

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Учебно-методическое пособие
к выполнению курсового проекта по дисциплине
«Цифровое проектирование измерительных систем»
для студентов всех форм обучения
по направлению 12.04.01 «Приборостроение»

Севастополь
СевГУ
2022

УДК 681.2.084:001.891-057.87(075.8)

ББК 34.9в6я73

М744

Р е ц е н з е н т :

А. Ю. Тараховский – канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой «Цифровое проектирование»

Составители : А. И. Балакин, Н. А. Балакина

М744 Моделирование и расчет измерительных систем: учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Цифровое проектирование измерительных систем» для студентов всех форм обучения по направлению 12.04.01 «Приборостроение» / Севастопольский государственный университет ; сост.: А. И. Балакин, Н. А. Балакина. – Севастополь : СевГУ, 2022 – 80 с. – Текст : электронный.

Предназначено для учебно-методического обеспечения дисциплины «Цифровое проектирование измерительных систем».

Целью учебно-методического пособия является оказание помощи студентам при выполнении курсового проекта по указанной выше дисциплине, изучении студентами методики проектирования, а также овладение навыками расчета на точность измерительных приборов.

УДК 681.2.084:001.891-057.87(075.8)
ББК 34.9в6я73

Учебно-методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», протокол № 11 от 24 июня 2022 г.

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия для студентов всех форм обучения по направлению 12.04.01 «Приборостроение».

© Балакин А. И., Балакина Н. А., сост., 2022
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ	4
1.1. Цель работы	4
1.2 Требования к оформлению курсового проекта	4
1.2.1 Оформление пояснительной записки	5
1.2.2 Оформление графической части	7
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ РАЗДЕЛОВ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	16
2.1. Цилиндрические винтовые пружины	16
2.2. Расчёт упругих плоскопружинных параллелограммов	23
2.3. Расчет шариковой направляющей	26
2.3.1. Геометрический расчет шариковой направляющей	28
2.3.2. Силовой расчет шариковой направляющей	29
2.3.3. Прочностной расчет	34
2.4. Разработка и описание 3-D модели измерительной системы	37
2.5. Назначение и корректировка технических условий изготовления и сборки измерительной системы	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	46
ПРИЛОЖЕНИЕ А	48
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	49
ПРИЛОЖЕНИЕ В	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	69

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Курсовой проект ставит своей целью закрепление студентом знаний по дисциплине «Цифровое проектирование измерительных систем», посредством самостоятельной работы на всех этапах проектирования средств измерений.

В ходе выполнения курсового проекта студент должен проявить:

- умение применять теоретические основы проектирования измерительных систем;
- умение аргументировано (на основе знаний технологических возможностей современного приборостроительного производства), назначить технические условия на изготовление конструкции элементов и узлов измерительных систем;
- умение пользоваться действующими ГОСТами, РТМ, и технической литературой.

1.2 Требования к оформлению курсового проекта

Курсовой проект должен состоять из графической части и пояснительной записки.

Объем графической части не менее 3 листов формата А1.

Графическая часть выполняется с использованием средств компьютерного проектирования и должна отвечать по своему содержанию и оформлению всем требованиям ЕСКД.

Объем пояснительной записки 25-40 страниц на листах формата А4.

Пояснительная записка содержит:

- титульный лист;
- задание на курсовой проект;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников.
- приложения (при необходимости).

Бланк титульного листа и задания к курсовому проекту приведены в прил. А, Б соответственно.

Во введении кратко (0,5...1 страницы) должно быть раскрыто значение измерительных устройств при решении задач в приборостроении, разработке новых технологических процессов, автоматизации технологических процессов.

В заключении кратко делается оценка результатов конструкторской разработки в связи с поставленной перед студентом задачей. Кроме тек-

стовой части выводы должны содержать технические данные и метрологическую характеристику спроектированного измерительного устройства.

1.2.1 Оформление пояснительной записки

Пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (210×297), на одной стороне листа с соблюдением требований к текстовым документам, установленным ГОСТ 2.105 – 95 ЕСКД (с рамками и штампами). Общие требования к текстовым документам и ГОСТ 2.106 – 96 ЕСКД. Текстовые документы.

При выполнении пояснительной записки с применением ЭВМ используют следующие параметры: левое поле – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее – 20 мм, гарнитура шрифта – Times New Roman, размер символов – 14 pt, междустрочный интервал – 1,5 строки, величина отступа (красная строка) – 1 см, автоматический перенос слов, выравнивание по ширине страницы, обязательна сквозная нумерация страниц арабскими цифрами, проставляемыми в нижнем правом углу страницы. Титульный лист считается первой страницей, номер на нем не ставится. Нумерация страниц проставляется, начиная с 3 листа.

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана стилистически и орфографически грамотно.

Название раздела нумеруется и пишется прописными буквами и располагается симметрично строке без переноса слов. Точка в конце названия раздела не ставится, название не подчеркивается. Название раздела отделяется от последующего текста. Каждый раздел начинается с новой страницы.

Подразделы должны иметь двойную нумерацию арабскими цифрами (например, 1.1). Название подраздела отделяется от последующего текста. Части подраздела могут иметь тройную нумерацию (например, 1.1.1). Дальнейшее деление не допускается. Подразделы начинаются на той же странице, где заканчивается предыдущий подраздел (внутри раздела).

В пояснительной записке должна использоваться сквозная нумерация рисунков, таблиц, формул. Допускается нумерация в пределах раздела.

Все вычисления и расчетные формулы необходимо представлять в общем виде, применяя для исходных величин стандартные буквенные обозначения, вместо которых затем следует подставить их числовые значения. По каждой применяемой формуле, коэффициенту и другим данным необходимо указывать их название и источник. В прямых скобках указывать порядковый номер источника согласно списку использованных источников. Подстановку числовых значений надо проводить в том же порядке, в котором написаны в формуле обозначения, не делая промежуточных сокращений.

Расчетные формулы должны помещаться на отдельной строке с выравниванием по центру.

Формулы нумеруются арабскими цифрами, помещаемыми в круглых скобках справа от формулы. После формулы ставится запятая и с новой строки после слова «где» идет расшифровка каждого обозначения. Расшифровке подлежат только обозначения, встречающиеся впервые. Ссылки на формулы в тексте обязательны.

Расчеты должны сопровождаться краткими пояснениями производимых действий. Полученные после вычислений значения параметров следует округлять по стандарту и указывать размерность. Все размерности физических величин должны даваться в системе СИ. Запрещаются любые сокращения, кроме общепринятых.

При необходимости расчеты сопровождают поясняющими его эскизами, схемами и т.п.

При выполнении расчетов на ПЭВМ студент должен изложить методику расчета, привести основные расчетные формулы, блок-схему алгоритма, обосновать выбор исходных данных и привести анализ полученных результатов.

Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами. Ссылки на иллюстрации в тексте обязательны. Все рисунки отделяются от основного текста и должны иметь подписочные надписи. Рисунки располагаются сразу после упоминания или на следующей странице. Допускается использование фотографий, ксерокопий и т.п.

Таблицы, за исключением таблиц приложений, следует нумеровать арабскими цифрами. Если таблица имеет продолжение, то на следующей странице пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы. Ссылки на таблицы в тексте обязательны. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером через тире, например, Таблица 1 – Номенклатура выпускаемой продукции.

Описание конструкций (при наличии) должно производиться с ссылками на позиции чертежа, рисунка, спецификации.

Обязательным является обоснование принятых решений.

Ссылки на использованные источники должны нумероваться арабскими цифрами по порядку появления в списке и помещаться в квадратные скобки.

Список использованных источников оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1 – 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. В списке использованных источников указывается автор, название, издательство, год издания и объем в страницах.

Каждое приложение должно начинаться с новой страницы. Оно должно иметь заголовки. В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки.

Пояснительная записка должна быть сброшюрована.

1.2.2 Оформление графической части

Графическая часть курсового проекта выполняется на листах стандартных форматов в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Основные требования к выполнению чертежей деталей, сборочных, габаритных и монтажных на стадии разработки рабочей документации для всех отраслей промышленности устанавливает ГОСТ 2.109 – 73.

Сборочный чертеж

Сборочный чертеж (ГОСТ 2.109–73) должен содержать:

а) изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы.

Допускается на сборочных чертежах помещать дополнительные схематические изображения соединения и расположения составных частей изделия;

б) размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу.

Допускается указывать в качестве справочных размеры деталей, определяющие характер сопряжения;

в) указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размеров, а подбором, пригонкой и т. п., а также указания о выполнении неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);

г) номера позиций составных частей, входящих в изделие;

д) габаритные размеры изделия;

е) установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;

ж) техническую характеристику изделия (при необходимости);

з) координаты центра масс (при необходимости).

На сборочном чертеже все составные части сборочной единицы нумеруют в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации этой сборочной единицы. Номера позиций наносят на полках линий-выносок, проводимых от изображений составных частей.

Размер шрифта номеров позиций должен быть на один-два номера больше, чем размер шрифта, принятого для размерных чисел на том же чертеже. Допускается делать общую линию-выноску с вертикальным расположением номеров позиций для группы крепежных деталей, относящихся к одному и тому же месту крепления.

В технических требованиях сборочного чертежа помещают необходимые указания по установке отдельных частей, например:

– «Нагрузку пружины обеспечить установкой необходимого количества дет. поз. ...»;

– «Размер (зазор, ход и т.д.) А обеспечить регулировкой одной из дет. поз....»;

– «Размер (зазор, ход и т.д.) Б обеспечить установкой дет. поз....».

Если защитные временные детали на время транспортирования и хранения должны устанавливаться вместо снимаемых с изделия каких-либо приборов, механизмов, то об этом на сборочном чертеже в технических требованиях помещают соответствующие указания, например: «Насос поз. ... и регулятор поз.... перед упаковыванием снять и на их место установить крышки поз...., плотно затянув их болтами поз....» и т.п.

Технические требования и технические характеристики выполняются согласно ГОСТ 2.316 – 2008.

Текстовую часть располагают над основной надписью и выполняют в соответствии с [ГОСТ 2.105](#).

Между текстовой частью и основной надписью не допускается помещать изображения, таблицы и т.п.

На листах формата более А4 допускается размещение текста в две и более колонки. Ширина колонки должна быть не более 185 мм.

При выполнении чертежа на двух и более листах текстовую часть помещают только на первом листе независимо от того, на каких листах находятся изображения, к которым относятся указания, приведенные в текстовой части.

Надписи, относящиеся к отдельным элементам изделия и наносимые на полках линий-выносок, помещают на тех листах чертежа, на которых они являются наиболее необходимыми для удобства чтения чертежа.

Технические требования излагают, группируя вместе однородные и близкие по своему характеру требования, по возможности в следующей последовательности:

– требования, предъявляемые к материалу, заготовке, термической обработке и к свойствам материала готовой детали (электрические, магнитные, диэлектрические, твердость, влажность, гигроскопичность и т.п.), указания материалов-заменителей;

– размеры, предельные отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, массы и т.п.;

– требования к качеству поверхностей, указания об их отделке, покрытии;

– зазоры, расположение отдельных элементов конструкции;

– требования, предъявляемые к настройке и регулированию изделия;

– другие требования к качеству изделий (например: бесшумность, виброустойчивость, самоторможение и т.д.);

– условия и методы испытаний;

– указания о маркировании и клеймении;

- правила транспортирования и хранения;
- особые условия эксплуатации;
- ссылки на другие документы, содержащие технические требования, распространяющиеся на данное изделие, но не приведенные на чертеже.

Пункты технических требований должны иметь сквозную нумерацию. Каждый пункт технических требований записывают с новой строки. Заголовок «Технические требования» не пишут.

В случае, если необходимо указать техническую характеристику изделия, ее размещают отдельно от технических требований, с самостоятельной нумерацией пунктов, на свободном поле чертежа под заголовком «Техническая характеристика». При этом над техническими требованиями помещают заголовок «Технические требования». Оба заголовка не подчеркивают.

Рабочие чертежи деталей

Рабочие чертежи разрабатывают, как правило, на все детали, входящие в состав изделия. Рабочие чертежи деталей выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109 – 73.

Основную надпись в графических документах выполняют в соответствии с требованиями [ГОСТ 2.104](#), [ГОСТ 2.109](#), [ГОСТ 2.051](#) и [ГОСТ 2.052](#).

Рабочие чертежи деталей, кроме изображения изделия с размерами, предельными отклонениями и другими параметрами, может содержать:

- текстовую часть, состоящую из технических требований и (или) технических характеристик;
- надписи с обозначением изображений, а также относящиеся к отдельным элементам изделия;
- таблицы с размерами и другими параметрами, техническими требованиями, контрольными комплексами, условными обозначениями и т.д.

Для обозначения изображений (видов, разрезов, сечений), поверхностей, размеров и других элементов изделия применяют прописные буквы русского алфавита, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Х, Ъ, Ы, Ь, и, при необходимости, буквы латинского алфавита, исключая буквы I и O.

Буквенные обозначения присваивают в алфавитном порядке без повторения и, как правило, без пропусков независимо от количества листов чертежа. Предпочтительно обозначать сначала изображения.

В случае недостатка букв применяют цифровую индексацию, например: "А"; "А₁"; "А₂"; "Б-Б"; "Б₁-Б₁"; "Б₂-Б₂".

Буквенные обозначения не подчеркивают.

Размер шрифта буквенных обозначений должен быть больше размера цифр размерных чисел, применяемых в том же графическом документе, приблизительно в два раза.

Масштаб изображения, отличающийся от указанного в основной надписи, указывают непосредственно после надписи, относящейся к изображению, например: А-А (1:1); Б (5:1); А (2:1).

Текстовую часть располагают над основной надписью и выполняют в соответствии с [ГОСТ 2.105](#).

Между текстовой частью и основной надписью не допускается помещать изображения, таблицы и т.п.

На листах формата более А4 допускается размещение текста в две и более колонки. Ширина колонки должна быть не более 185 мм.

На рабочих чертежах деталей, для которых стандартом установлена таблица параметров (например, зубчатые колеса, червяка и т.п.), таблицу выполняют по правилам, установленным [ГОСТ 2.105](#) и другими стандартами. Все другие таблицы помещают на свободном месте справа от изображения или ниже его и выполняют по [ГОСТ 2.105](#).

При необходимости таблицу параметров и другие таблицы допускается выполнять в рабочем пространстве электронной модели с учетом требований [ГОСТ 2.052](#). В этом случае их рекомендуется выполнять на отдельном информационном уровне.

Технические требования излагают, группируя вместе однородные и близкие по своему характеру требования, по возможности в следующей последовательности:

- требования, предъявляемые к материалу, заготовке, термической обработке и к свойствам материала готовой детали (электрические, магнитные, диэлектрические, твердость, влажность, гигроскопичность и т.п.), указания материалов-заменителей;
- размеры, предельные отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, массы и т.п.;
- требования к качеству поверхностей, указания об их отделке, покрытии;
- зазоры, расположение отдельных элементов конструкции;
- требования, предъявляемые к настройке и регулированию изделия;
- другие требования к качеству изделий (например: бесшумность, виброустойчивость, самоторможение и т.д.);
- условия и методы испытаний;
- указания о маркировании и клеймении;
- правила транспортирования и хранения;
- особые условия эксплуатации;
- ссылки на другие документы, содержащие технические требования, распространяющиеся на данное изделие, но не приведенные на чертеже.

Пункты технических требований должны иметь сквозную нумерацию. Каждый пункт технических требований записывают с новой строки.

Заголовок "Технические требования" не пишут.

В случае, если необходимо указать техническую характеристику изделия, ее размещают отдельно от технических требований, с самостоятельной нумерацией пунктов, на свободном поле чертежа под заголовком "Техническая характеристика". При этом над техническими требованиями

помещают заголовок "Технические требования". Оба заголовка не подчеркивают.

В основной надписи чертежа детали указывают не более одного вида материала. Если для изготовления детали предусматривается использование заменителей материала, то их указывают в технических требованиях чертежа или технических условиях на изделие.

На чертежах деталей и в спецификации условные обозначения материала должны соответствовать обозначениям, установленным стандартами на материал. При отсутствии стандарта на материал его обозначают по техническим условиям.

Обозначение материала детали по стандарту на сортамент записывают на чертеже только в тех случаях, когда деталь в зависимости от предъявляемых к ней конструктивных и эксплуатационных требований должна быть изготовлена из сортового материала определенного профиля и размера, например: Круг $\frac{40 \text{ ГОСТ } 1133-71}{У 10 \text{ ГОСТ } 1435-90}$.

Схема

Схема – это документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

Схемы, входящие в состав конструкторской документации изделия, должны по видам и типам исполнения отвечать требованиям ГОСТ 2.701 – 2008.

Количество типов схем на изделие (установку) должно быть минимальным, но в совокупности они должны содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта изделия (установки).

Форматы листов схем выбирают в соответствии с требованиями, установленными в [ГОСТ 2.301](#) и [ГОСТ 2.004](#), при этом основные форматы являются предпочтительными.

При выборе форматов следует учитывать:

- объем и сложность проектируемого изделия (установки);
- необходимую степень детализации данных, обусловленную назначением схемы;
- условия хранения и обращения схем;
- особенности и возможности техники выполнения, репродуцирования и (или) микрофильмирования схем;
- возможность обработки схем средствами вычислительной техники.

Выбранный формат должен обеспечивать компактное выполнение схемы, не нарушая ее наглядности и удобства пользования ею.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделия (установки) не учитывают или учитывают приближенно.

Схема – это документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

Виды схем в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия (установки), и их коды представлены в табл. 1.1.

Наименование и код схемы определяют их видом и типом.

Наименование комбинированной схемы определяют комбинацией видов схем одного типа.

Наименование объединенной схемы определяют комбинацией типов схем одного вида.

Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы (см. табл. 1.1), и цифровой части, определяющей тип схемы (см. табл. 1.2): например, схема электрическая принципиальная – Э3; схема гидравлическая соединений – Г4; схема деления структурная – Е1; схема электрогидравлическая принципиальная – С3; схема электрогидропневмокинематическая принципиальная – С3; схема электрическая соединений и подключения – Э0; схема гидравлическая структурная, принципиальная соединений – Г0.

Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделия (установки) не учитывают или учитывают приближенно.

Условные графические обозначения (УГО) элементов, устройств, функциональных групп и соединяющие их линии взаимосвязи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его составных частей.

При выполнении схем применяют следующие графические обозначения:

- УГО, установленные в стандартах Единой системы конструкторской документации, а также построенные на их основе;

- прямоугольники;

- упрощенные внешние очертания (в том числе аксонометрические).

При необходимости применяют нестандартизованные УГО.

УГО элементов изображают в размерах, установленных в соответствующих стандартах Единой системы конструкторской документации на УГО. УГО, соотношения размеров которых приведены в соответствующих стандартах.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа. Для электронных документов перечень элементов выполняют только в виде самостоятельного документа.

Спецификация

Этот документ является неотъемлемой частью сборочного чертежа.

Спецификацию составляют на отдельных листах формата А4 на каждую сборочную единицу, комплекс и комплект.

В спецификацию вносят составные части, входящие в специфицируемое изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям.

Спецификация в общем случае состоит из разделов, которые располагают в следующей последовательности:

- документация;
- комплексы;
- сборочные единицы;
- детали;
- стандартные изделия;
- прочие изделия;
- материалы;
- комплекты.

Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия. Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают.

Допускается объединять разделы «Стандартные изделия» и «Прочие изделия» под наименованием «Прочие изделия». Запись изделий в этом случае производят также как для раздела «Прочие изделия».

В раздел «Документация» вносят документы, составляющие основной комплект конструкторских документов специфицируемого изделия, кроме его спецификации, ведомости эксплуатационных документов и ведомости документов для ремонта, а также документы основного комплекта записываемых в спецификацию неспецифицируемых составных частей (деталей), кроме их рабочих чертежей.

В разделы «Комплексы», «Сборочные единицы» и «Детали» вносят комплексы, сборочные единицы и детали, непосредственно входящие в специфицируемое изделие. Запись указанных изделий рекомендуется производить в алфавитном порядке, по возрастанию порядкового регистрационного номера.

В разделе «Стандартные изделия» записывают изделия, примененные по стандартам:

- межгосударственным (международным);
- государственным (национальным);
- отраслевым;
- предприятий (для вспомогательного производства, инициативных разработок или если их применение установлено техническим заданием на разработку изделия).

В пределах каждой категории стандартов запись рекомендуется производить по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению (например, подшипники, крепежные изделия, электротехнические изделия и т.п.), в пределах каждой группы - в алфавитном порядке наименований изделий, в пределах каждого наименования - в порядке воз-

растания обозначений стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта - в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Прочие изделия» вносят изделия, примененные по техническим условиям, и импортные покупные изделия, примененные по сопроводительной технической документации зарубежных изготовителей (поставщиков). Запись изделий рекомендуется производить по группам, объединенным по их функциональному назначению; в пределах каждой группы - в алфавитном порядке наименований изделий, а в пределах каждого наименования - в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

Графы спецификации заполняют следующим образом:

- в графе «Формат» указывают форматы документов, обозначения которых записаны в графе «Обозначение». Если документ выполнен на нескольких листах различных форматов, то в графе «Формат» проставляют «звездочку» со скобкой, а в графе «Примечание» перечисляют все форматы в порядке их увеличения.

Для документов, записанных в разделе «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы», графу «Формат» не заполняют.

Для деталей, на которые не выпущены чертежи, в графе «Формат» указывают БЧ.

- в графе «Зона» указывают обозначение зоны, в которой находится номер позиции записываемой составной части (при разбивке поля чертежа на зоны по [ГОСТ 2.104](#)).

Если имеются повторяющиеся номера позиций, то в спецификации в графе «Зона» проставляют «звездочку» со скобкой, а в графе «Примечание» указывают все зоны;

- в графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей, непосредственно входящих в специфицируемое изделие, в последовательности записи их в спецификации. Для разделов «Документация», «Комплекты» графу «Поз.» не заполняют;

В графе «Обозначение» указывают:

- в разделе «Документация» - обозначение записываемых документов;
- в разделе «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали», «Комплекты» - обозначение основных конструкторских документов на записываемые в эти разделы изделия. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, - присвоенное им обозначение.

В разделах «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы» графу «Обозначение» не заполняют. Если для изготовления стандартного изделия выпущена конструкторская документация, в графе «Обозначение» указывают обозначение выпущенного основного конструкторского документа:

- в графе «Наименование» указывают:

- в разделе «Документация» для документов, входящих в основной комплект документов специфицируемого изделия и составляемых на дан-

ное изделие, - только наименование документов, например: «Сборочный чертеж», «Габаритный чертеж», «Технические условия». Для документов на неспецифицированные составные части - наименование изделия и наименование документа;

в разделах спецификации «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали», «Комплекты» - наименования изделий в соответствии с основной надписью на основных конструкторских документах этих изделий. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, указывают наименование, материал и другие данные, необходимые для изготовления;

в разделе «Стандартные изделия» - наименования и обозначения изделий в соответствии со стандартами на эти изделия;

в разделе «Прочие изделия» - наименования и условные обозначения изделий в соответствии с документами на их поставку с указанием обозначений этих документов.

в разделе «Материалы» - обозначения материалов, установленные в стандартах или технических условиях на эти материалы.

- в графе «Кол.» указывают:

для составных частей изделия, записываемых в спецификацию, количество их на одно специфицируемое изделие;

в разделе «Материалы» - общее количество материалов на одно специфицируемое изделие с указанием единиц измерения. Допускается единицы измерения записывать в графе «Примечание» в непосредственной близости от графы «Кол.».

В разделе «Документация» графу не заполняют;

- в графе «Примечание» указывают дополнительные сведения для планирования и организации производства, а также другие сведения, относящиеся к записанным в спецификацию изделиям, материалам и документам, например, для деталей, на которые не выпущены чертежи, - массу.

Для документов, выпущенных на двух и более листах различных форматов, указывают обозначение форматов, перед перечислением которых проставляют знак «звездочки», например, *) А4, А3.

После каждого раздела спецификации допускается оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей (в зависимости от стадии разработки, объема записей и т.п.). Допускается резервировать и номера позиций, которые проставляют в спецификацию при заполнении резервных строк.

Допускается совмещение спецификации со сборочным чертежом в бумажной форме при условии их размещения на листе формата А4. При этом ее располагают над основной надписью и заполняют в том же порядке и по той же форме, что и спецификацию, выполненную на отдельных листах.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ РАЗДЕЛОВ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

2.1. Цилиндрические винтовые пружины

Винтовые пружины широко используются в качестве упругих элементов для:

- замыкания кинематических цепей;
- возвращения в исходное положение подвижных частей приборов;
- параллельного соединения с другими чувствительными элементами и создания необходимой жесткости;
- в качестве чувствительных элементов в механических динамометрах, торсиометрах.
- фиксации положения и аккумуляирования энергии.

Винтовые цилиндрические пружины бывают трех типов: пружины растяжения; пружины сжатия и пружины кручения.

По характеру деформаций различают два типа пружин – это пружины сжатия-растяжения, в материале которых возникают напряжения кручения, и пружины кручения, материал которых работает на изгиб.

Пружины изготавливают из углеродистых и легированных сталей с содержанием углерода 0,5...1,1%.

Из углеродистых сталей изготавливают пружины с диаметром проволоки до 10 мм, из легированных сталей – пружины, работающие при высоких напряжениях или повышенных температурах.

В табл.2.1 приведены основные материалы, применяемые для изготовления пружин и их механические свойства после термообработки.

Таблица 2.1 – Механические свойства материалов, применяемых для изготовления пружин

Материал	Марка	Предел прочности на растяжение σ_B , МПа	Предел прочности на кручение τ , МПа	Относительное удлинение δ , %
1	2	3	4	5
Углеродистые стали	65	1000	800	9
	70	1050	850	8
	75	1800	900	7
	85	1150	1000	6
Рояльная проволока	–	2000-3000	1200-1800	2-3
Холоднокатаная пружинная проволока	Н	1000-1800	600-1000	
	П	1200-2200	700-1300	
	В	1400-2800	800-1600	

Продолжение табл.2.1.

Материал	Марка	Предел прочности на растяжение σ_B , МПа	Предел прочности на кручение τ , МПа	Относительное удлинение δ , %
Марганцовистые стали	65Г	700	400	8
	55ГС	650	350	10
Хромованадиевая сталь	50ХФА	1300	1100	10
Коррозионно-стойкая сталь	40Х13	1100	800	12
Кремнистые стали	55С2	13	1200	6
	60С2А		1200	5
	70С3А	1800	1600	5
Хромомарганцовистые стали	50ХГ	1300	1100	5
	50ХГА		1200	6
Никелькремниевая сталь	60С2Н2А	1800	1600	5
Хромокремневанадиевая сталь	60С2ХФА	1900	1700	
Вольфрамокремниевая сталь	65С2ВА			

В таблице 2.2 приведены механические свойства медных сплавов.

Таблица 2.2 – Механические свойства медных сплавов

Материал	Марка	Предел прочности на растяжение σ_B , МПа	Предел прочности на кручение τ , МПа	Относительное удлинение δ , %
1	2	3	4	5
Оловянистоцинковая бронза	БрО4Ц3	800-900	500-550	1-2
Кремнемарганцовистая бронза	БрК3Мц1			
Бериллиевые бронзы	БрБ2 БрБ2,5	800-1000	500-600	1-2

2.1.1. Методика расчета

Винтовые пружины сжатия-растяжения

Конструкция и параметры винтовой пружины сжатия приведены на рис. 2.1, винтовой пружины растяжения – на рис. 2.2.

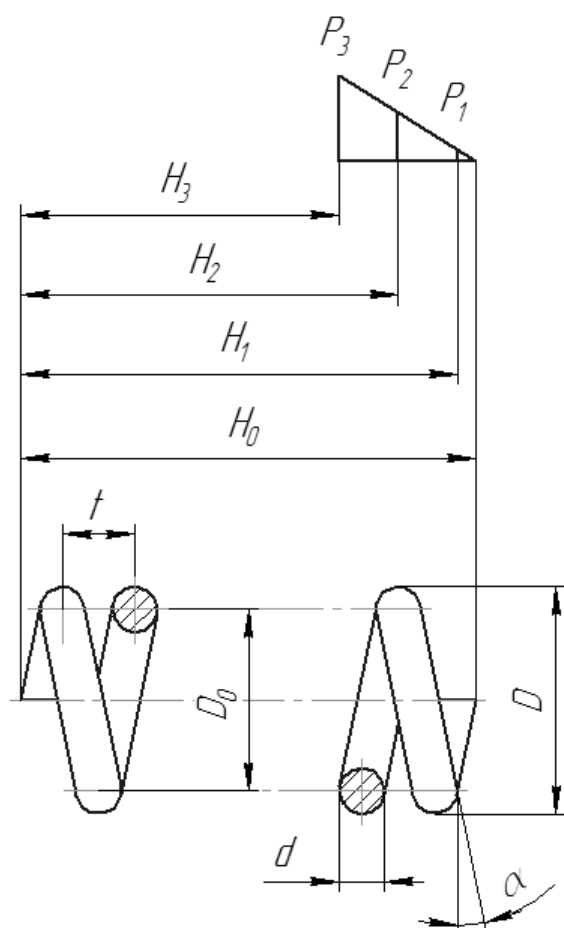


Рисунок 2.1 – Винтовая пружина сжатия

На рис. 2.1 и рис. 2.2 приняты следующие обозначения: d – диаметр проволоки пружины, мм; D – наружный диаметр пружины, мм; D_0 – средний диаметр пружины, мм; P_1 – сила предварительной деформации пружины, Н; P_2 – сила пружины при рабочей деформации, Н; P_3 – предельно-допустимая нагрузка на пружину, Н; H_0 – высота пружины в свободном состоянии, мм; H_1 – высота пружины при предварительной деформации, мм; H_2 – высота пружины при рабочей деформации, мм; H_3 – высота пружины при максимально-допустимой деформации, мм; L – длина проволоки развернутой пружины, мм; t – шаг витка пружины, мм; α – угол подъема винтовой линии, град.; n – число рабочих витков; n_1 – полное число витков.

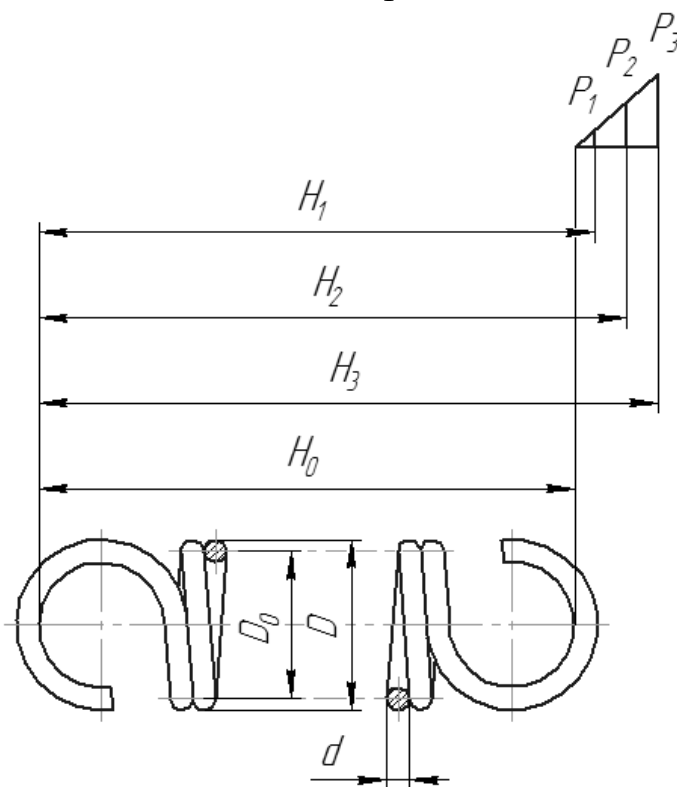


Рисунок 2.2 – Винтовая пружина растяжения

Порядок расчета пружин сжатия-растяжения

Чаще всего в качестве исходных данных для расчета задают рабочую нагрузку P_2 и ход пружины $\lambda_{\text{раб}}$ рабочей нагрузки.

В дальнейшем расчет пружины сводится к:

- определению силы предварительной деформации пружины P_1 :

$$P_1 = (0,3 \dots 0,8) P_2,$$

где P_2 – сила пружины при рабочей деформации, Н;

- определению предельно допустимой нагрузки на пружину P_3 :

$$P_3 = (1,2 \dots 1,5) P_2;$$

- определению диаметра проволоки пружины:

$$d = \sqrt{\frac{8P_2 \cdot k \cdot c}{\pi \cdot [\tau_k]}},$$

где $[\tau_k]$ – допускаемое напряжение кручения, МПа (табл. 2.1).

k – вспомогательный коэффициент, учитывающий напряжение среза $\tau_{\text{ср}}$;

$$k \approx \frac{4c + 2}{4c - 3},$$

c – индекс пружины. Индекс пружины обычно задается в пределах $c = 6 \dots 16$, в приборостроении чаще всего применяют $c = 8 \dots 10$.

Из выражения $c = D_0/d$ находят значение диаметра проволоки пружины округляют до ближайшего значения по сортаменту диаметров пружинной проволоки [1].

- определение среднего диаметра пружины D_0 :

$$D_0 = c \cdot d;$$

- определение наружного диаметра пружины D :

$$D = (c + 1) \cdot d;$$

- определение полного прогиба пружины λ_2 :

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_{\text{раб}} \cdot P_2}{P_2 - P_1},$$

где $\lambda_{\text{раб}}$ – рабочий ход пружины (назначается или вычисляется по условиям работы механизма).

- определение числа рабочих витков n :

$$n = \frac{\lambda_2 \cdot d \cdot G}{8P_2 \cdot c^3},$$

где G – модуль сдвига, МПа:

для пружинных сталей $G = (7,6 \dots 8,2) \cdot 10^4$ МПа;

для сплавов на медной основе $G = (4,5 \dots 5,0) \cdot 10^4$ МПа.

- определение числа полных витков пружины n_1 :

$$n_1 = n + n_2,$$

где n_2 – число опорных витков.

– определение шага навивки пружины t :

для пружины растяжения $t = (1...1,5) d$;

для пружины сжатия $t = d + (1,1...1,2) \frac{\lambda_2}{n}$

– определение высоты пружины в свободном состоянии H_0 :

$$H_0 = t \cdot n + 2\delta,$$

где δ – длина пружины, используемая для крепления ее концов и зависящая от способа крепления пружины.

– определение высоты пружины при рабочей деформации H_2 :

$$H_2 = H_0 \pm \lambda_2.$$

Знак «+» для пружины растяжения, знак «-» для пружины сжатия.

– определение коэффициента жесткости пружины:

$$K = \frac{P_2 - P_1}{\lambda_{раб}},$$

$$\frac{P_1}{\lambda_1} = \frac{P_2}{\lambda_2}$$

– определение длины развернутой проволоки L :

$$L = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot n}{\cos \alpha} + 2\Delta,$$

где Δ – длина проволоки для крепления;

α – угол подъема витков:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{t}{\pi \cdot D_0} \right).$$

Винтовые пружины кручения.

На пружину кручения действует пара сил, закручивающая ее в поперечных сечениях. Винтовые пружины кручения применяют в качестве прижимных аккумулирующих и упругих звеньев силовых передач.

Конструкция и параметры винтовой пружины кручения приведены на рис. 2.3. На рис. 2.3 приняты следующие обозначения: d – диаметр проволоки пружины, мм; D – наружный диаметр пружины, мм; D_0 – средний диаметр пружины, мм; P_1 – сила предварительной деформации пружины, Н; P_2 – сила пружины при рабочей деформации, Н; P_3 – предельно-допустимая нагрузка на пружину, Н; H_0 – высота пружины в свободном состоянии, мм; L – длина проволоки развернутой пружины, мм; ℓ – плечо приложения силы; t – шаг витка пружины, мм; n – число рабочих витков; n_1 – полное число витков.

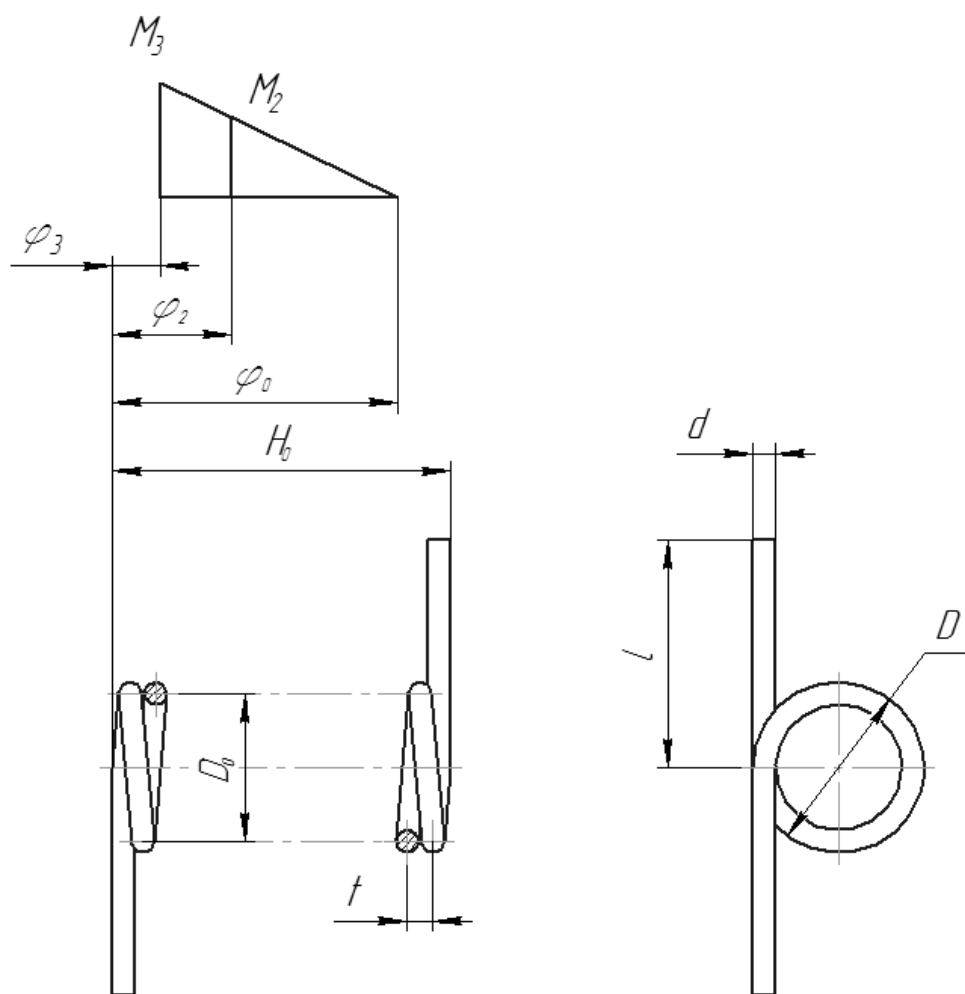


Рисунок 2.3 – Винтовая пружина кручения

Порядок расчета пружин кручения

В качестве исходных данных для расчета пружин кручения задают: сила пружины при рабочей деформации P_2 , плечо приложения силы ℓ и рабочий угол закручивания $\varphi_{\text{раб}}$.

В дальнейшем расчет пружины кручения проводится в следующем порядке:

- определение рабочего крутящего момента M_2 , Н·мм:

$$M_2 = P_2 \cdot \ell.$$

- определение установочного предварительного крутящего момента M_1 , Н·мм:

$$M_1 = (0,1 \dots 0,5) M_2.$$

В случае, если установочная нагрузка не предусматривается $M_1 = 0$.

- определение предельно-допустимого крутящего момента M_3 , Н·мм:

$$M_3 = 1,25 M_2.$$

- определение диаметра проволоки:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_2 \cdot k}{\pi[\sigma_F]}},$$

где k – поправочный коэффициент формы сечения и кривизны витка, который в зависимости от индекса пружины c обычно равен $k = 1,1 \dots 1,2$.

$[\sigma_F]$ – допускаемые напряжения изгиба, МПа:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_B}{k_{зан}},$$

где σ_B – предел прочности на растяжение, МПа;

$k_{зан}$ – коэффициент запаса прочности, который находится в пределах $k_{зан} = 1,5 \dots 2,5$.

Полученное значение диаметра проволоки пружины округляют до ближайшего значения по сортаменту диаметров пружинной проволоки [1].

- определение среднего диаметра пружины в свободном состоянии D_0 :

$$D_0 = c \cdot d,$$

где c – индекс пружины, который принимают в зависимости от диаметра проволоки по табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Зависимость c от диаметра проволоки

d , мм	0,2...0,4	0,45...1,0	1,1...2,5	2,8...6	7...14
c	16...8	12...6	10...5	10...4	8...4

- определение рабочего угла закручивания при наличии предварительного установочного крутящего момента M_1 , град:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_{раб}}{\left(1 - \frac{M_1}{M_2}\right)}.$$

В случае отсутствия M_1 $\varphi_2 = \varphi_{раб}$.

- определение наибольшего угла закручивания при действии M_3 , град:

$$\varphi_3 = 1,25 \varphi_2.$$

- определение начального угла закручивания при действии M_1 , град:

$$\varphi_1 = \varphi_2 - \varphi_{раб} \approx \frac{\varphi_2 M_1}{M_2}.$$

- определение числа рабочих витков пружин n :

$$n = \frac{545 \cdot \varphi_{раб} \cdot d^3}{(M_2 - M_1) \cdot c},$$

$$n = \frac{100 \cdot k \cdot \varphi_2}{18 \cdot c \cdot [\sigma_F]}.$$

– определение наименьшего числа витков пружины из условия устойчивости пружины:

$$n \geq n_{min},$$

где $n_{min} = \left(\frac{\varphi_3}{123,1} \right)^4$.

– определение высоты пружины в свободном состоянии H_0 :

$$H_0 = (n + 1) \cdot d + n\delta,$$

где δ – зазор между витками, находится в пределах $\delta = 0,1 \dots 0,5$ мм.

– определение шага пружины t :

$$t = d + \delta.$$

– определение длины проволоки развернутой пружины L

$$L \approx 3,2 \cdot D_0 + N + \ell_{приц},$$

где $\ell_{приц}$ – длина проволоки прицепов, мм.

– проверочный расчет пружины по напряжениям изгиба:

$$\sigma_F \leq [\sigma_F],$$

где $\sigma_F = \frac{32 \cdot M_2 \cdot k}{\pi d^3}$.

2.2. Расчёт упругих плоскопружинных параллелограммов

В качестве материала для пружин принимается сталь 65Г. Конструктивно пружинный параллелограмм может выполняться с накладками и без накладок в средней части плоских пружин. Схема одиночного параллелограмма без накладок показана на рис. 2.4.

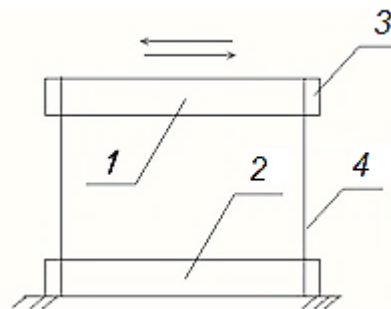


Рисунок 2.4 – Схема одиночного параллелограмма без накладок в средней части пружин

Две стороны параллелограмма образованы неподвижной кареткой 2 и подвижной 1, которые соединены с прямыми плоскими пружинами 4 накладками 3.

На рис. 2.5 показана расчётная схема параллелограмма с накладками в средней части пружин.

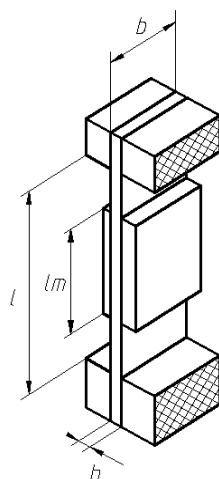


Рисунок 2.5 – Схема параллелограмма с накладками

На рис. 2.5 приняты следующие обозначения:

ℓ – рабочая длина пружины;

$\ell_m = m\ell$ – длина накладок, выраженная в долях рабочей длины пружины;

$m = 0,5 \dots 0,7$ – коэффициент длины накладки;

b – ширина пружины;

h – толщина пружины.

Основные параметры плоских пружин выбирают в зависимости от многих факторов и, в частности, от размера и веса измерительных губок, кареток с преобразователем и настроечным винтом, допустимой ширины измерительной скобы. Поэтому основные конструктивные размеры предварительно принимаются с учётом указанных факторов, а затем проводятся проверочные расчёты, возникающих напряжений, при максимально возможных деформациях пружин в процессе измерения и арретирования.

1. Расчёт напряжений на изгиб.

Максимальное напряжение на изгиб

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II}}{W}, \quad (1)$$

где $M_{II} = \frac{P\ell}{4}$ – изгибающий момент в опасном сечении (эпюра, рис. 2.6) с учётом двух пружин параллелограмма; P – поперечное усилие.

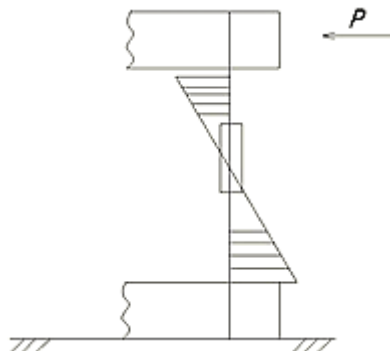


Рисунок 2.6 – Расчётная схема при определении напряжения в пружине

Момент сопротивления сечения пружины равен:

$$W = \frac{bh^2}{6} . \quad (2)$$

Следовательно, напряжение изгиба определится из следующего выражения:

$$\sigma_{из} = \frac{3P\ell}{2bh^2} . \quad (3)$$

При смещении подвижной каретки параллелограмма на величину арретирования Δx соответствующее усилие деформации составляет:

$$P = k_x \Delta x , \quad (4)$$

где k_x – коэффициент жёсткости параллелограмма с накладками.

Коэффициент жёсткости параллелограмма с накладками определяется из выражения:

$$k_x = \frac{2Eb}{(1-m^3)} \left(\frac{h}{\ell} \right)^3 . \quad (5)$$

Подставив выражение 5 в формулу 4 получим:

$$P = \frac{2Eb}{(1-m^3)} \left(\frac{h}{\ell} \right)^3 \Delta x . \quad (6)$$

Тогда максимальное напряжение изгиба пружины параллелограмма при арретировании его на величину Δx составит:

$$\sigma_{из} = \frac{3E}{(1-m^3)} \left(\frac{h}{\ell} \right) \left(\frac{\Delta x}{\ell} \right) \leq [\sigma] , \quad (7)$$

где $E = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости первого рода для стали; $[\sigma] = 150 \dots 190$ МПа – допускаемое напряжение.

Если расчетная величина напряжения изгиба превышает допускаемое напряжение, то необходимо изменить конструктивные параметры.

2. Расчёт пружинного параллелограмма на устойчивость.

При установке измерительной скобы на поверхность контролируемой детали (рис. 2,7, а) и измерении диаметра в процессе её вращения (рис. 2,7, б) параллелограмм нагружается усилием F , которое может привести к потере его устойчивости.

Попытки получить продольную устойчивость без применения накладок в средней части пружин приводит к необходимости слишком большого увеличения толщины плоских пружин.

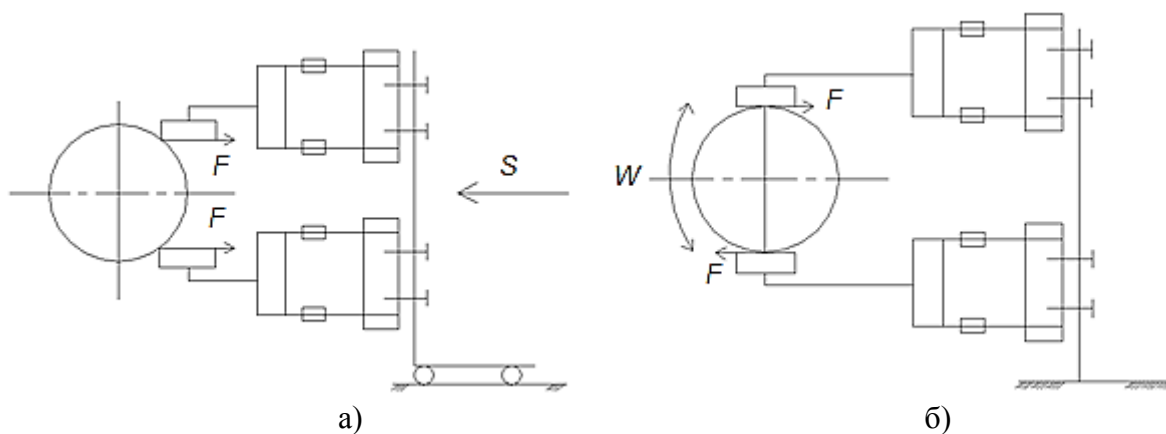


Рисунок 2.7 – Схемы измерения

Критическое значение $F_{кр}$ продольного усилия определяется из выражения (рис. 2.8)

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 E b}{12} \frac{h^3}{(1-m)^2 \ell^2} . \quad (8)$$

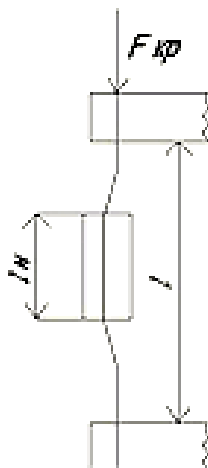


Рисунок 2.8 – Расчётная схема для определения продольной устойчивости пружин

По сравнению с пружиной тех же размеров без накладок критическая сила увеличивается в $\frac{1}{(1-m)^2}$ раз.

2.3. Расчет шариковой направляющей

К направляющим прямолинейного движения, используемым в измерительных устройствах автоматизированных измерительных систем, предъявляются следующие требования:

- точность и плавность перемещения;
- малая величина сил трения;
- требуемый диапазон перемещений.

Данным требованиям удовлетворяют три типа направляющих: шариковые, аэростатические и направляющие на прямых плоских пружинах.

Шариковые и аэростатические направляющие обеспечивают большой диапазон перемещений. Направляющие на прямых плоских пружинах имеют ограниченный диапазон перемещений (3-5 мм), но точность их выше, чем у шариковых и аэростатических. Достоинством направляющих на прямых плоских пружинах является также простота и невысокая стоимость конструкции. В измерительных устройствах для контроля линейных размеров деталей нашли широкое применение шариковые направляющие и направляющие на прямых плоских пружинах.

Конструкция шариковой направляющей, показанная на рис. 2.9 состоит из следующих основных деталей: неподвижных направляющих 2 и 3, положение которых фиксируется на плите 1 винтами 10 и штифтами 11 и подвижной каретки 4.

Направляющие 2, 3 и каретка 4 имеют призматические пазы, выполненные на их боковых поверхностях. В пазах находятся четыре шарика 8 (по два с каждой стороны каретки), образующих направляющую трения качения. Для сохранения постоянного расстояния l между шариками при движении каретки служит сепаратор, образованный четырьмя зубчатыми колёсами 7 и четырьмя рейками 5. Две рейки винтами 6 закреплены на неподвижных направляющих 2 и 3, а две другие – на нижней плоскости подвижной каретки 4.

В зацеплении с рейками входят зубчатые колёса 7, в отверстиях которых находятся шарiki 8 (сечение А-А и Б-Б, рис. 2.9).

Планки 9, прикрепленные к торцевым поверхностям подвижной каретки, ограничивают свободный ход каретки 4.

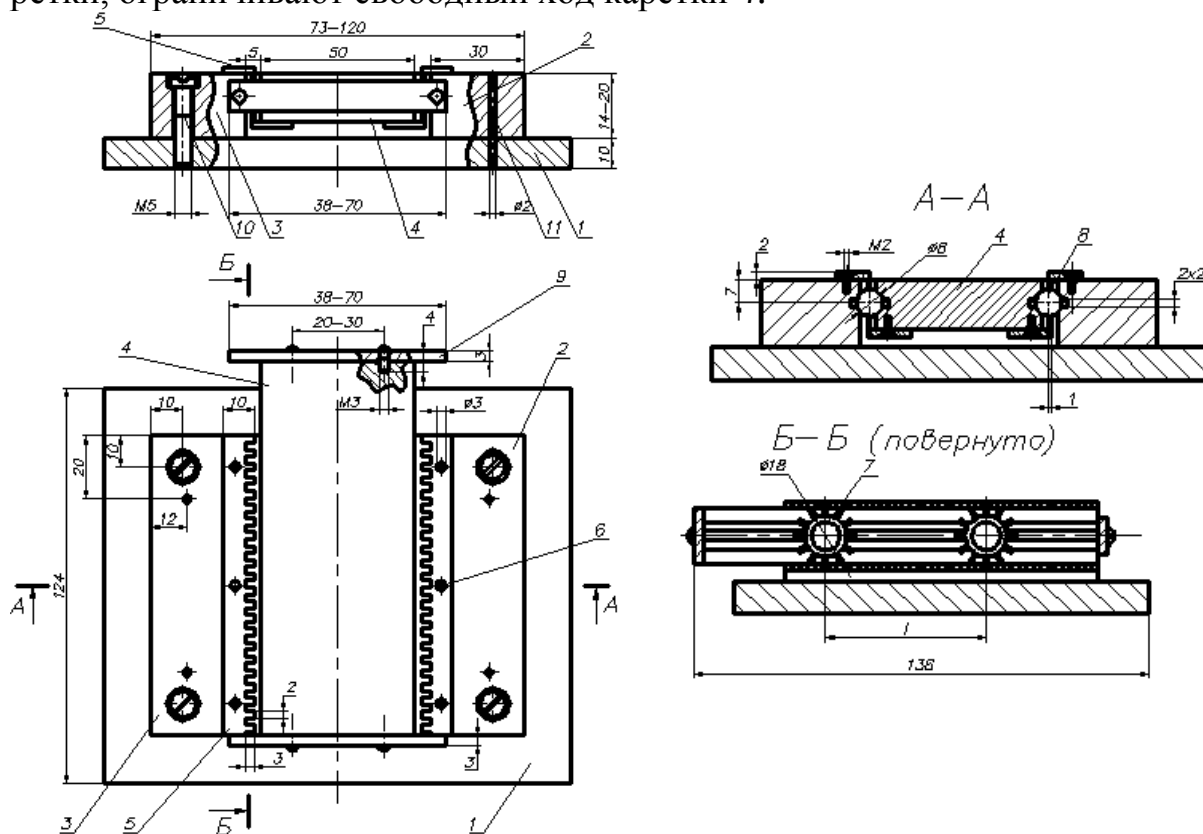


Рисунок 2.9 – Шариковая направляющая

2.3.1. Геометрический расчет шариковой направляющей

В зависимости от способа установки шариков различают направляющие с перекатывающимися шариками и вращающимися вокруг своей оси шариками. В первом случае при перемещении каретки шарики перекатываются по основанию и оси тел качения перемещаются как относительно каретки, так и относительно основания (рис. 2.10, а). Во втором случае тела качения закреплены на осях и при перемещении каретки вращаются в своих гнездах, а оси тел остаются неподвижными относительно каретки и основания (рис. 2.10, б).

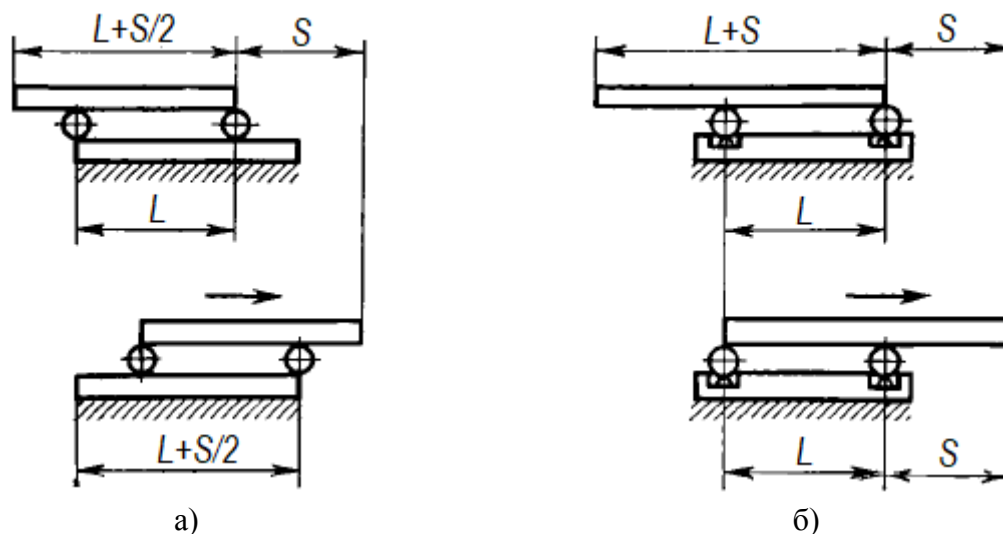


Рисунок 2.10 – Конструктивные схемы шариковых направляющих

Из сравнительного анализа направляющих с различной установкой шариков видно, что теоретическая длина каретки и основания ℓ_0 в случае применения перекатывающихся шариков $\ell_0 = L + S/2$, где L – расстояние между центрами шариков, S – ход каретки, а в случае вращающихся шариков $\ell_0 = L + S$. Следовательно, при проектировании приборных устройств с большим ходом каретки более целесообразна конструкция, в которой тела вращения перемещаются вместе с подвижной кареткой, что позволяет уменьшить ее длину. С другой стороны, при установке шариков во вращающихся гнездах исключается влияние погрешности формы поверхности основания, поэтому такие направляющие при прочих равных условиях обеспечивают более высокую точность перемещения каретки.

В качестве примера на рис. 2.11 показана типовая конструктивная схема направляющих с трением качения с перекатывающимися шариками 1 и сепараторами 2.

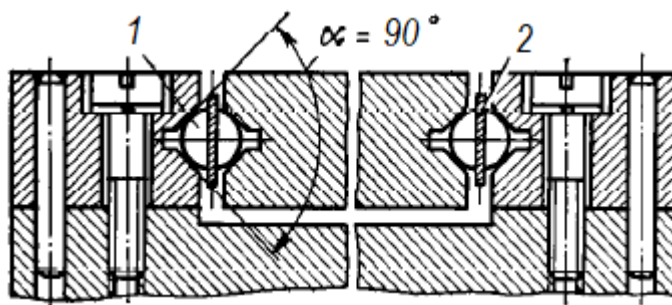


Рисунок 2.11 – Типовая конструктивная схема шариковой направляющей

Сепараторы в направляющих служат для выдерживания расстояния между телами качения, предотвращения выкатывания шариков за пределы направляющих, а в некоторых случаях сепараторы ограничивают перемещение подвижной каретки. В качестве примера на рис. 2.12 показан свободный сепаратор 1, служащий для выдерживания заданного расстояния между шариками. Сепаратор имеет отверстие D для шарика и вырезы, в которые входят штифты 2, ограничивающие перемещение сепаратора. При ходе S каретки длина выреза $\ell = S/2 + d$, d – диаметр ограничительного штифта.

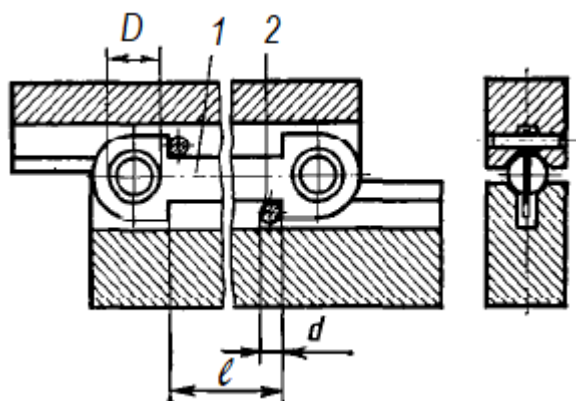


Рисунок 2.12 – Конструктивная схема шариковой направляющей со свободным сепаратором

2.3.2. Силовой расчет шариковой направляющей

1. Шариковая направляющая, нагруженная силой веса.

На рис. 2.13 показана схема нагружения каретки шариковой направляющей. На схеме приняты следующие обозначения: P – усилие прижима каретки к упору; F – усилие, необходимое для перемещения каретки; G – вес (нагрузка).

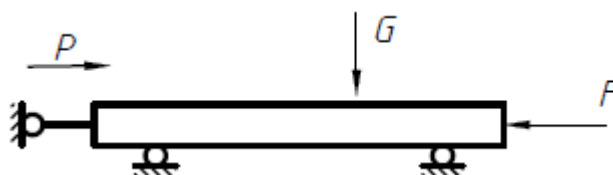


Рисунок 2.13 – Схема нагружения каретки

Рассмотрим усилие, действующее на шарик (рис. 2.14).

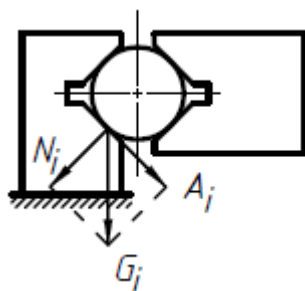


Рисунок 2.14 – Усилие, действующее на шарик

Здесь N_i – нормальная составляющая, действующая на шарик; A_i – касательная (тангенциальная) составляющая G_i – нагрузка, действующая на шарик, определяемая из выражения:

$$G_i = G / z ,$$

где z – число шариков.

Нормальная составляющая, действующая на шарик равна:

$$N_i = G_i \cos \beta = G \cos \beta / z , \quad (9)$$

где $\beta = 45^\circ$ – половина угла призматического профиля направляющей (рис. 2.15).

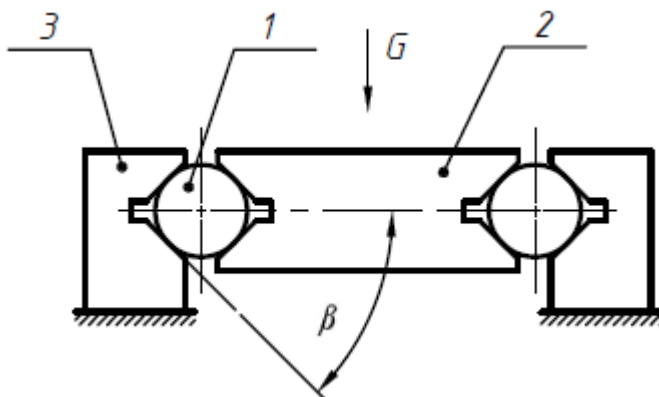


Рисунок 2.15 – Призматический профиль направляющей

Усилие, необходимое для перемещения каретки и прижима ее к упору с силой P определяется из выражения:

$$F = P + zF_{TG} , \quad (10)$$

где F_{TG} – сила трения одного шарика, рассчитываемая по формуле:

$$F_{TG} = nN_i f_k , \quad (11)$$

где f_k – коэффициент трения качения, $f_k = 0,01 \dots 0,02$; n – число точек контакта шарика с кареткой 2 и направляющей планкой 3 (рис. 2.11), $n = 2$.

С учетом (9) получим:

$$F_{TG} = \frac{nG}{z} f_k \cos \beta , \quad (12)$$

После подстановки (12) в формулу (10) имеем

$$F = P + nGf_{\kappa} \cos \beta. \quad (13)$$

2. Шариковая направляющая нагружена силой веса G и усилием перемещения каретки F , направленным под углом α к оси каретки.

Схема нагружения каретки представлена на рис. 2.16.

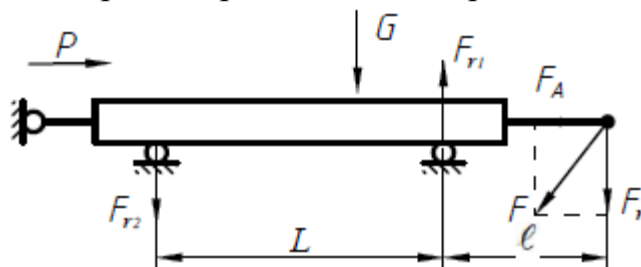


Рисунок 2.16 – Схема нагружения каретки

Усилие F , необходимое для перемещения каретки и прижима ее к упору с силой P равна

$$F = P + zF_{TG} + F_{TF_r} \quad (14)$$

где F_{TG} – сила трения в направляющей от силы веса; F_{TF_r} – сила трения в направляющей от силы F .

Радиальная составляющая F_r силы F прижимает каретку к направляющей, в результате чего в зонах контакта возникают реакции F_{r1} и F_{r2} (рис. 2.16), обуславливающие силу трения F_{TF_r} .

Уравнения равновесия

$$F_{r1} = (F_{r2} + F \sin \alpha); \quad F_{r2}L = F\ell \sin \alpha, \quad (15)$$

откуда

$$F_{r1} = [F(\ell + L)\sin \alpha] / kL; \quad F_{r2}L = F\ell \sin \alpha / kL, \quad (16)$$

где k – число шариков в сечении опор, $k = 2$.

Нормальные составляющие от сил F_{r1} и F_{r2} (рис.2.17) будут равны

$$F_{N1} = F_{r1} \cos \beta; \quad F_{N2} = F_{r2} \cos \beta. \quad (17)$$

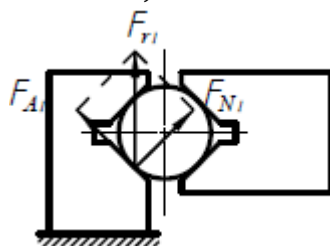


Рисунок 2.17 – Составляющие реакции в опоре

После подстановки F_{r1} и F_{r2} выражения (16) в (17) имеем:

$$F_{N1} = [F(\ell + L)\sin \alpha \cos \beta] / kL; \quad F_{N2} = (F\ell \sin \alpha \cos \beta) / kL. \quad (18)$$

Силы реакции F_{N1} и F_{N2} вызывают силу трения F_{TF_r}

$$F_{TF_r} = nf_{\kappa}(F_{N1} + F_{N2}), \quad (19)$$

где n – число точек контакта шарика с направляющей, $n = 2$;
 f_k – коэффициент трения качения.

Сила трения одного шарика в направляющей в зависимости от силы веса определяется с учетом формулы (11):

$$F_{TG} = nN_i f_k = \frac{nG}{z} f_k \cos \beta. \quad (20)$$

После подстановки (10) и (19) в формулу (14) получим:

$$F = P + nGf_k \cos \beta + nf_k (F_{N1} + F_{N2}).$$

С учетом (18) получим:

$$F = P + nGf_k \cos \beta + nf_k (F(\ell + L) \sin \alpha \cos \beta / kL + F\ell \sin \alpha \cos \beta / kL).$$

После преобразования получим:

$$F = P + nGf_k \cos \beta + \frac{nf_k F \sin \alpha \cos \beta}{kL} (2\ell + L),$$

откуда усилие перемещения каретки

$$F = \frac{P + nGf_k \cos \beta}{\left(1 - \frac{nf_k F \sin \alpha \cos \beta}{kL} (2\ell + L)\right)}. \quad (21)$$

3. Шариковая направляющая нагружена силой веса G и усилием перемещения каретки F , приложенным на расстоянии h параллельно оси каретки.

Схема нагружения каретки представлена на рис. 2.18.

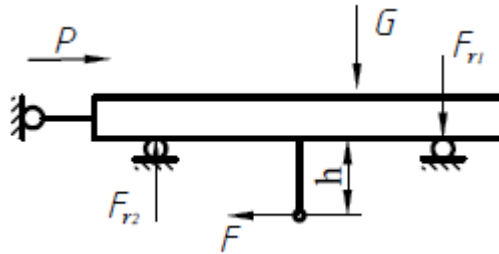


Рисунок 2.18 – Схема нагружения каретки

Сила F создает момент

$$M = Fh, \quad (22)$$

уравновешиваемый моментом пары сил, образованных реакциями F_r в опорах.

Уравнение равновесия каретки имеет вид:

$$Fh = F_r L, \quad (23)$$

откуда

$$F_r = \frac{Fh}{L}. \quad (24)$$

Реакция F_r раскладывается на нормальную и тангенциальную составляющие (рис. 2.17)

$$F_N = \frac{F_r \cos \beta}{k} = \frac{Fh \cos \beta}{kL}; F_A = \frac{F_r \sin \beta}{k}. \quad (25)$$

Составляющая F_N вызывает силу трения от силы F_T

$$F_{TF_r} = nF_N f_\kappa = n f_\kappa \frac{F_r \cos \beta}{k} = n f_\kappa \frac{Fh \cos \beta}{kL}, \quad (26)$$

где $n = 2$ – число точек контакта шарика с направляющей; k – число шариков в сечении.

Усилие, необходимое для перемещения каретки и прижима ее к упору с силой P определяется из выражения:

$$F = P + zF_{TG} + F_{TF_r}, \quad (27)$$

где F_{TG} – сила трения одного шарика в направляющей от силы веса; F_{TF_r} – сила трения в направляющей от силы F .

После подстановки F_{TG} и F_{TF_r} согласно формул (10) и (16) получим

$$F = P + nGf_\kappa \cos \beta + nf_\kappa \frac{Fh \cos \beta}{L}. \quad (28)$$

После преобразования получим выражение для расчета усилия перемещения каретки:

$$F = \frac{P + nGf_\kappa \cos \beta}{\left[1 - \frac{nhf_\kappa \cos \beta}{L}\right]}. \quad (29)$$

4. Шариковая направляющая вертикального перемещения нагружена силой веса G и усилием перемещения каретки, приложенным на расстоянии h параллельно оси каретки.

Схема нагружения каретки представлена на рис. 2.19.

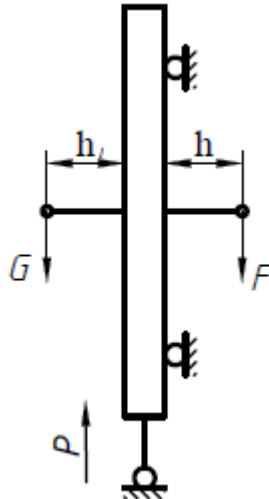


Рисунок 2.19 – Схема нагружения каретки

Усилие, необходимое для перемещения каретки и прижима ее к упору с силой P определяется из выражения

$$F = P - G + zF_{TG} + F_{TF_r} \quad (30)$$

Если требуемое усилие зажима P меньше или равно силе веса G , то усилие F , развиваемое приводом перемещения каретки должно только компенсировать потери на трение в приводе каретки. Отрицательное значение расчетной величины силы F означает, что усилие прижима к упору обеспечивается силой веса. При этом сила F должна быть направлена вверх, чтобы скомпенсировать часть веса измерительной скобы и каретки и обеспечить заданной усилие P прижима каретки к упору.

Нормальная составляющая от силы веса G равна

$$F_{NG} = \frac{Gh_1 \cos \beta}{kL}, \quad (31)$$

где $k = 2$ – число шариков в сечении.

Сила трения одного шарика F_{TG} от силы веса равна

$$F_{TG} = nF_{NG} f_k = nf_k \frac{Gh_1 \cos \beta}{zkL}, \quad (32)$$

где $n = 2$ – число точек контакта шарика с направляющей; $\beta = 45^\circ$ – половина угла призматического профиля направляющей.

Нормальная составляющая от усилия перемещения F каретки:

$$F_{NF} = \frac{Fh \cos \beta}{kL}. \quad (33)$$

Сила трения F_{TF_r} от усилия F , приложенного на расстоянии h согласно формулы (26) равна:

$$F_{TF_r} = n f_k \frac{Fh \cos \beta}{kL}. \quad (34)$$

Подставив выражения (32) и (34) в (30) получим:

$$F = P - G + nf_k \frac{Gh_1 \cos \beta}{kL} + nf_k \frac{Fh \cos \beta}{kL}.$$

После преобразования получим выражение для расчета усилия перемещения каретки:

$$F = \frac{P - G + nf_k \frac{Gh_1 \cos \beta}{kL}}{1 - n f_k \frac{h \cos \beta}{kL}}. \quad (35)$$

2.3.3. Прочностной расчет

Расчет проводится по контактным напряжениям σ_H в точке контакта шарика (сферы) с плоскостью направляющей

$$\sigma_H = m \sqrt[3]{\frac{N}{\rho_{PP}^2 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2}} \leq [\sigma_H], \quad (36)$$

где $\rho_{PP} = r_u$ – приведенный радиус кривизны при контакте шарика с плоскостью; $m = 0,616$ – коэффициент; E_1 и E_2 – модули упругости материалов контактирующих элементов (для стали $E = 18...22 \text{ Н / мм}^2$); N – нормальная составляющая сил, действующая на шарик; $[\sigma_H]$ – допускаемое контактное напряжение.

Допускаемое контактное напряжение $[\sigma_H]$ определяется по формуле

$$[\sigma_H] = \sigma_{OH} Z_R / n, \quad (37)$$

где σ_{OH} – предел контактной выносливости; $Z_R = 0,9...1,0$ – коэффициент шероховатости; $n = 1,1...1,35$ – коэффициент безопасности.

Величина σ_{OH} для некоторых материалов в зависимости от термообработки может быть найдена по формулам табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Значения σ_{OH} для некоторых материалов

Материалы	Термическая или химикотермическая обработка	σ_{OH} , Н / мм^2
Углеродистые и низколегированные стали	Улучшение, нормализация $HB \leq 350$	$2HB + 70$
	Объемная закалка $HRC40 - 56$	$18HRC + 150$
	Поверхностная закалка $HRC40 - 56$	$17HRC + 200$
Высоколегированные стали	Цементация и закалка $HRC54 - 65$	$23HRC$
	Азотирование $HRC50 - 65$	$20HRC$

1. Шариковая направляющая нагружена силой веса G

Действующая на шарик нормальная нагрузка согласно выражению (11.2) равна

$$N_i = G \cos \beta / z.$$

Действующие контактные напряжения определяются из выражения:

$$\sigma_H = 0,616 \sqrt[3]{\frac{G \cos \beta}{z \rho_{PP}^2 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2}} = 0,616 \sqrt[3]{\frac{GE^2 \cos \beta}{4z r_u^2}} \leq [\sigma_H]. \quad (38)$$

2. Шариковая направляющая нагружена силой веса каретки, направленным под углом α к оси каретки и усилием перемещения

На шарик действуют нормальные составляющие от силы веса $N_i = G \cos \beta / z$ и от радиальной составляющей F_r согласно формул (16) равные:

$$F_{N1} = [F(\ell + L)\sin \alpha \cos \beta] / kL \text{ или } F_{N2} = (F\ell \sin \alpha \cos \beta) / kL.$$

В расчете σ_H учитывается большая из них.

Контактные напряжения определяются по формуле:

$$\sigma_H = 0,616 \sqrt[3]{\frac{(N_i + F_{N1})E^2}{4r_u^2}} = 0,616 \sqrt[3]{\frac{(G \cos \beta) / z + [F(\ell + L)\sin \alpha \cos \beta] / kL}{\rho_{\text{ПП}}^2 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2}} \leq [\sigma_H] \quad (39)$$

3. Шариковая направляющая нагружена силой веса G и усилием перемещения каретки F , приложенным на расстоянии h параллельно оси каретки

На шарик действуют нормальные составляющие от силы веса $N_i = G \cos \beta / z$ и от нормальной составляющей $F_N = Fh \cos \beta / kL$ реакции в опоре от силы F .

Контактные напряжения определяются по формуле

$$\sigma_H = 0,616 \sqrt[3]{\frac{(G \cos \beta) / z + Fh \cos \beta / kL}{\rho_{\text{ПП}}^2 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2}} \leq [\sigma_H],$$

$$\sigma_H = 0,616 \sqrt[3]{\frac{(N_i + F_N)E^2}{4r_u^2}} \leq [\sigma_H]. \quad (40)$$

4. Шариковая направляющая вертикального перемещения нагружена силой веса G и усилием перемещения каретки, приложенным на расстоянии h параллельно оси каретки.

На шарик действует нормальная составляющая от силы веса

$$F_{NG} = (Gh_1 \cos \beta) / kL \quad (41)$$

и нормальная составляющая F_{NF} от усилия перемещения каретки

$$F_{NF} = Fh \cos \beta / kL, \quad (42)$$

где k – число шариков в сечении, $k = 2$.

Контактные напряжения определяются по формуле

$$\sigma_H = 0,616 \sqrt[3]{\frac{(Gh_1 \cos \beta) / kL + Fh \cos \beta / kL}{\rho_{\text{ПП}}^2 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)^2}} \leq [\sigma_H],$$

откуда

$$\sigma_H = 0,616 \sqrt[3]{\frac{(F_{NG} + F_{NF})E^2}{4r_u^2}} \leq [\sigma_H]. \quad (43)$$

Выражение (43) справедливо при подъеме каретки шариковой направляющей, нагруженной силой веса G посредством привода, ось которого расположена на расстоянии h от оси каретки (рис. 2.19).

2.4. Разработка и описание 3-D модели измерительной системы

В данном курсовом проекте необходимо создать твердотельную модель *измерительной системы*, по которой в дальнейшем будет получен технический проект.

Описательная часть 3-D модели *измерительной системы* должна содержать:

- обоснование рациональности компоновки основных элементов *измерительной системы (ИС)*, исходя из требований: точности, габаритных размеров, ремонтпригодности конструкции.

- аргументированное пояснение применения в конструкции узлов, а также пояснение применения, тех или иных конструктивных унифицированных преобразователей, подшипников (скольжения или качения), пружинных подвесов, шарниров, направляющих, видов зубчатых зацеплений, рычажных передач, элементов электро-, пневмо- и гидроприводов.

Описание конструкции следует делать в статическом состоянии конструкции, а затем в последовательности ее действия.

При создании 3-D модели измерительной системы студент должен показать способность применять в конструкции унифицированные элементы, узлы, преобразователи, творчески анализируя их точностные, технологические и экономические характеристики.

При конструировании деталей приборов следует придерживаться нормальных линейных размеров установленных в ГОСТ 6636 – 69.

Ниже приведены некоторые общие рекомендации.

Рекомендации по применению материалов в приборостроении

В приборостроении применяют обширную номенклатуру технических материалов [3].

Все применяемые в приборостроении материалы делят на: металлические и неметаллические. Металлические, в свою очередь, подразделяют на конструкционные сплавы общего назначения (черные и цветные металлы) и специальные сплавы с особыми физическими свойствами (магнитные материалы, сплавы с малым и заданным температурным коэффициентом линейного расширения, сплавы с особыми упругими свойствами ит. д.). Неметаллическими могут быть материалы органического и неорганического происхождения. К первым относят пластмассы и волокнистые изоляционные материалы, ко вторым – стекла, слюды, керамику. Иногда классифицируют материалы по их применению: оптические, контактные, смазочные материалы для приборов и т. д.

Рекомендации по применению посадок

Преимущественное применение должна иметь система отверстия, технически более простая и экономически более выгодная.

Систему вала рекомендуют применять при изготовлении деталей из пруткового калиброванного материала без механической обработки сопря-

гаемых поверхностей; при расположении на одном валу нескольких деталей с различными посадками; при использовании стандартных деталей, посадочные размеры которых выполнены в системе вала (посадка наружных колец шарикоподшипников в корпус и т. д.).

Посадки с зазором используют в подвижных соединениях, а также в часто разбираемых и регулируемых соединениях. Самыми распространенными являются посадки типа H/h . Они установлены в квалитетах 4 - 12 и обеспечивают минимальные зазоры по сравнению с посадками других типов. Их можно также использовать вместо переходных посадок.

Посадки $H6/h5$, $H7/h6$ применяют для точного центрирования, например, зубчатых колес точных передач, элементов датчиков угла и т. д.

Посадку $H8/h7$ используют для центрирования поверхностей при пониженных требованиях к соосности и необходимости регулирования узла.

Посадки $H8/h8$, $H8/h9$, $H9/h8$, $H9/h9$ применяются для неподвижно закрепляемых деталей при невысоких требованиях к точности центрирования, небольших нагрузках и необходимости обеспечения легкой сборки (шкивы, муфты, зубчатые колеса средней точности), для центрирования фланцевых соединений и т.д.

Посадки $H10/h9$, $H10/h10$, $H11/h11$, $H12/h12$ назначают для неточных соединений, центрирования фланцев и крышек и т. д.

Переходные посадки предназначены для неподвижных соединений (с помощью шпонок, штифтов и т. д.), требующих легкой сборки и разборки при высокой точности центрирования.

Посадки H/js рекомендуют для легко разъемных неподвижных центрирующих соединений, подвергающихся частой разборке. Их также используют вместо посадок H/h при необходимости повышения точности центрирования.

Посадки H/k применяют для установки деталей зубчатых колес, шкивов, муфт и т.д. на вращающихся валах.

Посадки H/m и H/n с более вероятным натягом, чем зазором, назначают для редко разбираемых соединений при высоких требованиях к точности центрирования. В спокойных условиях работы при малых нагрузках посадки типа H/n могут также передавать усилия и моменты без дополнительного крепления деталей.

Посадки с натягом гарантируют неподвижность соединения. Выбор натяга производят из условия обеспечения прочности соединения (наименьший натяг) и прочности детали (наибольший натяг).

Посадки H/p гарантируют наименьшие натяги. Их используют для соединения тонкостенных деталей при передаче небольших усилий и моментов.

Посадки H/r , H/s , H/t гарантируют получение натяга средней величины. Их применяют для запрессовки втулок в зубчатые колеса, шкивы и другие детали, для закрепления зубчатых колес на валах, для установки

бронзовых венцов червячных колес и т.д.

Посадки H/u , H/x , H/z , характеризующиеся большим гарантированным натягом и значительным его колебанием, предназначены для передачи больших усилий и моментов в условиях переменных нагрузок, ударов и вибраций.

При назначении качества (степени точности) учитывают эксплуатационные требования, производственные возможности и себестоимость изготовления деталей.

Наиболее предпочтительными качествами допускаемых отклонений на линейные размеры следует считать 7-12. В исключительных случаях допускается применение более высоких качеств, однако, в этом случае, такая необходимость должна быть аргументирована технологическими или экономическими соображениями.

При назначении допускаемых отклонений следует помнить, что назначение более широких допускаемых отклонений всегда упрощает технологию и, таким образом, удешевляет разрабатываемую конструкцию.

В приборостроении применяют качества:

- 4 и 5 — в особо точных соединениях с зазорами и натягами;
- 6 и 7 — при повышенных требованиях к точности центрирования;
- 8 — для соединений средней точности с зазорами и натягами;
- 11 и 12 — при низкой точности сборки.

Предельные отклонения размерных параметров, зависят от тех их допускаемых отклонений, которые назначит студент в качестве технических условий на изготовление данного измерительного устройства.

Система допусков на линейные размеры (основные положения, допуски, отклонения и посадки) установлена в ГОСТ 25346 – 2013.

Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками согласно ГОСТ 30893.1 – 2002.

Допуски на угловые размеры

ГОСТ 8908 – 81 устанавливает нормальные углы. Для углов общего назначения установлено три ряда предпочтительных значений (см. табл. 2.5), при этом 1-й ряд предпочтителен 2-му, 2-й ряд – 3-му.

ГОСТ Р 53440 – 2009 устанавливает ряды нормальных конусностей (см. табл. 2.6).

Таблица 2.5 – Нормальные углы
(ГОСТ 8908 – 81), град.

1-й ряд	0, 5, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120
2-й ряд	30', 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 40, 75
3-й ряд	15', 45', 1°30', 2°30', 9, 12, 18, 22, 25, 35, 50, 55, 65, 70, 80, 85, 100, 110, 135, 150, 165, 180, 270, 360

Таблица 2.6 – Нормальные конусности C (ГОСТ Р 53440 – 2009)

1-й ряд	1:500, 1:200, 1:100, 1:50, 1:20, 1:10, 1:5, 1:3; $\alpha=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$
2-й ряд	1:30, 1:15, 1:12, 1:8, 1:7, 1:6, 1:4; $\alpha=75^\circ$

Рекомендации по применению конусностей:

$C=1:500-1:50$ – для соединений с гарантированным натягом;

$C=1:30-1:7$ – для неподвижных установочных соединений;

$C=1:6-1:3$ – для подвижных соединений;

$\alpha=30...120^\circ$ – для конструктивного оформления деталей.

Точность углов характеризуется допуском угла AT .

Рекомендации по выбору степени точности углов.

Установлено 17 степеней точности (ГОСТ 8908 – 81), обозначаемых $AT1, AT2, \dots AT17$ (в порядке снижения точности).

В приборостроении применяют степени $AT5-AT14$:

$AT5$ – для наружных конусов высшей точности, например, для калибров, герметичных соединений и др.;

$AT6$ – для внутренних конусов высшей точности;

$AT7-AT8$ – для деталей высокой точности с высокими требованиями к центрированию;

$AT10-AT12$ – для деталей нормальной точности;

$AT13-AT14$ – для деталей пониженной точности.

Система допусков и посадок конических соединений определена ГОСТ 25307 – 82.

Допуски формы, ориентации, месторасположения и биений поверхностей

ГОСТ Р 53442 – 2015 устанавливает допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.

В основу измерения отклонений формы поверхностей деталей положен принцип прилегающих поверхностей, профилей и прямых. Отклонение формы определяют как наибольшее расстояние от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) на длине нормируемого участка.

Для цилиндрических деталей рассматривают отклонения от цилиндричности, круглости (в поперечном сечении) и профиля продольного сечения.

Отклонения расположения поверхностей, прямых и осей определяют относительно базовых плоскостей, прямых и осей соответственно. Отклонения от соосности осей рассматривают относительно оси базовой поверхности или общей оси, и ограничивают допусками в диаметральной или радиусном выражении. Аналогично определяют отклонения и допуск симметричности, но вместо оси рассматривают базовую или общую плоскость симметрии.

Из суммарных допусков формы и расположения чаще других указывают допуски радиального и торцового биения.

Численные значения этих допусков установлены ГОСТ 24643 – 81 для интервалов номинальных размеров в зависимости от степени точности

(табл. Г.5–Г.9 прил. Г).

Из шестнадцати степеней точности, предусмотренных стандартом, в приборостроении обычно назначают степени точности 1-12 (в порядке их уменьшения).

Рекомендации по выбору степени точности:

степени 1-ю и 2-ю применяют для посадочных поверхностей шарикоподшипников 2-го, 4-го классов точности;

степени 3-ю и 4-ю – для посадочных поверхностей точных измерительных приборов и шарикоподшипников 5-го и 6-го классов точности;

степени 5-ю и 6-ю – для шеек валов механизмов высокой и средней точности, посадочных поверхностей шарикоподшипников 0-го класса точности и зубчатых колес 6-й и 7-й степени точности;

степени 7-ю и 8-ю – для посадочных поверхностей зубчатых колес 8-й и 9-й степени точности, осей приборов средней точности,

степени 10-12 – для менее точных поверхностей.

Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально согласно ГОСТ 30893.2 – 2002.

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей

Соединения крепежными деталями бывают двух типов *A* и *B*.

В соединениях типа *A* зазоры предусмотрены в обеих соединяемых деталях (например, в соединениях болтами, заклепками), в соединениях типа *B* только одной детали (в соединениях винтами, шпильками, штифтами).

Допуски расположения сквозных гладких отверстий в соединениях типов *A* и *B* рекомендуют назначать зависимыми, если это не ослабляет прочность деталей.

Для резьбовых отверстий в соединениях типа *B* рекомендуют зависимые допуски при малых нагрузках винтов и независимые для шпилек и тяжелонагруженных винтов.

На центрируемые и базовые элементы рекомендуют назначать зависимые допуски.

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей и для центрирующих отверстий устанавливают или позиционными допусками осей отверстий (табл. 2.7), или согласно ГОСТ 14140 – 81 предельными отклонениями размеров, координирующих оси отверстий (см. табл. Г.10–Г.12 прил. Г).

Диаметр сквозного отверстия под крепежные детали выбирают согласно рекомендациям ГОСТ 11284 – 75.

Для отверстий, образующих одну сборочную группу, при числе эле-

ментов в группе более двух предпочтительней назначить позиционные допуски их осей.

Таблица 2.7 – Позиционные допуски расположения осей отверстий, мм

Диаметр стержня крепежной детали, мм	Зазор $S_{\min}$, мм	При коэффициенте использования зазора					
		$K = 1,0$		$K = 0,8$		$K = 0,6$	
		Тип A	Тип B	Тип A	Тип B	Тип A	Тип B
1-1,6	0,1	0,10	0,05	0,08	0,04	0,06	0,03
	0,2	0,20	0,10	0,16	0,08	0,12	0,06
	0,3	0,30	0,16	0,25	0,12	0,16	0,10
2-3	0,2	0,20	0,10	0,16	0,08	0,12	0,06
	0,4	0,40	0,20	0,30	0,16	0,25	0,12

Примечание. Рекомендуется принимать $K = 1,0$ или $K = 0,8$ для соединений, не требующих регулировки взаимного расположения деталей; в случае, если регулировка взаимного расположения необходима – $K = 0,8$ или $K = 0,6$; в обоснованных случаях K принимают меньше 0,6.

ГОСТ 2789 – 73 устанавливает параметры шероховатости поверхности. Требования к шероховатости поверхности деталей следует устанавливать, исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, требования к шероховатости поверхности не устанавливают и шероховатость этой поверхности не контролируют.

Наиболее характерные для приборостроения являются параметры Ra , Rz , $R_{\max}$, Sm и S .

Рекомендации по назначению параметров шероховатости в зависимости от номинального размера, качества и допуска формы представлены в табл. Г.13 прил. Г.

В прил. Д приведены некоторые элементы конструкций приборов (корпуса, стрелки и т.д.).

В целом технический проект представляет собой сборочный чертеж, содержащий три проекции *ИП* и все необходимые разрезы и сечения.

Сборочный чертеж должен содержать:

1) изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы;

2) размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу. Допускается указывать в качестве справочных размеры деталей, определяющие характер сопряжения;

3) номера позиций составных частей, входящих в изделие;

4) указания о характере сопряжения и методах его осуществления, ес-

ли точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размеров, а подбором, пригонкой и т.п., а также указания о выполнении неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);

5) габаритные размеры изделия;

6) установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;

7) техническую характеристику изделия (при необходимости).

На сборочном чертеже допускается изображать перемещающиеся части изделия в крайнем или промежуточном положении с соответствующими размерами. Если при изображении перемещающихся частей затрудняется чтение чертежа, то эти части допускается изображать на дополнительных видах с соответствующими надписями, например: "Крайнее положение каретки поз.5".

Согласно [ГОСТ 2.103 – 2008](#) подробность выполнения изображения предмета устанавливает разработчик исходя из требований к содержанию документа в зависимости от стадии разработки и вида документа.

Сборочные чертежи следует выполнять, как правило, с упрощениями, соответствующими требованиям стандартов Единой системы конструкторской документации и настоящего стандарта.

На сборочных чертежах допускается не показывать:

- фаски, скругления, проточки, углубления, выступы, накатки, насечки, оплетки и другие мелкие элементы;

- зазоры между стержнем и отверстием;

- крышки, щиты, кожухи, перегородки и т.п., если необходимо показать закрытые ими составные части изделия. При этом над изображением делают соответствующую надпись, например: "Крышка поз.3 не показана";

- надписи на табличках, фирменных планках, шкалах и других подобных деталях, изображая только их контур.

- изделия, расположенные за винтовой пружиной, изображенной лишь сечениями витков, изображают до зоны, условно закрывающей эти изделия и определяемой осевыми линиями сечений витков.

Сборочный чертеж должен иметь спецификацию – перечень всех деталей с их краткой характеристикой. Спецификация является основным конструкторским документом. Определяет состав сборочной единицы. Спецификацию выполняют на отдельных листах формата А4. Форма и порядок заполнения спецификации установлены в [ГОСТ 2.106 – 96](#).

На сборочном чертеже все составные части сборочной единицы нумеруют в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации этой сборочной единицы. Номера позиций наносят на полках линий-выносок, проводимых от изображений составных частей. Номера позиций указывают на тех изображениях, на которых соответствующие составные части проецируются как видимые, как правило, на основных видах и заменяющих их разрезах. Номер позиций располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или

строчку по возможности на одной линии. Номер позиций наносят на чертеже, как правило, один раз. Допускается повторно указывать номера позиций одинаковых составных частей. Размер шрифта номеров позиций должен быть на один-два номера больше, чем размер шрифта, принятого для размерных чисел на том же чертеже.

2.5. Назначение и корректировка технических условий изготовления и сборки измерительной системы

На поле чертежа технического проекта в местах, установленных ЕСКД, должны быть обязательно указаны технические требования на сборку и регулировку параметров измерительной системы, которые разрабатываются согласно техническим условиям на сборку измерительной системы.

Технические условия записываются текстом в правой части чертежа над угловым конструкторским штампом.

При корректировке отклонений необходимо учитывать реальность технологического изготовления проектируемых элементов. Следует помнить, что необходимое ужесточение допусков ведет к повышению затрат на изготовление измерительной системы.

Сборочный чертеж измерительной системы и рабочие чертежи деталей после расчета на точность должны быть проверены авторами проекта на соответствие проставленных допусков скорректированным расчетным данным.

В группу технических условий и характеристик выделяются требования, конкретизирующие условия эксплуатации и испытания, включающие величины их размерности (в системе СИ) и отклонения таких параметров, как величины предельных линейных и угловых рабочих перемещений и поворотов подвижных частей, условия работы, вид и характер смазки и т.п.

Разработка технических требований на изготовление, сборку и условия эксплуатации измерительной системы является особенно трудным и ответственным моментом в работе конструктора.

Комплекс технических требований можно условно разделить на следующие основные группы: 1) точностные требования, 2) технические, 3) технологические, 4) эргономические, 5) эстетические, 6) прочие.

Для разработки точностных технических требований используют требуемые показатели точности изготовления, сборки и регулирования измерительного прибора.

Технологические требования включают описания особых условий изготовления, сборки, контроля, наладки (настройки), условия регулирования и отладки, методы проверки, а также условия ремонта (например, обработать в сборе, изготавливать совместно, шлифовать опоры совместно и т.д.). Совокупность этих требований должна обеспечивать работоспособность, надежность, ремонтпригодность, технологичность измерительной системы.

Эргономические требования должны учитывать особенности строения и физические возможности человека при обслуживании и эксплуатации приспособления.

Эстетические требования конкретизируют вопросы, связанные с обеспечением должного внешнего вида измерительной системы, например, вид покрытия, покраски измерительной системы, цвет отдельных его частей, наличие и вид декоративных элементов и т.д.

Прочие технические требования могут содержать требования по виду, содержанию и месту выполнения маркировок (шифра, предприятия-изготовителя, даты выпуска) измерительной системы, требования по консервации, упаковке и условия транспортировки, вид тары и другие необходимые сведения, не отраженные ранее в технических требованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник конструктора точного приборостроения / Под ред. К.Н. Явленского, Б.П. Тимофеева, Е.Е. Чаадаевой. – Л.: Машиностроение, 1989. – 100 с.
2. Грейм И.А. Элементы проектирования и расчет механизмов / И.А. Грейм. – Л.: Машиностроение. 1972. – 215 с.
3. Коротков В.П. Основы метрологии и точности механизмов приборов / В.П. Коротков. – М.: Машгиз, 1961. – 397 с.
4. ГОСТ 2.106 – 96. ЕСКД. Текстовые документы. Введ. 01.01.2004. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 9 с.
5. ГОСТ 2.103-2013. ЕСКД. Стадии разработки. Введ. 01.07.2015. – М.: Изд-во стандартов, 2019. – 10 с.
6. ГОСТ 2.301-68. ЕСКД. Форматы. Введ. 01.01.1971. – М.: Стандартиформ, 2007. – 5 с.
7. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. Введ. 31.08.2006. – М.: Стандартиформ, 2007. – 18 с.
8. ГОСТ 7.1 – 2003. «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Введ. 01.07.2004. – М.: Стандартиформ, 2010. – 52 с.
9. ГОСТ 2.307 – 2011. ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений. Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартиформ, 2012. – 35 с.
10. ГОСТ 2.308 – 2011. ЕСКД. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей. Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартиформ, 2012. – 29 с.
11. ГОСТ 2.309 – 73. ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей. Введ. 01.01.75. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 10 с.
12. ГОСТ 6636 – 69. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные линейные размеры. Введ. 01.01.70. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 8с.
13. ГОСТ 25346 – 2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. Введ. 01.07.2015. – М: Стандартиформ, 2014. – 38 с.
14. ГОСТ 30893.1 – 2002. Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками. Введ. 01.01.2004. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 9 с.
15. ГОСТ 8908 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов. Введ. 01.01.1982. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.
16. ГОСТ Р 53440 – 2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Нормальные конусности и углы

конусов. Введ. 01.01.2012. – М.: Стандартиформ, 2010. – 8 с.

17. ГОСТ 25307 – 82. Основные нормы взаимозаменяемости. Система допусков и посадок для конических соединений. Введ. 01.07.1983. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 30 с.

18. ГОСТ 24643 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.

19. ГОСТ Р 53442 – 2015. Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические характеристики изделий. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.

20. ГОСТ 30893.2 – 2002. Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально. Введ. 01.01.2004. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 9 с.

21. ГОСТ 14140 – 81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей. Введ. 01.07.81. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 33 с.

22. ГОСТ 11284 – 75. Отверстия сквозные под крепежные детали. Размеры. Введ. 01.01.77. – М.: Стандартиформ, 2006. – 3 с.

23. ГОСТ 2789 – 73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. Введ. 01.01.75. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 10 с.

24. ГОСТ 8.051-81. ГНС. Погрешности, допускаемые при измерении размеров до 500 мм. – Взамен ГОСТ 8.051-73. Введ. 23.11.81. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 12 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Приборные системы и автоматизация
технологических процессов»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине
«Цифровое проектирование измерительных систем»

Выполнил:
студент группы _____

Проверил:

Севастополь
20__ г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»

Институт Политехнический
Кафедра Приборные системы и автоматизация технологических процессов
Направление подготовки/специальность 12.04.01 Приборостроение
(код и название)

Профиль/специализация _____

Курс _____ Группа _____ Семестр _____

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТУ) СТУДЕНТА

(фамилия, имя, отчество) _____

1. Тема проекта (работы) Моделирование и расчет измерительных систем

2. Сроки сдачи студентом законченного проекта (работы) _____

3. Исходные данные к проекту (работе) _____

4. Содержание пояснительной записки (перечень вопросов, подлежащих разработке)
Титульный лист. Бланк задания. Исходные данные. Содержание. Введение. Выбор метода измерения и способа настройки. Расчет основных элементов и параметров устройства (по заданию преподавателя: расчет плоскoprужинного параллелограмма, расчёт измерительного преобразователя, расчет пневмоцилиндра, расчет шариковой направляющей). Создание твердотельных моделей деталей. Создание 3D модели сборки изделия. Создание схемы сборки-разборки измерительного устройства. Описание конструкции и принципа работы измерительного устройства. Оформление сборочного и рабочих чертежей. Расчет отдельных элементов конструкции методом конечных элементов. Выводы. Библиографический список. Приложения.

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)
3D модель сборки измерительного устройства (формат A2). Схема сборки разборки измерительного устройства (формат A2). Сборочный чертеж измерительной станции (формат A1). Чертежи деталей (формат A1)

6. Дата выдачи задания _____

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____

(подпись)

Руководитель проекта (работы) _____
(фамилия, инициалы, должность)

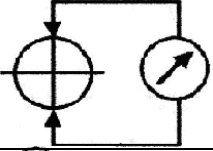
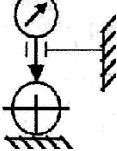
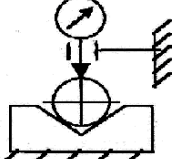
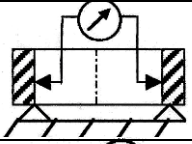
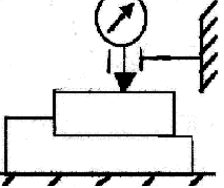
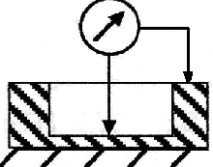
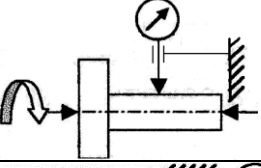
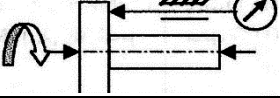
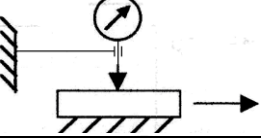
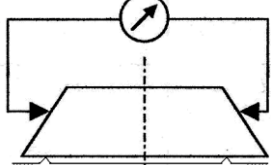
(ПОДПИСЬ)

« _____ » 20 ____ г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Задание на курсовой проект

№ вар.	Наименование контролируемого параметра	Номинальный размер, мм	Допуск контролируемого параметра, мм	Схема измерения
1	Наружный диаметр	80 40	0,06 0,04	
2	Наружный диаметр	70 20	0,055 0,02	
3	Наружный диаметр	50 30	0,05 0,04	
4	Внутренний диаметр	40 60	0,08 0,06	
5	Высота	15 20	0,01 0,02	
6	Глубина	25 20	0,012 0,01	
7	Радиальное биение	50 40	0,02 0,01	
8	Торцевое биение	80/40 90	0,015 0,02	
9	Отклонение от параллельности	60 40	0,04 0,02	
10	Диаметр конуса	50 60	0,01 0,02	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (справочное)

Таблица Г.1 – Нормальные линейные размеры (ГОСТ 6636 – 69)

Нормальные линейные размеры, мм								Дополнительные размеры
0,025	0,026	<u>0,028</u>	0,03	<u>0,032</u>	0,034	<u>0,036</u>	0,038	
0,04	0,042	<u>0,045</u>	0,048	<u>0,05</u>	0,053	<u>0,056</u>	0,06	
0,063	0,067	<u>0,071</u>	0,075	<u>0,08</u>	0,085	<u>0,09</u>	0,095	
0,1	0,105	<u>0,11</u>	0,115	<u>0,12</u>	0,13	<u>0,14</u>	0,15	
0,16	0,17	<u>0,18</u>	0,19	<u>0,2</u>	0,21	<u>0,22</u>	0,24	
0,25	0,26	<u>0,28</u>	0,3	<u>0,32</u>	0,34	<u>0,36</u>	0,38	
0,4	0,42	<u>0,45</u>	0,48	<u>0,5</u>	0,53	<u>0,56</u>	0,6	
0,63	0,67	<u>0,71</u>	0,75	<u>0,8</u>	0,85	<u>0,9</u>	0,95	
1	1,05	<u>1,1</u>	1,15	<u>1,2</u>	1,3	<u>1,4</u>	1,5	1,25, 1,35, 1,45, 1,55
1,6	1,7	<u>1,8</u>	1,9	<u>2</u>	2,1	<u>2,2</u>	2,4	1,65, 1,75, 1,85, 1,95, 2,05, 2,15, 2,3
2,5	2,6	<u>2,8</u>	3	<u>3,2</u>	3,4	<u>3,6</u>	3,8	2,7, 2,9, 3,1, 3,3, 3,5, 3,7, 3,9
4	4,2	<u>4,5</u>	4,8	<u>5</u>	5,3	<u>5,6</u>	6	4,1, 4,4, 4,6, 4,9, 5,2, 5,5, 5,8, 6,2
6,3	6,7	<u>7,1</u>	7,5	<u>8</u>	8,5	<u>9</u>	9,5	6,5, 7, 7,3, 7,8, 8,2, 8,8, 9,2, 9,8
10	10,5	<u>11</u>	11,5	<u>12</u>	13	<u>14</u>	15	10,2, 10,8, 11,2, 11,8, 12,5, 13,5, 14,5, 15,5
16	17	<u>18</u>	19	<u>20</u>	21	<u>22</u>	24	16,5, 17,5, 18,5, 19,5, 20,5, 21,5, 23
25	26	<u>28</u>	30	<u>32</u>	34	<u>36</u>	38	27, 29, 31, 33, 35, 37, 39
40	42	<u>45</u>	48	<u>50</u>	53	<u>56</u>	60	41, 44, 46, 49, 52, 55, 58, 62
63	67	<u>71</u>	75	<u>80</u>	85	<u>90</u>	95	65, 70, 73, 78, 82, 88, 92, 98
100	105	<u>110</u>	120	<u>125</u>	130	<u>140</u>	150	102, 108, 112, 115, 118, 135, 145, 155
160	170	<u>180</u>	190	<u>200</u>	210	<u>220</u>	240	165, 175, 185, 195, 205, 215, 230
250								

Примечание. 1. При выборе нормальных линейных размеров предпочтение следует отдавать числам, выделенным жирным шрифтом, затем подчеркнутым двумя линиями, затем – одной, в последнюю очередь – не имеющим специального обозначения.
2. Дополнительные размеры, приведенные в таблице, допускаются применять лишь в отдельных, технически обоснованных случаях.

Таблица Г.2 – Значения допусков для размеров до 500 мм (ГОСТ 25346 – 2013)

Интервал размеров, мм	Единица допуска, <i>i</i> , мкм	Квалитет																			
		Допуск <i>IT</i> , мкм												Допуск <i>IT</i> , мм							
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							11	12
До 3	0,55	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,00	1,40
Св. 3 до 6	0,73	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,20	1,80
« 6 « 10	0,90	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,50	2,20
« 10 « 18	1,08	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,80	2,70
« 18 « 30	1,31	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,10	3,30
« 30 « 50	1,56	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,50	3,90
« 50 « 80	1,86	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,00	4,60
« 80 « 120	2,17	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,50	5,40
« 120 « 180	2,52	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	6,30
« 180 « 250	2,89	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,60	7,20
« 250 « 315	3,22	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,20	8,10
« 315 « 400	3,54	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,70	8,90
« 400 « 500	3,89	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,50	4,00	6,30	9,70

Таблица Г.3 – Значения отклонений валов для размеров до 500 мм (ГОСТ 25346 – 2013)

Интервал размеров, мм	Обозначение основного отклонения																
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>cd</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>ef</i>	<i>f</i>	<i>fg</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>js</i>	<i>j</i>		<i>k</i>		
	Квалитет																
	Все квалитеты												5 и 6	7	8	от 4 до 7	до 3 и св.7
	Верхнее отклонение <i>es</i> , мкм												Нижнее отклонение <i>ei</i> , мкм				
До 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	Предельные отклонения ± IT/2	-2	-4	-6	0	0
Св. 3 до 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	-	+1	0
» 6 » 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	-	+1	0
»10 » 14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0		-3	-6	-	+1	0
» 14 » 18																	
» 18 » 24	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0		-4	-8	-	+2	0
» 24 » 30																	
» 30 » 40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0		-5	-10	-	+2	0
» 40 » 50	-320	-180	-130														
» 50 » 65	-340	-190	-140	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0		-7	-12	-	+2	0
» 65 » 80	-360	-200	-150														
» 80 »100	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0		-9	-15	-	+3	0
» 100 »120	-410	-240	-180														
» 120 »140	-460	-260	-200	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0		-11	-18	-	+3	0
» 140 »160	-520	-280	-210														
» 160 »180	-580	-310	-230	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0		-13	-21	-	+4	0
» 180 »200	-660	-340	-240														
» 200 »225	-740	-380	-260	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0	-16	-26	-	+4	0	
» 225 »250	-820	-420	-280														
» 250 »280	-920	-480	-300	-	-210	-125	-	-62	-	-18	0	-18	-28	-	+4	0	
» 280 »315	-1050	-540	-330														
» 315 »355	-1200	-600	-360	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-	+5	0	
» 355 »400	-1350	-680	-400														
» 400 »450	-1500	-760	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0	-20	-32	-	+5	0	
» 450 »500	-1650	-840	-480														

Интервал размеров, мм	Обозначение основного отклонения																	
	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>za</i>	<i>zb</i>	<i>zc</i>				
	Квалитет																	
	Все квалитеты																	
	Нижнее отклонение <i>ei</i> , мкм																	
До 3	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60				
Св. 3 до 6	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80				
»6 » 10	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97				
» 10 »14	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130				
» 14 » 18								+39	+45	-	+60	+77	+108	+150				
» 18 » 24	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188				
» 24 » 30								+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218		
» 30 » 40	+9	+17	+26	+34	+43	-	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274			
» 40 » 50								+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325		
» 50 » 65	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405			
» 65 » 80								+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
» 80 »100	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585				
» 100 »120								+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
» 120 »140	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800				
» 140 »160								+65	+100	+134	+199	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
» 160 »180								+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
» 180 »200	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150				
» 200 »225								+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
» 225 »250								+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
» 250 »280	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550				
» 280 »315								+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
» 315 »355	+21	+37	+6 2	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900				
» 355 »400								+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
» 400 »450	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400				
» 450 »500								+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

Предельные отклонения ± IT7/2

Интервал размеров, мм	Обозначение основного отклонения													
	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>za</i>	<i>zb</i>	<i>zc</i>
	Квалитет													
	Все квалитеты													
	Нижнее отклонение <i>ei</i> , мкм													
До 3	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60
Св. 3 до 6	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80
» 6 » 10	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97
» 10 » 14	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130
» 14 » 18														
» 18 » 24	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+	+47	+	+54	+63	+73	+98
» 24 » 30														
» 30 » 40	+9	+17	+26	+34	+43	-	+48	+	+60	+	+68	+80	+94	+112
» 40 » 50														
» 50 » 65	+11	+20	+32	+41	+53	+	+66	+	+87	+	+102	+122	+144	+172
» 65 » 80														
» 80 » 100	+13	+23	+37	+51	+71	+	+91	+	+124	+	+146	+178	+214	+258
» 100 » 120														
» 120 » 140	+15	+27	+43	+63	+92	+	+122	+	+170	+	+202	+248	+300	+365
» 140 » 160														
» 160 » 180	+17	+31	+50	+68	+108	+	+146	+	+210	+	+252	+310	+380	+465
» 180 » 200														
» 200 » 225	+20	+34	+56	+77	+122	+	+166	+	+236	+	+284	+350	+425	+520
» 225 » 250														
» 250 » 280	+21	+37	+62	+80	+130	+	+180	+	+258	+	+310	+385	+470	+575
» 280 » 315														
» 315 » 355	+23	+40	+68	+84	+140	+	+196	+	+284	+	+340	+425	+520	+640
» 355 » 400														
» 400 » 450	+23	+40	+68	+94	+158	+	+218	+	+315	+	+385	+475	+580	+710
» 450 » 500														

Таблица Г.4 – Значение отклонений отверстий для размеров до 500 мм (ГОСТ 25346 – 2013)

Интервал разме- ров, мм	Обозначение основного отклонения																			от <i>P</i> до <i>ZC</i>			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>CD</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>EF</i>	<i>F</i>	<i>FG</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>JS</i>	<i>J</i>		<i>K</i>	<i>M</i>	<i>N</i>						
	Квалитет												6	7	8	до 8	>8	до 8*	>8		до 8	>8	до 7
	Все квалитеты																						
	Нижнее отклонение <i>EI</i> , мкм												Верхнее отклонение <i>ES</i> , мкм										
До 3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	Предельное отклонение ±IT/2	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4	Отклонение, как для квалитетов св. 7, увеличенное на Δ	
Св. 3 до 6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1+Δ	-	-4+Δ	-4	-8+Δ	0		
» 6 »10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1+Δ	-	-6+Δ	-6	-10+Δ	0		
»10 »14	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6	0		+6	+10	+15	-1+Δ	-	-7+Δ	-7	-12+Δ	0		
»14 »18													+8	+12	+20	-2+Δ	-	-8+Δ	-8	-15+Δ	0		
»18 »24	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7	0		+8	+12	+20	-2+Δ	-	-8+Δ	-8	-15+Δ	0		
»24 »30													+10	+14	+24	-2+Δ	-	-9+Δ	-9	-17+Δ	0		
»30 »40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0		+13	+18	+28	-2+Δ	-	-11+Δ	-11	-20+Δ	0		
»40 »50	+320	+180	+130										+16	+22	+34	-3+Δ	-	-13+Δ	-13	-23+Δ	0		
»50 »65	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0		+18	+26	+41	-3+Δ	-	-15+Δ	-15	-27+Δ	0		
»65 »80	+360	+200	+150																				
» 80 »100	+380	+220	+170	-	+120	+72	-	+36	-	+12	0		+22	+30	+47	-4+Δ	-	-17+Δ	-17	-31+Δ	0		
»100 »120	+410	+240	+180																				
»120 »140	+460	+260	+200	-	+145	+85	-	+43	-	+14	0		+25	+36	+55	-4+Δ	-	-20+Δ	-20	-34+Δ	0		
»140 »160	+520	+280	+210																				
»160 »180	+580	+310	+230	-	+170	+100	-	+50	-	+15	0		+29	+39	+60	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	-37+Δ	0		
»180 »200	+660	+340	+240																				
»200 »225	+740	+380	+260	-	+190	+110	-	+56	-	+17	0												
»225 »250	+820	+420	+280																				
»250 »280	+920	+480	+300	-	+210	+125	-	+62	-	+18	0												
»280 »315	+1050	+540	+330																				
»315 »355	+1200	+600	+360	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0												
»355 »400	+1350	+680	+400																				
»400 »450	+1550	+960	+440	-	+250	+150	-	+72	-	+22	0												
»450 »500	+1650	+840	+480																				

Интервал разме- ров, мм	Обозначение основного отклонения												Поправка Δ** (в мкм) для квалитетов																																			
	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>ZA</i>	<i>ZB</i>	<i>ZC</i>																																				
	Квалитет												3						4						5						6						7						8					
	Св. 7																																															
	Верхнее отклонение <i>ES</i> , мкм												Δ = 0																																			
До 3	-6	-10	-14	-	-18	-	-20	-	-26	-32	-40	-60																																				
Св.3 до 6	-12	-15	-19	-	-23	-	-28	-	-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6																														
» 6 » 10	-15	-19	-23	-	-28	-	-34	-	-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7																														
» 10 » 14	-18	-23	-28	-	-33	-	-40	-	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9																														
» 14 » 18						-39	-45	-	-60	-77	-108	-150																																				
» 18 » 24	-22	-28	-35	-	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12																														
» 24 » 30						-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118							-160	-218																												
» 30 » 40	-26	-34	-43	-	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	1,5	3	4	5	9	14																														
» 40 » 50						-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180							-242	-325																												
» 50 » 65	-32	-41	-53	-	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	2	3	5	6	11	16																														
» 65 » 80						-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174							-210	-274	-360	-480																										
» 80 » 100	-37	-51	-71	-	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	2	4	5	7	13	19																														
» 100 »120						-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254							-310	-400	-525	-690																										
» 120 »140	-43	-63	-92	-	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	3	4	6	7	15	23																														
» 140 »160						-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340							-415	-535	-700	-900																										
» 160 »180	-50	-68	-108	-	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	3	4	6	9	17	26																														
» 180 »200						-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425							-520	-670	-880	-1150																										
» 200 »225	-56	-80	-130	-	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	4	4	7	9	20	29																														
» 225 »250						-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520							-640	-820	-1050	-1350																										
» 250 »280	-62	-94	-158	-	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	4	5	7	11	21	32																														
» 280 »315						-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650							-790	-1000	-1300	-1700																										
» 315 »355	-68	-108	-190	-	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	5	5	7	13	23	34																														
» 355 »400						-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820							-1000	-1300	-1650	-2100																										
» 400 »450	-68	-126	-232	-	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	5	5	7	13	23	34																														
» 450 »500						-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000							-1250	-1600	-2100	-2600																										

* Частный случай: для *M6 ES* = -9 (а не -11) для размеров от 250 до 315 мм.

** Для вычисления *K*; *M*; *N* до 8-го квалитета и от *P* до *ZC* до 7-го квалитета берут значения Δ в графах справа. Пример: для *P7* от 18 до 30: Δ = 8. Отсюда *ES* = -14.

Таблица Г.5 – Допуски плоскостности и прямолинейности

Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		мкм												мм			
	до 10	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	0,06	0,1	0,16	0,25
св. 10	" 16	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3
" 16	" 25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
" 25	" 40	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
" 40	" 63	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
" 63	" 100	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
" 100	" 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
" 160	" 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
" 250	" 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
" 400	" 630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2

Примечания:

1. Под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка.
2. Если нормируемый участок не задан, то под номинальным размером понимается номинальная длина большей стороны поверхности или номинальный больший диаметр торцевой поверхности.

Таблица Г.6 – Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения

Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		мкм												мм			
	до 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3
св. 3	" 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
" 10	" 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
" 18	" 30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
" 30	" 50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
" 50	" 120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
" 120	" 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
" 250	" 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
" 400	" 630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2

Примечания:

1. Под номинальным размером понимается номинальный диаметр поверхности.

Таблица Г.7 – Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и полного торцевого биения

Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		мкм												мм			
	до 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
св. 10	" 16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
" 16	" 25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
" 25	" 40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
" 40	" 63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
" 63	" 100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
" 100	" 160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
" 160	" 250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
" 250	" 400	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
" 400	" 630	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3

Примечания:

1. При назначении допусков параллельности, перпендикулярности, наклона под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка или номинальная длина всей рассматриваемой поверхности (для допуска параллельности - номинальная длина большей стороны), если нормируемый участок не задан.
2. При назначении допусков торцевого биения под номинальным размером понимается заданный номинальный диаметр или номинальный больший диаметр торцевой поверхности.
3. При назначении допусков полного торцевого биения под номинальным размером понимается номинальный больший диаметр рассматриваемой торцевой поверхности.

Таблица Г.8 – Допуски радиального биения и полного радиального биения. Допуски соосности, симметричности, пересечения осей в диаметральной выразении

Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		мкм												мм			
	до 3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
св. 3	" 10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
" 10	" 18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
" 18	" 30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
" 30	" 50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
" 50	" 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
" 120	" 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
" 250	" 400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
" 400	" 630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5

Примечания:

1. При назначении допусков радиального биения и полного радиального биения под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности.
2. При назначении допусков соосности, симметричности, пересечения осей под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности вращения или номинальный размер между поверхностями, образующими рассматриваемый симметричный элемент.
3. Если база не указывается, то допуск определяется по элементу с большим размером.

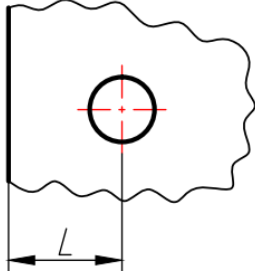
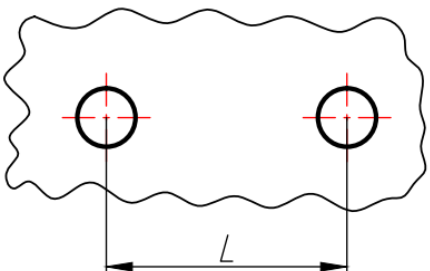
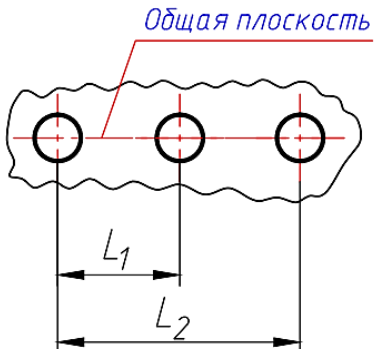
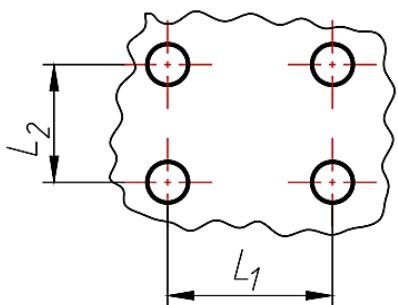
Таблица Г.9 – Допуски соосности, симметричности и пересечения осей в радиусном выражении

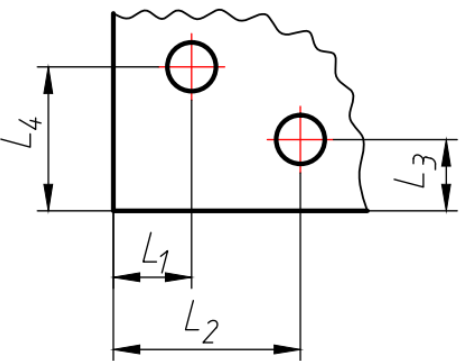
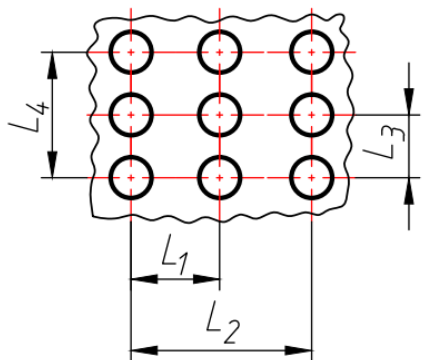
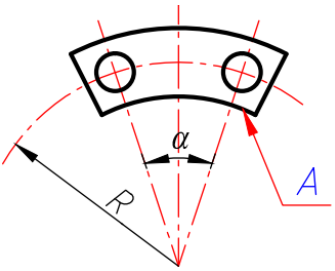
Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		МКМ												ММ			
	до 3	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
св. 3	" 10	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
" 10	" 18	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
" 18	" 30	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
" 30	" 50	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
" 50	" 120	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
" 120	" 250	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
" 250	" 400	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
" 400	" 630	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5

Примечания:

1. Под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности вращения или номинальный размер между поверхностями, образующими рассматриваемый симметричный элемент.
2. Если база не указывается, то допуск определяется по элементу с большим размером.

Таблица Г.10 – Нормирование отклонений размеров, координирующих оси отверстий
(ГОСТ 14140 – 81)

№	Характеристика расположения отверстий	Эскиз	Нормируемые отклонения размеров, координирующих оси отверстий
1	2	3	4
1.	Одно отверстие, координированное относительно плоскости (при сборке базовые поверхности соединяемых деталей совмещаются).		Предельные отклонения $\pm\delta L$ размера между осью отверстия и плоскостью.
2.	Два отверстия координированные друг относительно друга		Предельные отклонения $\pm\delta L$ размера между осями двух отверстий.
3.	Три и более отверстий, расположенных в один ряд		Предельные отклонения $\pm\delta L_{\Sigma}$ размера между осями двух любых отверстий; Предельные отклонения $\pm\delta y$ осей отверстий от общей плоскости.
4.	Три или четыре отверстия расположенные в два ряда		Предельные отклонения $\pm\delta L$ размеров $L1$ и $L2$; Предельные отклонения $\pm\delta L_d$ размеров по диагонали между осями двух любых отверстий.

№	Характеристика расположения отверстий	Эскиз	Нормируемые отклонения размеров, координирующих оси отверстий
1	2	3	4
5.	Одно или несколько отверстий, координированных относительно двух взаимно перпендикулярных плоскостей (при сборке базовые плоскости соединяемых деталей совмещаются).		Предельные отклонения $\pm\delta L$ размеров $L1, L2, L3, L4$.
6.	Отверстия, расположенные в несколько рядов		Предельные отклонения $\pm\delta L$ размеров $L1, L2, L3, L4$; Предельные отклонения $\pm\delta L_d$ размеров по диагонали между осями двух любых отверстий.
7.	Два отверстия, координированные друг относительно друга и центрального базового элемента	 База - поверхность А	Предельные отклонения $\pm\delta R$ радиуса окружности центров; Предельные отклонения $\pm\delta\alpha$ угла между осями отверстий.

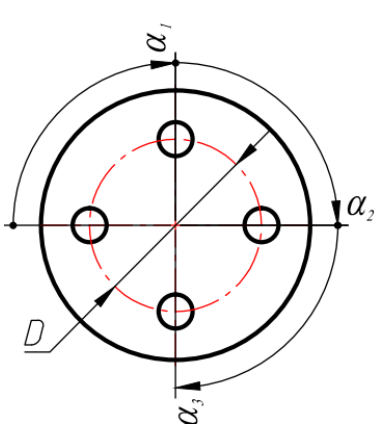
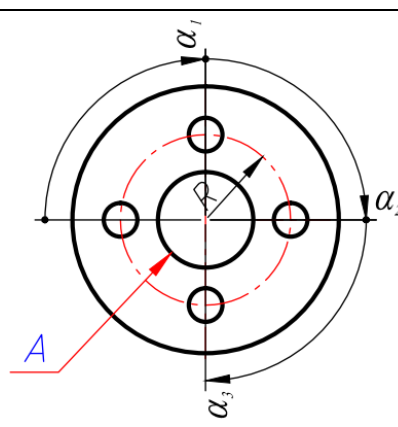
№	Характеристика расположения отверстий	Эскиз	Нормируемые отклонения размеров, координирующих оси отверстий
1	2	3	4
8.	Три и более отверстия, расположенных по окружности		Предельные отклонения $\pm\delta D$ диаметра окружности центров; Предельные отклонения $\pm\delta\alpha_\Sigma$ центрального угла между осями двух любых отверстий.
9.	Три и более отверстий, расположенных по окружности, координированных относительно центрального базового элемента	 База – поверхность А	Предельные отклонения $\pm\delta R$ радиуса окружности центров; Предельные отклонения $\pm\delta\alpha_\Sigma$ центрального угла между осями двух любых отверстий.

Таблица Г.11 – Пересчет позиционных допусков на предельные отклонения размеров, координирующих оси.

Система полярных координат

Позиционный допуск оси в диаметральном выражении Т, мм	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	
$\delta D (\pm)$, мм	0,006	0,007	0,008	0,011	0,014	0,016	0,022	0,028	0,035	0,040	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14	0,16	
$\delta R (\pm)$, мм	0,003	0,0035	0,004	0,006	0,007	0,008	0,011	0,014	0,018	0,020	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07	0,08	
Номинальные размеры, мм	$\delta\alpha, \delta\alpha_{\Sigma} (\pm)$																
Диаметр D	Радиус R																
св. 6 до 10	св. 3 до 5	5'	6'	7'	10'	12'	14'	20'	25'	30'	40'	50'	1°	1°10'	1°40'	2°	2°20'
« 10 « 14	« 5 « 7	3'	4'	5'	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'	30'	40'	50'	1°	1°20'	1°40'
« 14 « 18	« 7 « 9	2'20"	3'	330	5'	6	7'	10'	12'	14'	18'	25'	30'	35'	45'	1°	1°10'
« 18 « 24	« 9 « 12	1'50"	2'	3'	3'30"	5'	6'	7'	10'	11'	14'	18'	22'	28'	35'	45'	55'
« 24 « 30	« 12 « 15	1'20"	1'30"	2'	3'	4'	5'	6'	7'	9'	11'	14'	18'	22'	28'	35'	45'
« 30 « 40	« 15 « 20	1'	1'20"	1'40"	2'30"	3'	4'	5'	5'30"	7'	8'	11'	14'	16'	22'	28'	35'
« 40 « 50	« 20 « 25	50"	1'	1'20"	2'	2'30"	3'	4'	4'20"	5'	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'
« 50 « 65	« 25 « 32,5	40"	50"	1'	1'40"	2'	2'30"	3'	3'30"	4'	5'	6'	8'	10'	12'	16'	20'
« 65 « 80	« 32,5 « 40	30"	40"	50"	1'	1'20"	1'40"	2'30"	2'40"	3'	4'	5'	6'	8'	10'	12'	16'
« 80 « 100	« 40 « 50	25"	30"	40"	50"	1'	1'20"	2'	2'20"	2'30"	3'	4'	5'	6'	8'	10'	12'
« 100 « 120	« 50 « 60	20"	25"	30"	40"	50"	1'	1'20"	1'40"	2'	2'40"	3'	4'	5'	7'	9'	11'
« 120 « 150	« 60 « 75	16"	20"	25"	35"	40"	50"	1'	1'20"	1'40"	2'	2'30"	3'30	4'30	6'	7'	9'
« 150 « 180	« 75 « 90	14"	16"	20"	30"	35"	40"	55"	1'10"	1'30"	1'50"	2'	3'	4'	5'	6'	7'
« 180 « 250	« 90 « 125	10"	12"	16"	20"	30"	35"	45"	55"	1'10"	1'20"	1'50"	2'	2'30	3'30"	4'30"	6'
« 250 « 310	« 125 « 155	8"	10"	12"	16"	20"	25"	35"	40"	50"	1'	1'20"	1'40	2'	2'30"	3'	4'

Продолжение таблицы Г.11

Позиционный допуск оси в диаметральной выражении Т, мм		0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8	10
$\delta D (\pm)$, мм		0,22	0,28	0,35	0,40	0,55	0,70	0,80	1,1	1,4	1,6	2,2	2,8	3,5	4	5,5	7
$\delta R (\pm)$, мм		0,11	0,14	0,18	0,20	0,28	0,35	0,40	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2	2,8	3,5
Номинальные размеры, мм		$\delta\alpha, \delta\alpha_{\Sigma} (\pm)$															
Диаметр D	Радиус R																
св. 6 до 10	св. 3 до 5	3°	4°														
« 10 « 14	« 5 « 7	2°	2°40'	3°20'	4°												
« 14 « 18	« 7 « 9	1°30'	2	2°20'	3°	4°											
« 18 « 24	« 9 « 12	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	3°	3°40'	4°30'									
« 24 « 30	« 12 « 15	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	3°	3°40'	4°30'								
« 30 « 40	« 15 « 20	45'	55'	1°10'	1°20'	1°50'	2°20'	2°40'	3°40'	4°30'							
« 40 « 50	« 20 « 25	30'	40'	50'	1°	1°20'	1°40'	2°	2°40'	3°20'	4°30'						
« 50 « 65	« 25 « 32,5	25'	30'	40'	50'	1°	1°20'	1°40'	2°	2°40'	3°20'	4°					
« 65 « 80	« 32,5 « 40	20'	25'	30'	40'	50'	1°	1°20'	1°40'	2°	2°40'	3°20'	4°				
« 80 « 100	« 40 « 50	16'	20'	25'	30'	40'	50'	1°	1°20'	1°40'	2°	2°40'	3°20'	4°			
« 100 « 120	« 50 « 60	14'	18'	22'	28'	35'	45'	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	3°	3°40'	4°30'		
« 120 « 150	« 60 « 75	12'	14'	18'	22'	28'	35'	45'	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	3°	4°	4°30'	
« 150 « 180	« 75 « 90	9'	12'	14'	18'	22'	30'	35'	45'	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	3°	3°40'	4°30'
« 180 « 250	« 90 « 125	7'	9'	11'	14'	18'	22'	28'	35'	45'	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	3°	3°40'
« 250 « 310	« 125 « 155	6'	7'	9'	10'	14'	16'	20'	25'	35'	40'	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	2°40'

Таблица Г.12 – Пересчет позиционных допусков на предельные отклонения размеров, координирующих оси.

Система прямоугольных координат

Характеристика расположения осей	Обозначение предельных отклонений	Позиционный допуск оси в диаметральном выражении T , мм															
		0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,10	0,12	0,16	0,20
По табл.Г.10		Предельные отклонения размеров, координирующие оси ($\pm$), мм															
1	δL	0,003	0,004	0,005	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,025	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10
2	δL	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
3	δL_{Σ}	0,004	0,005	0,007	0,008	0,011	0,014	0,016	0,022	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14
	δy	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,007	0,008	0,011	0,014	0,018	0,02	0,028	0,035	0,04	0,05	0,07
4	δL	0,004	0,005	0,007	0,008	0,011	0,014	0,016	0,022	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14
	δL_d	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
5	δL	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,007	0,008	0,011	0,014	0,018	0,02	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07
6	δL	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,007	0,008	0,011	0,014	0,018	0,02	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07
	δL_d	0,006	0,008	0,010	0,012	0,016	0,020	0,025	0,030	0,040	0,050	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20

Продолжение таблицы Г.12

Характеристика расположения осей	Обозначение предельных отклонений	Позиционный допуск оси в диаметральном выражении T , мм															
		0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
По табл.Г.10		Предельные отклонения размеров, координирующие оси ($\pm$), мм															
1	δL	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0
2	δL	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
3	δL_{Σ}	0,16	0,22	0,28	0,35	0,40	0,55	0,70	0,80	1,1	1,4	1,6	2,2	2,8	3,5	4,0	5,5
	δy	0,08	0,11	0,14	0,18	0,20	0,28	0,35	0,40	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2,0	2,8
4	δL	0,16	0,22	0,28	0,35	0,40	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,6	2,2	2,8	3,5	4,0	5,5
	δL_d	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
5	δL	0,08	0,11	0,14	0,18	0,20	0,28	0,35	0,4	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2,0	2,8
6	δL	0,08	0,11	0,14	0,18	0,20	0,28	0,35	0,4	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2,0	2,8
	δL_d	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0

Таблица Г.13 – Минимальные требования к шероховатости поверхности в зависимости от допуска размера и формы

Квалитет	Допуск формы, % от допуска размера	Номинальные размеры, мм			
		до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 500
		Значения Ra , мкм, не более			
<i>IT3</i>	100	0,2	0,4	0,4	0,8
	60	0,1	0,2	0,2	0,4
	40	0,05	0,1	0,1	0,2
<i>IT4</i>	100	0,4	0,4	0,8	1,6
	60	0,2	0,2	0,4	0,8
	40	0,1	0,1	0,2	0,4
<i>IT5</i>	100	0,4	0,4	1,6	1,6
	60	0,2	0,2	0,8	0,8
	40	0,1	0,1	0,4	0,4
<i>IT6</i>	100	0,8	1,6	1,6	3,2
	60	0,4	0,8	0,8	1,6
	40	0,2	0,4	0,4	0,8
<i>IT7</i>	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	1,6	3,2
	40	0,4	0,8	0,8	1,6
<i>IT8</i>	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	3,2	3,2
	40	0,4	0,8	1,6	1,6
<i>IT9</i>	100 и 60	3,2	3,2	6,3	6,3
	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	25	0,8	1,6	1,6	3,2
<i>IT10</i>	100 и 60	3,2	6,3	6,3	6,3
	40	1,6	3,2	3,2	6,3
	25	0,8	1,6	1,6	3,2
<i>IT11</i>	100 и 60	6,3	6,3	12,5	12,5
	40	3,2	3,2	6,3	6,3
	25	1,6	1,6	3,2	3,2
<i>IT12</i>	100 и 60	12,5	12,5	25	25
	40	6,3	6,3	12,5	12,5
	40	25	25	50	50

Примечание. 1. Если относительный допуск формы меньше значений, указанных в таблице, то значение Ra следует назначить не более 0,15 допуска формы.

2. При необходимости по функциональным требованиям допускается устанавливать значения Ra менее указанных в таблице.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д (справочное)

Таблица Д.1 – Основные размеры стрелок, мм

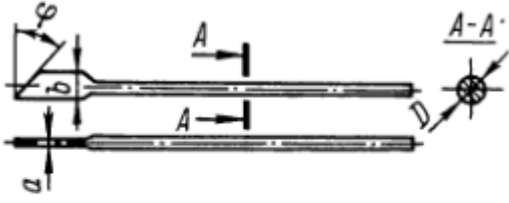
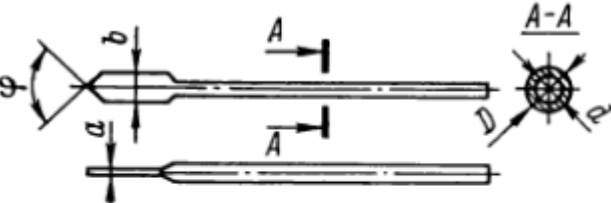
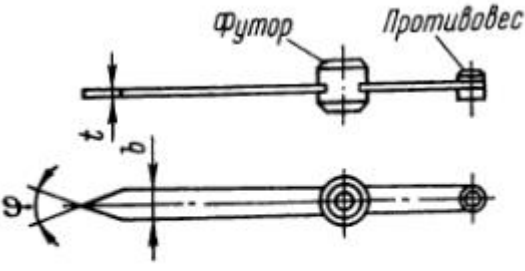
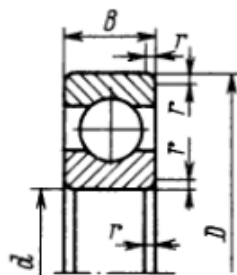
Конструкция	Способ крепления	Область применения
 $D = 0,5$ $a = 0,1 \div 0,2$ $b = 1,5 \div 2,0$ $\varphi = 45^\circ$	С помощью стрелкодержателя	Переносные приборы лабораторного типа
 $D = 0,5$ $d = 0,3$ $a = 0,1 \div 0,2$ $b = 1,5 \div 2,0$ $\varphi = 45^\circ$	С помощью стрелкодержателя	Переносные приборы лабораторного типа
 $t = 0,2 \div 0,3$ $b = 1,5 \div 2$ $\varphi = 40 \div 60^\circ$	С помощью футера на оси прибора	Переносные приборы лабораторного типа

Таблица Д.2 – Основные параметры радиальных однорядных шарикоподшипников типа 0000 (ГОСТ 8338-75)



Условное обозначение	Основные размеры, мм					z	C, H	Cg, Hg	n _{пр.} тыс. об/мин для СМ		Масса, г
	d	D	B		D _ш				п	ж	

Серия диаметров 8

1000084	4	9	2,5	0,2	1,300	9	420	190	31,5	40	0,7
1000085	5	11	3	0,3	1,588	9	635	280	40	48	1,2
1000088	8	16	4	0,4	2,000	10	980	500	25	31,5	3,4

Серия диаметров 9

1000091	1	4	1,6	0,2	0,680	6	200	30	31,5	40	0,1
1000092	2	6	2,3	0,2	1,000	7	220	90	31,5	40	0,4
1000093	3	8	3	0,2	1,588	6	440	200	31,5	40	0,7
1000094	4	11	4	0,3	2,000	7	750	350	31,5	40	2,0
1000095	5	13	4	0,4	2,000	8	850	400	31,5	40	2,5
1000096	6	15	5	0,4	2,381	8	1160	570	31,5	40	4,0
1000097	7	17	5	0,5	3,000	7	1580	790	25	31,5	5,0
1000098	8	19	6	0,5	3,000	8	1750	900	25	31,5	8,0

Серия диаметров 8

2000154	1,5	4	1,7	0,1	0,680	7	140	39	36	43	0,1
2000083	3	7	2,5	0,3	1,300	7	450	147	36	43	0,4
2000087	7	14	4	0,3	2,000	9	1170	440	36	43	2,6

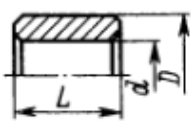
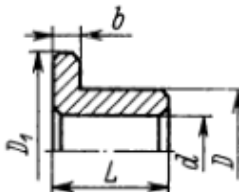
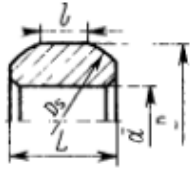
Серия диаметров 1

13	3	9	3	0,3	1,588	6	440	190	36	43	1,0
17	7	19	6	0,5	3,969	6	2240	1180	25	31,5	7,0
18	8	22	7	0,5	3,969	7	2600	1380	25	31,5	12,0
100	10	26	8	0,5	4,763	7	3600	2000	25	31,5	19,0

Серия диаметров 2

23	3	10	4	0,3	1,588	7	500	220	31,5	40	1,6
24	4	13	5	0,4	2,381	6	920	430	31,5	40	3,0
25	5	16	5	0,5	3,175	6	1500	760	31,5	40	5,0
26	6	19	6	0,5	3,969	6	2210	1180	25	31,5	8,0
27	7	22	7	0,5	3,969	7	2560	1380	25	31,5	13,0
28	8	24	7	0,5	3,969	7	2620	—	25	31,5	19,0
29	9	26	8	1,0	4,763	7	3570	2000	25	31,5	19,0

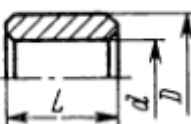
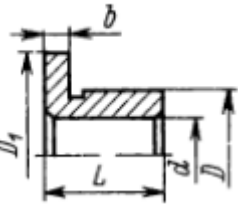
Таблица Д.3 – Размеры втулок подшипников скольжения из спекаемых материалов (ГОСТ ИСО 2795-2001)

Тип А									Тип В					Тип С						
																				
d	D	D ₁	D _S	Тип			b	l	d	D	D ₁	D _S	Тип			b	l			
				A	B	C							A	B	C					
1	3	5	3	1	2	2	1	0,6	5	9	13	12	4	4	9	2	3			
1,5	4	6	4,5	1	2	3	1	0,9	6	10	14	14	4	4	10	2	3,5			
2	5	8	5	2	3	3	1,5	0,9	7	11	15	16	5	5	11	2	4			
2,5	6	9	6	2	3	4	1,5	1	8	12	16	16	6	6	11	2	4			
3	6	9	8	3	4	6	1,5	2	9	14	19	18	6	6	12	2,5	4			
4	8	12	10	3	3	8	2	2	10	16	22	22	8	8	14	3	5			

Примечания.

1. В таблице приведены значения D и L только первого наиболее предпочтительного ряда.
2. Предельные отклонения d по $H7$, D по $r7$, D_s по $h11$, L по $h13$.

Таблица Д.4 – Размеры металлических втулок (ГОСТ 1978-81), мм

Тип А				Тип В	
					
d	D	D ₁	L	b	c
3	5	8	3	2	0,2
4	7	10	4		
5	8	12	5		
6	10	14	6	3	0,3
8	12	18	6		
10	14	20	6		0,5
12	16	22	10		
14	18	25	10		

Примечания.

1. В таблице приведены значения D и L только первого наиболее предпочтительного ряда.
2. Предельные отклонения d по $F7$, D по $r6$, D_1 по $d11$, L по $h13$.

Таблица Д.5 – Основные размеры элементов опор на центрах, мм

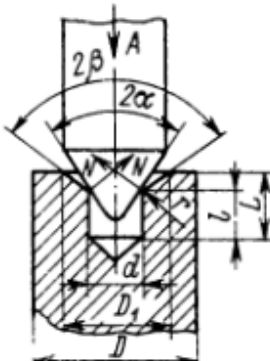
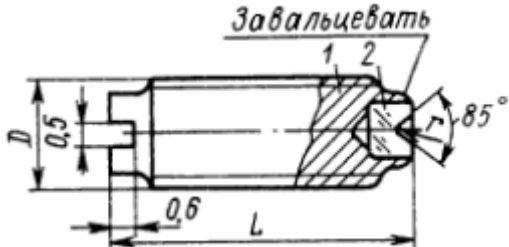
	Диаметр подшипника D	Диаметр отверстий d	Диаметр основания D_1	Глубина сверления L	Минимальный размер цилиндрической части l
	От 1 до 2,5	0,5	1,2	1,5	0,8
	От 2,5 до 5	0,75	2,0	2,5	1,0
	От 5 до 10	1,0	2,5	3,0	1,2
	От 10 до 20	1,5	4,0	4,5	1,8

Таблица Д.6 – Размеры армированных конических подпятников типа ПК*, мм

			
Типоразмер подпятника 2 (ГОСТ 8898-78)	r	D	L
ПАК 1,5x0,06	0,06	М3x0,35	1,7
ПКК 1,5x0,06			2
ПСК 1,5x0,06			
ПАК 1,5x0,08	0,08	М2,5x0,35	2
ПКК 1,5x0,08		М3x0,35	1,7; 2; 3; 4; 6
ПСК 1,5x0,08			
ПАК 1,5x0,10	0,10	М2,5x0,35	3; 4; 5; 6; 7
ПКК 1,5x0,10		М3x0,35	5; 6; 7; 8; 10
ПСК 1,5x0,10			
ПАК 1,5x0,10	0,15	М2,5x0,35	3; 4; 5; 6; 7
ПКК 1,5x0,10		М3x0,35	4; 5; 6; 7; 8; 10; 12
ПСК 1,5x0,10			
ПАК 1,5x0,20	0,20	М2,5x0,35	7
ПКК 1,5x0,20		М3x0,35	4; 5; 6; 8; 10; 12
ПСК 1,5x0,20			
ПАК 1,5x0,25	0,25	М3x0,35	4; 5; 6; 8; 10; 12
ПКК 1,5x0,25			
ПСК 1,5x0,25			

Примечания.

1. Размеры подпятников ПАК, ПКК и ПСК даны в табл. Д.8.
2. Предельные отклонения длины L по js14.
3. Армированный подпятник состоит из винта 1 и подпятника 2.

Таблица Д.7 – Размеры армированных пружинных конических подпятников типа ППН, ППР*, мм

Тип ППН Тип ППР						
Типоразмер подпятника (ГОСТ 8898-78)	r	D	L		b	h
			ППР	ППР		
ПАК 1,5x0,06	0,06	М3,5x0,35	8; 10; 12; 14; 16	—	0,5	0,6
ПКК 1,5x0,06						
ПСК 1,5x0,06						
ПАК 1,5x0,08	0,08	М3,5x0,35	8; 10; 12; 14; 16	9; 12	0,5	0,6
ПКК 1,5x0,08						
ПСК 1,5x0,08						
ПАК 1,5x0,10	0,10	М3,5x0,35	5; 7; 8; 10; 12; 14; 16	9; 12	0,5	0,6
ПКК 1,5x0,10						
ПСК 1,5x0,10						
ПАК 1,5x0,15	0,15	М3,5x0,35	8; 10; 12; 14; 16	9; 12	0,5	0,6
ПКК 1,5x0,15						
ПСК 1,5x0,15						
ПАК 1,5x0,20	0,20	М3,5x0,35	8; 10; 12; 14; 16	9; 12	0,5	0,6
ПКК 1,5x0,20						
ПСК 1,5x0,20						
ПАК 1,5x0,25	0,25	М3,5x0,35	8; 10; 12; 14; 16	9; 12	0,5	0,6
ПКК 1,5x0,25						
ПСК 1,5x0,25						
ПКК 2,5x0,40	0,40	М6x0,5	12	9; 12	1,0	1,2

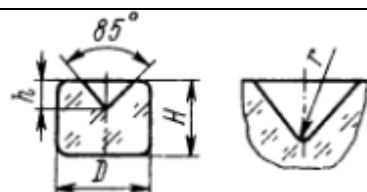
Примечания.

1. Размеры подпятников даны в табл. Д.8.

2. Предельные отклонения длины L по js14.

3. Армированный подпятник состоит из винта 1, пружины 2, пробки 3, шайбы 4, подпятника 5, резьбовой пробки 6.

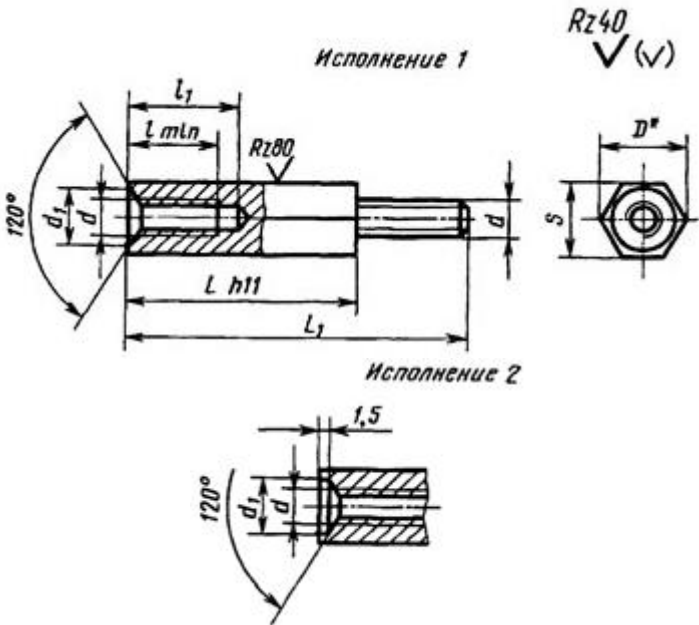
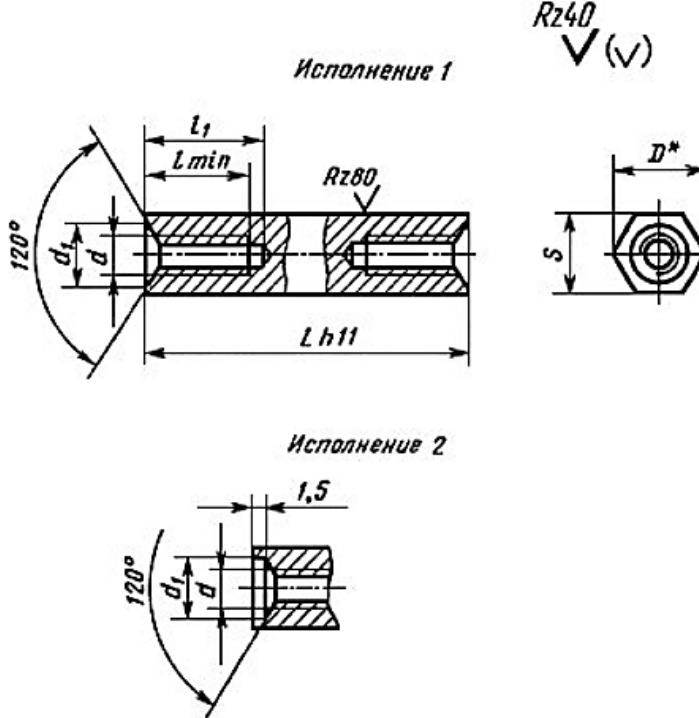
Таблица Д.8 – Размеры конических подпятников типа ПАК, ПКК, ПСК*
(ГОСТ 8898-78), мм

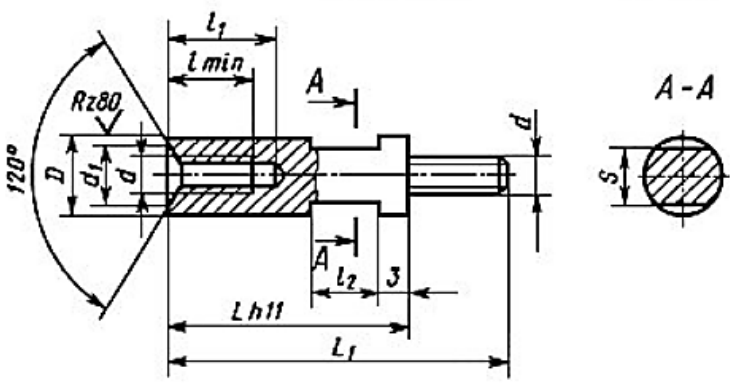
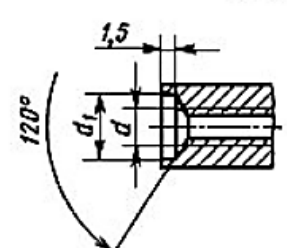
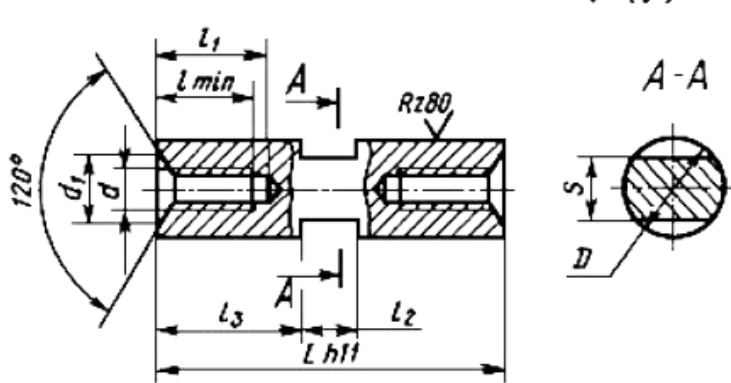
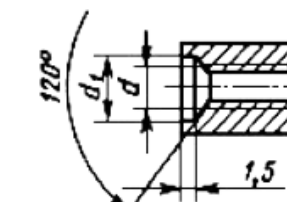
						
Типоразмер	$D_{-0,04}$	r	δr	H	δH	h
1,0x0,06	1,0	0,06	+0,030	0,8	-0,05	0,25
1,0x0,08		0,08				
1,0x0,10		0,10	0,050			
1,2x0,06	1,2	0,06	+0,030	1,0	-0,06	0,36
1,2x0,08		0,08				
1,2x0,10		0,10	+0,050			
1,2x0,15		0,15				
1,5x0,06	1,5	0,06	+0,030	1,0	-0,06	0,36
1,5x0,08		0,08				
1,5x0,10		0,10	+0,050			
1,5x0,15		0,15				
1,5x0,20		0,20				
1,5x0,25		0,25				
1,8x0,15	1,8	0,15	+0,050	1,2	-0,06	0,60
1,8x0,25		0,25				
2,0x0,20	2,0	0,20	+0,050	1,2	-0,06	0,60
2,0x0,30		0,30				
2,5x0,10	2,5	0,10	+0,050	2,0	-0,06	0,60
2,5x0,15		0,15				
2,5x0,25		0,25				
2,5x0,40		0,40				0,80
3,0x0,30	3,0	0,3	+0,050	2,5	-0,06	0,80

Примечания.

1. Обозначены через δr , δH предельные отклонения размеров r и H .
2. *ПАК – подпятник агатовый конический;
ПКК – подпятник корундовый конический;
ПСК – подпятник ситалловый конический.

Таблица Д.9 – Типы стандартных крепежных стоек

Эскиз стойки	Характеристика	ГОСТ
	Стойки установочные крепежные шестигранные с резьбовым концом и отверстием. Конструкция и размеры	ГОСТ 20862 – 81
	Стойки установочные крепежные шестигранные с резьбовыми отверстиями. Конструкция и размеры	ГОСТ 20865-81

<i>Исполнение 1</i>  <i>Исполнение 2</i> 	<i>Rz40</i> ✓(✓) Стойки установочные крепежные круглые с лысками с резьбовыми концом и отверстием. Конструкция и размеры	ГОСТ 20863-81
<i>Исполнение 1</i>  <i>Исполнение 2</i> 	<i>Rz40</i> ✓(✓) Стойки установочные крепежные круглые с лысками и резьбовыми отверстиями. Конструкция и размеры	ГОСТ 20866-81

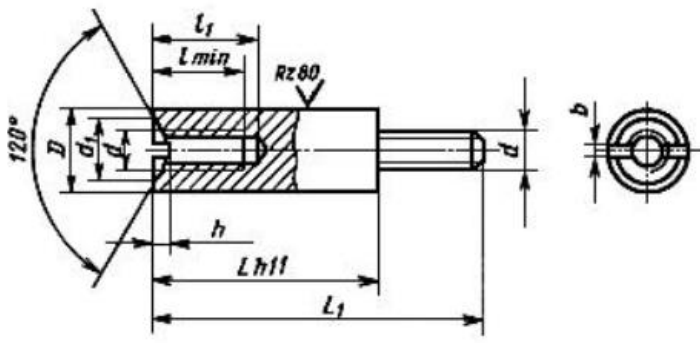
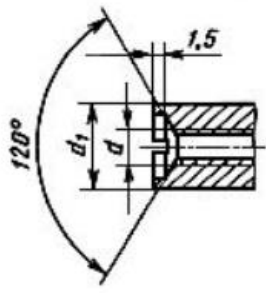
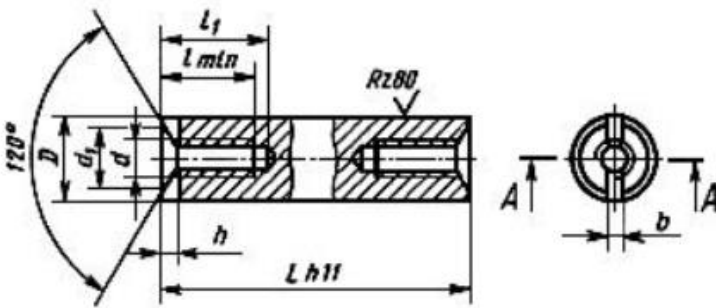
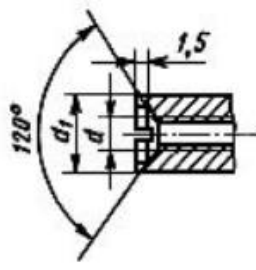
<i>Rz40</i> ✓ (✓) <i>Исполнение 1</i>  <i>Исполнение 2</i> 	Стойки установочные крепежные круглые со шлицем с резьбовыми концом и отверстием. Конструкция и размеры	ГОСТ 20864-81
<i>Rz40</i> ✓ (✓) <i>Исполнение 1</i>  <i>Исполнение 2</i> A-A 	Стойки установочные крепежные круглые со шлицем и резьбовыми отверстиями. Конструкция и размеры	ГОСТ 20867-81

Таблица Д.10 – Типы стандартных винтов

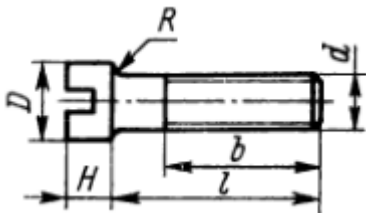
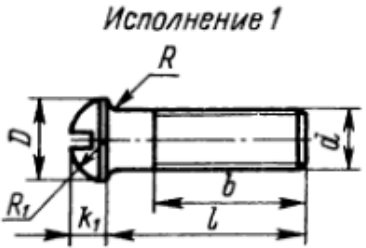
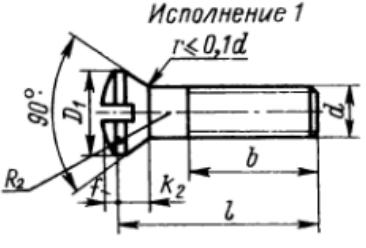
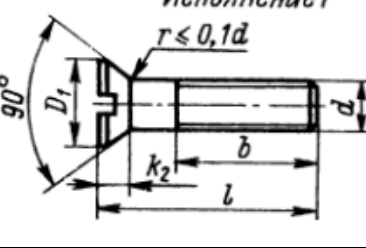
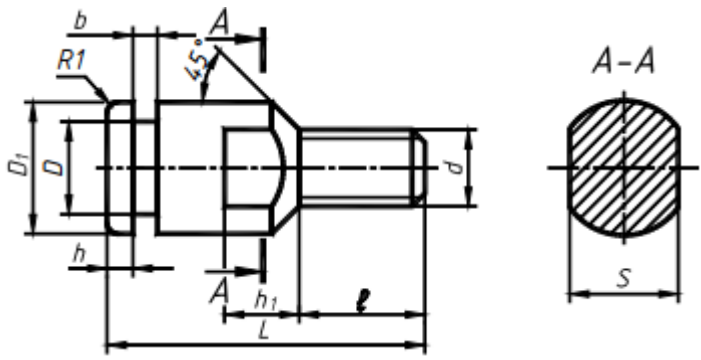
Форма головки	Эскиз	ГОСТ	Назначение
Цилиндрическая		ГОСТ 1491-80 Винты с цилиндрической головкой классов точности А и В. Конструкция и размеры	Для всех видов разъемных соединений
Полукруглая		ГОСТ 17473-80 Винты с полукруглой головкой классов точности А и В. Конструкция и размеры	При малых толщинах деталей, когда невозможно применять винты с утопленной поверхностью
Полупотайная		ГОСТ 17474-80 с полупотайной головкой классов точности А и В. Конструкция и размеры	
Потайная		ГОСТ 17475-80 Винты с потайной головкой классов точности А и В. Конструкция и размеры	При необходимости утопленного крепления и для обеспечения точной сборки

Таблица Д.11 – Основные размеры винтов общего назначения, мм

Форма головки		Цилиндрическая			Полукруглая		Полупотайная и потайная			
ГОСТ 1491-80					ГОСТ 17473-80		ГОСТ 17474-80, ГОСТ 17475-80			
d	b	D	R	H	k_1	R_1	k_2	D_1	R_2	f
1,0	8	2,0	0,1	0,7	0,7	1,1	0,6	1,9	2,1	0,25
1,2	9	2,3	0,1	0,8	0,8	1,3	0,72	2,3	2,6	0,3
1,4	9	2,6	0,1	0,9	0,95	1,4	0,84	2,6	2,9	0,35
1,6	9	3,0	0,1	1,0	1,1	1,6	0,96	3,0	3,4	0,4
2,0	10	3,8	0,1	1,3	1,4	2,0	1,2	3,8	4,2	0,5
2,5	11	4,5	0,1	1,6	1,7	2,4	1,5	4,7	5,4	0,6
3,0	12	5,5	0,1	2,0	2,1	2,9	1,65	5,6	6,0	0,75
3,5	13	6,0	0,1	2,4	2,4	3,1	1,93	6,5	6,8	0,9
4	14	7,0	0,2	2,6	2,8	3,6	2,2	7,4	8,0	1,0
5	16	8,5	0,2	3,3	3,5	4,4	2,5	9,2	9,4	1,25
6	22	10	0,25	3,9	4,2	5,1	3	11,0	12,0	1,5
8	26	13	0,4	5	5,6	6,6	4	14,5	15,0	2,0
10	40	16	0,4	6	7,0	8,1	5	18	19,0	2,5

Таблица Д.12 – Винты с канавкой для пружин растяжения (ГОСТ 12199 – 66), мм

										
Обозначение винтов	D	D_1	d	L	r	b	h	h_1	l	S
7009-0161	4,5	6	M4	16	0,3	1,0	1,6	4	8	5
7009-0162	5,5	8	M5	20	0,3	1,2	2,0	5	10	7
7009-0163	7,0	10	M6	25	0,3	1,6	2,0	6	12	10
7009-0164	9,0	12	M8	32	0,5	2,0	2,5	8	16	10
7009-0165	9,0	12	M10	32	0,5	2,0	2,5	8	16	10
7009-0166	11,0	16	M10	40	0,8	2,5	3,0	10	20	14
7009-0167	11,0	16	M12	40	0,8	2,5	3,0	10	20	14
7009-0168	14,0	20	M12	50	0,8	3,2	4,0	12	20	17
7009-0169	18,0	25	M16	60	0,8	4,0	5,0	16	25	22

Примечания.

1. Винты с канавкой для пружин растяжения (ГОСТ 12199 – 66) изготавливают из стали марки 45 по ГОСТ 1050 – 2013, с метрической резьбой по ГОСТ 24705 – 2004. Поле допуска резьбы – 6g по ГОСТ 16093 – 2004. Размеры сбегов и фасок для резьбы по ГОСТ 10549 – 80.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Учебно-методическое пособие
к выполнению курсового проекта*

*Составители: Балакин Алексей Игоревич,
Балакина Наталья Анатольевна*

В авторской редакции