

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра метрологии, приборостроения и управления качеством**

# **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИИ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 12.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2021**

УДК 658.512.22 (073)

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИИ:** Методические указания к практическим занятиям. Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.С. Уманский, М.В. Волкодаева*. СПб, 2021. 26 с.

Методические указания содержат краткие теоретические сведения, порядок решения и выполнения практических заданий. Выполнение заданий позволит студенту сформировать необходимые компетенции.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 27.03.01 «Стандартизация и метрология».

Научный редактор проф. *К.В. Гоголинский*

Рецензент *М.Ю. Коротеев* (ООО «КОНСТАНТА»)

## Раздел 1 Примеры классификация продукции

Классификация представляет собой логический процесс распределения любого множества (понятий, свойств, явлений, предметов) на категории (подмножества) разного уровня в зависимости от определенных признаков и выбранных методов деления.

### Объект классификации

Объектом классификации являются товары, их свойства, показатели качества, а также сырье и материалы для их производства, методы оценки качества, виды контроля качества и т. д.

Значение классификации товаров заключается в следующем:

- способствует упорядочиванию терминологии;
- позволяет объединить в родственные группы большое количество товаров, что создает возможности для систематизированного изучения товаров и автоматизированной обработки информации о товаре;
- позволяет изучить и оценить структуру, полноту и рациональность ассортимента товаров, способствует формированию и совершенствованию ассортимента товаров;
- облегчает изучение потребительских свойств товаров, позволяет устанавливать оптимальный уровень этих свойств, а также определять требования к ним;
- позволяет разработать групповые методы измерений и оценки потребительских свойств и качества товаров;
- группировка товаров по общности свойств служит основанием для разработки оптимальных методов упаковки, режимов хранения и транспортирования, соблюдения правил эксплуатации;
- служит базой для совершенствования системы стандартизации товаров;
- необходима при сертификации товаров;
- облегчает и ускоряет организацию торгово-оперативных процессов в магазинах, определяет тип торговых

предприятий, способствует повышению качества торгового обслуживания;

- используется при организации товароснабжения;
- способствует рациональному размещению товаров на складах и выкладке их в торговых залах магазинов;
- способствует изучению покупательского спроса;
- используется при составлении рекламных буклетов, каталогов, проспектов ярмарок и т. п.

Важнейшими классификационными признаками товаров являются назначение, исходные материалы (сырьевой состав), область применения, способ производства (особенности технологии), особенности происхождения, транспортабельность и др. Эти признаки служат основанием для объединения (или выделения) товаров в отдельные категории (группы).

Признак назначения определяет цель использования товара. Он может быть использован как на высших, так и на низших ступенях классификации (например, продовольственные и непродовольственные товары). На следующих ступенях классификации этот признак может конкретизироваться.

При проектировании средств измерений классификация средств измерений производится по метрологическому назначению.

**Средство измерения (СИ)** - это техническое средство или совокупность средств, применяющееся для осуществления измерений и обладающее нормированными метрологическими характеристиками. При помощи средств измерения физическая величина может быть не только обнаружена, но и измерена.

Средства измерения классифицируются по следующим критериям:

- 1) по способам конструктивной реализации;
- 2) по метрологическому предназначению.

По способам конструктивной реализации средства измерения делятся на:

- 1) меры величины;
- 2) измерительные преобразователи;
- 3) измерительные приборы;

4) измерительные установки;

5) измерительные системы.

**Меры величины** - это средства измерения определенного фиксированного размера, многократно используемые для измерения.

Выделяют:

1) однозначные меры;

2) многозначные меры;

3) наборы мер.

Некоторое количество мер, технически представляющее собой единое устройство, в рамках которого возможно по-разному комбинировать имеющиеся меры, называют магазином мер.

Объект измерения сравнивается с мерой посредством компараторов (технических приспособлений). Например, компаратором являются рычажные весы.

К однозначным мерам принадлежат стандартные образцы (СО). Различают два вида стандартных образцов:

1) стандартные образцы состава;

2) стандартные образцы свойств.

**Стандартный образец состава или материала** - это образец с фиксированными значениями величин, количественно отражающих содержание в веществе или материале всех его составных частей.

Стандартный образец свойств вещества или материала - это образец с фиксированными значениями величин, отражающих свойства вещества или материала (физические, биологические и др.).

Каждый стандартный образец в обязательном порядке должен пройти метрологическую аттестацию в органах метрологической службы, прежде чем начнет использоваться.

Стандартные образцы могут применяться на разных уровнях и в разных сферах. Выделяют:

1) межгосударственные СО;

2) государственные СО;

3) отраслевые СО;

4) СО организации (предприятия).

**Измерительные преобразователи (ИП)** - это средства измерения, выражающие измеряемую величину через другую величину или преобразующие ее в сигнал измерительной информации, который в дальнейшем можно обрабатывать, преобразовывать и хранить. Измерительные преобразователи могут преобразовывать измеряемую величину по-разному.

Выделяют:

- 1) аналоговые преобразователи (АП);
- 2) цифроаналоговые преобразователи (ЦАП);
- 3) аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

Измерительные преобразователи могут занимать различные позиции в цепи измерения.

Выделяют:

- 1) первичные измерительные преобразователи, которые непосредственно контактируют с объектом измерения;
- 2) промежуточные измерительные преобразователи, которые располагаются после первичных преобразователей.

Первичный измерительный преобразователь технически обособлен, от него поступают в измерительную цепь сигналы, содержащие измерительную информацию. Первичный измерительный преобразователь является датчиком. Конструктивно датчик может быть расположен довольно далеко от следующего промежуточного средства измерения, которое должно принимать его сигналы.

Обязательными свойствами измерительного преобразователя являются нормированные метрологические свойства и вхождение в цепь измерения.

**Измерительный прибор** - это средство измерения, посредством которого получается значение физической величины, принадлежащее фиксированному диапазону. В конструкции прибора обычно присутствует устройство, преобразующее измеряемую величину с ее индикациями в оптимально удобную для понимания форму. Для вывода измерительной информации в конструкции прибора используется, например, шкала со стрелкой или цифруказатель, посредством которых и осуществляется регистрация значения измеряемой величины. В некоторых случаях

измерительный прибор синхронизируют с компьютером, и тогда вывод измерительной информации производится на дисплей.

В соответствии с методом определения значения измеряемой величины выделяют:

- 1) измерительные приборы прямого действия;
- 2) измерительные приборы сравнения.

**Измерительные приборы прямого действия** - это приборы, посредством которых можно получить значение измеряемой величины непосредственно на отсчетном устройстве.

**Измерительный прибор сравнения** - это прибор, посредством которого значение измеряемой величины получается при помощи сравнения с известной величиной, соответствующей ее мере.

Измерительные приборы могут осуществлять индикацию измеряемой величины по-разному.

Выделяют:

- 1) показывающие измерительные приборы;
- 2) регистрирующие измерительные приборы.

Разница между ними в том, что с помощью показывающего измерительного прибора можно только считывать значения измеряемой величины, а конструкция регистрирующего измерительного прибора позволяет еще и фиксировать результаты измерения, например посредством диаграммы или нанесения на какой-либо носитель информации.

**Отсчетное устройство** - конструктивно обособленная часть средства измерений, которая предназначена для отсчета показаний. Отсчетное устройство может быть представлено шкалой, указателем, дисплеем и др.

Отсчетные устройства делятся на:

- 1) шкальные отсчетные устройства;
- 2) цифровые отсчетные устройства;
- 3) регистрирующие отсчетные устройства. Шкальные отсчетные устройства включают в себя шкалу и указатель.

**Шкала** - это система отметок и соответствующих им последовательных числовых значений измеряемой величины.

Главные характеристики шкалы:

- 1) количество делений на шкале;
- 2) длина деления;
- 3) цена деления;
- 4) диапазон показаний;
- 5) диапазон измерений;
- 6) пределы измерений.

**Деление шкалы** - это расстояние от одной отметки шкалы до соседней отметки.

**Длина деления** - это расстояние от одной осевой до следующей по воображаемой линии, которая проходит через центры самых маленьких отметок данной шкалы.

**Цена деления шкалы** - это разность между значениями двух соседних значений на данной шкале.

**Диапазон показаний шкалы** - это область значений шкалы, нижней границей которой является начальное значение данной шкалы, а верхней - конечное значение данной шкалы.

**Диапазон измерений** - это область значений величин в пределах которой установлена нормированная предельно допустимая погрешность.

**Пределы измерений** - это минимальное и максимальное значение диапазона измерений.

**Практически равномерная шкала** - это шкала, у которой цены делений разнятся не больше чем на 13 % и которая обладает фиксированной ценой деления.

**Существенно неравномерная шкала** - это шкала, у которой деления сужаются и для делений которой значение выходного сигнала является половиной суммы пределов диапазона измерений.

Выделяют следующие виды шкал измерительных приборов:

- 1) односторонняя шкала;
- 2) двусторонняя шкала;
- 3) симметричная шкала;
- 4) безнулевая шкала.

**Односторонняя шкала** - это шкала, у которой ноль располагается в начале.

**Двусторонняя шкала** - это шкала, у которой ноль располагается не в начале шкалы.



**Симметричная шкала** - это шкала, у которой ноль располагается в центре.

**Измерительная установка** - это средство измерения, представляющее собой комплекс мер, ИП, измерительных приборов и прочее, выполняющих схожие функции, используемые для измерения фиксированного количества физических величин и собранные в одном месте. В случае, если измерительная установка используется для испытаний изделий, она является испытательным стендом.

**Измерительная система** - это средство измерения, представляющее собой объединение мер, ИП, измерительных приборов и прочее, выполняющих схожие функции, находящихся в разных частях определенного пространства и предназначенных для измерения определенного числа физических величин в данном пространстве.

По метрологическому назначению средства измерения делятся на:

- 1) рабочие средства измерения;
- 2) эталоны.

**Рабочие средства измерения (РСИ)** - это средства измерения, используемые для осуществления технических измерений. Рабочие средства измерения могут использоваться в разных условиях.

Выделяют:

- 1) лабораторные средства измерения, которые применяются при проведении научных исследований;
- 2) производственные средства измерения, которые применяются при осуществлении контроля над протеканием различных технологических процессов и качеством продукции;
- 3) полевые средства измерения, которые применяются в процессе эксплуатации самолетов, автомобилей и других технических устройств.

К каждому отдельному виду рабочих средств измерения предъявляются определенные требования. Требования к лабораторным рабочим средствам измерения - это высокая степень точности и чувствительности, к производственным РСИ - высокая

степень устойчивости к вибрациям, ударам, перепадам температуры, к полевым РСИ - устойчивость и исправная работа в различных температурных условиях, устойчивость к высокому уровню влажности.

**Эталоны** - это средства измерения с высокой степенью точности, применяющиеся в метрологических исследованиях для передачи сведений о размере единицы. Более точные средства измерения передают сведения о размере единицы и так далее, таким образом образуется своеобразная цепочка, в каждом следующем звене которой точность этих сведений чуть меньше, чем в предыдущем.

**Задание:** Подготовить доклад на тему «Основы классификации продукции по метрологическому назначению». Объем доклада 2-3 печатных листа, продолжительность не более 5 минут.

## **Раздел 2 Проектирование и расчет продукции**

Проектированием называется комплекс работ по изысканиям, расчетам и конструированию, проводимых в целях получения всей необходимой документации для создания новых изделий, удовлетворяющих заданным требованиям.

С самых общих позиций проектирование (от лат. *projectus* — брошенный вперед) — это процесс описания задуманного. Проектирование представляет собой сложный вид творческой деятельности, успех которой зависит от правильного сочетания всех средств познания окружающего мира, в том числе математики, естественных наук и искусства.

В наше время практически невозможно добиться успешных результатов проектирования единолично и с помощью лишь одного из этих средств, так как только их сочетание, соединенное с интуицией, творческим озарением и усилиями коллектива разработчиков, способны привести к настоящему успеху. Вместе с тем неверно отрицать роль творческой личности в этом процессе. Часто только личный вклад автора разработки является залогом успеха.

Результатом проектирования является проект. В инженерной деятельности термин «проект» означает совокупность конструкторских и других документов (описаний, материалов и пр.), содержащих принципиальное (в случае эскизного проекта) или окончательное (в случае технического проекта) решение, дающее необходимое представление об объекте проектирования, и исходные данные для последующей разработки рабочей документации.

В качестве объектов проектирования рассматриваются измерительные устройства, представляющие собой широкий класс средств измерений. Информация о них представляется в виде чертежей, схем, графиков, спецификаций, различных описаний, таблиц, отчетов, макетов, результатов различных исследований, испытаний и пр. Все это составляет информационную модель создаваемого ИУ. В таблице 1 показаны этапы жизненного цикла любого ИУ.

Первым этапом является разработка технического задания (ТЗ). Исполнителями этого этапа являются заказчик и проектировщик, которые совместно вырабатывают исходный документ — техническое задание, определяющий основные требования к ИУ и общий порядок его разработки. Затем осуществляется непосредственно проектирование, т. е. создание информационной модели ИУ на основе исходной информации с использованием опыта предшествующих разработок и промежуточных результатов проектирования. Этот процесс является творческим, целенаправленным и итеративным. Он заканчивается созданием такой модели ИУ, которая удовлетворяет заданной совокупности требований к характеристикам ИУ: метрологическим, эксплуатационным, технико-экономическим, эргономическим, эстетическим и др.

Разработка ТЗ и проектирование являются наиболее важными этапами жизненного цикла ИУ. Ошибки на этих этапах обходятся дороже всего, так как их устранение требует многих затрат. Последующими этапами являются: техническая подготовка производства, собственно производство (изготовление), реализация (продажа), эксплуатация и депроизводство (уничтожение и утилизация) ИУ. Каждый из этих этапов можно рассматривать как

процесс преобразования соответствующей модели ИУ. На каждом из них осуществляется перенос этой модели с языка обобщенного заказчика на язык обобщенного исполнителя и обратно по следующей схеме: формулировка задания — реализация соответствующей модели ИУ — оценка качества и коррекция модели — формулировка нового задания. Из таблицы 1 видно, что последовательные преобразования модели ИУ осуществляют следующие исполнители: заказчик, проектировщик, технолог, изготовитель, продавец, пользователь и утилизатор. В результате этих преобразований ТЗ на проектирование преобразуется в работающее изделие, которое воспроизводится с помощью сырья, энергии и информационного обеспечения. Это изделие тиражируется в необходимом количестве и используется по назначению. Снятое с производства и уничтоженное изделие в информационном плане служит аналогом или прототипом для разработки новых ИУ.

*Таблица 1*

**Этапы жизненного цикла ИУ**

№ п/п	Этап	Модель ИУ	Исполнитель
1	Разработка технического задания	Техническое задание	Заказчик, проектировщик
2	Проектирование	Информационная модель	Проектировщик
3	Техническая подготовка производства	Технологическая документация	Технолог
4	Производство	Серийный образец	Изготовитель
5	Реализация	Товар	Продавец
6	Эксплуатация	Работающее изделие	Пользователь
7	Депроизводство	Архивная документация	Утилизатор

Особенностью современного этапа развития общества является существенное влияние результатов проектирования на изменение окружающей человека среды. Поэтому проектировщик должен всегда предвидеть нежелательные последствия этих

изменений и делать все возможное, чтобы они были безопасны для людей. Чем большие изменения среды предполагаются, тем меньше процесс проектирования направлен на разрабатываемый объект и тем большую часть внимания приходится уделять тем изменениям, которые должны претерпеть производство, сбыт, потребитель и общество в ходе освоения и использования нового изделия.

Ни заказчик, ни проектировщик обычно не могут влиять на последствия от реализации объекта проектирования, так как он выходит из-под их контроля еще до поступления в производство, а тем более — в эксплуатацию. Получив заказ, проектировщик может только предвидеть свойства создаваемого изделия и реакцию потребителя на них. По результатам таких предположений формируются предложения заказчику, исключаящие негативные последствия результатов проектирования. Однако в большинстве случаев заказчик заинтересован в объекте проектирования лишь до момента, пока достигаются поставленные им цели, после чего он перестает влиять на события. В результате изделие начинает «самостоятельную жизнь». Отсюда понятна та особая роль, которую должно играть общество в вопросах регулирования технического прогресса.

**Задание:** Разработать проект техническое задание на измерительное устройство. Результаты представить в виде письменного отчета. На основании отчета выполнить презентацию технического задания в объеме ~5 минут. На основании доклада путем обсуждения в группе предложить пути улучшения технического задания.

### **Раздел 3 Проектирование информационно-измерительной продукции для проведения экспериментальных исследований**

Измерительные преобразователи представляют собой технические устройства, которые осуществляют преобразования величин и образуют канал передачи измерительной информации. При описании принципа действия измерительного устройства, включающего последовательный ряд измерительных преобра-

зователей, часто представляют его в виде функциональной блок-схемы (измерительной цепи), на которой отражают функции отдельных его частей в виде символических блоков, связанных между собой.

При проектировании специализированного нестандартного средства измерения следует учитывать существующие организационно-технические формы контроля, масштаб производства, характеристики измеряемых объектов, требуемую точность измерения и другие технико-экономические факторы.

В конкретном случае производится проектирование только преобразователя и поэтому частью этих факторов можно пренебречь. Важна только требуемая точность измерения заданного параметра.

Каждый размер может быть измерен несколькими средствами с различными погрешностями измерения, но следует учитывать влияние окружающей среды на точность измерения. Теоретически существует очень большое число различных преобразователей: емкостные, фотоэлектрические, оптико-механические, индуктивные и т.п., но практически в каждом конкретном случае довольно ограниченный выбор.

### **Разработка технического задания на проектирование преобразователя для измерения отклонений геометрических параметров**

Требуется разработать преобразователь для специализированного средства измерения, используемого при автоматическом контроле параллельности направляющей прецизионного станка.

Требуемые характеристики средства измерений:

Длина измеряемой поверхности: 400 мм.

Измеряемый параметр: параллельность

Значение измеряемого параметра: 2,5 мкм

Проект преобразователя должен содержать:

- а) выбор принципа работы преобразователя и его описание;
- б) выбор и обоснование метрологических характеристик преобразователя;
- в) расчет метрологических характеристик преобразователя;

- г) эскиз механической части;
- д) схема электрической части (если присутствует).

### **Выбор принципа работы преобразователя и описание его работы**

В данном случае производится измерение параллельности направляющих. К отклонениям от параллельности относятся отклонения от параллельности плоскостей, суммарное отклонение от параллельности и плоскостности, отклонения от параллельности оси относительно плоскости или плоскости относительно оси, отклонения от параллельности осей на плоскости и в пространстве.

Разрабатываемый преобразователь должен измерять отклонения от параллельности плоскостей.

Под отклонением от параллельности плоскостей понимают разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающими плоскостями в пределах нормируемого участка.

Для измерения отклонений от параллельности оптимально применить преобразователь, основанный на принципе измерения разности емкостей и электрической части преобразователя на основе балансового моста.

### **Принцип действия емкостных преобразователей**

Емкостные преобразователи основаны на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними.

Для плоского конденсатора электрическая емкость определяется выражением:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{\delta}$$

где:  $\varepsilon_0$  - диэлектрическая постоянная;  $\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками;  $S$  - активная площадь обкладок;  $\delta$  - расстояние между обкладками.

Из приведенного выражения следует, что в емкостном преобразователе переменной (входной) величиной может быть либо  $\delta$ , либо  $S$ , либо  $\varepsilon$ .

На Рис. 1 схематично изображены различные типы емкостных преобразователей.

Преобразователь на Рис. 1а представляет собой конденсатор, одна пластина которого перемещается относительно другой так, что изменяется расстояние между  $\delta$  между пластинами. Функция преобразования  $C = f(\delta)$  нелинейна, причем чувствительность возрастает с изменением расстояния между  $\delta$  между пластинами.

Минимальное значение  $\delta$  определяется напряжением пробоя конденсатора. Такие преобразователи используются для измерения малых перемещений (менее 1 мм).

На Рис. 1б показан дифференциальный емкостный преобразователь, в котором при перемещении центральной пластины емкость одного конденсатора увеличивается, а другая уменьшается. Дифференциальная конструкция позволяет уменьшить погрешность нелинейности или увеличить рабочий диапазон перемещений.

Преобразователь на Рис. 1в также имеет дифференциальную конструкцию, но в нем происходит изменение активной площади пластин. Он используется для измерения сравнительно больших линейных (более 1мм) и угловых перемещений. В таком преобразователе можно получить необходимую функцию преобразования путем профилирования пластин.

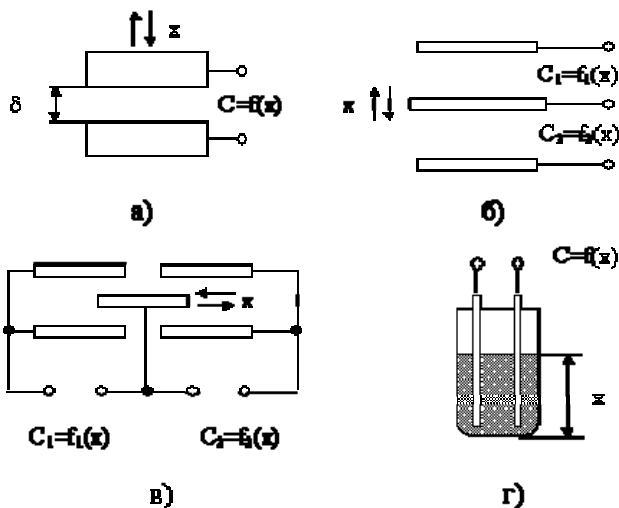


Рис. 1. Емкостные преобразователи



Емкостные преобразователи просты по конструкции, имеют высокую чувствительность и относительно малую инерционность. К их недостаткам следует отнести влияние внешних электрических полей, паразитных емкостей, температуры, влажности.

### **Описание работы проектируемого преобразователя**

Преобразователь основан на принципе измерения разности двух емкостей, обкладки которых связаны со свободно перемещающимися щупами, которые в свою очередь контактируют с поверхностью. Сам прибор при этом прижимается в базовой поверхности, относительно которой и проводится измерение.

Непараллельность присутствует всегда, поэтому расстояние между обкладками емкостей будет разным, соответственно будет наблюдаться разность емкостей, которая вносит дисбаланс в мостовую схему электрической части и вызывает появление напряжения на выходе мостовой схемы. Далее это напряжение может быть подано в электрический преобразователь или измеряться непосредственно вольтметром.

Зависимость между величиной отклонения от параллельности и напряжением нелинейна при плоских прямоугольных обкладках емкостей, но эту зависимость можно легко привести к линейной путем изменения формы обкладок (профилированием). Либо как вариант подавать сигнал с мостовой схемы на аналого-цифровой преобразователь ЭВМ и выправлять зависимость с помощью программных методов.

Также можно отметить, что число емкостей может быть больше двух, точность измерения при этом возрастает, но мостовая схема уже не годится и в качестве анализатора лучше использовать ЭВМ, при этом при отсутствии дополнительных затрат можно также получить измерение плоскостности.

Настройку на 0 балансного моста необходимо будет проводить на образцовой поверхности, параллельной базе от которой производится измерение.

### **Подготовка текста технического задания согласно ГОСТ**

#### **Основания для разработки**

Основанием для разработки нестандартизованного средства измерения служит задание на проектирование. Тема разработки -

проектирование нестандартизированного средства измерения параллельности направляющих прецизионного станка.

### **Цель и назначение разработки**

Целью разработки является увеличение производительности контроля

геометрических параметров измеряемого изделия.

### **Характеристика объекта разработки**

Объект разработки представляет собой нестандартизированное средство измерения, применяемое для контроля отклонений геометрических размеров направляющих прецизионного станка. Контролируемый параметр - непараллельность. В приборе используется емкостный преобразователь.

### **Основные технические требования к прибору:**

Прибор должен удовлетворять следующим требованиям:

- длина измеряемого объекта не менее 400 мм.

- точность измерения не менее 0,5 мкм.

### **Выбор и обоснование метрологических характеристик**

#### **НСИ**

Общий перечень основных нормируемых метрологических характеристик, формы их представления и способы нормирования установлены в ГОСТ 8.009-84. «ГСИ. Нормирование и использование метрологических характеристик СИ». Согласно его номенклатура метрологических характеристик включает в себя:

а) характеристики, предназначенные для определения результатов измерения;

б) функция преобразования (градуировочная характеристика, уравнение

преобразования) - это зависимость между значениями на выходе и входе СИ, представленная в виде таблицы, графика или формулы. Различают индивидуальную и номинальную функции преобразования. Индивидуальная описывает свойства конкретного экземпляра СИ. Ее еще называют градуировочной характеристикой. При серийном выпуске однотипных СИ зависимость между значениями на выходе и входе СИ часто устанавливается с помощью

номинальной функции преобразования. Ее использование сопровождается погрешностями, вызванными отличием номинальной функции преобразования от индивидуальной. Идеальная функция преобразования представляет линейную зависимость;

в) значение меры;

г) цена деления шкалы измерительного прибора - это разность значений

величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы;

д) для цифровых приборов указывают цену единицы младшего разряда цифрового отсчетного устройства, вид выходного кода (двоичный, двоично-десятичный и т.п.), и число разрядов кода;

е) функция влияния - это зависимость изменения МХ от изменения влияющих величин. Под последними понимают внешние физические воздействия - климатические, механические, электромагнитные, изменения параметров источников питания;

ж) динамические характеристики, обусловленные влиянием на выходной сигнал изменениями во времени значений входного сигнала. Различают полные динамические характеристики и частичные.

К полным относят: переходную, АЧХ, амплитудно-фазовую, импульсную переходную, передаточную. К частичным – любые функционалы или параметры полных динамических характеристик. Примерами таких характеристик может служить постоянная времени.

По условиям применения средств измерения различают нормальные и рабочие условия. Они отличаются диапазоном изменения неинформативных параметров входного сигнала и влияющих величин. Нормальными называют условия, для которых нормируется основная погрешность средства измерения. Для различных типов средств измерений нормальные условия могут быть разными. Однако СИ могут работать в более широком диапазоне изменения влияющих величин. Этот диапазон называют рабочим.

1) Расстояние между емкостями выбирают равным длине измеряемой поверхности - 400 мм (возможен также вариант с

изменяемой длиной - для чего корпус преобразователя делается в виде телескопического цилиндра).

Корпус лучше всего выполнить из композитного материала во избежание появления паразитных емкостей.

2) Изменение расстояний между обкладками измерительных емкостей невелико (производится измерение точных поверхностей), поэтому функция преобразования будет относительно линейна. Для улучшения функции

преобразования при изменении больших отклонений можно применить профилирование обкладок измерительных емкостей.

3) Рабочий диапазон измерения составляет десятикратное значение измеряемой величины и равен  $2,5 \cdot 10 = 25$  мкм.

4) Цена деления должна быть не больше 0,5 мкм.

Рассчитаем ориентировочную площадь обкладок конденсатора для получения необходимой точности.

В данном случае максимальная величина изменения расстояния  $\Delta d = 25$  мкм или  $\Delta d = 2,5 \times 10^{-5}$  м. Величина  $\epsilon$  для воздуха равна 1, универсальная диэлектрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ .

Для получения достоверных результатов изменение емкости должно быть не менее 10 нФ. ***Путем решения уравнения относительно  $S$  получить значение площади.***

Далее назначается точностные требования на пластины обкладок измерительных емкостей.

Точностные требования назначаются исходя из размера пластин (30 см на 10 см) и изменения расстояния между обкладками.

***Назначить допуск на непараллельность --- мкм и параметры шероховатости пластин  $R_a =$  --- мкм.***

**Создание эскиза механической части емкостного преобразователя НСИ на основе ТЗ**

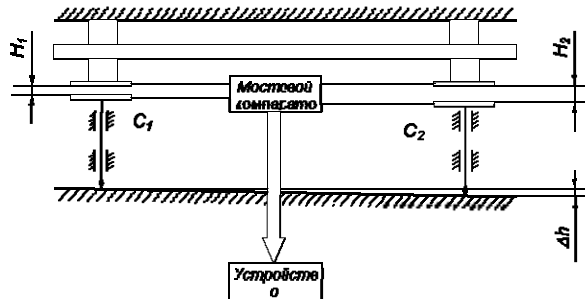


Рис. 2. Эскиз механической части преобразователя

$\Delta h = H_2 - H_1$  - разность расстояний между обкладками измерительных емкостей и является отклонением от параллельности. Устройство регистрации представляет собой выпрямитель и цифровой или аналоговый измеритель напряжения. Данные с устройства регистрации получает оператор либо автоматическое контрольное устройство.

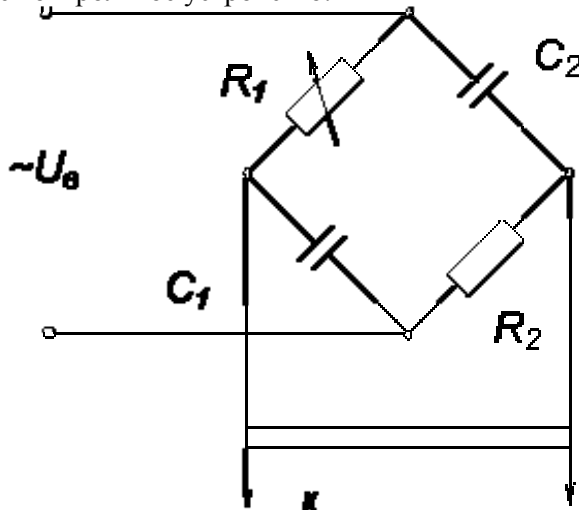


Рис. 3. Мостовая схема

**Разработка методики измерения отклонений геометрических размеров заданного изделия разработанными НСИ**

Измерение разработанным НСИ производится следующим образом:

- перед началом измерений, если это необходимо, производится настройка прибора на 0; для этого требуется две образцовых поверхности, параллельных друг другу, после установки прибора напряжение мостовой схемы выводится на 0 с помощью сопротивления  $R_1$ ;

- для измерения опорные точки прибора устанавливаются на базовую поверхность, а оба щупа на поверхность, параллельность которой измеряется.

Способ измерения - прямой, поэтому результаты получаются сразу после установки прибора. Для измерения от различных баз к прибору должны прилагаться вспомогательные уголки и кронштейны.

Задание: Рассчитать площадь емкостного преобразователя. Определить допуск на непараллельность. Определить требования к шероховатости пластин. На основании приведенных данных оформить проект технического задания.

#### Раздел 4 Расчет параметров отдельных узлов продукции

**Задание 1** Произвести расчет пьезоэлектрического преобразователя, выполненного в виде прямоугольного параллелепипеда, имеющего стороны  $a$ ,  $b$  и  $d$  (рис. 4).

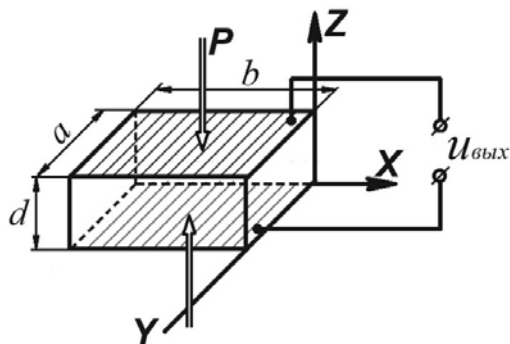


Рис. 4. Схема пьезоэлектрического преобразователя

Прежде чем приступить к расчету, необходимо кратко описать явления прямого и обратного пьезоэлектриков. Привести в упрощенной форме передаточные функции для прямого и обратного пьезоэффекта, а также выражения для чувствительностей. Указать известные типы пьезопреобразователей и области их применения.

При расчете учесть, что параллельно оси  $Z$  на пьезоэлемент (рис. 4) действует механическая сила  $F$ , а сам пьезоэлемент выполнен из кварца, у которого пьезоэлектрическая константа  $e_{11}=2,3 \cdot 10^{-12}$  Кл/Н, диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_{11}=4,5$ . Требуется определить выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$ .

Произвести решение задачи в общем виде, учитывая, что передаточная функция для прямого пьезоэффекта может быть представлена как  $q=e_{11} \cdot F$ , а  $U_{\text{вых}}=q/c$ , где  $c$  – емкость пьезоэлектрического конденсатора.

Воспользуемся численными данными, представленными в таблице 2.

Таблица 2

### Исходные расчетные данные

Параметры	Варианты и исходные данные									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Последняя цифра шифра									
$F, \text{ Н}$	100	80	60	40	20	30	90	120	108	101
	Предпоследняя цифра шифра									
$a, \text{ м}$	0,1	0,15	0,3	0,4	0,8	0,9	1,2	1,8	2,0	2,1
$b, \text{ м}$	0,2	0,3	0,23	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	2,0
$d, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

**Задание 2** Содержит систему двух первичных преобразователей – емкостного и пьезоэлектрического, представленную на Рис. 5.

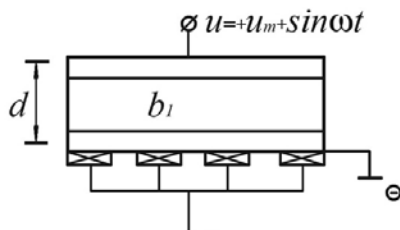


Рис. 5. Схема емкостного преобразователя

Предварительно необходимо описать эффект изменения емкости, емкостные преобразователи с плоскими и коаксиальными электродами, передаточные функции и чувствительности для двух типов преобразователей, области применения емкостных преобразователей.

При решении задачи учесть, что к электродам емкостного преобразователя прикладывается электрическое напряжение в виде суммы напряжений – постоянного и переменного тока. К отрицательному электроду приклеены пьезоэлектрические преобразователи, электрически соединенные последовательно. Определить передаточные функции емкостного и пьезоэлектрического преобразователей, а также общую чувствительность системы.

При решении задачи необходимо учитывать, что механическое давление электрического поля емкостного преобразователя может быть определено из выражения:

$$P = -\partial W / \partial d,$$

где  $W$  – энергия конденсатора, а  $d$  – расстояние между электродами конденсатора. Энергия в этом случае может быть определена в виде:

$$W = C (U_- + U_- \sin \omega t)^2 / 2,$$

где  $C = \epsilon_0 \epsilon_1 S / d$  – емкость плоского конденсатора,  $\epsilon_0 = 8,87 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$  – диэлектрическая постоянная,  $\epsilon_1 = 2,0$  – диэлектрическая проницаемость,  $S$  – площадь электродов. После несложных преобразований можно найти, что на электроды конденсатора действует давление:

$$P = (2U = U_- \sin \omega t) \cdot C,$$



если пренебречь составляющими:

переменным давлением с удвоенной частотой  $\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d^2} \cdot \frac{U^2}{2} \cos 2\omega t$  и постоянным давлением, равным  $\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d^2} [U_+^2 + U_-^2 / 2]$ .

Необходимо обосновать возможность пренебрежения указанными составляющими.

Полученное значение механического давления электрического поля конденсатора

$$P = (U_+ \cdot U_- \cdot \sin \omega t) \cdot C$$

использовать как входную физическую величину, действующую на пьезоэлектрические преобразователи. Рассчитать величину электрического напряжения на выходе пьезоэлектрических преобразователей  $U_{\text{вых}}$ , учитывая диэлектрическую проницаемость пьезоэлектрика  $\varepsilon_2 = 4,5$  и методику решения задания 2.

Определить чувствительность системы как произведение чувствительностей емкостного и пьезоэлектрического преобразователей.

Численные данные для расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3

### Исходные расчетные данные

Параметры	Варианты и исходные данные				
	1	2	3	4	5
	Последняя цифра шифра				
$U_+$ , В	700	800	900	1000	1100
	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$U_-$ , В	1200	1400	1500	1600	1700
	Предпоследняя цифра шифра				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
$U_-$ , В	30	35	40	45	50
$S$ , $10^{-1}$ м	2	3	4	5	6
$d$ , $10^{-3}$ м	4	5	6	0,1	0,3
$f$ , $10^4$ Гц	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$U_-$ , В	55	60	70	80	100
$S$ , $10^{-1}$ м	7	8	9	10	13
$d$ , $10^{-3}$ м	8	9	0,4	0,7	0,8
$f$ , $10^4$ Гц	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шишкин, И.Ф.* Теоретическая метрология. Ч.1. Общая теория измерений.: учебное пособие / И.Ф.Шишкин. –Санкт-Петербург.: Изд-во СЗТУ, 2008.-190 с.

2. *Федотов, А.И.* Теория измерений. / А.И.Федотов, С.К. Лисин, Г.С. Морокина - Санкт-Петербург.: Изд-во Политехн. Ун-та. - 2013.-324 с.

3. *Клаассен, К.Б.* Основы измерений. Электрические методы и приборы в измерительной технике. / К.Б.Клаассен. – Москва.: Изд-во Постмаркет, 2002-350 с. 2.Быков, Р.Е. Цифровое преобразование изображений. /Быков Р.Е.- М.: Горячая линия-Телеком.2003 – 232 с.

4. *Лячнев, В.В.* Основы теории измерений физических величин./ В.В. Лячнев, Т.Н. Сирая, Л.И. Довбета / СПб.- СПбГЭТУ «ЛЭТИ».-2004.- 310 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1 Примеры классификации продукции.....	3
Раздел 2 Проектирование и расчет продукции.....	10
Раздел 3 Проектирование информационно-измерительной продукции для проведения экспериментальных исследований.....	13
Раздел 4 Расчет параметров отдельных узлов продукции.....	22
Библиографический список.....	26

# **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДУКЦИИ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 12.03.01*

Сост.: *А.С. Уманский, М.В. Волкодаева*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
метрологии, приборостроения и управления качеством

Ответственный за выпуск *А.С. Уманский*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 26.04.2021. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,6. Усл.кр.-отт. 1,6. Уч.-изд.л. 1,4. Тираж 75 экз. Заказ 364.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2