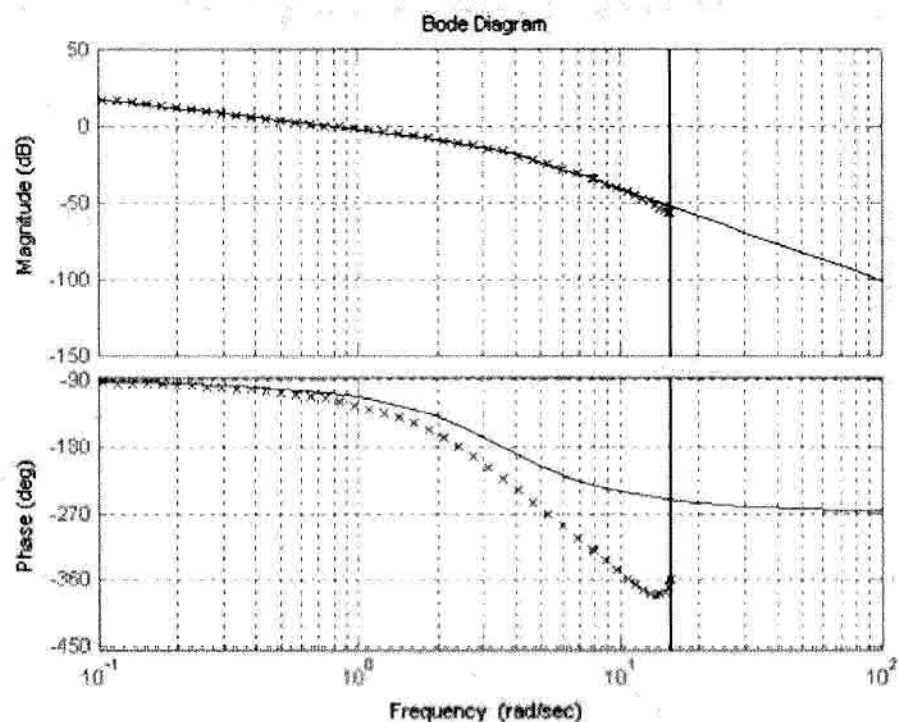


Рисунок 1.11. Графики частотных характеристик разомкнутых непрерывной и цифровой САУ

12. Отобразите в отчете полученные графики частотных характеристик разомкнутых непрерывной и цифровой систем. Нажмите любую клавишу клавиатуры, занесите в отчет полученные значения запасов устойчивости (их значения приведены в заголовке) для замкнутой непрерывной системы. Действуя аналогично, занесите в отчет полученные значения запасов устойчивости для цифровой системы.

Анализ графиков частотных характеристик (рисунок 1.11) показывает, что влияние цифровой реализации без учета квантования по уровню фактически сводится к чистому запаздыванию, под которым понимается время от начала преобразования аналогового сигнала в цифровой до выдачи управляющего сигнала на вход объекта.

#### 1.4. Определение области устойчивости цифровой системы в плоскости параметра $K$

Условием устойчивости цифровой системы является расположение полюсов замкнутой системы внутри единичной окружности.

1. Закройте окно **Figure No. 1** и активизируйте окно файла **script1.m**. Окно файла должно иметь следующий вид (значение для  $K$  пропущено намеренно)

```

W=tf([0.62],[1 5.01 12.2])
Wk=tf([1],[1 0])
T=0.2
Wz=c2d(W,T)
Wkz=tf([T],[1 -1],T)
k=
olooop=k*Wk*W
olooopz=k*Wkz*Wz
bode(olooop,'-',olooopz,'x') , grid
pause
margin(olooop)
pause
margin(olooopz)

```

Дополним сценарий процедурами вычисления корневого годографа для замкнутой цифровой системы  
синтаксис:

**rlocus**(имя модели разомкнутой системы  $k=1$ ), **zgrid**.

Указанная процедура построит и единичную окружность.

- Введите команду **pause** и процедуру **rlocus**.

```

pause
rlocus(Wkz*Wz),zgrid
pause

```

Для определения граничных значений коэффициента усиления  $K$  воспользуемся процедурой **rlocfind**. Аналогично, как и для непрерывных систем, процедура **rlocfind** формирует перекрестие курсора, которое необходимо установить в нужную точку кривой корневого годографа. После выполнения указанной процедуры в окне управления выводятся значения коэффициента усиления  $K$  и соответствующие ему полюса замкнутой цифровой САУ.

- Введите

```
[k,poles]=rlocfind(Wkz*Wz)
```

- Сохраните файл сценария. Сверните окно файла **script1.m**, а в окне управления **Matlab** в командной строке запустите выполнение сценария.
- Нажимая на клавишу клавиатуры, получите кривые корневого годографа. Увеличим масштаб изображения корневого годографа: В строке меню выберите **Edit**, а в открывшемся меню **Axes Properties**. В открывшемся окне настройке перейдите на вкладку **Y**, в поле **Limits** введите пределы – **1.00 1.00** , а затем после нажатия последовательно кнопок **Apply** (Применить) или **OK** (Закреть) щелкните мышкой в окне графика. Отобразите в отчете полученные кривые корневого годографа.

6. Установите с помощью мышки перекрестие в точке пересечения ветви корневого годографа с единичной окружностью, так как показано на рисунке 1.12 и щелкните мышью.

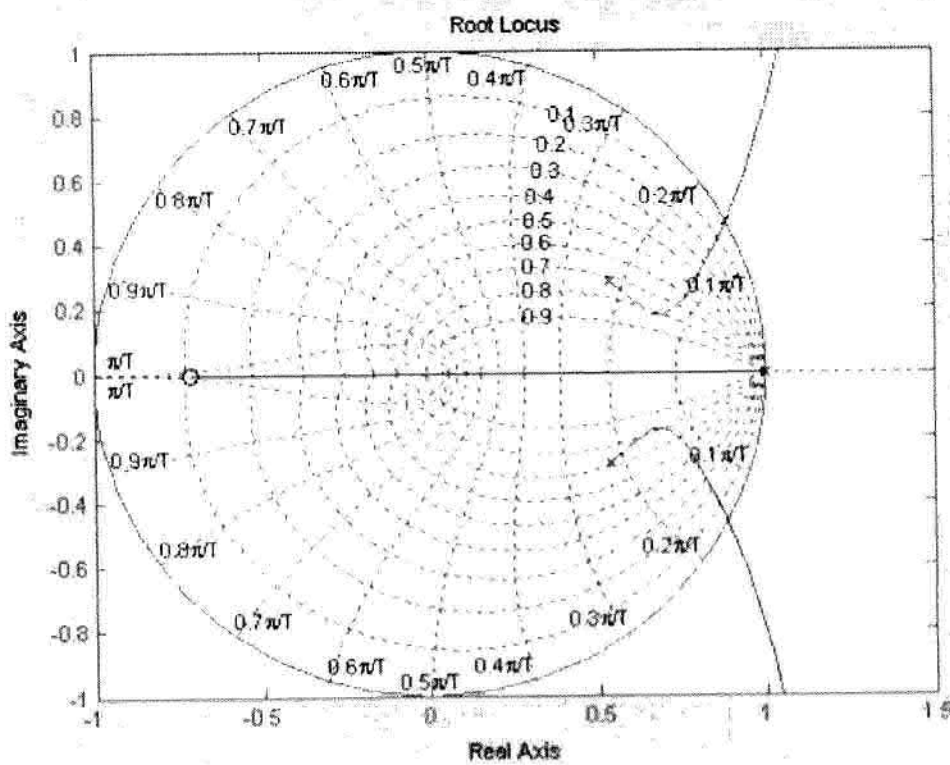


Рисунок 1.12

7. Активизируйте окно управления **MatLab** и занесите в Отчет полученное значение  $K$ . Повторите выполнение сценария, но перекрестие установите в точку пересечения ветви корневого годографа, находящейся на положительной части оси абсцисс, с единичной окружностью. Занесите в Отчет значения  $K$ . Запишите полученный интервал изменения коэффициента усиления  $K$ , в пределах которого замкнутая система (рисунок 1.4 при  $T=0.2$  сек) остается устойчивой.
8. Продемонстрируйте результаты работы на ПК преподавателю.

## II. Самостоятельная работа

Структурная схема непрерывной САУ имеет вид

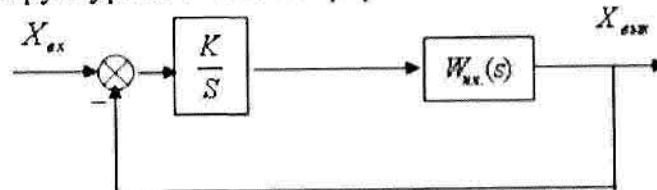


Рисунок 2.1.

**Задание:**

1. Произвести синтез и анализ цифровой САУ по непрерывному аналогу (рисунок 2.1).

Вариант №1

$$K=0.4;$$

$$W_{нч}(s) = \frac{10}{s^3 + 113s^2 + 14s + 10}.$$

Вариант №2

$$K=0.15;$$

$$W_{нч}(s) = \frac{1,25}{s^3 + 5,6s^2 + 3,25s + 1,25}.$$

Вариант №3

$$K=0.5;$$

$$W_{нч}(s) = \frac{1}{0,1s^3 + 1,2s^2 + 1,5s + 1}.$$

Вариант №4

$$K=0.2;$$

$$W_{нч}(s) = \frac{1,15}{s^3 + 6s^2 + 3,65s + 1,15}.$$

Вариант №5

$$K=0.3;$$

$$W_{нч}(s) = \frac{20}{2s^3 + 24s^2 + 30s + 20}.$$

Следуя методике синтеза, приведенной в п.1, отобразите в отчете:

- Амплитудно-частотную характеристику разомкнутой системы непрерывного аналога (рисунок 2.1), значение  $\omega_{\text{пр}}$ .
- Расчетное значение периода дискретности  $T_{\text{расч}}$ .
- Блок схему модели цифровой САУ. Сохраните модель в файле с именем **Зап\_бц** в папке с вашей **фамилией**.
- Графики переходных процессов цифровой САУ, значения  $\sigma$  и времени переходного процесса  $t_{\text{п}}$  по  $X_{\text{вых}}$  для трех значений  $T = T_{\text{расч}}; 1,5 * T_{\text{расч}}; 0,01 \text{ сек.}$
- Значение коэффициента усиления  $K$  для цифровой САУ ( $T = T_{\text{расч}}$ ), при котором обеспечивается минимальное время переходного процесса, а перерегулирование  $\sigma$  не превышает значения перерегулирования для непрерывного аналога системы.
- Графики частотных характеристик разомкнутых непрерывной и цифровой систем, значения запасов устойчивости для замкнутых систем.
- График корневого годографа для замкнутой цифровой системы. Область устойчивости системы в плоскости коэффициента усиления  $K$ .

Продемонстрируйте результаты работы на ПК преподавателю и сдайте отчет.

### Список литературы

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.: МЭИ, 2004. – 400 с.
2. Шишмарев В.Ю. Теория автоматического управления. – М.: Академия, 2012. – 352 с.
3. Подчукаев В.А. Теория автоматического управления. – М.: Физматлит, 2011.
4. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Е., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 1104 с.

### Содержание

<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Синтез линейных систем автоматического управления.....	3
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Параметрический синтез систем автоматического управления объектами с нестабильными параметрами.....	12
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Анализ и синтез цифровых систем управления.....	21

## II. МЕТРОЛОГИЯ

### Занятие № 1.

#### Градуировка средств измерений

**Цель занятия:** научиться определять градуировочную характеристику средств измерений [1, 2, 3].

#### Краткие теоретические сведения

Средствами измерений (СИ) являются измерительные технические устройства, имеющие нормированные метрологические характеристики. Под метрологическими характеристиками понимают такие свойства СИ, которые позволяют оценить результат измерения физических величин и его погрешности. СИ способно хранить и воспроизводить единицы или шкалы измеряемых величин и сохранять их размер неизменным в течение определенного времени. Техническое средство непосредственно после изготовления становится измерительным после передачи ему единицы (или шкалы) от другого более точного СИ. Эта операция называется градуировкой. В более общем смысле градуировка СИ означает определение функциональной зависимости между входной (в частности, измеряемой физической величиной) и выходной величинами с использованием образцовых СИ на входе и выходе этого СИ. При этом в любых СИ осуществляются измерительные преобразования, сопровождающиеся изменениями рода физических величин с требуемым качеством метрологических характеристик.

Градуировка выполняется в условиях, когда измеряемая величина либо не меняется, либо ее изменением можно пренебречь, а время позволяет снимать показания после того, как указатель отчетного устройства окончательно установится на какой-нибудь отметке шкалы.

Различают градуировку в отдельных точках диапазона измерений и построение непрерывной градуировочной характеристики.

*Градуировка в отдельных точках диапазона измерений* является наиболее простой. Так, например, при градуировке ртутного термометра в двух реперных точках (при температуре таяния льда и температуре кипения воды) получают по  $n$  значений длины ртутного столба в каждой точке. Затем в центрах рассеяния наносят отметки шкалы и присваивают этим отметкам значения  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , соответственно. Если длина ртутного столба прямо пропорциональна измеряемой температуре, то расстояние между полученными отметками шкалы можно разбить на 100 равных частей и получить термометрическую шкалу с ценой деления  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> Такая градуировка ртутных термометров осуществлялась в прошлом, когда в качестве единицы измерения температуры использовался  $^{\circ}\text{C}$ . При современных температурных шкалах, основанных на объемном расширении веществ  $dT = k dV$ , где  $V$  – объем вещества,  $k$  – температурный коэффициент расширения вещества, ртутные термометры градуируются по образцовым манометрическим термометрам. Это связано с тем, что значение  $k$  зависит от интервала измеряемых температур, т.е. шкалы ртутных термометров нелинейны. Использование манометрических термометров обеспечивает адекватность  $^{\circ}\text{C}$  и  $\text{K}$  как единиц измерения температуры и их перевода с учетом разницы в реперных точках, т.е.  $T [\text{K}] = T [^{\circ}\text{C}] + 273,15 [\text{K}]$ .

Построение градуировочной характеристики предполагает две возможности. Первая из них заключается в том, что зависимость между входным воздействием и откликом на него известна (например, линейная, квадратичная, логарифмическая и т.п.), но неизвестны коэффициенты, входящие в соответствующее алгебраическое уравнение. Вторая возможность состоит в необходимости аппроксимации экспериментальных данных аналитической зависимостью [3].

Если вид градуировочной характеристики  $Y = f(X)$ , где  $X$  – входная величина,  $Y$  – выходная величина, известен, то задача состоит в том, чтобы в её представлении полиномом соответствующей степени

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + \dots + a_m \cdot X^m$$

найти такие значения коэффициентов  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ , при которых эта зависимость наилучшим образом соответствовала бы экспериментальным данным.

На рис. 1.1 показаны некоторые варианты построения линейной градуировочной характеристики по экспериментальным данным, обозначенным кружочками. Вопрос о том, какой из вариантов лучше, должен решаться на основе какого-то критерия. Если значения входных воздействий  $X_1, X_2, \dots, X_n$  известны точно, а отклики на них  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  подчиняются нормальному закону распределения вероятности, то обычно используется метод наименьших квадратов (МНК).

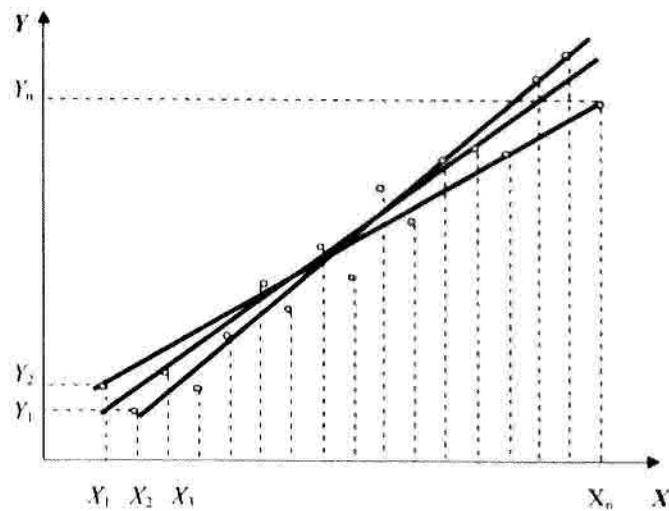


Рис. 1.1. Построение линейной градуировочной характеристики по экспериментальным данным

Минимизируется сумма квадратов отклонений откликов по оси ординат от градуировочной характеристики:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_i - a_2 \cdot X_i^2 - \dots - a_m \cdot X_i^m)^2 = \min. \quad (1.1)$$

Коэффициенты  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ , определяющие оптимальную по критерию наименьших квадратов градуировочную характеристику, находятся из условия равенства нулю производных от этой суммы по каждому коэффициенту.

### Пример

При градуировке измерительного прибора с линейной градуировочной характеристикой получены числовые значения экспериментальных данных, представленные в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Экспериментальные данные

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$X_i$	41	50	81	104	120	139	154	180	208	241	250	269	301
$Y_i$	4	8	10	14	15	20	19	23	26	30	31	30	37

Найти методом наименьших квадратов аналитическое выражение для градуировочной характеристики и построить её графически.

### Решение

1. Линейная градуировочная характеристика описывается выражением:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X,$$

где коэффициенты  $a_0$  и  $a_1$  методом наименьших квадратов находятся из условия:

$$\sum_{i=1}^{13} (Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_i)^2 = \min,$$

где  $i$  – номер опыта.

2. Вышеприведенная функция минимальна в точке, где ее производные по  $a_0$  и  $a_1$  равны нулю. Поэтому коэффициенты  $a_0$  и  $a_1$  определяются в результате решения системы уравнений:



$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{13} (Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_i) = 0; \\ \sum_{i=1}^{13} Y_i - a_0 - a_1 \cdot X_i \cdot X_i = 0 \end{cases}$$

3. Два уравнения с двумя неизвестными имеют единственное решение. Разделим левую и правую части каждого уравнения на 13, введем обозначения:

$$\begin{aligned} \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} Y_i &= \hat{Y}; \\ \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} X_i &= \hat{X}; \\ \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} X_i^2 &= \hat{X}^2; \\ \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} Y_i \cdot X_i &= \hat{XY}, \end{aligned}$$

где  $\hat{Y}$ ,  $\hat{X}$ ,  $\hat{XY}$  – оценки среднего значения.

Тогда получим выражение для коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  в форме, выходящей по своему значению за рамки частного примера:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{\hat{X}^2 \cdot \hat{Y} - \hat{X} \cdot \hat{XY}}{\hat{X}^2 - \left(\hat{X}\right)^2}; \\ a_1 &= \frac{\hat{XY} - \hat{X} \cdot \hat{Y}}{\hat{X}^2 - \left(\hat{X}\right)^2}. \end{aligned}$$

4. В рассматриваемом случае  $a_0 = 0,7$ ;  $a_1 = 0,124$ , так что аналитическое выражение для градуировочной характеристики имеет вид:

$$Y = 0,7 + 0,124 \cdot X.$$

Графически она построена на рис.1.2, где точками нанесены экспериментальные данные.

Выражениями для  $a_0$  и  $a_1$ , полученными в рассмотренном примере, можно пользоваться при градуировке измерительных приборов с нелинейными градуировочными характеристиками.

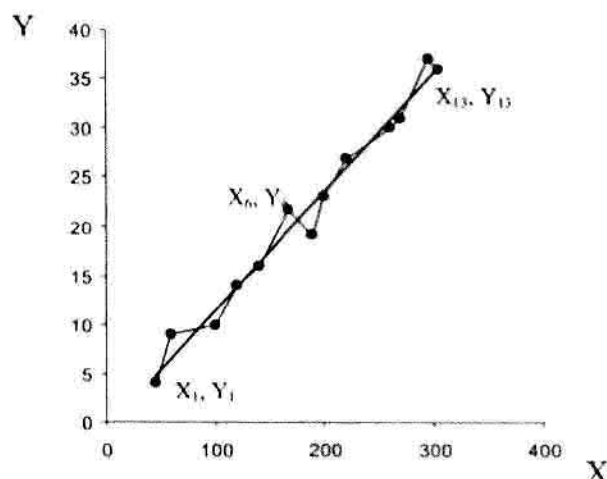


Рис. 1.2. Градуировочная характеристика, найденная по МНК

Так, например, если она описывается зависимостью

$$Y = a_0 + \frac{a_1}{X},$$

то в формулы для коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  вместо  $X$  следует подставлять

$Z = \frac{1}{X}$ , точно так же, если

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X^2,$$

то задача линейруется подстановкой  $Z = X^2$ .

Иногда для линейзации может использоваться логарифмирование. Если, например,

$$Y = a_0 \cdot e^{a_1 \cdot X},$$

то после логарифмирования по основанию натуральных логарифмов получается:

$$\ln Y = \ln a_0 + a_1 \cdot X. \quad (1.2)$$

Если градуировочная характеристика СИ имеет вид:

$$Y = k_0 \cdot e^{\frac{k_1}{X}}, \quad (1.3)$$

то после логарифмирования выражения (1.3) с использованием натуральных логарифмов получим

$$\ln Y = \ln k_0 + \frac{k_1}{X}.$$

Произведя замену переменных, составим линейное уравнение относительно новых переменных:

$$Z = a_0 + a_1 \cdot W, \quad (1.4)$$

где  $Z = \ln Y$ ,  $a_0 = \ln k_0$ ,  $a_1 = k_1$ ,  $W = X^{-1}$ .

Для линеаризации градуировочной характеристики СИ вида:

$$Y = k_0 \cdot \ln \frac{X}{k_1} \quad (1.5)$$

представим выражение (1.5) в виде:

$$Y = k_0 (\ln X - \ln k_1).$$

Отсюда:

$$Y = k_0 \ln X - k_0 \ln k_1,$$

и получим линейную зависимость

$$Y = a_0 + a_1 \cdot Z, \quad (1.6)$$

где  $a_0 = -k_0 \cdot \ln k_1$ ;  $a_1 = k_0$ ;  $Z = \ln X$ .

При наличии данных, аналогичных приведенным в табл. 1.1, решение производится по новым переменным с учетом их значений в формулах (1.2), (1.4) и (1.6).

Если вид градуировочной характеристики неизвестен, то возникает задача отыскания наилучшей аппроксимации экспериментальных данных, полученных при градуировке, аналитической зависимостью (рис. 1.3). Решение ее методом наименьших квадратов (МНК) отличается от решения предыдущей задачи только тем, что степень полинома

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + \dots$$

неизвестна. Она устанавливается на основании требований к точности градуировки. После этого минимизируется выражение (1.1). Количество уравнений для определения коэффициентов  $a_0, a_1, a_2, \dots$  всегда равно числу неизвестных, так что задача имеет единственное решение. В специальной литературе она иногда называется *задачей сглаживания*.

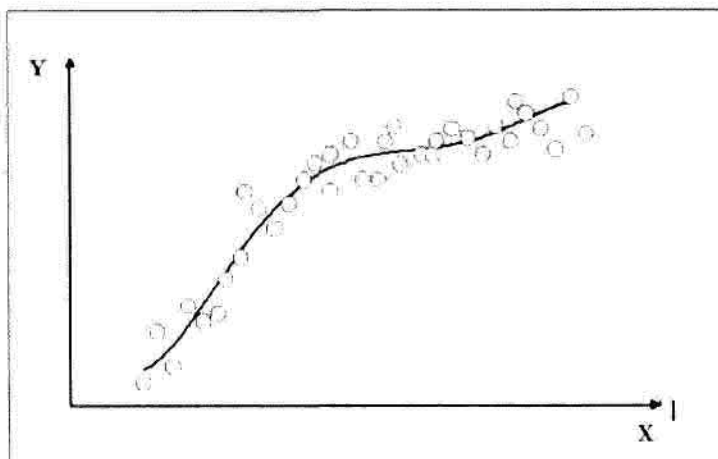


Рис.1.3. Построение градуировочной характеристики, вид которой неизвестен

### Задание

При градуировке средства измерения с линейной функциональной характеристикой получены числовые значения экспериментальных данных, приведенные в табл.1.2. По полученным данным найти методом наименьших квадратов аналитические выражения для градуировочной характеристики и построить ее графически.

Таблица 1.2

### Экспериментальные данные

Номер эксперимента $i$	Входная величина $X_i$	Выходные величины $Y_i$				
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
1	0	46,00	100	10	100	53
2	10	47,82	103,96	10,396	104,26	55,26
3	20	49,64	107,91	10,791	108,52	57,52
4	30	51,45	111,85	11,185	112,78	59,77
5	40	53,26	115,78	11,578	117,04	62,03
6	50	55,06	119,7	11,97	121,3	64,29
7	60	56,86	123,6	12,36	125,56	66,55
8	70	58,65	127,49	12,749	129,82	68,81
9	80	60,43	131,37	13,137	134,08	71,06
10	90	62,21	135,24	13,524	138,34	73,32

Номер эксперимента $i$	Входная величина $X_i$	Выходные величины $Y_j$				
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
11	100	63,99	139,1	13,91	142,6	75,58
12	110	65,76	142,95	14,295	146,86	77,84
13	120	67,52	146,78	14,678	151,12	80,09
14	130	69,28	150,6	15,06	155,38	82,35
15	140	71,03	154,41	15,441	159,64	84,61
16	150	72,78	158,21	15,821	163,9	86,87
17	160	74,52	162	16,2	168,16	89,13
18	170	76,26	165,78	16,578	172,42	91,38
19	180	77,99	169,54	16,954	176,68	93,64
20	190	79,71	173,29	17,329	–	–
21	200	81,43	177,03	17,703	–	–

### Содержание отчета

1. Таблица экспериментальных данных.
2. Результаты расчетов градуировочной характеристики СИ.
3. Функциональная зависимость  $y = f(x)$  в графическом виде.
4. Выводы по проделанной работе (коэффициенты для градуировочной характеристики).

### Контрольные вопросы

1. Дать определение СИ.
2. Дать определение понятия «градуировка СИ».
3. В каких задачах используется метод наименьших квадратов?
4. Привести примеры линеаризации градуировочных функциональных зависимостей для СИ [6].

## Занятие № 2.

### Анализ погрешностей результатов косвенных измерений

**Цель занятия:** научиться оценивать погрешности косвенных измерений физических величин и сформулировать требования к точности измерений непосредственно измеряемых величин – аргументов функциональной зависимости результатов косвенных измерений от прямых измеряемых величин [1, 2, 3].

#### Краткие теоретические сведения

При косвенных измерениях значение искомой величины  $Z$  вычисляют по результатам прямых измерений других величин  $X_i$ , функционально связанных с искомой. Функциональная зависимость  $Z(X_1, X_2, X_3 \dots X_n)$ , как правило, задается в виде формулы.

Обычно рекомендуют провести вначале обработку результатов каждого из прямых измерений, затем по полученным оценкам центров распределений величин  $X_i$  вычислить оценку искомой величины  $Z$  и, наконец, по оценкам погрешностей оценок  $X_i$  вычислить оценку погрешностей окончательного результата, как будет описано ниже.

Но для оценивания случайной составляющей погрешности результата возможен и другой путь: многократно повторить процедуру, состоящую из однократных измерений всех  $X_i$  и вычисления  $Z$ , получить таким образом выборку значений  $Z$  со статистическим разбросом и обработать ее стандартным способом. Достоинство этого метода состоит в том, что он не требует знания характеристик составляющих случайной погрешности, экспериментатор имеет дело сразу с их суммой. Тем не менее, его применяют реже. Поэтому вернемся к задаче вычисления оценки погрешности окончательного результата по оценкам погрешностей непосредственно измеренных величин  $X_i$ .

Поскольку погрешности этих величин предстоит суммировать, удобно характеризовать их оценками средними квадратическими отклонениями (СКО)  $S_i$ .

Наиболее простая функциональная зависимость – линейная комбинация  $Z = b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$ . Переходя к дифференциалам как аналогам малых погрешностей, получаем:

$$dZ = b_1 \cdot dX_1 + b_2 \cdot dX_2 + \dots + b_n \cdot dX_n$$

или

$$\Delta_Z = b_1 \Delta_{X_1} + b_2 \Delta_{X_2} + \dots + b_n \Delta_{X_n} \quad (2.1)$$

где  $\Delta_{X_1}, \Delta_{X_2}, \dots, \Delta_{X_n}$  – абсолютные погрешности прямых измерений;  $\Delta_Z$  – абсолютная погрешность косвенного результата измерения.

Для систематических составляющих погрешностей  $\Delta_c$  формула (2.1) рассматривается как алгебраическая сумма погрешностей результатов прямых измерений:

$$\Delta_{Zc} = \sum_{i=1}^n b_i \cdot \Delta_{X_i c}, \quad (2.2)$$

а для случайных составляющих погрешностей  $\overset{\circ}{\Delta}$  – как геометрическая сумма:

$$\overset{\circ}{\Delta}_Z = \sum_{i=1}^n b_i^2 \cdot \overset{\circ}{\Delta}_{X_i}^2. \quad (2.3)$$

Немного сложнее случай, когда искомая величина выражается в виде произведения  $Z = X_1^{c_1} \cdot X_2^{c_2} \cdot \dots \cdot X_m^{c_m}$ . Это произведение сначала логарифмируют и только после этого переходят к дифференциалам, получая:

$$\ln Z = c_1 \cdot \ln X_1 + c_2 \cdot \ln X_2 + \dots + c_m \cdot \ln X_m \quad (2.4)$$

и

$$\frac{dZ}{Z} = c_1 \frac{dX_1}{X_1} + c_2 \frac{dX_2}{X_2} + \dots + c_m \frac{dX_m}{X_m} \quad (2.5)$$

или

$$\delta_Z = c_1 \cdot \delta_{X_1} + c_2 \cdot \delta_{X_2} + \dots + c_m \cdot \delta_{X_m} = \sum_{j=1}^m c_j \cdot \delta_{X_j}. \quad (2.6)$$

Видно, что, в отличие от предыдущего случая, когда суммировались абсолютные погрешности, здесь суммируются относительные погрешности. Систематические относительные составляющие суммируются со своими знаками с учетом знаков показателей  $c_j$ :

$$\delta_{Zc} = \sum_{j=1}^m c_j \delta_{X_j c}. \quad (2.7)$$

Случайные погрешности суммируются по правилу сложения дисперсий:

$$\overset{\circ}{\delta}_Z^2 = c_1^2 \overset{\circ}{\delta}_{X_1}^2 + c_2^2 \overset{\circ}{\delta}_{X_2}^2 + \dots + c_m^2 \overset{\circ}{\delta}_{X_m}^2 = \sum_{j=1}^m c_j^2 \overset{\circ}{\delta}_{X_j}^2. \quad (2.8)$$

Отметим особенность косвенных измерений, заключающуюся в том, что нельзя для каждого возможного значения  $Z$  заранее оценить инструментальную погрешность (как это делается при прямых измерениях). Дело в том, что одно и то же значение  $Z$  может быть получено при различных сочетаниях непосредственно измеряемых величин, а значит, и при различных погрешностях их измерения. Получив окончательный результат и отбросив промежуточные данные, экспериментатор уже не может восстановить исходное сочетание величин  $X_j$ .

Это особенность была не очень заметной, пока результаты косвенных измерений обрабатывались вручную. Но при переходе к автоматизированным экспериментальным установкам и измерительным информационным системам (ИИС) невозможность их метрологической аттестации по образцу простых приборов стала вызывать определенные трудности. Для их преодоления пришлось возложить оценивание погрешностей косвенных измерений на вычислительные средства, входящие в состав самих ИИС. Были разработаны нормативные документы, согласно которым оценки погрешностей косвенных измерений должны вычисляться для каждого получаемого результата параллельно с вычислениями самого этого результата. Для вычисления оценок погрешностей должны быть предусмотрены специальные программы.

Следует подчеркнуть, что, исходя из зависимостей (2.1 – 2.8), можно сформулировать требования к точности измерения непосредственно измеряемых величин  $X_i$  и  $X_j$ , которые связаны с искомым значением косвенных измерений известной зависимостью  $Z = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ . Используя правило равноточных измерений, все составляющие погрешностей прямых измерений в абсолютной и относительной формах, примерно, должны быть одинаковы по размеру, что с учетом коэффициентов влияния  $b_i$  и  $c_j$  предъясвляет требования к выбору  $\Delta_i$  и  $\delta_j$ .

Рассмотрим пример расчета погрешностей косвенных измерений.

Для точного измерения значений сопротивления  $R_x$  обычно используют метод их расчета по закону Ома:

$$R_x = \frac{U}{I}, \quad (2.9)$$

где  $I$  и  $U$  – ток и напряжение, соответственно.

Кроме того, так как точные амперметры в лабораториях отсутствуют, а потенциометры обладают достаточно хорошими метрологическими характеристиками, то и значения токов предпочтительно измеряют с помощью потенциометра, определяя падение напряжения на образцовых сопротивлениях  $R_{обр}$ , включенных последовательно с искомым значением сопротивления  $R_x$ .

Тогда значение тока  $I$  вычисляют, зная падение напряжения  $U_{обр}$  на образцовом сопротивлении  $R_{обр}$ :



$$I = \frac{U_{\text{обр}}}{R_{\text{обр}}}, \quad (2.10)$$

Откуда искомое сопротивление вычисляют по зависимости:

$$R_X = \frac{U_X}{U_{\text{обр}}} \cdot R_{\text{обр}}, \quad (2.11)$$

где  $U_X$  – падение напряжения на  $R_X$ .

Используя формулы (2.7) и (2.8), получим выражения для систематических и случайных составляющих погрешностей косвенного измерения  $R_X$ :

$$\delta_{R_X^c} = \delta_{U_X^c} - \delta_{U_{\text{обр}}^c} + \delta_{R_{\text{обр}}^c} \quad (2.12)$$

и

$$\delta_{R_X}^o = \delta_{U_X}^o + \delta_{U_{\text{обр}}}^o + \delta_{R_{\text{обр}}}^o, \quad (2.13)$$

где  $\delta_{R_X^c}$  и  $\delta_{R_X}^o$  – систематическая и случайная составляющие погрешности измерения  $R_X$ , соответственно.

Основная статическая погрешность потенциометра  $\delta_n = \delta_{U_X} = \delta_{U_{\text{обр}}} = \pm 0,05\%$ , образцовое манганиновое сопротивление известно с погрешностью  $\delta_{R_{\text{обр}}} = \pm 0,01\%$ , тогда:

$$\delta_{R_X^c} = \delta_{U_X^c} - \delta_{U_{\text{обр}}^c} + \delta_{R_{\text{обр}}^c} = \delta_{R_{\text{обр}}^c}$$

$$\delta_{R_X^c} = \delta_{R_{\text{обр}}^c} \leq \pm 0,01\%,$$

$$\delta_{R_X}^o = \delta_{U_X}^o + \delta_{U_{\text{обр}}}^o + \delta_{R_{\text{обр}}}^o,$$

$$\delta_{R_X}^o = [(0,05)^2 + (0,05)^2 + (0,01)^2]^{1/2} \cong \pm 0,07\%.$$

На основании этого можно утверждать, что погрешность измерения сопротивления  $R_X$  находится в пределах

$(\delta_{R_X^c} - \delta_{R_X}^o) < \delta_{R_X} < (\delta_{R_X^c} + \delta_{R_X}^o)$ , и, рассчитывая максимальные пределы погрешности измерения  $R_X$  с учетом знаков систематической погрешности, получим  $-0,08\% < \delta_{R_X} < +0,08\%$  или  $\delta_{R_X} = \pm 0,08\%$ .

### Задание

#### Вариант 1

Найти систематическую и случайную составляющие погрешности косвенного результата измерения силы  $F$  по зависимости  $F = m \cdot a$ , где  $m$  – масса тела;  $a$  – ускорение.

$$\text{Дано: } \delta_{mc} = \pm 0,1\%, \delta_m^o = \pm 0,05\%, \delta_{ac} = \pm 0,02\%, \delta_a^o = \pm 0,07\%.$$

#### Вариант 2

Найти систематическую и случайную составляющие погрешности косвенного результата измерения излучательности  $R_l$  по зависимости  $R_l = \alpha \cdot T^4$ , где  $\alpha$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $T$  – абсолютная температура.

$$\text{Дано: } \delta_a^o = \pm 10^{-3} \text{ отн. ед.}, \delta_{Tc} = \pm 10^{-4} \text{ отн. ед.}, \delta_T^o = \pm 10^{-5} \text{ отн. ед.}$$

#### Вариант 3

Найти систематическую и случайную составляющие погрешности косвенного результата измерения энергии магнитного поля соленоида  $W$  по зависимости  $W = \frac{B \cdot H}{2} \cdot S \cdot l$ , где  $B$  – магнитная индукция;  $H$  – коэрцитивная сила;  $S$  – площадь соленоида;  $l$  – длина соленоида.

$$\text{Дано: } \delta_{Bc} = \pm 0,4\%, \delta_B^o = \pm 0,2\%, \delta_{Hc} = \pm 0,6\%, \delta_H^o = \pm 0,5\%, \\ \delta_{Sc} = \pm 0,1\%, \delta_S^o = \pm 0,05\%, \delta_{lc} = \pm 0,05\%, \delta_l^o = \pm 0,02\%.$$

#### Вариант 4

Найти систематическую и случайную составляющие погрешности косвенного результата измерения мощности тока  $P$  по зависимости  $P = I^2 \cdot R$ , где  $I$  – ток;  $R$  – активное сопротивление.

Дано:

$$\delta_{Ic} = \pm 0,5\%, \delta_I^o = \pm 0,1\%, \delta_{Rc} = \pm 0,3\%, \delta_R^o = \pm 0,05\%.$$

#### Вариант 5

Найти систематическую и случайную составляющие погрешности косвенного результата измерения объемного расхода вещества  $F$ , измеряемого расходомером переменного перепада давления, по зависимости

$F = 4 \cdot 10^4 \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot m \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$ , где  $\alpha$  – коэффициент расхода;  $\varepsilon$  – коэффициент сжатия вещества,  $m$  – модуль сужающего устройства;  $D$  – диаметр трубопровода;  $\Delta P$  – перепад давления на сужающем устройстве;  $\rho$  – плотность вещества.

Дано:  $\alpha$  и  $m$  – постоянные величины;

$$\delta_{\varepsilon c} = \pm 0,7\%, \delta_{\varepsilon}^o = \pm 0,5\%;$$

$$\delta_{Dc} = \pm 0,1\%, \delta_{D}^o = \pm 0,2\%;$$

$$\delta_{\Delta P c} = \pm 0,5\%, \delta_{\Delta P}^o = \pm 0,4\%;$$

$$\delta_{\rho c} = \pm 0,8\%, \delta_{\rho}^o = \pm 0,3\%.$$

### Содержание отчета

1. Изложение задания по расчету погрешности косвенного результата измерения искомой величины.
2. Формулы для расчета систематической и случайной составляющих погрешности косвенного результата измерения искомой величины.
3. Расчет количественного значения составляющих погрешности косвенного результата измерения искомой величины.

### Контрольные вопросы

1. Дать определение понятия косвенного измерения величин.
2. Как определяются погрешности косвенного измерения величин при линейных зависимостях искомой величины от непосредственно измеряемых?
3. Как определяются погрешности косвенного измерения величин при степенной зависимости искомой величины от результатов прямых измерений [4]?

### Занятие № 3. Поверка средств измерений

**Цель занятия:** научиться осуществлять поверку средств измерений [1, 2, 3].

#### Краткие теоретические сведения

Поскольку функциональная зависимость между выходной величиной (сигналом) СИ и входными (измеряемыми) величинами (см. занятие № 2) со временем может изменяться, что сказывается на увеличении погрешности СИ, в практической метрологии предусматривается операция поверки.

Поверка – установление органом государственной метрологической службы пригодности СИ к применению в эксплуатации на основании экспериментальных исследований его погрешности и сравнение ее размеров с установленными (нормированными) погрешностями для этого СИ [5].

#### Методические указания и пример поверки термометра электрического сопротивления

Рассмотрим пример поверки термометра электрического сопротивления (ТЭС), который под воздействием температуры изменяет на выходе значение активного сопротивления  $R$  в Ом.

В табл. 3.1 приведены результаты экспериментальных данных измерения сопротивления ТЭС  $R^{ЭК}$  при температуре: 0 °С, 23 °С и 100 °С.

Таблица 3.1

Данные поверки ТЭС

Номер опыта $i$	$T_i$	$R_i^{ЭК}$	$R_i^{СТ}$	$\Delta_i = R_i^{ЭК} - R_i^{СТ}$	$\delta_i = \frac{\Delta_i \cdot 100}{R_i^{СТ}}$
	°С	Ом	Ом	Ом	%
1	0	102,13	100	+2,13	+2,13
2	23	111,50	109,8	+1,70	+1,55
3	100	144,73	142,6	+2,13	+1,49

Измерение сопротивления  $R_{ТЭС}$  осуществлялось по правилам определения результатов косвенных измерений в соответствии с правилами, изложенными в занятии № 2 с погрешностью:

$$(-\delta_c - \overset{\circ}{\delta}) < \delta < (\delta_c + \overset{\circ}{\delta}),$$

$$(-0,01\% - 0,07\%) < \delta^{ЭК} < (0,01\% + 0,07\%).$$

Эти значения  $R^{ЭК}$  сравниваются со стандартными значениями  $R^{СТ}$ , которые должны иметь ТЭС с известным размером  $R_0$  и  $\alpha$ , характеризующими начальное сопротивление ТЭС и его температурный коэффициент электрического сопротивления, зависящий от материала ТЭС. В эксперименте в качестве ТЭС использовался медный ТЭС с  $R_0 = 100$  Ом и  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} 1/^\circ\text{C}$ .

Максимальное значение относительной погрешности при измерении  $T_l = 0^\circ\text{C}$  составило  $\delta_{ЭК} = \pm 2,13\%$ , а допускаемое значение для медного ТЭС при  $R_0 = 100$  Ом составляет  $\delta_{СТ} = \pm 0,5\%$ . Так как  $\delta_{ЭК} > \delta_{СТ}$ , то ТЭС бракуется и не допускается к дальнейшей эксплуатации по результатам поверки.

### Задание

По результатам поверки ТЭС при  $T = 0^\circ\text{C}$  и  $T = 100^\circ\text{C}$ , экспериментальные данные которой приведены в табл. 3.2, оценить пригодность ТЭС к дальнейшей эксплуатации, если  $\delta^{СТ} = \pm 0,5\%$ .

Таблица 3.2

Экспериментальные данные

Значение сопротивления	Единицы измерения	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
$R_0^{ЭК}$ при $T=0^\circ\text{C}$	Ом	102,98	103,17	10,35	47,28	51,42
$R_{100}^{ЭК}$ при $T=100^\circ\text{C}$	Ом	146,01	141,79	14,30	65,05	76,71
$R_0^{СТ}$ при $T=0^\circ\text{C}$	Ом	100,00	100,00	10,00	46,00	53,00
$R_{100}^{СТ}$ при $T=100^\circ\text{C}$	Ом	142,60	139,10	13,90	63,99	75,58

### Содержание отчета

1. Экспериментальные данные по форме табл. 3.1.
2. Результаты расчетов погрешностей ТЭС.
3. Выводы по проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1. Дать определение понятия «поверка СИ».
2. Сравнить операции «поверки СИ» и «калибровки СИ».
3. По какому правилу не допускают СИ для дальнейшей эксплуатации?

## Занятие № 4.

### Обработка результатов прямых однократных измерений

**Цель занятия:** приобретение студентами навыков обработки результатов прямых однократных измерений (оценивания погрешностей и неопределенности результата измерений) [7].

#### Краткие теоретические сведения

Прямые однократные измерения являются самыми массовыми. Они проводятся, если при измерении происходит разрушение объекта измерения, отсутствует возможность повторных измерений, существует экономическая целесообразность. Прямые однократные измерения возможны лишь при определенных условиях:

- достаточный объем априорной информации об объекте измерения, чтобы определение измеряемой величины не вызывало сомнений;
- изученный метод измерения, его погрешность либо заранее устранена, либо оценена;
- исправные средства измерений, а их метрологические характеристики соответствуют установленным нормам.

За результат прямого однократного измерения принимается значение величины, полученное при измерении. До измерения должна быть проведена априорная оценка составляющих погрешности. При определении доверительных границ погрешности результата измерений доверительная вероятность принимается, как правило, равной 0,95.

Методика обработки результатов прямых однократных измерений приведена в рекомендациях [7]. Данная методика применима при выполнении следующих условий: составляющие погрешности известны; известные систематические погрешности исключены (внесены поправки на все известные источники неопределенности, имеющие систематический характер); распределение случайных погрешностей не противоречит нормальному распределению, а неисключенные систематические погрешности, представленные заданными границами  $\pm \theta$ , распределены равномерно.

Составляющими погрешности прямых однократных измерений являются:

- погрешности средства измерений (СИ), рассчитываемые по их метрологическим характеристикам;
- погрешность используемого метода измерений;
- погрешность оператора.

Названные составляющие могут состоять из неисключенных систематических и случайных погрешностей. При наличии нескольких систематических погрешностей доверительная граница результата измерения рассчитывается по формуле:

$$\Theta(P) = k_1 \sqrt{\sum_{i=1}^n \Theta_i^2},$$

где  $k_1$  – коэффициент, зависящий от  $P$ :

$k_1 = 0,95$ , при  $P = 0,9$ ;  $k_1 = 1,1$ , при  $P = 0,95$ ;  $k_1 = 1,45$ , при  $P = 0,99$ .

Случайные составляющие погрешности результата измерения выражаются либо СКО  $S_x$ , либо доверительными границами. В первом случае доверительная граница случайной составляющей погрешности результата прямого однократного измерения определяется через его СКО:

$$\varepsilon(P) = z_p S_x,$$

где  $z_p$  – точка нормированной функции Лапласа при вероятности  $P$ .

Если средние квадратические отклонения определены экспериментально при небольшом числе измерений ( $n < 30$ ), то в данной формуле вместо коэффициента  $z_p$  следует использовать коэффициент Стьюдента, соответствующий наименьшему числу измерений.

Найденные значения  $\Theta(P)$  и  $\varepsilon(P)$  используются для оценки погрешности результата прямого однократного измерения. Суммарная погрешность результата измерения  $D(P)$  определяется в зависимости от соотношения  $\Theta(P)$  и  $S_x$ .

Если  $\frac{\Theta(P)}{S_x} < 0,8$ , то  $D(P) = \varepsilon(P)$ .

Если  $\frac{\Theta(P)}{S_x} > 8$ , то  $D(P) = \Theta(P)$ .

Если  $0,8 \leq \frac{\Theta(P)}{S_x} \leq 8$ , то  $D(P) = k_2 [\Theta(P) + \varepsilon(P)]$ ,

где  $k_2$  – коэффициент, зависящий от  $P$ :  $k_2 = 0,76$  при  $P = 0,95$ ;  $k_2 = 0,83$  при  $P = 0,99$ .

На этапе перехода от теории погрешностей к теории неопределенностей в соответствии с [7] наряду с оценкой погрешности необходимо также оценить неопределенность результата измерений.

Напомним, что под *неопределенностью* измерений, согласно [8], понимают *параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине*.

Оценке подлежит стандартная неопределенность результата измерений  $[u]$ . Для получения конечного результата необходимо вначале оценить неопределенность по типу А, а затем неопределенность по типу В.

Стандартную неопределенность по типу А ( $u_A$ ) вычисляют по формуле:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

или задают априори в качестве оценки среднего квадратического отклонения результата однократного измерения ( $S_X$ ).

Стандартную неопределенность по типу В ( $u_B$ ) вычисляют по формуле:

$$u_B = \frac{\Theta(P)}{\sqrt{3}}$$

Суммарная стандартная неопределенность  $u_C$  равна положительному квадратному корню из суммы дисперсий:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

### Пример

При однократном измерении физической величины получено показание средства измерения  $X = 10$ . Определить, чему равно значение измеряемой величины, если экспериментатор обладает следующей априорной информацией о средстве измерений и условиях выполнения измерений: класс точности средства измерений 4,0; пределы измерений 0...50; значение аддитивной поправки  $\Theta(P)_a = 0,5$ ; СКО  $S_X = 0,1$ ;  $P = 0,95$ .

### Решение

1. Оцениваем погрешность результата измерения.

1.1. Анализируем имеющуюся априорную информацию: класс точности средства измерения, аддитивная поправка, СКО.

1.2. При измерении получено значение:  $X = 10$ .

1.3. За пределы неисключенной систематической погрешности принимаем пределы наибольшей абсолютной погрешности прибора, которые находим

$$\Delta = \pm \frac{X_N \cdot \gamma}{100} = \pm \frac{50 \cdot 4,0}{100} = \pm 2,$$

где  $X_N$  – нормирующее значение, в данном случае равное диапазону измерения средства измерения  $X_N = 50$ ;  $\gamma$  – нормируемый предел допускаемой приведенной погрешности, которая определяется из класса точности средства измерения  $\gamma = 4,0 \%$ .

Таким образом,  $\Theta(P) = \pm 2$ .

1.4. Находим границы случайной составляющей погрешности измерения



$$\varepsilon(P) = t_p S_x = 12,7 \cdot 0,1 = 1,27,$$

где  $t_p$  - коэффициент Стьюдента при минимальном числе измерений.

1.5. Определяем суммарную погрешность результата измерения. Так как  $\Theta > 8 \cdot S_x$ , то за границы суммарной погрешности принимаем границы неисключенной систематической погрешности.

1.6. Вносим в результат измерения поправку:

$$X_{\text{испр}} = X + (-\Theta(P))_a = 9 - 0,5 = 8,5.$$

1.7. Записываем результат измерения:  $X_{\text{испр}} \pm D(P)$ , при  $P=0,95$

$$8,5 \pm 2, \text{ при } P=0,95.$$

2. Оцениваем неопределенность результата измерений.

2.1. Стандартная неопределенность по типу А задана априори в виде оценки среднего квадратического отклонения результата однократного измерения ( $S_x$ ). По условию задачи СКО  $S_x = 0,1$ , т.е.  $u_A = \pm 0,1$ .

2.2. Вычисляем стандартную неопределенность по типу В:

$$u_B = \frac{\Theta(P)}{\sqrt{3}} = \frac{2}{1,73} \approx 1,16.$$

2.3. Вычисляем суммарную стандартную неопределенность:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,1^2 + 1,16^2} = \sqrt{0,01 + 1,35} \approx 1,2.$$

### Задание

Определить, чему равно значение измеряемой величины при однократном измерении. Произвести оценку погрешности и неопределенности результата однократных измерений. Исходные данные приведены в табл.4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Показания прибора	15	25	31	24	27	85	68	59	35	45	64	86	28	55
Пределы измерения	0,50	0,50	0,40	0,60	0,30	0,100	0,80	0,70	0,50	0,60	0,90	0,90	0,30	0,60
Класс точности	4	5	0,2	0,5	1	2	0,4	1,5	4	0,2	0,5	0,4	0,5	1
Аддитивная поправка	-0,5	0,5	0,2	0,5	0,1	-0,5	0,2	0,6	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2

Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Показания прибора	52	12	8	4	7	5	75	19	45	5	14	26	18	5
Пределы измерения	0..50	0..50	0..20	0..10	0..10	0..10	0..80	0..50	0..50	0..40	0..20	0..50	0..30	0..20
Класс точности	2	5	0,5	0,1	1	0,2	0,4	1	5	0,2	0,4	2	0,2	1
Аддитивная поправка	-0,5	0,5	0,2	0,1	0,1	-0,1	-0,5	-0,6	0,4	-0,1	0,2	-0,5	-0,2	0,1

### Содержание отчета

1. Исходные данные к задаче, согласно варианту.
2. Формулы и результаты расчетов: пределов неисключенной систематической погрешности; границ случайной составляющей погрешности измерения; суммарной погрешности результата измерения; оценки неопределенности результата измерений.
3. Запись результата измерений в принятой форме.

### Контрольные вопросы

1. Условия, при которых используются прямые однократные измерения?
2. Что принимается за результат прямого однократного измерения?
3. Назовите условия, при которых применима данная методика.
4. Назовите составляющие погрешности прямых однократных измерений.
5. Дайте определение неисключенной систематической погрешности результата измерений.
6. Дайте определение случайной погрешности результата измерений.
7. Дайте определение неопределенности измерений.
8. Как найти стандартную неопределенность по типу А?
9. Как найти стандартную неопределенность по типу В?

## Занятие № 5.

### Обработка данных при прямых многократных измерениях

**Цель занятия:** научиться определять результаты измерения и погрешности результатов измерений при многократных прямых измерениях [4, 6].

#### Краткие теоретические сведения

При прямых измерениях с многократными наблюдениями ставится задача оценивания результата измерения и уточнения случайных составляющих погрешности этого результата (обмен быстродействия, затраченного времени на многократные наблюдения, на точность, т.е. уточнение неопределенности среднего значения как результата измерения).

Для обработки данных используют статистические методы, разработанные для анализа случайных величин, в виде которых выступают, как правило, малые случайные погрешности. При этом подразумевается, что производится многократное наблюдение величины, которая за период наблюдения не изменяется или ее изменения лежат в диапазоне случайного разброса.

Результатом многократного измерения является среднее арифметическое  $n$  отдельных независимых наблюдений, составляющих массив экспериментальных данных  $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n$ :

$$X = X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}.$$

Приведенное  $X_{cp}$  является оценкой среднего значения результата измерения, так как точного знания этого результата измерения получить невозможно из-за ограниченного объема экспериментальных данных.

Дисперсия среднего арифметического значения составит

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = D\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right] = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n D[X_i] = \frac{n \sigma_X^2}{n^2} = \frac{\sigma_X^2}{n},$$

т.е. в  $n$  раз меньше дисперсии каждого из результатов измерения. Иначе СКО результата многократного измерения – его случайная составляющая погрешности – определяется зависимостью

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}},$$

что позволяет уточнить неопределенность среднего по сравнению с неопределенностью каждого наблюдения в  $\sqrt{n}$  раз.

Если априори, до опыта, известны систематические составляющие погрешности, то в массив экспериментальных данных вносятся поправки ( $\Delta_n = -\Delta_c$ ).

Поскольку кроме систематических и случайных составляющих в массиве экспериментальных данных могут наблюдаться промахи, которые представляют собой большие случайные погрешности, не принадлежащие этому ряду измерений (ошибки, описки и т. п.), то статистические методы оценивания случайных составляющих погрешностей позволяют выявить сомнительный результат измерения, содержащий промах, и исключить его из анализа (см. Задание № 6)

Рассмотрим пример обработки массива экспериментальных данных (табл. 5.1). В таблице приведены 15 (графа 1) наблюдений при измерении температуры  $T_i$  в  $^{\circ}\text{C}$  (графа 2).

Таблица 5.1

Экспериментальные данные наблюдения температуры

$i$	$T_i$ [C]	$\Delta T_i = T_i - \bar{T}$	$\Delta T_i^2 \times 10^6$
1	20,42	+0,016	256
2	20,43	+0,026	676
3	20,40	-0,004	016
4	20,43	+0,026	676
5	20,42	+0,016	256
6	20,43	+0,026	676
7	20,39	-0,014	196
8	20,30	-0,104	10816
9	20,40	-0,004	016
10	20,43	+0,026	676
11	20,42	+0,016	256
12	20,41	+0,006	036
13	20,39	-0,014	196
14	20,39	-0,014	196
15	20,40	-0,004	016

Согласно априорной информации, систематических составляющих погрешностей нет, а разброс наблюдений подчиняется нормальному закону распределения вероятностей.

Тогда среднее арифметическое 15 наблюдений температуры  $T_i$  составит

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i = 20,404^{\circ}\text{C}.$$

СКО случайной составляющей погрешности для ряда наблюдений вычисляется по формуле:

$$\overset{\circ}{\sigma}_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{T} - T_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta T_i^2}{n-1}} = 0,033^\circ\text{C},$$

а для среднего арифметического результата измерения

$$\overset{\circ}{\sigma}_{\bar{T}} = \frac{\overset{\circ}{\sigma}_T}{\sqrt{n}} = \frac{0,033}{\sqrt{15}} = \frac{0,033}{3,873} = 0,008^\circ\text{C}.$$

Рассчитаем оценку случайной составляющей погрешности, с учетом нормального закона распределения вероятностей разброса наблюдений и задаваясь доверительной вероятностью этой оценке  $P_\alpha = 0,997$  ( $K_{P_\alpha} = 3$ ), получим

$$\overset{\circ}{\Delta}_T = 3 \cdot \overset{\circ}{\sigma}_{\bar{T}} = K_{P_\alpha} \cdot \overset{\circ}{\sigma}_{\bar{T}} = 0,024^\circ\text{C},$$

т. е. после округления результат измерения температуры можно представить в одном из двух вариантов:

$$T = 20,40^\circ\text{C}; \Delta = \pm 0,02^\circ\text{C}; P_\alpha = 0,997$$

или

$$T = (20,40 \pm 0,02)^\circ\text{C}; P_\alpha = 0,997.$$

#### Задание

По экспериментальным данным (табл. 5.2) многократных наблюдений при прямом измерении постоянного тока  $I_T$  вычислить результат измерения  $\bar{I}$  и его случайную составляющую погрешности  $\overset{\circ}{\Delta}_I$  при

- $P_\alpha = 0,68$  ( $K_{P_\alpha} = 1$ );
- $P_\alpha = 0,95$  ( $K_{P_\alpha} = 2$ );
- $P_\alpha = 0,997$  ( $K_{P_\alpha} = 3$ ).

Таблица 5.2

Экспериментальные данные измерения постоянного тока  $I_1$ , мА

№ наблюдения	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$X_1$	2,96	0,04	0,26	0,08	0,75	2,16	1,93	0,92
$X_2$	3,94	1,10	1,28	0,93	0,01	1,24	2,56	0,56
$X_3$	4,29	0,37	0,52	0,06	1,12	2,09	3,24	0,11
$X_4$	2,98	1,38	0,12	0,06	0,32	1,18	3,73	0,73
$X_5$	1,91	2,21	0,64	0,91	0,36	2,04	2,52	0,90
$X_6$	1,03	2,87	0,56	0,32	0,82	1,14	3,13	0,24
$X_7$	0,32	1,82	0,08	0,21	1,78	0,40	2,03	0,21
$X_8$	0,29	2,57	0,60	0,30	2,57	0,21	1,13	0,98
$X_9$	0,37	1,22	0,49	0,10	1,22	2,49	1,87	0,73
$X_{10}$	0,21	2,11	0,23	0,52	2,11	1,43	1,49	0,49
$X_{11}$	0,77	3,17	1,03	0,59	1,50	0,91	1,99	0,97
$X_{12}$	0,44	2,06	1,38	0,48	2,34	1,82	1,10	0,96
$X_{13}$	1,44	1,15	1,67	0,56	3,03	2,56	0,36	0,04
$X_{14}$	0,65	2,01	1,90	0,59	1,87	1,57	1,36	0,85
$X_{15}$	0,02	2,72	2,10	0,41	0,92	0,76	2,18	0,75
$X_{16}$	1,07	1,70	0,65	0,45	0,14	0,09	2,86	0,84
$X_{17}$	1,94	0,85	1,06	0,24	1,24	0,47	1,82	0,60
$X_{18}$	1,06	0,17	0,20	0,52	0,41	0,69	0,96	0,30
$X_{19}$	0,45	0,96	0,36	0,33	0,96	1,59	0,43	0,20
$X_{20}$	0,24	1,90	0,93	0,14	1,90	0,70	1,44	0,87

### Содержание отчета

1. Таблица по форме табл. 5.1. Расчет значения результата измерения и его случайной составляющей погрешности.
2. Выводы по проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1. Дать определения систематической и случайной составляющих погрешности и промахов.
2. Какой метод используют для определения результата измерения и его случайной составляющей погрешности при прямых многократных измерениях?
3. От каких критериев зависит размер оценки случайной составляющей погрешности?

## Занятие № 6.

### Обнаружение и исключение промахов из прямых наблюдений при многократных измерениях

**Цель занятия:** научиться определять результаты измерений и погрешности результатов измерений при многократных прямых измерениях без промахов [4, 6].

#### Краткие теоретические сведения

В рядах прямых многократных измерений выделяют систематические, случайные составляющие погрешности и промахи.

Под промахами понимают большие (грубые) случайные погрешности, результаты измерения с которыми не принадлежат рассматриваемому ряду измерений.

Задачей изучения промахов является их обнаружение для исключения результата измерения, содержащего промах, из рассмотрения конкретных данных прямых многократных измерений.

Существует ряд способов для обнаружения промахов.

Во-первых, если наблюдения прямых многократных измерений подчиняются нормальному закону распределения вероятности, то все случайные значения данных  $X_i$  с доверительной вероятностью  $P_a = 0,997$  концентрируются в окрестностях среднего значения  $\bar{X} \pm 3\sigma$  (см. задания № 3, 5). В этом случае считается, что результат наблюдения с вероятностью  $P_{\text{промах}} \leq 0,003$  маловероятен и его отклонение за интервал  $(\bar{X} - 3\sigma; \bar{X} + 3\sigma)$  или  $(\bar{X} - X_{\text{промах}}) \geq 3\sigma$  с большой уверенностью можно рассматривать как промах.

После этого наблюдение, содержащее промах, исключается из рассмотрения, и значения  $\bar{X}$  и  $\sigma$  рассчитываются заново.

Во-вторых, если число наблюдений невелико ( $n \leq 10$ ), то можно воспользоваться критерием Шовине для обнаружения промаха в ряду прямых многократных измерений. В этом случае промахом отягощено наблюдение  $X_{\text{промах}}$ , если разность  $|\bar{X} - X_{\text{промах}}|$  принимает значения, приведенные ниже в зависимости от числа наблюдений:

$$|\bar{X} - X_{\text{промах}}| > \begin{cases} 1,6*\sigma \text{ при } n = 3 \\ 1,7*\sigma \text{ при } n = 6 \\ 1,9*\sigma \text{ при } n = 8 \\ 2,0*\sigma \text{ при } n = 10 \end{cases}$$

Рассмотрим пример, в котором согласно априорной информации наблюдения за температурой,  $T_i [^{\circ}\text{C}]$  (занятие № 5) подчиняется нормальному закону распределения вероятностей, и данные сведены в табл.5.1. Проанализируем эти данные с точки зрения наличия в них промахов.

Среднее арифметическое 15 наблюдений температуры

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} T_i = 20,404^{\circ}\text{C}.$$

СКО случайной составляющей погрешности для ряда наблюдений вычисляется по формуле

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{T} - T_i)^2}{n-1}} = 0,033^{\circ}\text{C}.$$

С доверительной вероятностью  $P_a = 0,997$  все результаты наблюдений должны лежать в интервале

$$(\bar{T} \pm 3\sigma) = (20,404 \pm 0,099)^{\circ}\text{C}$$

или

$$\begin{aligned} (\bar{T} - T_{\text{пром}}) &\geq 3\sigma; \\ (20,404 - T_{\text{пром}}) &\geq 0,099^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Как следует из анализа данных 15 наблюдений температуры во 2-й графе больше чем на  $3\sigma = 0,099$  от среднего значения отличается  $T_8 = T_{\text{пром}}$ . Следовательно, его можно считать промахом, и результат наблюдения  $T_8$  исключить из анализа.

Без  $T_8$  новое среднее арифметическое значение  $\bar{T} = 20,411^{\circ}\text{C}$ , а СКО составит

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{14} (\Delta T_i)^2}{14-1}} = 0,016^{\circ}\text{C}.$$

Ни одно из оставшихся 14 значений  $T_i^*$  не отличается от среднего арифметического больше, чем на  $3\sigma = 0,048^{\circ}\text{C}$ , следовательно, в этом ряду наблюдений нет промахов.



### Задание

При обработке экспериментального ряда наблюдений ( $N=20$ ) по табл.6.1 определить двумя способами наличие промахов в заданном ряду.

Таблица 6.1

Экспериментальные данные значений постоянного тока  $I_i$ , мА

№ наблюдения	Варианты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$X_1$	0,81	0,40	0,77	0,70	0,73	0,61	1,82	0,43
$X_2$	0,06	0,55	0,44	0,18	0,57	0,83	2,57	0,20
$X_3$	1,15	0,40	1,44	0,48	0,53	0,88	3,18	0,19
$X_4$	2,06	0,21	0,65	0,51	0,35	0,75	3,67	0,36
$X_5$	2,80	0,66	0,02	0,73	0,92	0,75	2,47	0,78
$X_6$	1,69	0,25	1,07	0,21	0,68	0,75	3,09	0,92
$X_7$	2,49	0,83	1,94	0,46	0,44	0,13	2,00	0,48
$X_8$	1,43	0,68	1,06	0,12	0,35	0,04	2,71	0,24
$X_9$	0,37	0,78	0,30	0,89	0,18	0,31	2,34	0,52
$X_{10}$	0,91	0,91	0,10	0,61	0,41	0,93	3,03	0,18
$X_{11}$	0,57	0,30	1,93	0,85	0,16	0,96	1,69	0,12
$X_{12}$	1,57	0,80	2,65	0,04	0,38	0,59	2,46	0,24
$X_{13}$	2,40	0,63	3,24	0,09	0,74	0,82	3,09	0,02
$X_{14}$	3,08	0,18	3,73	0,11	0,38	0,04	2,00	0,66
$X_{15}$	1,92	0,64	2,52	0,20	0,61	0,65	1,10	0,41
$X_{16}$	2,68	0,94	3,13	0,01	0,06	0,42	0,36	0,58
$X_{17}$	1,59	0,80	2,03	0,58	0,22	0,95	0,24	0,38
$X_{18}$	0,70	0,57	1,13	0,04	0,68	0,75	0,73	0,34
$X_{19}$	0,59	0,71	0,52	0,56	0,63	0,78	1,44	0,33
$X_{20}$	0,41	0,41	0,33	0,41	0,48	0,48	1,27	0,31

### Содержание отчета

1. Таблица экспериментальных данных по форме табл.5.1 занятия № 5.
2. Результаты определения промахов.
3. Исключение значения наблюдения из рассмотрения, как содержащего промах.
4. Проверка наличия промахов в новом ряду данных.
5. Выводы по проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1. Дать определение промаха.
2. Изложить способ обнаружения промахов при достаточной статистической выборке.
3. Изложить способ обнаружения промахов при малом числе наблюдений.

## Занятие № 7.

### Оценка погрешностей результатов однократных измерений с помощью технических средств измерений

**Цель занятия:** научиться определять результат измерения и погрешности результата измерения при однократных прямых измерениях [4, 6].

#### Краткие теоретические сведения

Как известно, средства измерений имеют нормированные метрологические характеристики, которые представляют количественные значения основной (в нормальных или номинальных условиях эксплуатации) и дополнительных (при отклонении внешних влияющих величин от номинальных или нормальных значений) погрешностей согласно ГОСТ 8.401-80 (табл. 7.1).

При расчете погрешностей результатов однократных измерений, произведенных с помощью таких СИ, необходимо определить их размер в абсолютной или, что лучше, в относительной форме.

1. Если предел допускаемых основных погрешностей конкретного СИ пронормирован абсолютным значением погрешности по одночленной ( $a = \text{const}$ ) или двухчленной ( $a = \text{const}$  и  $b = \text{const}$ ) форме, то относительное значение погрешности в результате измерения величины  $X$  определяется по формулам

$$\delta = \pm \frac{a \cdot 100}{X}, \%$$

или

$$\delta = \pm \frac{(a + bX) \cdot 100}{X} = \pm \left( \frac{a}{X} + b \right) \cdot 100, \%$$

где  $X$  – результат измерения.

2. Если предел допускаемых основных погрешностей СИ пронормирован значением приведенной погрешности ( $\gamma = \pm p = \text{const}$ ), то абсолютный размер погрешности результата измерения  $X$  составит:

$$\Delta = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100},$$

где  $X_N$  – нормированное значение, известное для СИ (в общем случае  $X_N = X_{\text{max}} - X_{\text{min}}$  в алгебраическом смысле), а относительная величина погрешности

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100}{X} = \frac{\gamma \cdot X_N}{X}, \%$$

3. Если предел допускаемых основных погрешностей конкретного СИ нормирован по значению относительной погрешности по одночленной ( $q = \text{const}$ ) или двухчленной ( $c = \text{const}$ ;  $d = \text{const}$ ) зависимости, то относительный размер погрешности результата измерения определяется по зависимостям: в первом случае

$$\delta = \pm q, \%,$$

а во втором случае

$$\delta = \pm \left[ c + d \left| \frac{X_K}{X} - 1 \right| \right], \%,$$

где  $X_K$  – конечное значение измеряемой величины на шкале прибора.

Абсолютная погрешность результата измерения при одночленной форме выражения для относительной погрешности составит

$$\Delta = \pm \frac{\delta \cdot X}{100},$$

а при двухчленной форме определяется по выражению

$$\Delta = \pm \frac{1}{100} [d \cdot X_K + (c - d) \cdot X].$$

При этом необходимо подчеркнуть, что в приведенных формулах следует обратить внимание на зависимость  $\Delta$  или  $\delta$  от измеряемых величин, что подтверждает необходимость вычислять погрешности результатов измерений независимо от обозначенных на СИ классах точности.

Кроме основной погрешности, следует оценивать дополнительную погрешность. Во-первых, она определяется по известным условиям эксплуатации СИ и нормативам воздействия внешних влияющих величин, полученным из паспортных данных. Дополнительная абсолютная погрешность от каждой  $j$ -й внешней влияющей величины вычисляется отдельно:

$$\Delta_j = \psi_j (\xi_{j\text{экс}} - \xi_{j\text{ном}}),$$

где  $\psi_j$  – функция влияния  $j$ -й внешней влияющей величины;  $\xi_{j\text{экс}}$  – значение  $j$ -й внешней влияющей величины при эксплуатации СИ;  $\xi_{j\text{ном}}$  – номинальное значение  $j$ -й внешней влияющей величины.

Во-вторых, дополнительные погрешности от воздействия  $j$ -й внешних влияющих величин могут задаваться пределами своего изменения  $\pm \Delta_j$  для диапазона вариации внешних влияющих величин.

Тогда абсолютная погрешность результата измерения в реальных условиях эксплуатации составит

$$\Delta_p = \Delta + \sum_{j=1}^m \Delta_j,$$

где  $\Delta$  – основная погрешность СИ;  $m$  – число внешних влияющих величин, для которых в паспорте приведены функции влияния  $\psi_j$ .

Относительная погрешность результата измерения в реальных условиях эксплуатации определяется по формуле

$$\delta_p = \pm \frac{\Delta_p * 100}{X}, \%$$

Таким образом, результат измерения имеет неопределенность в диапазоне наименованных значений  $X - \Delta_p < X_{\text{рез.изм}} < X + \Delta_p$  или в относительной форме  $X_{\text{рез.изм}} = X \pm \delta_p$ .

### Пример

Осуществлено измерение давления манометром типа «Метран – 100 ДИ». Результат измерения  $P_u = 0,4$  МПа на шкале от 0 до 5 МПа. Класс точности 1,0, т.е. приведенная погрешность  $\gamma = \pm 1\%$ . Дополнительная погрешность от изменения температуры  $\psi_{\Delta T} = \pm 0,5\% / \pm 10^\circ\text{C}$ . Измерение давления осуществлялось при  $T_{\text{экс}} = 5^\circ\text{C}$ .

Вычислим абсолютную основную погрешность для измерения  $P_u = 4$  МПа по формуле:

$$\Delta_o = \pm \frac{\gamma \cdot P_N}{100},$$

где  $\gamma = \pm 1\%$ ,  $P_N = P_{\text{max}} = 5$  МПа, т.е.  $\Delta_o = \pm (0,01 * 5) = \pm 0,05$  МПа.

Относительная основная погрешность измерения для  $P_u = 4$  МПа составит

$$\delta_o = \pm \frac{\Delta * 100}{P_u} = \pm \frac{0,05 * 100}{4} = \pm 1,25\%.$$

Дополнительная погрешность от температуры равна

$$\Delta\delta_T = \psi_T [T_{\text{экс}} - T_{\text{ном(мин)}}] = \psi_T \Delta T_{\text{экс}}$$

где  $T_{\text{экс}}$  – температура при измерении давления,  $T_{\text{ном}} = T_{\text{max}} + T_{\text{min}}$ , что по ГОСТ 8.401-80 составляет  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ , т.е.  $T_{\text{ном(мин)}} = 15^\circ\text{C}$ , так как номинальная температура меняется от 15 до 25  $^\circ\text{C}$ .

Тогда  $\Delta T_{\text{экс}} = (5 - 15)^\circ\text{C} = -10^\circ\text{C}$  и  $\Delta\delta_T = \pm 0,5\% (-10^\circ\text{C}) / 10^\circ\text{C} = \pm 0,5\%$ .

В реальных условиях эксплуатации манометра измерение  $P_u = 4$  МПа осуществляется с погрешностью  $\delta_p = \delta_o + \Delta\delta_T = \pm (1,25 + 0,5)\% = \pm 1,75\%$ .

### Задание

Рассчитать реальную погрешность измерения физической величины, если известны пределы измерения, класс точности средства измерений, его дополнительные погрешности и значение результата измерения (табл. 7.2), обозначение классов точности СИ приведены в табл. 7.1.

Классы точности СИ

Вид погрешности	Обозначение класса точности		СИ, рекомендуемые к обозначению таким способом
	в нормативном документе	на средстве измерений	
Абсолютная (в виде буквы латинского алфавита)	класс точности N	N	Меры
Относительная	класс точности 		Мосты, счетчики, делители, измерительные трансформаторы
	класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01	Цифровые СИ, магазины сопротивлений
Приведенная	класс точности 1,5	1,5	Аналоговые СИ; если $X_N$ – в единицах величины
	класс точности 0,5		Омметры; если $X_N$ определяется длиной шкалы или ее части

### Содержание отчета

1. Привести исходные данные для расчета погрешности результата измерения конкретным средством измерений.
2. Привести последовательность расчета реальной погрешности средств измерения в виде формул и числовых значений в соответствии с принятыми обозначениями.
3. Выводы о проделанных вычислениях.

### Контрольные вопросы

1. Перечислить правила нормирования погрешностей средств измерений.
2. Дать определение нормированного значения для расчета приведенной погрешности.
3. Перечислить правила нормирования дополнительных погрешностей.

Таблица 7.2

Исходные данные для расчета погрешностей результатов измерений

Физические величины	$T, ^\circ\text{C}$	$P, \text{МПа}$	$F, \frac{\text{М}^2}{\text{ч}}$	$L, \text{м}$	$T, ^\circ\text{C}$	$P, \text{МПа}$	$F, \frac{\text{М}^2}{\text{ч}}$	$L, \text{м}$	$C, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Пределы измерения	0 ÷ 700	0 ÷ 1	0 ÷ 70	0 ÷ 10	0 ÷ 400	0 ÷ 5	0 ÷ 120	0 ÷ 5	0 ÷ 60
Результат измерения	600	0,8	50	8	200	1	100	3	45
Класс точности	0,5	1,0	1,0 / 0,5	$\Delta = \pm 0,05$	0,5 / 0,5	1,0	0,6	1,5	$\Delta = \pm 0,7$
Дополнительная погрешность	$\psi_T = \frac{\pm 0,5\%}{\pm 10^\circ\text{C}}$	$\psi_T = \frac{\pm 0,1\%}{\pm 10^\circ\text{C}}$	$\psi_T = \frac{\pm 0,2\%}{\pm 2^\circ\text{C}}$	$\psi_T = \frac{\pm 0,3\%}{\pm 5^\circ\text{C}}$	$\psi_T = \frac{\pm 0,1\%}{\pm 5^\circ\text{C}}$	$\psi_T = \frac{\pm 0,2\%}{\pm 10^\circ\text{C}}$	$\psi_T = \frac{\pm 0,3\%}{\pm 2^\circ\text{C}}$	$\psi_T = \frac{\pm 0,4\%}{\pm 5^\circ\text{C}}$	$\psi_T = \frac{\pm 0,5\%}{\pm 10^\circ\text{C}}$

### III. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

#### Занятие № 8.

#### Определение подлинности товара по штрих-коду международного стандарта EAN

**Цель занятия:** изучить методику международного стандарта EAN и научиться определять подлинность товара по тринадцатизначному штрих-коду.

#### Краткие теоретические сведения

С 1 января 1998 г. Россия стала участницей Международной конвенции «О гармонизированной системе описания и кодирования товаров», что позволило представлять наши товары на мировом рынке, использовать кодирование в транспортных тарифах и статистике грузоперевозок, детализировать таможенные процедуры при электронных расчетах между партнерами. Гармонизированная система действует согласованно со стандартной международной классификацией ООН.

Введены основные Правила классификации гармонизированной системы описания и кодирования товаров – номенклатура гармонизированной системы, которая используется нашей страной во внешнеторговой деятельности. Эта система была подготовлена сотрудниками более 59 стран, а также сотрудниками ГАТТ (Генеральное соглашение по тарифам и торговле), международной торговой палатой МТП, международной организацией по стандартизации (ИСО) и стала стандартной международной классификацией ООН.

В основу системы кодирования товаров положены штрих-коды, используемые для автоматизации товародвижения. Наиболее широко распространен тринадцатизначный код EAN-13, разработанный в 1976 г. на базе кода UPC (Universal Product Code). Суть технологии состоит в нанесении метки в виде последовательности линий, заменяющих вместе с пробелами между линиями числовые значения. Считывание информации со штрих-кода производится оптическими автоматами (сканерами).

К достоинствам применения штрих-кодовой идентификации можно отнести следующие:

- снижение бумажного документооборота и количества ошибок;
- повышение скорости обработки;
- автоматизация товародвижения.

Основными недостатками штрих-кодовой идентификации являются следующие:

- данные идентификационной метки не могут дополняться – штриховой код записывается только один раз при его печати;
- небольшой объем данных (обычно не более 50 байт);
- данные на метку заносятся медленно, так как наклеивание липкой этикетки со штрих-кодом часто выполняется вручную;



- данные на метке представлены в открытом виде и не защищают товары от подделок и краж;
- штрих-кодовые метки недолговечны, так как не защищены от пыли, сырости, грязи, механических воздействий.

В настоящее время штрих-кодовая идентификация начинает вытесняться технологией радиочастотной идентификации.

Штрих-код EAN-13 – это набор из 13 цифр и их зашифрованное обозначение в форме чередующихся черных и белых тонких полосок.

Этот стандарт штрих-кодирования был разработан международной организацией товарной нумерации GS1, чьим представительством в России является «Ассоциация автоматической идентификации UNISCAN / GS1 Russia».

Комбинация цифр в штрих-коде EAN-13 является уникальной, т.е. идентичной комбинации из 13-ти цифр не найдется ни в одной стране мира. Это обусловлено тем, что каждой стране – члену GS1 – были присвоены определенные комбинации из двух (иногда трех) цифр, обозначающие эту страну (Приложение 8.1). Так, например, России был выделен диапазон 460-469, но на данном этапе для маркировки товаров в России используется лишь 460.

Пример штрих-кода приведен на рис.8.1.



*Рис.8.1. Штрих-код товара*

Первые две (иногда три) цифры определяют страну происхождения товара, т.е. это код страны-изготовителя или продавца. В нашем случае 460 – это код России. Следующие за ними 4 или 5 цифр (в зависимости от длины кода страны) являются уникальным кодом производителя товара. Это код предприятия-изготовителя или продавца. В штрих-коде, приведенном на рис.8.1, – это код 6453. Этот производитель обязательно должен быть зарегистрированным в национальном представительстве GS1, чтобы получить право использовать штрих-код с таким номером.

Следующие пять цифр обозначают код товара в списке производителя. Причем, первая цифра – наименование товара, вторая цифра – потребительские свойства, третья цифра – размеры или массу, четвертая цифра – ингредиенты, пятая цифра – цвет.

Это вся информация, которую может сообщить штрих-код стандарта EAN-13. Но это всего двенадцать цифр. Последняя, тринадцатая, цифра в штрих-коде – это контрольная цифра, используемая для проверки правильности считывания штрихов сканером. Она является своего рода знаком качества

данного штрих-кода, так как она сообщает сканеру штрих-кода о том, что данный код является подлинным.

Иногда справа на штрих-коде указывается еще одна цифра или специальный знак « > ». Это означает, что товар выпущен по лицензии.

Следует обратить внимание потребителей на то, что код страны никогда не состоит из одной цифры. Иногда код, нанесенный на этикетку, не соответствует стране-изготовителю, заявленной на упаковке, тут причин может быть несколько. Первая: фирма была зарегистрирована и получила код не в своей стране, а в той, куда направлен основной экспорт ее продукции. Вторая: товар был изготовлен на дочернем предприятии. Третья: возможно, товар был изготовлен в одной стране, но по лицензии фирмы из другой страны. Четвертая: когда учредителями предприятия становятся несколько фирм из различных государств.

### **Методические указания и пример определения подлинности штрих-кода**

Для проведения оценки подлинности штрих-кода, представленного на рис.8.1, можно воспользоваться одним из существующих двух методов.

#### **Метод первый:**

1. Двигаясь **справа налево**, необходимо суммировать все цифры на четных позициях:

$$7 + 9 + 8 + 5 + 6 + 6 = 41$$

2. Затем нужно умножить полученный результат на 3:

$$41 \times 3 = 123$$

3. Далее необходимо суммировать цифры на нечетных позициях. Начинать нужно с третьей по счету цифре:

$$0 + 4 + 3 + 4 + 0 + 4 = 15$$

4. Затем нужно суммировать результаты, полученные в пунктах 2 и 3:

$$123 + 15 = 138$$

5. Необходимо округлить полученный результат в большую сторону до ближайшего кратного десяти. В нашем случае – это 140.

6. Затем из этого числа необходимо вычесть сумму, полученную при вычислениях в пункте 4:

$$140 - 138 = 2$$

Полученный результат соответствует контрольной (последней) цифре штрих-кода, что говорит о подлинности товара.

### Метод второй:

1. Необходимо суммировать все цифры на четных позициях, двигаясь слева направо:

$$6 + 6 + 5 + 8 + 9 + 7 = 41.$$

2. Затем нужно умножить полученный результат на 3:

$$41 \times 3 = 123.$$

3. Далее необходимо суммировать цифры на нечетных позициях без учета контрольной цифры:

$$4 + 0 + 4 + 3 + 4 + 0 = 15.$$

4. Затем нужно суммировать результаты, полученные в пунктах 2 и 3:

$$123 + 15 = 138.$$

5. От полученной суммы нужно оставить только число единиц. В нашем случае это 8.

6. Затем это число необходимо вычесть из 10:

$$10 - 8 = 2.$$

Полученный результат соответствует контрольной цифре штрих-кода, что говорит о подлинности товара.

Таким образом, сканеры штрих-кода очень быстро проверяют себя. В случае, если контрольная цифра не совпадает с результатом этих вычислений, то штрих-код не верен.

### Задание

Определить страну происхождения товара и подлинность штрих-кодов, выданных преподавателем.

### Содержание отчета

1. Эскиз штрих кода.
2. Необходимые расчеты.
3. Выводы по результатам расчетов.

### Контрольные вопросы

1. Какие бывают штрих-коды международного стандарта EAN?
2. Что означают первые две цифры штрих-кода?
3. Что означает тринадцатая цифра штрих-кода?
4. Если на штрих-коде присутствует знак « > », что это означает?

Штрих-коды некоторых стран

Код EAN	Страна	Код EAN	Страна	Код EAN	Страна
000-139	США, Канада	539	Ирландия	850	Куба
300-379	Франция	540-549	Бельгия и Люксембург	858	Словакия
380	Болгария	560	Португалия	859	Чехия
383	Словения	569	Исландия	860	Сербия и Черногория
385	Хорватия	570-579	Дания	865	Монголия
400-440	Германия	590	Польша	867	Северная Корея
450-499	Япония	599	Венгрия	869	Турция
460-469	Россия	600-601	Южная Африка	870-879	Нидерланды
471	Тайвань	640-649	Финляндия	880	Южная Корея
474	Эстония	690-695	Китай	885	Таиланд
475	Латвия	700-709	Норвегия	888	Сингапур
477	Литва	729	Израиль	890	Индия
481	Беларусь	730-739	Швеция	893	Вьетнам
482	Украина	750	Мексика	899	Индонезия
500-509	Великобритания	760-769	Швейцария	900-919	Австрия
520	Греция	789-790	Бразилия	930-939	Австралия
529	Кипр	800-839	Италия	940-949	Новая Зеландия
535	Мальта	840-849	Испания	955	Малайзия

## Занятие № 9.

### Изучение основополагающих нормативных документов по стандартизации Российской Федерации

**Цель занятия:** изучить основополагающие нормативные документы по вопросам стандартизации РФ и знать их отличия.

#### Краткие теоретические сведения

Стандартизация – это деятельность, направленная на разработку и установление требований, норм, правил, характеристик как обязательных для выполнения, так и рекомендуемых, обеспечивая право потребителя на приобретение товаров надлежащего качества за приемлемую цену, а также право на безопасность и комфортность труда [5, 9]. Цель стандартизации – достижение оптимальной степени упорядочения в той или иной области посредством широкого и многократного использования установленных положений, требований, норм для решения реально существующих, планируемых или потенциальных задач.

В процессе стандартизации вырабатываются нормы, правила, требования, характеристики, касающиеся объекта стандартизации, оформляемые в виде нормативного документа.

Руководство ИСО/МЭК рекомендует: стандарты, документы технических условий, своды правил, регламенты (технические регламенты), положения.

Стандарт – это нормативный документ, разработанный на основе консенсуса, утверждённый признанным органом, направленный на достижение оптимальной степени упорядочения в определённой области [6]. В стандарте устанавливаются для всеобщего и многократного использования общие принципы, правила, характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов. Стандарт должен быть основан на обобщённых результатах научных исследований, технических достижений и практического опыта, тогда его использование принесёт оптимальную выгоду для общества.

Рассмотрим разновидности нормативных документов, которые рекомендуются руководством ИСО/МЭК, а также принятых в государственной системе стандартизации РФ.

#### Методические указания

Основополагающими стандартами являются:

ГОСТ Р 1.0-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения;

ГОСТ Р 1.1-2005. Стандартизация в Российской Федерации. Технические комитеты по стандартизации. Порядок создания и деятельности;

ГОСТ Р 1.2-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены;

ГОСТ Р 1.4-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения;

ГОСТ Р 1.5-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения;

ГОСТ Р 1.7-2008. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила оформления и обозначения при разработке на основе международных стандартов;

ГОСТ Р 1.15-2009. Стандартизация в Российской Федерации. Службы стандартизации в организациях. Порядок создания и функционирования.

Принятая в Российской Федерации система стандартизации обеспечивает и поддерживает в актуальном состоянии единый технический язык, унифицированные ряды важнейших технических характеристик продукции, систему строительных норм и правил (СНИПов), типоразмерные ряды и типовые конструкции изделий для общего машиностроения и строительства, систему классификации технико-экономической информации, достоверные справочные данные о свойствах материалов и веществ.

В условиях рыночных отношений стандартизация выполняет три функции: *экономическую, социальную и коммуникативную* [6, 9].

*Экономическая функция* позволяет заинтересованным сторонам получить достоверную информацию о продукции, причём в чёткой и удобной форме. При заключении договора (контракта) ссылка на стандарт заменяет описание сведений о товаре и обязывает поставщика выполнять указанные требования и подтверждать их; в области инноваций анализ международных и прогрессивных национальных стандартов позволяет узнать и систематизировать сведения о техническом уровне продукции, современных методах испытаний, технологических процессах, а также (что немаловажно) исключить дублирование: стандартизация методов испытаний позволяет получить сопоставимые характеристики продуктов, что играет большую роль в оценке уровня конкурентоспособности товара (в данном случае технической конкурентоспособности). Стандартизация технологических процессов, с одной стороны, способствует совершенствованию качества продукции, а с другой – повышению эффективности управления производством.

Однако есть и другая сторона стандартного технологического процесса – возможность сравнительной оценки конкурентоспособности предприятия на перспективу. Постоянное применение только стандартизованных технологий не может обеспечить технологический прорыв, а стало быть, и передовые позиции на мировом рынке.

*Социальная функция* стандартизации заключается в том, что необходимо стремиться включать в стандарты и достигать в производстве таких показателей качества объекта стандартизации, которые содействуют здравоохранению, санитарно-гигиеническим нормам, безопасности в использовании возможности экологической утилизации продукта.

*Коммуникативная функция* связана с достижением взаимопонимания в обществе через обмен информацией. Для этого нужны стандартизованные термины, трактовки понятий, символы, единые правила делопроизводства и т.п.

### **Задание**

1. Ознакомиться с основными нормативными документами (ГОСТ, ГОСТ Р, ОСТ, СТП, ТУ, ИСО).
2. Уяснить нормы, правила, требования и характеристики по каждому нормативному документу.

### **Содержание отчета**

По заданию преподавателя подготовить:

1. Общую характеристику одного или нескольких различных категорий стандартов.
2. Описать правовое обеспечение стандартов.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое нормативный документ?
2. Какие стандарты являются национальными?
3. Какие стандарты являются региональными?
4. Что собой представляет ОСТ?
5. Что собой представляет стандарт?
6. Что собой представляет ТУ?
7. Что означает ИСО/МЭК?
8. Какой орган осуществляет контроль за соблюдением стандартов?
9. Предполагается ли какая-либо ответственность за несоблюдение стандартов?

## IV. СЕРТИФИКАЦИЯ

### Занятие № 10.

#### Изучение порядка проведения сертификации продукции

**Цель занятия:** изучить порядок проведения сертификации продукции, научиться выбирать схему сертификации и заполнять необходимые документы по сертификации.

#### Краткие теоретические сведения

Регулирование деятельности в области сертификации и подтверждения соответствия в Российской Федерации осуществляется согласно Закону РФ «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г.

В терминологическом разделе Закона (ст.2) сертификация и подтверждение соответствия определены следующим образом:

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров [6, 9].

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Таким образом, сертификация является одной из форм подтверждения соответствия объектов предъявляемым к ним требованиям. Сертификация может быть как обязательной, в смысле обязательности её проведения и проверки соответствия объектов обязательным требованиям, так и добровольной. Добровольная сертификация проводится в тех случаях, когда строгое соблюдение требований существующих стандартов или другой нормативной документации на продукцию, услуги или процессы государством не предусмотрено. Добровольной сертификации подлежит продукция, на которую отсутствуют обязательные к выполнению требования по безопасности.

Сертификат соответствия – это документ, подтверждающий соответствие объекта обязательным или необязательным требованиям [5, 9]. Бланк сертификата соответствия приведен в Приложении 10.1, а правила его заполнения – в Приложении 10.2. Сущность подтверждения соответствия состоит в выдаче заявителю документа о соответствии объекта предъявляемым к нему определённым требованиям. Подтверждение осуществляется по результатам оценки соответствия. Определение объектов подтверждения соответствия согласуется с указанными в п. 1 ст. 1 Закона РФ «О техническом регулировании» объектами технического регулирования, однако содержит указание и на иные объекты. При этом понятие этих иных объектов в законе не дано, что делает теоретически возможным применение всех форм подтверждения соответствия к любым объектам. Уяснение этого вопроса имеет не только теоретическое, но и



практическое значение. В настоящее время сертификация, являющаяся одной из форм подтверждения соответствия, применяется, например, к таким объектам, как работы по охране труда в организациях. Для этого Министерством труда и социального развития Российской Федерации создана система сертификации, из документов которой следует, что объектом сертификации является не соответствие условий труда установленным нормативам, а проведение работ по охране труда.

В системе сертификации ГОСТ Р схема сертификации — это определенный порядок действий по сертификации продукции в зависимости от вида продукции, целей сертификации и объема продукции (товара), который определяется органом по сертификации. Выбор схемы сертификации оговаривается с заявителем, так как сертификация продукции проводится, в первую очередь, по инициативе производителя или импортера продукции. Существующие схемы сертификации приведены в Приложении 10.3.

Алгоритм проведения сертификации продукции включает следующие этапы:

- подача заявки на проведение сертификации (форма заявки приведена в Приложении 10.4);
- выбор схемы сертификации и принятие решения по заявке;
- отбор образцов и их испытания;
- оценка производства (если предусмотрена схемой сертификации);
- выдача сертификата и лицензии на применение знака соответствия;
- осуществление инспекционного контроля за сертифицированной продукцией.

### **Задание**

1. Изучить порядок проведения сертификации продукции.
2. Выбрать и обосновать схему сертификации продукции.

### **Содержание отчета**

1. Обосновать выбранную схему сертификации продукции.
2. Представить заполненные документы на сертификацию продукции.
3. Сделать выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое сертификация?
2. Что подтверждает сертификат соответствия продукции?
3. Кто осуществляет контроль за сертификацией продукции?
4. Чем отличается добровольная сертификация от обязательной?
5. Какой орган утверждает сертификат соответствия продукции?

Бланк сертификата соответствия продукции

<b>СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р</b>	
<b>ГОССТАНДАРТ РОССИИ</b>	
	(1) _____ _____ № _____
<b>СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ</b>	
(2) № _____	
(3) Действителен до « _____ » _____ 20 ____ г.	
НАСТОЯЩИЙ СЕРТИФИКАТ УДОСТОВЕРЯЕТ, ЧТО ДОЛЖНЫМ ОБРАЗОМ ИДЕНТИФИЦИРОВАННАЯ ПРОДУКЦИЯ	
(4) _____ _____ _____ _____	(5) <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/> код К-ОКП (6) <input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/> код ТН ВЭД
наименование тип, вид, марка размер партии	
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ	
(7) _____	
ИЗГОТОВИТЕЛЬ (ПРОДАВЕЦ) (8) _____	
наименование	
адрес	
(9)	документы (сертификаты, аттестаты и т. п.) о стабильности производства
<b>М.П.</b>	

Оригинал имеет сетку желтого цвета.

Сертификат выдан на основании: (10)

Наименование испытательной лаборатории	№ протокола испытаний, дата утверждения	Регистрационный № испытательной лаборатории в Госреестре
(11)	(12)	(13)

Изготовитель (продавец) обязан обеспечить соответствие реализуемой продукции требованиям нормативных документов, на соответствие которым она была сертифицирована, испытанному образцу:

(14) \_\_\_\_\_

Место нанесения знака соответствия

(15) \_\_\_\_\_

В случае невыполнения условий, лежащих в основе выдачи сертификата, действие его отменяется органом по сертификации, выдавшим сертификат, или Госстандартом России.

М.П.

Руководитель органа, выдавшего сертификат

(16)

\_\_\_\_\_   
подпись

\_\_\_\_\_   
инициалы, фамилия

Зарегистрирован в Государственном реестре

(17) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 10.2

### Правила заполнения бланка сертификата соответствия продукции

В графах сертификата указываются следующие сведения.

**Позиция 1.** Наименование и код органа по сертификации, выдавшего сертификат, в соответствии с аттестатом аккредитации (прописными буквами) и адрес (строчными буквами). Если наименование органа не помещается в одну строку, то допускается адрес писать под обозначенной строкой. В случае, если орган использует печать организации, на базе которой он образован, после наименования органа, выдавшего сертификат, в скобках (строчными буквами) указывается наименование этой организации, адрес – под реквизитом «подпись» позиции 15. Наименование органа (организации) должно быть идентичным наименованию в печати.

**Позиция 2.** Регистрационный номер сертификата формируется в соответствии с правилами ведения Государственного реестра.

**Позиция 3.** Срок действия сертификата устанавливается органом по сертификации, выдавшим сертификат, по правилам, изложенным в порядке сертификации однородной продукции. При этом дата пишется: число – двумя арабскими цифрами, месяц – прописью, год – четырьмя арабскими цифрами.

**Позиция 4.** Наименование, тип, вид, марка (как правило, прописными буквами) в соответствии с нормативным документом на продукцию; номер технических условий или иного документа, устанавливающего требования к продукции; номер изделия, размер партии, при серийном производстве указать: «серийное производство»; номер накладной (договора, контракта, паспорта и т.д.) – для партии (или единичного изделия).

**Позиция 5.** Классификационная часть кода продукции (6 старших разрядов) по классификатору промышленной и сельскохозяйственной продукции (для отечественной продукции).

**Позиция 6.** 9-разрядный код продукции по классификатору товарной номенклатуры внешней экономической деятельности (заполняется обязательно для импортируемой и экспортируемой продукции). Толкование содержания позиции и определение кодов товарной номенклатуры внешне-экономической деятельности (ТН ВЭД), анализ классификационных признаков и лексических средств их выражения осуществляется органами Государственного Таможенного комитета Российской Федерации.

**Позиция 7.** При обязательной сертификации в первой строке указываются свойства, на соответствие которым она проводится, например: «безопасность». Во второй строке – обозначение нормативных документов, на соответствие которым проведена сертификация. Если продукция сертифицирована на соответствие всем требованиям нормативного документа (документов), первая строка текстом не дополняется.

**Позиция 8.** Если сертификат выдан изготовителю, указывается наименование предприятия-изготовителя. Если сертификат выдан продавцу, подчеркивается слово «продавец», указываются наименование и адрес предприятия, ко-

торому выдан данный сертификат, а также, начиная со слова «изготовитель», – наименование и адрес предприятия-изготовителя продукции. Наименования и адреса предприятий указываются в соответствии с заявкой.

**Позиция 9.** При наличии указывается регистрационный номер в Государственном реестре сертификата системы качества или производства со сроком действия, номер и дата акта (протокола) о проверке производства или другие документы, подтверждающие стабильность производства, например: сертификат, выданный зарубежной организацией и учтенный органом по сертификации.

**Позиция 10.** Строка после слов «Сертификат выдан на основании» не заполняется.

**Позиции 11, 12, 13.** Указываются все документы об испытаниях или сертификации, учтенные органом сертификации при выдаче сертификата, в том числе:

1. Протоколы испытаний в аккредитованной лаборатории (поз. 11, 12, 13 заполняются в соответствии с графами таблицы).
2. Протоколы испытаний в неаккредитованной испытательной лаборатории (в поз. 13 указывается наименование и дата Решения Госстандарта России о разрешении проведения испытаний в указанной лаборатории).
3. Документы, выданные органами и службами государственных органов управления: Государственного комитета санитарно-эпидемиологического надзора, Министерства экологии и природных ресурсов Российской Федерации, Государственной ветеринарной службы Российской Федерации и другими (в поз. 11 – наименование органа, выдавшего документ, в поз. 12, 13 – реквизиты документов).
4. Документы, выданные зарубежными органами: сертификаты (протоколы испытаний) (в поз. 11 указываются наименование органа и его адрес, в поз. 12 – наименование и дата утверждения сертификата (протокола испытаний, срок действия сертификата).
5. При выдаче сертификата на основании заявления-декларации в поз. 11 и 12 указываются реквизиты заявления-декларации, а также документов, приведенных в декларации.

**Позиция 14.** В случае выдачи заявителю лицензии на право маркирования продукции знаком соответствия в данной позиции указывается: «Маркирование продукции производится знаком соответствия по ГОСТ Р 50460-92».

**Позиция 15.** Указывается место нанесения знака соответствия на изделии, таре, упаковке либо в сопроводительной документации в соответствии с порядком сертификации однородной продукции.

**Позиция 16.** Подпись, инициалы, фамилия руководителя органа, выдавшего сертификат, печать органа или организации, на базе которой образован орган, на обеих сторонах сертификата.

**Позиция 17.** Дата регистрации в Государственном реестре.

Исправления, подчистки, поправки на сертификате не допускаются.

Существующие схемы сертификации продукции

Но- мер схе- мы	Испытания	Проверка производства	Инспекционный контроль сертифицированной продукции
1	Испытания типа*	--	--
2	Испытания типа*	--	Испытание образцов, взятых у продавца
2 а	Испытания типа*	Анализ состояния производства	Испытание образцов, взятых у продавца
3	Испытания типа*	--	Испытание образцов, взятых у изготовителя
3 а	Испытания типа*	Анализ состояния производства	Испытание образцов, взятых у изготовителя, анализ состояния производства
4	Испытания типа*	--	Испытание образцов, взятых у продавца. Испытание образцов, взятых у изготовителя
4 а	Испытания типа*	Анализ состояния производства	Испытание образцов, взятых у продавца и изготовителя. Анализ состояния производства
5	Испытания типа*	Сертификация производства или системы качества	Испытание образцов, взятых у продавца и (или) изготовителя. Контроль системы качества про- изводства
6	Рассмотрение заяв- ки-декларации с прилагаемыми до- кументами	Сертификация сис- темы качества из- готовителя	Контроль за стабильностью функционирования системы качества
7	Испытание партии	--	--
8	Испытания каждого образца	--	--

\* Испытания продукции на основе оценивания одного или нескольких образцов, являющихся ее типовыми представителями.

Схемы 1-8 приняты в зарубежной и международной практике и квалифицированы ИСО.

Схемы 2а, 3а и 4а – дополнительные и являются модификацией, соответственно, схем 2, 3 и 4.

Как правило, схемы 1, 6 используются для сертификации серийно выпускаемой продукции. Схема 7 применяется для сертификации отдельных партий продукции. Схема 8 используется, если изделие выпускается единичными экземплярами.

**Форма заявки на проведение сертификации продукции**

\_\_\_\_\_ наименование органа по сертификации, адрес

**ЗАЯВКА  
на проведение сертификации продукции**

В системе сертификации \_\_\_\_\_  
наименование системы

1. \_\_\_\_\_  
наименование предприятия – изготовителя (далее – заявитель),  
\_\_\_\_\_ код ОКП О

Юридический адрес \_\_\_\_\_

Телефон \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_ Телекс \_\_\_\_\_

в лице руководителя \_\_\_\_\_  
Ф.И.О.

Заявляет, что \_\_\_\_\_  
наименование вида продукции, код ОКП

\_\_\_\_\_ выпускается серийно или партией (каждое изделие при единичном производстве)

\_\_\_\_\_, выпускаемая по \_\_\_\_\_  
наименование и реквизиты

\_\_\_\_\_, соответствует требованиям \_\_\_\_\_  
документации изготовителя (ТУ, стандарт)

\_\_\_\_\_ наименование и обозначение стандартов

и просит провести сертификацию данной продукции на соответствие требованиям указанных стандартов по \_\_\_\_\_  
номер схемы сертификации

2. Заявитель обязуется:  
выполнить все условия сертификации;  
обеспечить стабильность сертифицированных характеристик продукции, маркированной знаком соответствия;  
оплатить все расходы по проведению сертификации.

3. Дополнительные сведения \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Руководитель предприятия \_\_\_\_\_  
подпись, инициалы, фамилия

Главный бухгалтер \_\_\_\_\_  
подпись, инициалы, фамилия

Печать

Дата

## Занятие № 11.

### Изучение порядка проведения сертификации услуг

**Цель занятия:** изучить порядок проведения сертификации услуг и заполнения необходимых документов.

#### Краткие теоретические сведения

Сфера услуг представляется наиболее сложным предметом переговоров при вступления России в ВТО. Присоединение к Генеральному соглашению по торговле услугами (General Agreement on Trade in Services – ГАТС) затрагивает не только вопросы технических барьеров, но и правила перемещения физических лиц, инвестиций и иные проблемы внутреннего регулирования в этой области. Генеральное соглашение охватывает банковские и страховые услуги, операции с ценными бумагами, различные виды транспорта, телекоммуникации, строительство, туризм, образование, индустрию досуга, консультационные, медицинские услуги и пр. Присоединение России к ГАТС обеспечит для неё доступ на рынки услуг стран-участниц без какой либо дискриминации. Но в то же время участие в ГАТС обязует Россию предоставлять режим наибольшего благоприятствования на национальном рынке услуг для стран-участниц, гарантировать открытость мер регулирования, последовательное снижение торговых тарифов и др. Реализация обязательств России по ГАТС стимулирует усиление внимания к вопросам стандартизации в сфере услуг и их сертификации.

Обязательная сертификация услуг, потенциально опасных для жизни, здоровья и имущества потребителя, введена в России на основании законов:

- О техническом регулировании (от 15.12.2002 № 184-ФЗ);
- О безопасности дорожного движения (от 10.12.1995 № 196-ФЗ);
- Об основах туристской деятельности в Российской Федерации (от 24.11.1996 № 132-ФЗ);
- О защите прав потребителей (от 07.02.1992 № 2300-1).

Объектами сертификации в сфере услуг могут быть: услуга; организация, предоставляющая услугу; персонал, выполняющий услугу; производственный процесс; система управления качеством в организации, предоставляющей услуги.

Формирование системы сертификации услуг и выбор её участников проводится в соответствии с «Правилами по проведению сертификации в РФ» (от 10.05.2000 № 26). Отметим некоторые присущие услугам особенности, влияющие на организацию их сертификации:

- объектом услуги может быть сам человек, а его имущественное право определяет невозможность проведения испытаний. Так, владелец отремонтированного автомобиля наверняка откажется от испытаний его автомобиля в дорожных условиях с соблюдением всех жестких правил проведения этой процедуры;



- непосредственный контакт исполнителя услуги и её потребителя требует оценки мастерства исполнителя с учётом этики общения и сложившихся местных предпочтений. Зачастую это требует применения социологических методов оценки;
- эксперт по оценке услуги в ряде случаев должен присутствовать при её оказании, так как предоставление услуги и её потребление могут совершаться одновременно (к примеру, услуги парикмахерской или косметического салона). За рубежом допускается в подобных случаях исполнение экспертом роли потребителя;
- некоторые характеристики услуг напрямую зависят от особенностей региона, в котором они предлагаются. Так, например, в Москве признано целесообразным ввести в действие региональные системы сертификации услуг в сфере общественного питания и городского транспорта.

К нормативным документам для обязательной сертификации предъявляются определённые требования [9]. В них должны быть указаны нормы безопасности для жизни и здоровья потребителей и их имущества; экологические параметры; требования к методам проверки качества услуги, технологическому процессу исполнения, мастерству исполнителя и к системе обеспечения качества. При добровольной сертификации нормативный документ предлагает заявитель.

#### **Перечень услуг, подлежащих обязательной сертификации:**

1. Ремонт и техническое обслуживание бытовой радиоэлектронной аппаратуры, электробытовых машин и приборов.
2. Ремонт и техническое обслуживание автотранспортных средств.
3. Ремонт и изготовление мебели.
4. Химчистка и крашение.
5. Ремонт и строительство жилья.
6. Услуги бань и душевых.
7. Услуги парикмахерских.
8. Ремонт, окраска и пошив обуви.
9. Услуги прачечных.
10. Услуги по ремонту и пошиву швейных, меховых и кожаных изделий, головных уборов и изделий текстильной галантереи; ремонт, пошив и вязание трикотажных изделий.
11. Услуги железнодорожного транспорта.
12. Услуги речного транспорта.
13. Услуги морского транспорта.

14. Услуги воздушного транспорта.
15. Услуги автомобильного транспорта.
16. Услуги городского транспорта.
17. Экспедиторские услуги.
18. Жилищно-коммунальные услуги.
19. Услуги учреждений культуры.
20. Туристические услуги и услуги гостиниц.
21. Услуги организаций физической культуры и спорта.
22. Медицинские услуги.
23. Санитарно-оздоровительные услуги.
24. Услуги в системе образования.
25. Услуги торговли.
26. Услуги общественного питания.

Сертификация услуг включает следующие этапы:

- подача заявки на сертификацию услуги (форма заявки приведена в Приложении 11.1);
- принятие решения по заявке;
- выбор схемы сертификации (существующие схемы сертификации услуг приведены в Приложении 11.2);
- проведение проверки оказания услуг;
- анализ полученных результатов и принятие решения о выдаче сертификата соответствия;
- инспекционный контроль за сертифицированной услугой.

Бланк сертификата соответствия на услугу приведен в Приложении 11.3, а правила его заполнения – в Приложении 11.4.

### **Задание**

1. Изучить порядок проведения сертификации услуги.
2. Выбрать и обосновать схему сертификации услуги.
3. По указанию преподавателя подготовить комплект документов на проведение сертификации услуги.

### **Содержание отчета**

1. Обосновать выбранную схему сертификации услуги.
2. Представить законченный документ на сертификацию услуги.
3. Сделать выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое услуга в соответствии с МС ИСО 9004.2?
2. Какой орган проводит сертификацию услуг?
3. Кто определяет номенклатуру услуг?
4. Кто определяет проведение обязательной и добровольной сертификации услуг?
5. Кто подтверждает сертификат соответствия услуги?
6. Требуется ли знак соответствия на сертификате услуг?

**ПРИЛОЖЕНИЕ 11.1**

**Форма заявки на проведение сертификации услуг**

наименование органа по

сертификации, адрес

**ЗАЯВКА  
на проведение сертификации услуг  
в Системе сертификации ГОСТ Р**

1. \_\_\_\_\_  
наименование предприятия-исполнителя (далее – заявитель)

в лице \_\_\_\_\_

адрес, код ОКП – О \_\_\_\_\_

Ф.И.О. руководителя \_\_\_\_\_

заявляет, что \_\_\_\_\_

наименование вида услуги, код ОКУН \_\_\_\_\_

оказывается по \_\_\_\_\_

наименование и реквизиты документации \_\_\_\_\_

, соответствует требованиям \_\_\_\_\_

изготовителя (ТУ, стандарт) \_\_\_\_\_

наименование и обозначение стандартов \_\_\_\_\_

и просит провести сертификацию данной услуги на соответствие требованиям указанных стандартов по схеме \_\_\_\_\_

номер схемы сертификации \_\_\_\_\_

2. Испытания для сертификации прошу провести (проведены) в \_\_\_\_\_

наименование аккредитованной испытательной лаборатории, адрес \_\_\_\_\_

3. Заявитель обязуется:

выполнить все условия сертификации;

обеспечить стабильность сертифицированных характеристик услуг;

оплатить все расходы по проведению сертификации.

4. Дополнительные сведения \_\_\_\_\_

Руководитель предприятия \_\_\_\_\_  
личная подпись \_\_\_\_\_ расшифровка подписи \_\_\_\_\_

Главный бухгалтер \_\_\_\_\_  
личная подпись \_\_\_\_\_ расшифровка подписи \_\_\_\_\_

Печать

Дата

ПРИЛОЖЕНИЕ 11.2

Существующие схемы сертификации услуг

№ схемы	Оценка мастерст- ва испол- нителя	Оценка процесса оказания услуги	Аттестация предпри- ятия	Сертифика- ция сис- темы ка- чества	Выбороч- ная про- верка ре- зультата услуги	Инспекционный контроль
1	+				+	Проверка ре- зультата услу- ги
2		+			+	Контроль стабильности процесса ока- зания услуги
3					+	Выборочная проверка результата ус- луги
4			+		+	Выборочная проверка результата ус- луги
5				+		Контроль стабильности функциониро- вания системы

\* Для нематериальных услуг – методом социальной оценки.

Бланк сертификата соответствия услуги

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р  
ГОССТАНДАРТ РОССИИ

Знак (1) \_\_\_\_\_  
соответствия \_\_\_\_\_

№ 0 0 0 2

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

(2) № \_\_\_\_\_

(3) Действителен до \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

(4) \_\_\_\_\_  
наименование исполнителя услуги  
\_\_\_\_\_   
адрес

Сертификат удостоверяет, что услуга

(5) \_\_\_\_\_  
наименование (6)

соответствует требованиям (7) \_\_\_\_\_  
(8) нормативных документов \_\_\_\_\_  
обозначение

(9) сертификат выдан на основании \_\_\_\_\_  
наименование, №, дата регистрации документов

(10) \_\_\_\_\_  
руководитель органа, выдавшего сертификат

(11) \_\_\_\_\_  
подпись инициалы, фамилия

Зарегистрирован  
в Государственном реестре

М.П.

(12) « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Правила заполнения бланка  
сертификата соответствия услуги**

Сертификат заполняется на русском языке. Текст наносится машинописным способом. Исправления, зачеркивания, подчистки текста не допускаются. В графах сертификата указываются следующие сведения:

**Позиция 1.** Наименование органа, выдавшего сертификат (прописными буквами) и адрес (строчными буквами). Если наименование органа не помещается в одну строку, то допускается написание адреса под обозначенной строкой. В случае, если орган использует печать организации, на базе которой он создан, после наименования органа, выдавшего сертификат, в скобках (строчными буквами) указывается наименование этой организации, а адрес – под реквизитом «подпись». Наименование органа (организации) должно быть идентичным наименованию в печати.

**Позиция 2.** Регистрационный номер сертификата формируется в соответствии с документом «Правила ведения государственной регистрации при проведении работ по сертификации и аккредитации».

**Позиция 3.** Срок действия сертификата устанавливается органом по сертификации, выдавшим сертификат, по правилам, изложенным в порядке сертификации однородных услуг. При этом дата пишется: число – двумя арабскими цифрами, месяц – прописью, год – четырьмя арабскими цифрами.

**Позиция 4.** Наименование исполнителя услуги и его адрес (предприятие, организация, гражданин-предприниматель и т.д.), номер расчетного счета.

**Позиция 5.** Наименование, вид конкретной услуги (прописными буквами) в соответствии с нормативным документом на услугу (номер стандарта или иного документа, устанавливающего требования к услуге). При выдаче сертификата на ряд услуг – их перечень указывается в приложении к сертификату.

**Позиция 6.** Классификационная часть, код услуги (6 разрядов по Общероссийскому классификатору услуг населению – ОКУН.) В случае выдачи сертификата на несколько конкретных услуг, в сертификате проставляется соответствующее число кодов или перечень кодов приводится в приложении.

**Позиция 7.** Указываются требования, на соответствие которым сертифицирована услуга. При обязательной сертификации указываются свойства, на соответствие которым она проводится, например: безопасность (электробезопасность), экологичность.

**Позиция 8.** Обозначение нормативных документов, на соответствие которым проведена сертификация.

При обязательной сертификации в первой строке указываются свойства, на соответствие которым она проводится, например: «безопасность».

**Позиция 9.** Указываются все основания, принятые органом по сертификации при выдаче сертификата: схема сертификации, акт оценки мастерства исполнителя или протокол испытания результата услуги; акт оценки процесса оказания услуги; акт оценки системы качества; акт аттестации предприятия в целом. При наличии сертификата указывается его регистрационный номер в Госреестре системы качества или производства со сроком действия.

**Позиция 10.** Указывается фамилия, инициалы и должность руководителя органа по сертификации.

**Позиция 11.** Подпись, инициалы, фамилия руководителя органа, выдавшего сертификат, гербовая печать организации, на базе которой образован орган, или печать органа по сертификации.

**Позиция 12.** Дата регистрации в Государственном реестре.



## V. КВАЛИМЕТРИЯ И УПРАВЛЕНИЕ АЧЕСТВОМ

### Занятие № 12.

#### Формирование экспертной группы. Расчет количества экспертов

**Цель занятия:** приобрести навыки определения количества экспертов из условия полноты выявления представляемых ими данных.

#### Краткие теоретические сведения

В ходе решения различных квалиметрических задач на практике широко используются экспертные методы оценки качества, которые в совокупности с измерительными методами позволяют получить наиболее полный объём информации об объекте исследования.

В связи с этим на начальном этапе любой экспертизы основной задачей специалиста по квалиметрии является грамотное формирование экспертной группы, в ходе которого определяется оптимальное количество экспертов, необходимое для проведения экспертизы, а также проводится количественная оценка качества экспертной группы различными методами.

Расчёт количества экспертов, необходимого для выявления наиболее полного количества данных, сводится к нахождению такого их числа  $m$ , при котором вероятность появления содержательно нового предложения с привлечением  $(m + 1)$ -го эксперта становится меньше заранее принятого значения  $\alpha$ .

Для решения поставленной задачи используют следующий алгоритм [10]:

1. Проводят опрос экспертов с целью получения совокупности сведений, касающихся объекта экспертизы.

2. Все предложения экспертов разделяют на четыре группы:

- 1) очевидные – выдвинутые всеми экспертами;
- 2) известные – выдвинутые большинством экспертов, но не всеми;
- 3) неочевидные – выдвинутые меньшинством;
- 4) особые – выдвинутые одним экспертом.

Интерес представляют только неочевидные и особые предложения, базирующиеся на личном опыте экспертов, их способностях, интуиции. При этом вероятность появления особых предложений среди всех предложений, выдвинутых меньшинством в группе из  $m$  экспертов, определяется по следующему выражению:

$$P_m = \frac{n_m^{(1)}}{n_m^{(1)} + n_m^{(2)} + \dots + n_m^{(v)}}, \quad (12.1)$$

где  $n_m^{(1)}$  – количество особых предложений;  $n_m^{(2)}, \dots, n_m^{(v)}$  – количества неочевидных предложений, выдвинутых меньшинством.

3. Из группы в  $m$  экспертов образуют всевозможные подгруппы по  $(m - 1)$  экспертов и для каждой из них подсчитывают число особых:  $n_{m-1}^{(1)}$  и неочевидных:  $n_{m-1}^{(2)} + \dots + n_{m-1}^{(v)}$  предложений.

4. Рассчитывают вероятность  $P_{m-1}$  появления особых предложений по всем подгруппам и коэффициент  $\lambda$  уменьшения вероятности появления особых предложений с переходом от  $(m - 1)$  экспертов к  $m$  экспертам:

$$P_{m-1} = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} n_{m-1}^{(j)}}{\sum_{j=1}^{m-1} (n_{m-1}^{(1)} + n_{m-1}^{(2)} + \dots + n_{m-1}^{(v-1)})}; \quad (12.2)$$

$$\lambda = \frac{P_m}{P_{m-1}}. \quad (12.3)$$

5. При условии, что значение  $\lambda$  сохраняется с увеличением количества экспертов (хотя, как правило, оно при этом уменьшается), оценки вероятности появления особых предложений с привлечением  $(m + 1)$ -го,  $(m + 2)$ -го...,  $(m + k)$ -го экспертов будут, соответственно, равны:

$$P_{m+1} = P_m \cdot \lambda; \quad (12.4)$$

$$P_{m+2} = P_m \cdot \lambda^2; \quad (12.5)$$

$$P_{m+k} = P_m \cdot \lambda^k. \quad (12.6)$$

Используя выражения (12.3), (12.6) и заданное значение вероятности  $\alpha$ , находят число  $k$  вновь привлекаемых экспертов, при котором  $P_{m+k} = P_m \lambda^k \leq \alpha$ . Окончательная формула для расчёта  $k$  примет вид:

$$k = \frac{\ln \alpha - \ln P_m}{\ln \lambda}. \quad (12.7)$$

Следует отметить, что все допущения рассмотренного способа решения ориентированы на расчёт «с запасом», т.е., считая всех экспертов одинаково продуктивными, мы заведомо шли на завышение требуемого количества экс-

пертов. В действительности (при правильно проведённом отборе экспертов) вначале в экспертную группу попадают наиболее сведущие специалисты, которые предоставляют максимальную информацию.

Привлекаемые далее эксперты менее продуктивны уже потому, что область их профессиональных интересов удаляется от цели проведения экспертизы. Это приводит к уменьшению  $\lambda$ .

Так как рассмотренный вариант решения даёт завышенный объём экспертной группы, превышать рассчитанное количество экспертов не целесообразно. Главное – подробно опросить каждого эксперта, выявить наиболее полно его суждения и рационально организовать обмен мнениями.

### Пример расчета количества экспертов

При индивидуальном анкетном опросе группа из пяти экспертов в результате генерации подала 26 предложений, относящихся к объекту экспертизы, некоторые из которых по содержанию совпадают друг с другом [11]. При этом  $n_5^{(5)} = 10$  предложений выдвинуты всеми экспертами (очевидные);  $n_5^{(4)} + n_5^{(3)} = 4 + 3 = 7$  предложений выдвинуты большинством экспертов, но не всеми, в данном случае, четырьмя и тремя (известные);  $n_5^{(2)} = 6$  предложений выдвинуты меньшинством, в данном случае, двумя экспертами (неочевидные) и  $n_5^{(1)} = 3$  предложения выдвинуты (каждое) лишь одним экспертом (особые).

Спрашивается, сколько ещё экспертов  $k$  следует опросить, чтобы вероятность  $P_{m+k}$  появления содержательно нового предложения стала меньше  $\alpha = 0,05$ ?

В ходе решения поставленной задачи по формуле (12.1) находим оценку вероятности появления особых предложений среди всех предложений, выдвинутых меньшинством, в группе из  $m = 5$  экспертов:

$$P_5 = \frac{n_5^{(1)}}{n_5^{(1)} + n_5^{(2)}} = \frac{3}{3 + 6} = 0,33.$$

Образум теперь из группы экспертов всевозможные подгруппы по четыре эксперта (этих подгрупп будет пять) и для каждой из них подсчитаем число особых  $n_4^{(1)}$  и неочевидных  $n_4^{(2)}$  предложений. Нетрудно убедиться, что эти числа будут 4, 4, 4, 3, 2 и 6, 4, 2, 6, 6. Следовательно, оценка вероятности появления особых предложений в группе из четырёх экспертов будет

$$P_4 = \frac{\sum_{i=1}^5 n_4^{(i)}}{\sum_{i=1}^5 (n_4^{(i)} + n_4^{(2)})} = \frac{17}{17 + 24} = 0,41.$$

По найденным значениям  $P_5$  и  $P_4$  найдём коэффициент  $\lambda$  уменьшения вероятности появления особых предложений с переходом от пяти к четырём экспертам:

$$\lambda = \frac{P_m}{P_{m-1}} = \frac{P_5}{P_4} = \frac{0,33}{0,41} = 0,81.$$

На основании найденных  $P_5$  и  $\lambda$ , а также заданного значения  $\alpha$  рассчитываем количество  $k$  вновь привлекаемых экспертов по формуле (12.7):

$$k = \frac{\ln \alpha - \ln P_5}{\ln \lambda} = \frac{-2,996 - (-1,109)}{-0,211} = 8,94.$$

Итак, для достижения поставленного условия следует привлечь к работе ещё 9 специалистов, или всего 14 человек.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями по данной работе.
2. В соответствии со своим вариантом задания рассчитать количество экспертов, необходимое для проведения экспертизы, исходя из условия полноты выявления предоставляемых ими данных. Варианты заданий приведены в табл. 12.1 – 12.4.
3. Проанализировать полученные результаты и оформить отчёт.
4. Ответить на контрольные вопросы.

## Задание

### Вариант 1

Таблица 12.1

Исходные данные для определения количества экспертов

Номер предложения	Номер эксперта					Вид предложения	$\alpha$
	1	2	3	4	5		
1	+	+	+	+	+	Очевидные	0,05
2	+	+	+	+	+		
3	+	+	+	+	+		
4	+		+	+	+	Известные	
5	+	+	+		+		
6		+		+	+		
7	+			+		Неочевидные	
8			+				
9					+		
10		+				Особые	
11				+			
12	+						

### Вариант 2

Таблица 12.2

Исходные данные для определения количества экспертов

Номер предложения	Номер эксперта					Вид предложения	$\alpha$
	1	2	3	4	5		
1	+	+	+	+	+	Очевидные	0,01
2	+	+	+	+	+		
3	+	+	+	+	+		
4	+		+		+	Известные	
5	+		+		+		
6		+	+	+			
7	+			+		Неочевидные	
8			+		+		
9		+			+		
10					+	Особые	
11				+			
12		+					

**Вариант 3**

Таблица 12.3

Исходные данные для определения количества экспертов

Номер предложения	Номер эксперта					Вид предложения	$\alpha$
	1	2	3	4	5		
1	+	+	+	+	+	Очевидные	0,05
2	+	+	+	+	+		
3	+	+	+	+	+		
4			+	+	+	Известные	
5		+	+		+		
6	+			+	+		
7	+	+				Неочевидные	
8			+	+			
9					+		
10			+			Особые	
11	+						
12				+			

**Вариант 4**

Таблица 12.4

Исходные данные для определения количества экспертов

Номер предложения	Номер эксперта					Вид предложения	$\alpha$
	1	2	3	4	5		
1	+	+	+	+	+	Очевидные	0,01
2	+	+	+	+	+		
3	+	+	+	+	+		
4		+	+	+		Известные	
5	+	+			+		
6		+	+		+		
7	+				+	Неочевидные	
8			+	+			
9		+					
10			+			Особые	
11	+						
12				+			

### **Содержание отчета**

1. Таблица исходных данных.
2. Результаты расчетов в соответствии с полученным заданием.
3. Выводы по проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие методы оценки качества продукции вы знаете?
2. В каких случаях используются экспертные методы оценки качества продукции?
3. Можно ли сокращать численность экспертной группы ниже рассчитанного значения?
4. Назовите основные достоинства экспертных методов.
5. Какие недостатки присущи экспертным методам?
6. Приведите примеры показателей качества, которые могут быть оценены экспертными методами.

## Занятие № 13. Использование контрольных карт по количественным признакам для контроля качества технологического процесса

**Цель занятия:** научиться строить и использовать контрольные карты по количественным признакам для статистического анализа при контроле качества технологического процесса.

### Краткие теоретические сведения

В настоящее время на многих предприятиях широко применяются статистические методы для управления качеством продукции [12 – 15]. Статистические методы (методы, основанные на использовании математической статистики) являются эффективным инструментом сбора и анализа информации о качестве. Применение этих методов не требует больших затрат и позволяет с заданной степенью точности и достоверностью судить о состоянии исследуемых явлений (объектов, процессов) в системе качества, прогнозировать и регулировать проблемы на всех этапах жизненного цикла продукции и на основе этого вырабатывать оптимальные управленческие решения.

В соответствии с положениями стандартов ИСО серии 9000 статистические методы рассматриваются как высокоэффективное средство обеспечения качества.

Рассмотрим некоторые простые статистические методы.

Контрольные карты используются для статистического контроля и регулирования технологического процесса. На контрольную карту наносят значения некоторой статистической характеристики (точки), рассчитываемые по данным выборок в порядке их получения, верхнюю и нижнюю контрольные границы  $K_n$  (или UCL) и  $K_n$  (или LCL), верхнюю и нижнюю границы технических допусков  $T_n$  и  $T_n$  (при их наличии), а также – среднюю линию (CL). Для расчёта границ и построения контрольной карты используют обычно 20...30 точек. Пример контрольной карты представлен на рис. 13.1.



Рис. 13.1. Пример контрольной карты



По положению точек относительно границ судят о налаженности или разлаженности технологического процесса. Обычно процесс считают разлаженным в следующих случаях:

1. Некоторые точки выходят за контрольные пределы.
2. Серия из семи точек оказывается по одну сторону от средней линии. Кроме того, если по одну сторону от средней линии находятся:
  - а) десять из серии в одиннадцать точек;
  - б) двенадцать из серии в четырнадцать точек;
  - в) шестнадцать из серии в двадцать точек.
3. Имеется тренд (дрейф), т.е. точки образуют непрерывно повышающуюся или непрерывно понижающуюся линию.
4. Две или три точки оказываются за предупредительными двухсигмовыми границами.
5. Точки приближаются к центральной линии. Если большинство точек находится внутри полуторасигмовых линий, это значит, что в подгруппах смешиваются данные из различных распределений.
6. Имеет место периодичность, т.е. то подъём, то спад с примерно одинаковыми интервалами времени.
7. Контрольные границы шире поля допуска. В идеальном случае достаточно, чтобы контрольные границы составляли  $\frac{3}{4}$  величины поля допуска.

Если процесс налажен (достигнута необходимая стабильность), на контрольную карту продолжают наносить точки, но через 20...30 точек пересчитывают контрольные границы. Они должны совпадать с исходными границами. Если контрольная карта показывает, что процесс разлажен, находят причины разлаженности и производят наладку.

Различают контрольные карты по количественным признакам (для непрерывных значений) и по качественным признакам (для дискретных значений). По количественным признакам используют, в основном, следующие контрольные карты:

- карта средних арифметических значений ( $\bar{x}$ -карта);
- карта медиан ( $\tilde{x}$ -карта);
- карта средних квадратических отклонений ( $s$ -карта);
- карта размахов ( $R$ -карта);
- двойные карты (например,  $\bar{x} - R$  или  $\tilde{x} - s$ -карты).

**Карта средних арифметических значений** используется для контроля отклонения параметра от нормы и настройки на норму. Точки на контрольной карте – это средние значения небольших выборок, обычно одинакового объёма, из 3...10 элементов:

$$\bar{x}_i = \frac{x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}}{n},$$

где  $n$  – объём выборки (подгруппы).

Для получения выборок можно также использовать результаты измерений, проводившихся через одинаковые промежутки времени, путём разбиения их на группы.

Средние значения выборок находят с одним лишним знаком по сравнению с исходными данными. Среднюю линию рассчитывают как среднее из средних значений выборок:

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k},$$

где  $k$  – число подгрупп (число точек). Обычно  $k = 20 \dots 30$ .

Контрольные границы на этой карте рассчитывают по формуле:

$$K_{в,н} = \bar{x} \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}},$$

где  $\sigma$  – СКО всей совокупности данных, определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2}{nk}}.$$

При определении контрольных границ на карте средних значений (как и при расчёте контрольных границ для других видов контрольных карт) коэффициент 3 используется, исходя из правила трёх сигм.

**Карта медиан** используется вместо карты средних арифметических значений, когда хотят упростить расчёты. Точки на карте – это медианы  $\tilde{x}$  выборок одинакового объёма из 3...10 элементов. Медианой при нечётном объёме выборки является середина вариационного ряда, при чётном объёме выборки – среднее из двух значений середины вариационного ряда.

Средняя линия  $\tilde{\bar{x}}$  определяется как среднее из медиан всех выборок. Контрольные границы находят по формуле:

$$K_{в,н} = \tilde{\bar{x}} \pm 3\sigma \sqrt{\frac{\pi}{2n}}.$$

Карта медиан менее точна, чем карта средних арифметических значений.

**Карта средних квадратических отклонений** используется для контроля рассеяния показателя. Точки на карте – СКО выборок одинакового объема из 3...10 элементов. Средняя линия  $\bar{s}$  – это среднее из СКО выборок. Контрольные границы определяют по формулам:

$$K_H = \frac{\bar{s} \sqrt{\chi_{\alpha/2, n-1}^2}}{\sqrt{n-1}}, \quad K_B = \frac{\bar{s} \sqrt{\chi_{1-\alpha/2, n-1}^2}}{\sqrt{n-1}},$$

где  $\chi^2$  – критерий Пирсона,  $n$  – объем выборки,  $\alpha$  – уровень значимости. Обычно принимают  $\alpha = 0,0027$ , что соответствует доверительной вероятности 0,9973. Часто на  $s$ -карте используют только верхнюю границу.

**Карта размахов** используется вместо карты средних квадратических отклонений, когда хотят упростить расчеты. Карта размахов менее точна.

При построении  $R$ -карты берут 20...30 выборок одинакового объема из 2...10 элементов. Точки на карте – размахи выборок. Размах выборки  $R$  – это разность между максимальным  $x_{max}$  и минимальным  $x_{min}$  значениями выборки.

Средняя линия  $\bar{R}$  – это среднее размахов выборок. Контрольные границы рассчитывают по формулам:

$$K_H = D_3 \bar{R}, \quad K_B = D_4 \bar{R}.$$

При уровне значимости 0,0027 коэффициенты  $D_3$  и  $D_4$  можно найти по табл. 13.1. При  $n < 7$  нижняя контрольная граница не используется.

Таблица 13.1

Значения коэффициентов

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D_3$	-	-	-	-	-	0,076	0,136	0,184	0,223
$D_4$	3,267	2,575	2,282	2,115	2,004	1,924	1,864	1,816	1,777

Обычно при статистическом регулировании технологических процессов используют двойные карты, отражающие как отклонение параметра от нормы, так и его рассеяние. Это могут быть, например,  $\bar{x} - R$ -карты.

### Методические указания и пример построения контрольной карты

В автоматном цехе принято решение перевести на статистическое регулирование технологический процесс изготовления болта на автоматах. За показатель качества (контролируемый параметр) выбран диаметр болта, равный 26 мм, и его допускаемые отклонения:

$e_s = -0,005$  мм;  $e_i = -0,019$  мм. Необходимо построить контрольную  $\bar{x} - s$  карту и провести по ней статистический анализ процесса. Для упрощения измерений и вычислений измерительный прибор (рычажная скоба) был настроен на размер 25,980 мм. Объем контроля составлял 100 измерений, объем выборки – 5. Результаты измерений (отклонения от размера 25,980 мм в микрометрах) приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Результаты измерений диаметра болта

Время	№ выборки	Результаты контроля				
		1 измерение	2 измерение	3 измерение	4 измерение	5 измерение
7.00	1	10	3	5	14	10
8.00	2	2	14	8	13	11
9.00	3	12	12	3	8	10
10.00	4	12	14	7	11	9
11.00	5	10	11	9	15	7
12.00	6	11	12	11	14	12
13.00	7	15	11	14	8	3
14.00	8	12	14	12	11	11
15.00	9	11	7	11	13	9
16.00	10	14	10	9	12	8
7.00	11	9	11	14	10	13
8.00	12	13	13	6	4	13
9.00	13	5	8	3	3	4
10.00	14	8	5	6	9	13
11.00	15	8	4	9	5	8
12.00	16	4	12	10	6	10
13.00	17	10	6	13	10	5
14.00	18	7	9	12	1	7
15.00	19	4	7	6	7	12
16.00	20	10	10	6	9	3

В ячейку A1 новой книги Excel вводится заголовок выполняемой работы. В диапазон A4:F24 – исходные данные (номера выборок и результаты контроля).

Вначале необходимо получить данные для построения контрольной карты средних значений ( $\bar{x}$ -карты). В ячейке G5 рассчитывается среднее значение первой выборки при помощи статистической функции СРЗНАЧ. Полученная формула копируется в диапазон G6:G24.

В ячейке H5 рассчитывается значение  $\bar{\bar{x}}$  (средней линии) как среднее из средних значений выборок при помощи статистической функции СРЗНАЧ. В

полученной формуле для диапазона ячеек необходимо указать абсолютную адресацию, нажав на клавишу F4, и скопировать формулу в диапазон H6:H24. Это необходимо для того, чтобы можно было провести среднюю линию на контрольной карте.

В ячейке B26 рассчитывается СКО всей совокупности результатов измерений  $\sigma$  при помощи статистической функции СТАНДОТКЛОН для диапазона B5:F24.

В ячейке I5 рассчитывается нижняя контрольная граница  $K_{н.}$ . Формула в ячейке выглядит следующим образом: =H5-3\*B26/КОРЕНЬ(5). Указав абсолютную адресацию для имён ячеек, формулу необходимо копировать из ячейки I5 в диапазон I6:I24. Это необходимо, чтобы провести границу на карте.

В ячейке J5 рассчитывается верхняя контрольная граница  $K_{в.}$  и после указания абсолютной адресации для имён ячеек формулу необходимо копировать из ячейки J5 в диапазон J6:J24.

В ячейках K5 и L5 рассчитывают значения нижнего и верхнего технических допусков, вводя в них формулы =26000-19-25980 и =26000-5-25980, соответственно. Эти формулы копируются также в диапазон K6:L24.

Далее необходимо получить данные для построения контрольной карты средних квадратических отклонений ( $s$ -карты). В ячейке M5 определяется среднее квадратическое отклонение первой выборки, и полученная формула копируется в диапазон M6:M24. В ячейке N5 рассчитывается среднее из СКО выборок, и после указания абсолютной адресации формулу копируют в диапазон N6:N24. В ячейке O5 рассчитывается нижняя контрольная граница по формуле =N5\*КОРЕНЬ(ХИ2ОБР(1-0,0027/2;4)/5), и формулу копируют в диапазон O6:O24. В ячейке P5 рассчитывается верхняя контрольная граница, и содержимое ячейки копируют в диапазон P6:P24.

По полученным результатам, представленным в табл. 13.3, производится построение  $\bar{x} - s$ -карты.

Таблица 13.3

Данные для построения  $\bar{x} - s$ -карты

№ вы- борки	Результаты контроля					Карта средних значений						Карта СКО			
						$\bar{X}_{ср}$	$\bar{X}_{ср\text{ср}}$	$K_{н.}$	$K_{в.}$	$T_{н.}$	$T_{в.}$	S	$S_{ср}$	$K_{н.}$	$K_{в.}$
1	10	3	5	14	10	8,40	9,15	4,52	13,8	1	15	4,39	3,05	0,44	5,76
2	2	14	8	13	11	9,60	9,15	4,52	13,8	1	15	4,83	3,05	0,44	5,76
3	12	12	3	8	10	9,00	9,15	4,52	13,8	1	15	3,74	3,05	0,44	5,76
4	12	14	7	11	9	10,60	9,15	4,52	13,8	1	15	2,7	3,05	0,44	5,76
5	10	11	9	15	7	10,40	9,15	4,52	13,8	1	15	2,97	3,05	0,44	5,76
6	11	12	11	14	12	12,00	9,15	4,52	13,8	1	15	1,22	3,05	0,44	5,76
7	15	11	14	8	3	10,20	9,15	4,52	13,8	1	15	4,87	3,05	0,44	5,76
8	12	14	12	11	11	12,00	9,15	4,52	13,8	1	15	1,22	3,05	0,44	5,76
9	11	7	11	13	9	10,20	9,15	4,52	13,8	1	15	2,28	3,05	0,44	5,76
10	14	10	9	12	8	10,60	9,15	4,52	13,8	1	15	2,41	3,05	0,44	5,76
11	9	11	14	10	13	11,40	9,15	4,52	13,8	1	15	2,07	3,05	0,44	5,76

№ вы- борки	Результаты контроля					Карта средних значений						Карта СКО			
						$\bar{X}_{ср}$	$X_{ср.ср}$	$K_{н}$	$K_{о}$	$T_{н}$	$T_{о}$	$S$	$S_{ср}$	$K_{н}$	$K_{о}$
12	13	13	6	4	13	9,80	9,15	4,52	13,8	1	15	4,44	3,05	0,44	5,76
13	5	8	3	3	4	4,60	9,15	4,52	13,8	1	15	2,07	3,05	0,44	5,76
14	8	5	6	9	13	8,20	9,15	4,52	13,8	1	15	3,11	3,05	0,44	5,76
15	8	4	9	5	8	6,80	9,15	4,52	13,8	1	15	2,17	3,05	0,44	5,76
16	4	12	10	6	10	8,40	9,15	4,52	13,8	1	15	3,29	3,05	0,44	5,76
17	10	6	13	10	5	8,80	9,15	4,52	13,8	1	15	3,27	3,05	0,44	5,76
18	7	9	12	1	7	7,20	9,15	4,52	13,8	1	15	4,02	3,05	0,44	5,76
19	4	7	6	7	12	7,20	9,15	4,52	13,8	1	15	2,95	3,05	0,44	5,76
20	10	10	6	9	3	7,60	9,15	4,52	13,8	1	15	3,05	3,05	0,44	5,76

Сначала строится  $\bar{X}$ -карта. В мастере диаграмм выбирается вид диаграммы – **Точечная**, на которой значения соединены отрезками. В качестве исходных данных используется диапазон A5:A24, G5:L24. На полученную диаграмму необходимо нанести обозначения контрольных границ при помощи инструмента **Надпись** панели инструментов **Рисование**.

Аналогичным образом строится  $s$ -карта.

Построенные контрольные карты необходимо представить, как показано на рис. 13.2.

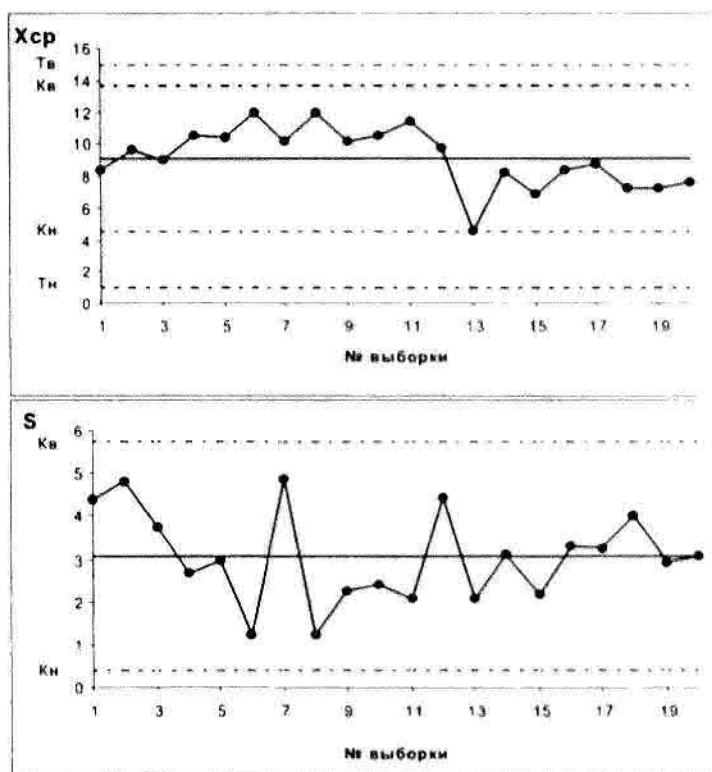


Рис.13.2.  $\bar{X}$ - $S$ -карта, полученная в примере

Анализ контрольной карты показывает, что рассеяние диаметра болта несущественно, и по рассеянию процесс стабилен (оборудование настроено достаточно точно), поскольку на  $s$ -карте нет показаний разлаженности процесса. Однако на  $\bar{x}$ -карте имеются серии из девяти точек (с четвёртой по двенадцатую) и из восьми точек (с тринадцатой по двадцатую), расположенных по одну сторону от средней линии. Это указывает на нестабильность процесса. Видимо, в течение процесса, при переходе от двенадцатой к тринадцатой точке, изменилось математическое ожидание диаметра. Следует выяснить причину этой нестабильности и провести управляющее воздействие на процесс. После стабилизации контрольную карту следует построить заново.

### Задание

По результатам измерения некоторого параметра качества, представленным в табл. 13.4, построить контрольную карту в соответствии со своим вариантом задания и провести статистический анализ процесса.

Таблица 13.4

### Экспериментальные данные

№ выборки	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
1	47	44	32	35	20
2	19	31	37	25	34
3	19	16	11	11	44
4	29	42	29	59	38
5	28	45	12	36	25
6	40	11	35	38	33
7	15	12	30	33	26
8	35	32	44	11	38
9	27	26	37	20	35
10	23	26	45	37	32
11	28	40	44	31	18
12	31	24	25	32	22
13	22	19	37	47	14
14	37	12	32	38	30
15	25	24	40	50	19
16	7	23	31	18	32
17	38	41	0	40	37
18	35	29	12	48	20
19	31	35	20	24	47
20	27	38	27	40	31
21	42	52	42	24	25
22	31	15	31	3	28
23	27	22	27	32	54
24	34	15	34	29	21
25	37	45	37	14	17

**Вариант 1.** Контрольная  $\tilde{x} - R$ -карта.

**Вариант 2.** Контрольная  $\bar{x} - R$ -карта.

**Вариант 3.** Контрольная  $\tilde{x} - s$ -карта.

**Вариант 4.** Контрольная  $\bar{x} - s$ -карта.

#### **Содержание отчета**

1. Таблица экспериментальных данных.
2. Результаты расчетов в соответствии с полученным заданием.
3. Построенная контрольная карта.
4. Выводы по проделанной работе.

#### **Контрольные вопросы**

1. Что такое контрольная карта, и для чего она применяется?
2. Перечислите основные виды контрольных карт на основе количественных признаков.
3. Определите порядок построения контрольных карт на основе количественных признаков.



## Занятие № 14.

### Использование контрольных карт по качественным признакам для контроля качества технологического процесса

**Цель занятия:** научиться строить и использовать контрольные карты по качественным признакам для статистического анализа при контроле качества технологического процесса.

#### Краткие теоретические сведения

По качественным признакам (или по альтернативному признаку) различают следующие контрольные карты:

- карта доли дефектной продукции (р-карта);
- карта числа дефектных единиц продукции (рп-карта);
- карта числа дефектов (с-карта);
- карта числа дефектов на единицу продукции (и-карта).

**Карта доли дефектной продукции** применяется для контроля и регулирования технологического процесса по доле дефектных изделий в выборке. Точки на контрольной карте ставят по значениям доли дефектной продукции в выборках:

$$p_i = \frac{x}{n_i} ,$$

где  $n_i$  – объём  $i$ -й выборки,  $x$  – количество бракованных изделий в выборке.

Выборка берётся за смену, сутки или более продолжительный период.

Среднюю линию рассчитывают по уравнению:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k p_i}{k} ,$$

где  $k$  – число выборок. Обычно  $k = 20...30$ .

Контрольные границы находят по уравнению:

$$K_{\text{г.н}} = \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_i}} .$$

Объём выборки подбирают так, чтобы в ней было в основном от 1 до 5 дефектных изделий. Если объём выборки неодинаков при каждом отборе, то контрольные границы вычисляют при каждом отборе (для каждой точки), т.е. границы в этом случае непостоянны.

**Карта числа дефектных единиц продукции** используется для контроля и регулирования технологического процесса по числу дефектных изделий в выборке. Используют выборки постоянного объёма. Объём выборки подбирают так, чтобы в ней было в основном от 1 до 5 дефектных изделий. Точки наносят на карту по количеству дефектных изделий в выборке  $p_i n$ . Среднюю линию рассчитывают по формуле:

$$\bar{p}n = \frac{\sum_{i=1}^k p_i n}{k}$$

Контрольные границы находят по уравнению

$$K_{в,н} = \bar{p}n \pm 3\sqrt{\bar{p}n(1 - \bar{p})}$$

где  $\bar{p} = \bar{p}n/n$ . Если нижняя граница  $K_{в,н} < 0$ , она не рассматривается.

**Карта числа дефектов** используется для регистрации числа дефектов  $c_i$ , выявленных в установленной единице контролируемой продукции, например, в рулоне ткани или бумаги, на определённой площади пластика, стекла и т.п. Предусматривают такую единицу контролируемой продукции, чтобы она содержала в основном от одного до пяти дефектов.

Среднюю линию находят по уравнению:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i}{k}$$

Контрольные границы определяют по формуле:

$$K_{в,н} = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$$

**Карта числа дефектов на единицу продукции** используется вместо  $c$ -карты, когда параметр единицы продукции (например, площадь, длина) не является постоянной величиной, т.е. объём выборки непостоянен. Точки на  $c$ -карте – это значения  $u_i = c_i/n_i$ , где  $c_i$  – число дефектов в  $i$ -й выборке. Среднюю линию определяют по формуле:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

Контрольные границы определяют по уравнению

$$K_{u,i} = \bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n_i}$$

Поскольку объём выборки непостоянен, границы тоже непостоянны, и их вычисляют для каждой точки.

### Пример построения контрольной карты

При внедрении статистического регулирования производства изделий получены данные, приведённые в табл. 14.1.

Построить контрольную *p*-карту и провести по ней статистический анализ процесса.

Таблица 14.1

Данные эксперимента

№ вы- борки	Объём выборки	Кол-во де- фектных изделий	№ вы- борки	Объём выборки	Кол-во де- фектных из- делий
1	100	2	14	750	15
2	110	2	15	110	3
3	100	1	16	132	5
4	120	3	17	110	3
5	150	3	18	900	20
6	760	10	19	200	4
7	140	2	20	750	16
8	135	4	21	250	3
9	850	17	22	100	1
10	160	2	23	125	2
11	125	2	24	113	3
12	112	2	25	870	20
13	180	3			

Результаты расчётов приведены в табл. 14.2.

Таблица 14.2

## Результаты расчетов

№ вы- борки	Объем выборки	Кол-во дефектных изделий	P	P <sub>ср</sub>	K <sub>н</sub>	K <sub>н</sub>
1	100	2	0,0200	0,0199	0,0617	-0,0220
2	110	2	0,0182	0,0199	0,0598	-0,0200
3	100	1	0,0100	0,0199	0,0617	-0,0220
4	120	3	0,0250	0,0199	0,0581	-0,0183
5	150	3	0,0200	0,0199	0,0541	-0,0143
6	760	10	0,0132	0,0199	0,0351	0,0047
7	140	2	0,0143	0,0199	0,0553	-0,0155
8	135	4	0,0296	0,0199	0,0559	-0,0162
9	850	17	0,0200	0,0199	0,0342	0,0055
10	160	2	0,0125	0,0199	0,0530	-0,0132
11	125	2	0,0160	0,0199	0,0573	-0,0176
12	112	2	0,0179	0,0199	0,0594	-0,0197
13	180	3	0,0167	0,0199	0,0511	-0,0113
14	750	15	0,0200	0,0199	0,0352	0,0046
15	110	3	0,0273	0,0199	0,0598	-0,0200
16	132	5	0,0379	0,0199	0,0563	-0,0166
17	110	3	0,0273	0,0199	0,0598	-0,0200
18	900	20	0,0222	0,0199	0,0338	0,0059
19	200	4	0,0200	0,0199	0,0495	-0,0097
20	750	16	0,0213	0,0199	0,0352	0,0046
21	250	3	0,0120	0,0199	0,0464	-0,0066
22	100	1	0,0100	0,0199	0,0617	-0,0220
23	125	2	0,0160	0,0199	0,0573	-0,0176
24	113	3	0,0265	0,0199	0,0593	-0,0195
25	870	20	0,0230	0,0199	0,0341	0,0057

Результаты построений приведены на рис.14.1.

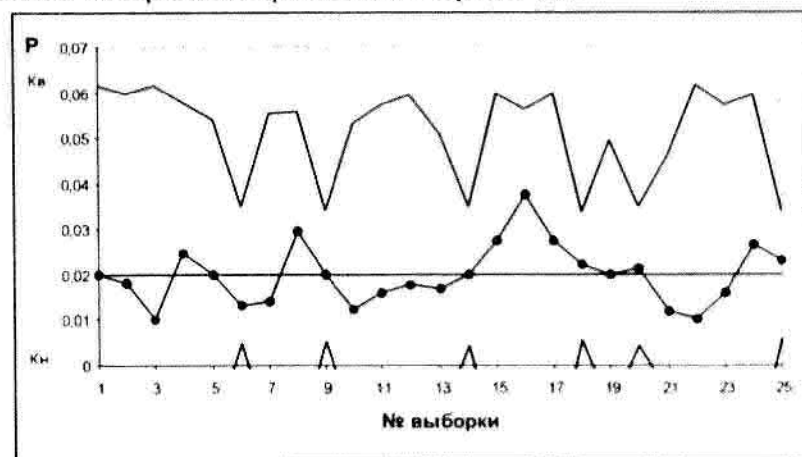


Рис 14.1. Контрольная p-карта по данным табл. 14.1

На  $p$ -карте нет признаков разлаженности процесса. Поэтому процесс следует считать стабильным.

### Задание

**Вариант 1.** На целлюлозно-бумажном предприятии при контроле рулонов бумаги одинаковой длины в течение 26 дней было выявлено количество дефектов на один рулон, представленное в табл. 14.3. Построить по имеющимся данным контрольную карту и определить, является ли технологический процесс стабильным. Объем выборки принять равным 100.

Таблица 14.3

#### Экспериментальные данные

№ выборки	Кол-во дефектов в рулоне	№ выборки	Кол-во дефектов в рулоне
1	3	14	5
2	4	15	6
3	5	16	3
4	7	17	5
5	3	18	4
6	5	19	6
7	6	20	5
8	2	21	5
9	4	22	7
10	6	23	4
11	3	24	3
12	7	25	6
13	4	26	5

**Вариант 2.** Построить контрольную карту по результатам, представленным в табл. 14.4. С помощью контрольной карты провести статистический анализ процесса.

Таблица 14.4

#### Экспериментальные данные

№ выборки	Объем выборки	Кол-во дефектных изделий	№ выборки	Объем выборки	Кол-во дефектных изделий
1	101	11	14	112	8
2	112	12	15	110	9
3	110	3	16	100	5
4	115	13	17	101	8
5	100	10	18	110	9
6	90	5	19	90	6

Окончание табл.14.4

№ вы- борки	Объём выборки	Кол-во де- фектных изделий	№ вы- борки	Объём выборки	Кол-во де- фектных из- делий
7	111	2	20	104	10
8	120	4	21	109	3
9	100	9	22	107	4
10	112	3	23	108	11
11	102	11	24	107	10
12	103	10	25	105	9
13	105	3	26	111	7

**Вариант 3.** Построить контрольную карту по результатам, представленным в табл. 14.5, с учётом того, что объём выборки постоянный и равен 100. С помощью контрольной карты провести статистический анализ процесса.

Таблица 14.5

Экспериментальные данные

№ выборки	Кол-во дефект- ных изделий	№ выборки	Кол-во дефект- ных изделий
1	5	14	3
2	2	15	6
3	3	16	4
4	0	17	1
5	2	18	2
6	3	19	3
7	2	20	1
8	4	21	6
9	6	22	2
10	1	23	3
11	2	24	5
12	3	25	2
13	4	26	1

**Вариант 4.** Построить контрольную карту по результатам, представленным в табл. 14.6. С помощью контрольной карты провести статистический анализ процесса.

Таблица 14.6

## Экспериментальные данные

№ вы- борки	Объём выборки	Кол-во де- фектных изделий	№ вы- борки	Объём выборки	Кол-во де- фектных изделий
1	25	1	14	75	8
2	50	2	15	65	3
3	75	3	16	39	5
4	70	3	17	45	3
5	85	1	18	90	9
6	90	5	19	90	6
7	50	2	20	75	10
8	49	4	21	25	3
9	53	9	22	89	4
10	48	3	23	58	2
11	55	2	24	39	3
12	80	1	25	87	9
13	75	3	26	85	3

## Содержание отчета

1. Таблица экспериментальных данных.
2. Результаты расчетов в соответствии с полученным заданием.
3. Построенная контрольная карта.
4. Выводы по проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. Чем контрольные карты по качественным признакам отличаются от контрольных карт по количественным признакам?
2. Перечислите основные виды контрольных карт на основе качественных признаков.
3. Определите порядок построения контрольных карт на основе качественных признаков.

## Занятие № 15.

### Использование диаграммы разброса для контроля качества технологического процесса

**Цель занятия:** научиться строить и использовать диаграмму разброса для статистического анализа при контроле качества технологического процесса.

#### Краткие теоретические сведения

Диаграмма разброса показывает взаимосвязь между двумя видами связанных данных (факторов) и подтверждает их взаимную зависимость. Такими двумя видами данных могут быть характеристика качества и влияющий на неё фактор, две различных характеристики качества, два фактора, влияющих на одну характеристику качества, и т.д.

Для построения диаграммы разброса нужно не менее 30 пар данных  $(x, y)$ . Оси  $x$  и  $y$  строят так, чтобы длины рабочих частей были примерно одинаковы. На диаграмму наносят точки  $(x, y)$ , характеризующие исследуемые факторы, название диаграммы, а также интервал времени, число пар данных, названия осей и т.д. Точки, далеко отстоящие от основной группы, являются выбросами, и их исключают.

Возможны различные варианты скопления точек. Для установления силы связи между величинами  $x$  и  $y$  можно использовать коэффициент корреляции, определяемый по следующей формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (15.1)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции;  $x_i$  – текущее значение  $x$ ;  $y_i$  – текущее значение  $y$ ;  $\bar{x}$  – среднее значение  $x$ ;  $\bar{y}$  – среднее значение  $y$ ;  $n$  – объем выборки.

Коэффициент корреляции используют только при линейной связи между величинами. Значение  $r$  находится в пределах от  $-1$  до  $+1$ . Если  $r$  близко к  $1$ , имеется сильная положительная корреляция (сильная связь между рядами данных). Если  $r$  близко к  $-1$ , имеется сильная отрицательная корреляция. При  $r$ , близком к  $0$ , корреляция слабая (зависимость между факторами отсутствует). Если  $r$  близко или больше  $0,6$  (или меньше  $-0,6$ ), корреляционная зависимость считается существенной.

Характерные варианты скопления точек показаны на рис. 15.1.



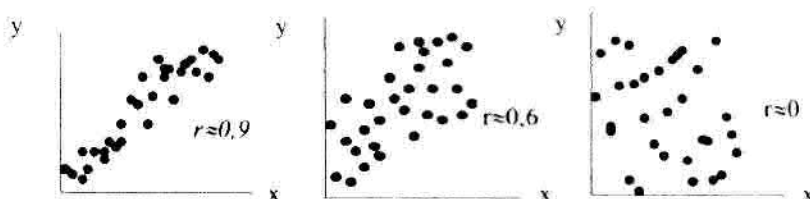


Рис 15.1. Характерные варианты скопления точек на диаграммах разброса

Можно оценить достоверность коэффициента корреляции. Для этого вычисляют его среднюю ошибку  $m_r$  по формуле:

$$m_r = \pm \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} \quad (15.2)$$

При  $r/m_r \geq 3$  коэффициент корреляции считается достоверным, т.е. связь доказана. При  $r/m_r < 3$  связь считается недостоверной.

### Пример построения диаграммы разброса

При статистическом анализе процесса производства тарного картона получены экспериментальные данные, характеризующие зависимость одного из показателей качества картона – разрушающего усилия при сжатии кольца (Y, в Н) от степени помола сульфитной целлюлозы (X, в °ШР). Полученные данные приведены в табл. 15.1.

Необходимо построить диаграмму разброса и провести по ней статистический анализ технологического процесса.

Таблица 15.1

#### Экспериментальные данные

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	18	19	18	21	25	29	35	18	25	19
Y	300	310	205	215	220	230	250	210	225	260
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X	29	36	36	35	34	21	20	25	34	32
Y	255	275	270	255	260	215	230	225	255	220
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
X	30	19	21	26	24	28	25	31	35	32
Y	240	205	225	230	235	240	250	260	270	250

Результаты расчетов приведены в табл. 15.2.

Таблица 15.2

## Результаты расчетов

№ п/п	X, °ШР	Y, Н	№ п/п	X, °ШР	Y, Н	№ п/п	X, °ШР	Y, Н
1	18	200	11	29	255	21	30	239
2	19	210	12	36	275	22	19	205
3	18	205	13	36	270	23	21	225
4	21	215	14	35	255	24	26	230
5	25	220	15	34	260	25	24	235
6	29	230	16	21	215	26	28	240
7	35	250	17	20	230	27	25	250
8	18	210	18	25	225	28	31	260
9	25	225	19	34	255	29	35	270
10	19	260	20	32	220	30	32	250

Результаты построения диаграммы разброса приведены на рис.15.2.

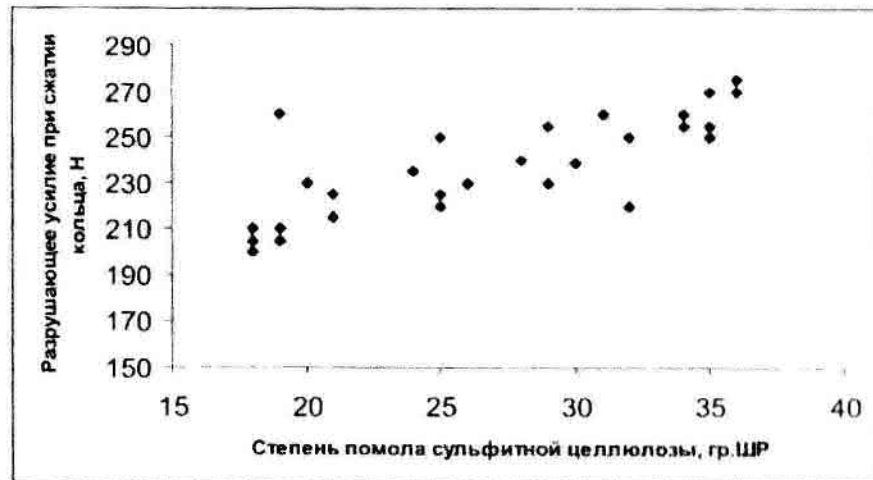


Рис. 15.2. Зависимость разрушающего усилия при сжатии кольца от степени помола сульфитной целлюлозы

Для определения силы связи между величинами необходимо рассчитать коэффициент корреляции по формуле (15.1). В данном случае  $r = +0,79$ . Можно сделать вывод, что между величинами существует довольно сильная положительная корреляция.

Для оценки достоверности коэффициента корреляции необходимо сначала вычислить его среднюю ошибку по формуле (15.2), а затем определить величину  $r/m_r$ . В нашем случае  $m_r = \pm 0,07$ , и отношение коэффициента корреляции к его средней ошибке равняется 11,3. Коэффициент корреляции считается достоверным.

### Задание

**Вариант 1.** По экспериментальным данным (табл. 15.3), показывающим разрывное усилие  $y$  [Н] бумаги определённого сорта толщиной  $x$  [см], построить диаграмму разброса, рассчитать коэффициент корреляции и оценить его достоверность. Можно ли определять разрывное усилие бумаги данного сорта по её толщине?

Таблица 15.3

Экспериментальные данные

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x$	0,20	0,19	0,28	0,26	0,23	0,21	0,24	0,26	0,28	0,25
$y$	64	65	69	69	66	65	67	67	70	68
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x$	0,25	0,22	0,18	0,26	0,17	0,30	0,19	0,25	0,29	0,27
$y$	67	66	63	68	62	70	64	68	69	68
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$x$	0,20	0,19	0,29	0,31	0,24	0,22	0,27	0,23	0,25	0,17
$y$	63	66	70	72	66	65	69	65	69	61

**Вариант 2.** В табл. 15.4 представлены данные взаимозависимости между содержанием компонента А в некотором виде металлического сырья [%] и твёрдостью по шкале Роквелла [единиц по шкале С]. Необходимо построить диаграмму разброса, рассчитать коэффициент корреляции и оценить его достоверность.

Таблица 15.4

Экспериментальные данные

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x$	3,9	6,5	3,7	4,5	5,0	5,8	3,3	6,2	3,6	3,9	5,1	6,4
$y$	56	55	43	55	46	54	42	63	48	45	50	58
№	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$x$	4,2	4,9	6,0	5,4	4,4	3,8	6,7	4,6	4,3	6,3	5,2	6,4
$y$	50	54	52	50	60	53	63	51	45	60	48	61
№	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
$x$	6,2	5,5	2,7	2,8	5,4	5,8	6,6	5,3	4,2	4,3	4,0	5,4
$y$	56	46	41	43	58	60	61	55	46	53	51	56

**Вариант 3.** В табл. 15.5 представлены данные взаимозависимости между уровнем массы в ванне вакуум-фильтра [м] и влажностью осадка после вакуум-фильтра [%]. Необходимо построить диаграмму разброса, рассчитать коэффициент корреляции и оценить его достоверность.

Таблица 15.5

## Экспериментальные данные

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x$	0,75	0,77	0,78	0,85	0,82	0,86	0,79	0,89	0,87	0,78
$y$	73,91	73,52	74,55	74,11	73,99	74,15	74,11	74,02	73,01	73,24
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x$	0,84	0,86	0,78	0,79	0,81	0,75	0,86	0,91	0,92	0,85
$y$	74,15	74,21	74,05	74,00	74,12	73,11	74,21	74,99	75,01	73,97
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$x$	0,75	0,79	0,89	0,94	0,75	0,84	0,79	0,89	0,94	0,77
$y$	73,85	73,79	74,11	74,58	73,42	73,99	73,54	74,24	75,01	73,89

**Вариант 4.** В табл. 15.6 представлены данные взаимозависимости между разрывным усилием  $y$  [Н] картона сорта К-3 и толщиной  $x$  [см] этого картона. Необходимо построить диаграмму разброса, рассчитать коэффициент корреляции и оценить его достоверность.

Таблица 15.6

## Экспериментальные данные

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x$	0,35	0,29	0,34	0,36	0,33	0,25	0,35	0,36	0,31	0,27
$y$	65	64	70	71	69	68	67	69	72	69
№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$x$	0,29	0,32	0,28	0,26	0,35	0,35	0,29	0,25	0,29	0,27
$y$	70	65	66	70	72	70	65	70	65	70
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$x$	0,25	0,29	0,39	0,31	0,28	0,29	0,27	0,33	0,25	0,37
$y$	65	69	71	71	66	69	68	68	70	65

## Содержание отчета

1. Таблица экспериментальных данных.
2. Результаты расчетов в соответствии с полученным заданием.
3. Построенная диаграмма разброса.
4. Выводы по проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. Что такое диаграмма разброса, и для чего она применяется?
2. Что характеризуется коэффициентом корреляции?
3. Приведите примеры использования диаграммы разброса.

Занятие № 16.  
**Использование гистограмм  
для контроля качества технологического процесса**

**Цель занятия:** научиться строить и использовать гистограммы для статистического анализа при контроле качества технологического процесса и делать выводы об изменениях условий технологического процесса.

**Краткие теоретические сведения**

Для оценки некоторого показателя качества по накопленным за некоторый период (смена, сутки, месяц) данным, которые называются *выборкой*, строится гистограмма. По гистограмме можно наглядно увидеть и оценить эффективность технологического процесса или выявить долю брака (в процентах) за указанный период.

Чем больше объем выборки значений показателя  $Y$ , тем ближе гистограмма к кривой плотности распределения показателя и тем надежнее получаемые с ее помощью оценки.

Построенные по данным, накопленным за некоторый период времени (смена, сутки, месяц), гистограммы показателей качества продукции позволяют сопоставить полученные результаты с имеющимися директивными установками.

Сравнение гистограмм, построенных за последовательные периоды времени, позволяет сделать заключения об изменениях условий технологического процесса и привлечь дополнительную информация для выявления причин этих изменений. Устойчивый характер гистограмм дает возможность прогнозировать ожидаемое распределение значений соответствующих показателей (при сохранении условий технологического процесса).

Данная задача весьма актуальна для промышленных предприятий.

**Методические указания и пример построения гистограммы**

За некоторый период работы картоноделательной машины (КДМ), выпускающей картон для гладких слоев тарного гофрокартона, накоплена выборка из  $n=20$  значений показателя механической прочности – сопротивления продавливанию. Картону присваиваются марки К-1, К-2, К-3, К-4 или брак в зависимости от значений данного показателя в соответствии с требованиями, приведенными в табл.16.1. Производство картона имеет установку: выпуск марки К-1 не менее 80 %, марки К-3 – не более 4 %.

**Требуется:**

- построить гистограмму плотности распределения вероятности показателя механической прочности;
- построить гистограмму для оценки вероятностей попадания в диапазоны требований к качеству продукции.

### Исходные данные

1. Выборка показателя качества: сопротивление продавливанию, кПа:

390, 370, 375, 480, 300, 480, 495, 510, 550, 520,

600, 630, 350, 610, 600, 615, 605, 590, 570, 650

2. Требования к качеству продукции, приведенные в табл.16.1.

Таблица 16.1

Требования к качеству продукции

Наименование показателя	Марки картона массой 200 г/м <sup>2</sup>				
	К-1	К-2	К-3	К-4	Брак
Сопротивление продавливанию, кПа	Не менее 590	Не менее 490	Не менее 390	Не менее 345	Менее 345

Построение гистограммы плотности распределения вероятности какой-либо случайной величины выполняется по следующему алгоритму:

1. В выборке определяется число данных, отыскиваются наименьшее ( $Y_n$ ) и наибольшее ( $Y_n$ ) значения параметра.

2. Осуществляется разбиение диапазона изменения параметра на интервалы  $\Delta Y$ . Число интервалов  $k$  может быть рассчитано по эмпирической формуле, при этом все интервалы имеют равную длину, а может быть задано, исходя из требований технологического регламента (или ГОСТ), при этом величины интервалов также определяются из требований регламента или ГОСТ.

Эмпирическая формула для расчета числа интервалов  $k$  имеет вид:

$k = \varepsilon(1 + 3,2 \cdot \log(n))$ , где  $n$  – число данных в выборке,  $\varepsilon$  – функция округления до целого.

Величина каждого интервала рассчитывается по формуле  $\Delta Y = \frac{Y_n - Y_n}{k}$ .

3. Определяется число данных выборки, попадающих в каждый из интервалов. Если какое либо значение попадает на границу двух интервалов, то к числу данных, попавших в каждый из интервалов, примыкающих к границе, добавляется  $\frac{1}{2}$ .

4. Рассчитывается частота попадания в каждый интервал, для этого число данных в интервале делят на общее число данных в выборке.

5. Рассчитывается плотность попадания в каждый интервал, для этого частоту попадания для данного интервала делят на величину данного интервала.

Расчет и построение графика можно выполнить в табличном редакторе Microsoft Excel.

Для этого создают рабочую книгу, на первом листе которой формируют

таблицу для расчета данных (табл.16.2), при этом:

- значения нижней и верхней границ для каждого интервала рассчитываются по формулам через данные вспомогательной таблицы;
- количество точек определяется по исходным данным и заносится в таблицу вручную;
- для проверки правильности расчета определяется *общее число данных*, как сумма количества точек попадания в каждый интервал (это значение должно совпадать с числом данных в выборке, занесенных во вспомогательную таблицу), и *общая частота попадания*, как сумма значений частоты для каждого интервала, это значение должно быть равно единице.

Таблица 16.2

Данные для построения гистограммы

Вспомогательная таблица					Результаты обработки данных для показателя сопротивление продавливанию					
число данных в выборке	нижняя граница	верхняя граница	расчет числа интервалов	расчет величины интервала	№ интервала	нижняя граница	верхняя граница	количество точек	частота попадания	плотность попадания
20	300	650	5	70	1	300	370	2,5	0,125	0,00178
					2	370	440	2,5	0,125	0,00178
					3	440	510	3,5	0,175	0,0025
					4	510	580	3,5	0,175	0,0025
					5	580	650	8	0,4	0,00571
					Сумма			20	1	

Для параметра *Частота попадания* строится гистограмма в зависимости от значений показателя качества (рис. 16.1).

При построении гистограммы для оценки вероятностей попадания в диапазоны требований к качеству продукции порядок выполнения задания аналогичен приведенному выше, однако если число интервалов и их величина определены требованиями ГОСТ, то расчетов в п.2 данного занятия не требуется.

Пример оформления расчета (табл.16.3) и построения гистограммы (рис.16.2) выполнен в табличном редакторе Microsoft Excel.

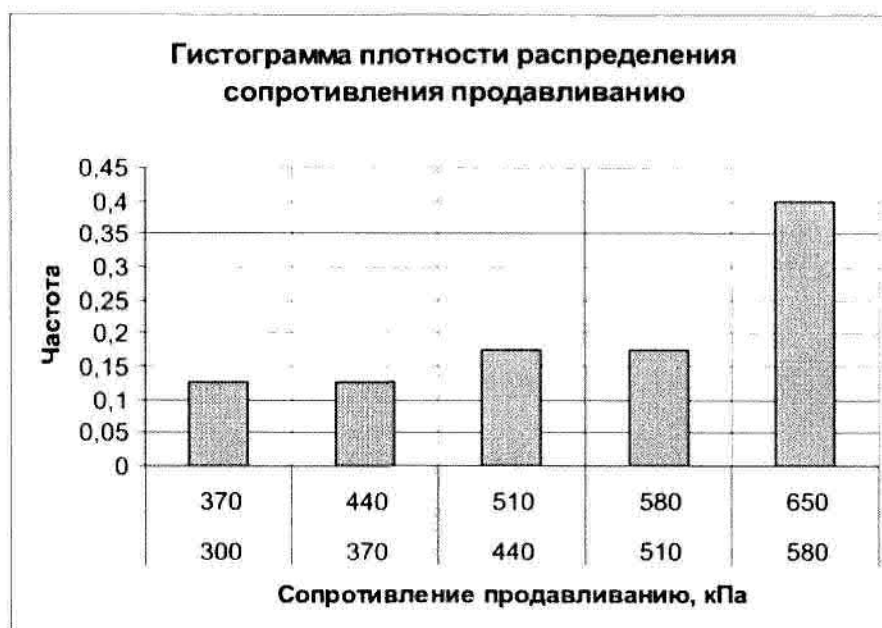


Рис.16.1. Гистограмма для сопротивления продавливанию

Таблица 16.3

Результаты обработки данных для показателя сопротивление продавливанию

№ интервала	Марка продукции	Нижняя граница	Верхняя граница	Количество точек	Частота попадания	Плотность попадания
1	брак	300	345	1	0,05	1,0
2	К-4	345	390	3,5	0,175	3,5
3	К-3	390	490	2,5	0,125	2,5
4	К-2	490	590	5,5	0,275	5,5
5	К-1	590	650	7,5	0,375	7,5
				<b>20</b>	<b>1</b>	





Рис. 16.2. Гистограмма для оценки качества продукции

**Выводы.** Так как производство картона имеет установку: выпуск марки К-1 не менее 80 %, марки К-3 – не более 4 %, а результаты расчета дают значения выпуска картона марки К-1 – 37,5 % (частота попадания 0,375) и марки К-3 – 12,5 % (частота попадания 0,125), то качество продукции за рассмотренный период времени является неудовлетворительным.

### Задание

Дана выборка значений показателя качества готовой продукции, требования ГОСТ, в соответствии с которыми продукции присваивается определенная марка, и условия, предъявляемые к объемам производства продукции каждой марки. Требуется построить гистограмму плотности распределения показателя и гистограмму для оценки работы цеха (производства).

В табл.16.4 – 16.6 представлены значения показателя качества тарного картона: сопротивление продавливанию в кПа, в табл.16.7 – требования к этому показателю.

### Вариант 1

Таблица 16.4

### Экспериментальные данные

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значение	300	330	370	440	510	490	320	540	530	460	500	510
№ п/п	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Значение	470	460	430	530	380	500	430	350	538	320	456	510
№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Значение	390	370	380	320	540	390	500	430	370	500	410	400

**Вариант 2**

Таблица 16.5

## Экспериментальные данные

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значение	600	610	580	560	620	600	590	480	450	520	600	550
№ п/п	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Значение	580	410	450	470	590	570	530	340	356	345	380	390
№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Значение	450	480	570	560	510	480	530	570	430	370	390	400

**Вариант 3**

Таблица 16.6

## Экспериментальные данные

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значение	560	520	585	600	600	520	480	462	350	360	420	330
№ п/п	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Значение	540	550	610	460	590	480	590	450	390	350	310	350
№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Значение	580	580	450	610	580	470	610	480	485	365	600	410

Таблица 16.7

## Требования к сопротивлению продавливания

Наименование показателя	Марки картона массой 200 г/м <sup>2</sup>			
	К-1	К-2	К-3	К-4
Сопротивление продавливанию, кПа	Не менее 570	Не менее 460	Не менее 390	Не менее 340

Если показатель менее 340 кПа, то продукция считается браком.

В табл.16.8 – 16.10 представлены значения показателя качества тарного картона: разрушающее усилие при сжатии кольца в Н, в табл.16.11 – требования к этому показателю.

#### Вариант 4

Таблица 16.8

##### Экспериментальные данные

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значение	210	300	450	430	220	340	370	470	420	360	480	240
№ п/п	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Значение	260	370	410	480	420	370	390	260	240	245	268	387
№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Значение	395	460	486	420	340	385	390	400	455	250	360	370

#### Вариант 5

Таблица 16.9

##### Экспериментальные данные

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значение	500	480	290	450	361	356	453	270	280	290	450	300
№ п/п	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Значение	490	460	330	320	382	280	257	310	270	400	430	420
№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Значение	510	420	340	350	345	260	290	320	290	410	290	425

#### Вариант 6

Таблица 16.10

##### Экспериментальные данные

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значение	440	370	420	360	350	265	350	210	280	460	415	480
№ п/п	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Значение	390	410	390	345	290	250	320	230	330	450	390	425
№ п/п	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Значение	350	460	380	330	270	410	310	260	490	420	360	370

Таблица 16.11

## Требования к разрушающему усилию при сжатии кольца

Наименование показателя	Марки картона массой 220 г/м <sup>2</sup>			
	К-1	К-2	К-3	К-4
Разрушающее усилие при сжатии кольца, Н	не менее 450	не менее 370	не менее 290	не менее 240

Если показатель менее 240 Н, то продукция считается браком.

**Содержание отчета**

1. Задание для расчета.
2. Результаты расчета плотности распределения показателя качества.
3. График плотности распределения показателя качества (гистограмма).
4. Результаты расчета вероятностей попадания в диапазоны требований к качеству продукции.
5. График для оценки качества продукции.
6. Выводы, сделанные на основании расчетов.

**Контрольные вопросы**

1. Какой график называют гистограммой?
2. Каков порядок построения гистограммы?
3. Как выбрать оптимальное число интервалов для построения гистограммы?
4. Как по гистограмме показателя качества готовой продукции можно делать выводы об изменениях условий технологического процесса?
5. Что называется плотностью распределения случайной величины?
6. Как по плотности распределения показателя качества можно прогнозировать ожидаемое распределение значений этого показателя?

### Библиографический список

1. Основы метрологии, стандартизации и сертификации: учебное пособие / И.В.Бондаренкова, И.С.Ковчин, Г.А.Кондрашкова, Г.А.Кнодель, А.В.Черникова. СПб ГТУРП. – СПб., 2005. -36 с.
2. Кондрашкова Г.А. Технологические измерения и приборы в целлюлозно-бумажной промышленности: учебник. – М.: Лесная промышленность, 1981. -375 с.
3. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Ч.1. Общая теория измерений / СЗТУ. – СПб., 2008. -190 с.
4. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / под ред. В.В. Алексеева. – М.: Изд.центр «Академия», 2007. -384 с.
5. Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.И. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник. – М.: Высшая школа, 2006. -798 с.
6. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие. – М.: Логос, 2009. -560 с.
7. Р 50.2.038-2004 «ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений».
8. РМГ-43-2001 «Применение Руководства по выражению неопределенности измерений».
9. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации и метрологии: учебник. – М.: Юнити, 2006. -672 с.
10. Методы квалиметрии в машиностроении : учебное пособие / под ред. В.Я. Кершенбаума, Р.М. Хвастунова. – М.: Технонефтегаз, 1999. – 210 с.
11. Подольская М.Н. Квалиметрия и управление качеством : лабораторный практикум. – Тамбов, 2011. – 80 с.
12. Окрепилов В.В. Управление качеством: учебник. – СПб.: Наука, 2000. - 912 с.
13. Аристов О.В. Управление качеством. – М.: ИНФРА-М, 2003. -256 с.
14. Клячкин В.Н. Статистические методы в управлении качеством. Компьютерные технологии: учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2009. -304 с.
15. «Семь инструментов качества» в японской экономике. – М.: Изд-во стандартов, 1990. -89 с.

## Содержание

Предисловие	
<b>I.УПРАВЛЕНИЕ</b>	4
Лабораторная работа №3.Синтез линейных систем автоматического управления	4
Лабораторная работа №4.Параметрический синтез систем автоматического управления	13
Лабораторная работа №5.Анализ и синтез цифровых систем управления	22
<b>II МЕТРОЛОГИЯ</b>	38
Занятие № I. Градуировка средств измерений	38
Занятие № 2. Анализ погрешностей результатов косвенных измерении	46
Занятие №3, Поверка средств измерений	52
Занятие № 4. Обработка результатов прямых однократных измерений	54
Занятие № 5. Обработка данных при прямых многократных измерениях	59
Занятие № 6. Обнаружение и исключение промахов из прямых наблюдений при многократных измерениях	63
Занятие № 7. Оценка погрешностей результатов однократных измерений с помощью технических средств измерений	66
<b>III.СТАНДАРТИЗАЦИЯ</b>	72
Занятие № 8. Определение подлинности товара по штрихкоду международного стандарта И AN	72
Приложение 8.1. Штрих коды некоторых стран	76
Занятие № 9. Изучение основополагающих нормативных документов по стандартизации Российской Федерации	77
<b>IV.СЕРТИФИКАЦИЯ</b>	80
Занятие № 10. Изучение порядка проведения сертификации продукции	80
Приложение 10.1. Бланк сертификата соответствия продукции	82
Приложение 10.2. Правила заполнения бланка сертификата соответствия продукции	84
Приложение 10..3. Существующие схемы сертификации продукции	86
Приложение 10.4. Форма заявки на проведение сертификации продукции	87
Занятое № 11. Изучение порядка проведения сертификации услуг	88
Приложение 11.1. Форма заявки па проведение сертификации ус–луг	92

Приложение 11.2. Существующие схемы сертификации услуг .	93
Приложение 11.3. Бланк сертификата соответствия услуги	94
Приложение 11.4. Правила заполнения бланка сертификата соответствия услуги	95
<b>V.КВАЛИМЕТРИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ</b>	97
Занятое № 12. Формирование экспертной группы. Расчет количества экспертов	97
Занятие № 13. Использование контрольных карт по количественным признакам для контроля качества технологического процесса	104
Занятие № 14. Использование контрольных карт по качественным признакам для контроля качества технологического процесса	113
Занятие № 15, Использование диаграммы разброса для контроля качества технологического процесса	120
Занятие № 16, Использование гистограмм для контроля качества технологического процесса	125
Библиографический список	133

#### Список литературы

- Метрология, стандартизация и сертификация на транспорте / Иванов И А., Урушев С.В., и др. - М.: Академия, 2013 - 336 с
- Метрология, стандартизация и сертификация на транспорте / Аристов А. И. и др. - М. Академия, 2013.-416 с
- Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества / Гончаров А.А., Копылов В.Д. М.: Академия, 2013. 272 с
- Проектирование технологической оснастки / Блюмштейн В 10., Клепов А.А. СПб: Лань, 2011 - 224 с
- Проектирование технологической оснастки в машиностроении / Тарабарин О.И., Абызов А.П., Ступко В.Б. СПб. Лань. 2013 - 304 с.
- Интернет ресурсы:
- 1 <http://metrology.ru/>
- 2 <http://standard.aosi.in/>
- 3 <http://www.msc-robot.ru/>

Подписано в печать 22.04.21.  
Электронное издание.

Издательство Современного технического университета  
390048, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.  
(4912) 30-06-30, 30 08 30