

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра информационных и автоматизированных
производственных систем

Составитель
А. Н. ТРУСОВ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА
Часть 2**

Методические указания к лабораторным работам

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии,
профиль 02 Цифровые автоматизированные производственные
системы, в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты:

Протодияконов А. В. – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и автоматизированных производственных систем ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Чичерин И. В. – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии

Трусов Александр Николаевич

Технологическое оснащение автоматизированного производства. Часть 2 : методические указания для лабораторных работ для студентов направления подготовки 09.03.02 Информационные системы и технологии, профиль 02 Цифровые автоматизированные производственные системы, всех форм обучения / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; кафедра информационных и автоматизированных производственных систем ; составитель А. Н. Трусов. – Кемерово : КузГТУ, 2025. – 1 файл (1282 Кб). – Текст : электронный.

В данных методических указаниях изложено содержание лабораторных работ № 4, 5, порядок их выполнения и контрольные вопросы к ним.

© Кузбасский государственный
технический университет имени
Т. Ф. Горбачева, 2025

© А. Н. Трусов, составление, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ.....	4
1.1. Цель работы.....	4
1.2. Основные теоретические положения	4
1.3. Пример выполнения работы.....	8
1.4. Содержание отчета	14
1.5. Контрольные вопросы.....	14
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	16
Варианты заданий для выполнения лабораторной работы.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	20
Типовые схемы контроля основных параметров деталей.....	20
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	25
Метрологические характеристики некоторых отсчетных средств измерения	25
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. РАСЧЕТ ЦЕНТРИРУЮЩИХ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ КЛЕЩЕВОГО ТИПА	26
2.1. Цель работы.....	26
2.2. Теоретические положения	26
2.3. Порядок выполнения работы	31
2.4. Содержание отчета	32
2.5. Контрольные вопросы.....	32
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	33

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

1.1. Цель работы

Цель работы – изучение методики и получение практических навыков проектирования и расчета контрольных приспособлений.

В результате выполнения работы студентом должны быть приняты основные решения по конструкции, а также разработана принципиальная схема нестандартного приспособления для контроля заданных геометрических параметров детали.

Исходные данные включают в себя эскиз контролируемой детали с указанием одного-двух геометрических параметров детали, подлежащих контролю, а также требуемой производительности контроля. Исходные данные определяются из прил. 1.

1.2. Основные теоретические положения

Проектирование контрольного приспособления выполняется в три этапа.

1.2.1. Разработка принципиальной схемы приспособления

Разработка принципиальной схемы приспособления начинается с выбора схемы установки детали в приспособление. Выбор схемы установки определяется расположением и размерами измерительных баз детали.

При контроле точности формы поверхностей в качестве измерительных баз используются любые точки контролируемых поверхностей. В этом случае деталь устанавливается в контрольном приспособлении на любые удобные для базирования поверхности.

Если предусматривается контроль одновременно нескольких параметров детали, желательно, чтобы все эти параметры контролировались от одних и тех же измерительных баз, без переустановки.

Выбранная схема базирования детали реализуется с помощью установочных элементов приспособления, к которым предъявляются следующие требования:

- простота конструкции;
- минимальная погрешность установки.

С учетом всех этих требований в качестве установочных элементов при установке деталей по плоским поверхностям используются стандартные жесткие опоры, шлифуемые в сборе, либо непосредственно плоские поверхности на корпусе приспособления.

При установке по наружным цилиндрическим поверхностям установочными элементами обычно служат призмы, при установке по внутренним цилиндрическим поверхностям – разжимные и цилиндрические оправки различных конструкций.

Если измерительной базой задана ось цилиндрической поверхности, в качестве установочных элементов могут быть использованы жесткие центры.

Выбор схемы измерения производится в зависимости от:

- точности измерения контролируемого параметра;
- конфигурации и относительного положения измерительных баз и контролируемых поверхностей и осей.

Точность измерения накладывает ограничения на количество, состав и конструкцию передаточных элементов между контролируемой поверхностью и измерительным устройством. Чем выше заданная точность измерения, тем меньше должно быть передаточных элементов и тем они должны быть проще по конструкции с целью уменьшения количества стыков и зазоров, вносящих дополнительные погрешности. Наивысшая точность измерений достигается при полном отсутствии передаточных элементов, когда измерительное устройство непосредственно контактирует с контролируемой поверхностью.

Конфигурация детали и относительное положение измерительных баз и контролируемых поверхностей и осей является определяющим фактором при выборе схемы измерения. При этом схема измерения определяется видом контролируемого параметра и типом, к которому принадлежит деталь.

1.2.2. Точностной расчет приспособления

Цель точностного расчета контрольного приспособления заключается в определении допустимой величины погрешности измерительного устройства, являющейся исходной при выборе модели и типоразмера измерительного устройства.

Точностной расчет выполняется в такой последовательности:

- а) определение допустимой погрешности измерения контролируемого параметра;
- б) определение допустимой величины погрешности измерительного устройства.

Для этого используется формула для определения суммарной погрешности контрольного приспособления:

$$\Delta_{np} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_n^2 + \Delta_{\varepsilon}^2 + \Delta_m^2}, \quad (1.1)$$

где ε_{δ} – погрешность базирования детали в контрольном приспособлении; ε_z – погрешность закрепления детали в контрольном приспособлении; ε_n – погрешность передаточных устройств контрольного приспособления; Δ_{ε} – погрешность настройки контрольного приспособления по эталону; Δ_m – погрешность измерительного устройства, определяющая погрешность метода измерения.

Для обеспечения требуемой точности контроля необходимо, чтобы

$$\Delta_{np} = \delta_{изм}, \quad (1.2)$$

где $\delta_{изм}$ – допустимая погрешность измерения.

С учетом этого условия величина погрешности измерительного устройства определяется по формуле

$$\Delta_m = \sqrt{\delta_{изм}^2 - \varepsilon_{\delta}^2 - \varepsilon_z^2 - \varepsilon_n^2 - \Delta_{\varepsilon}^2}, \quad (1.3)$$

Погрешность базирования ε_{δ} определяется расчетом исходя из схемы установки детали в приспособлении.

Погрешность закрепления ε_z возникает лишь в тех случаях, когда используются специальные зажимные устройства для закрепления детали в контрольном приспособлении.

Погрешности передаточных устройств ε_n обусловлены неточностями изготовления рычагов и других деталей, а также наличием зазоров между осями и отверстиями рычагов, неточностью их перемещений. Эти погрешности определяются расчетным путем.

Необходимость настройки приспособления возникает при контроле абсолютных величин – размеров, расстояний.

При контроле относительных параметров – отклонений формы, отклонений от параллельности, от перпендикулярности одним измерительным устройством нет необходимости настраивать приспособление по эталону. В этом случае измерение происходит при относительном перемещении детали и измерительного устройства, и за начало отсчета может быть принято любое показание устройства, от которого замеряются только отклонения.

При контроле относительных параметров необходимость в настройке приспособления по эталону возникает лишь тогда, когда измерение этих параметров производится несколькими измерительными устройствами без относительного движения детали и измерительных устройств. В этом случае все измерительные устройства должны быть перед измерением настроены на один и тот же размер – на «ноль». Погрешность относительного параметра определяется как разность показаний двух измерительных устройств в процессе измерения.

Погрешность настройки приспособления по эталону определяется по формуле

$$\Delta_{\vartheta} = \sqrt{\Delta_{изг}^2 + \Delta_{уст}^2}, \quad (1.4)$$

где $\Delta_{изг}$ – погрешность изготовления эталона; $\Delta_{уст}$ – погрешность базирования эталона в контрольном приспособлении.

Для обеспечения заданной точности контроля, точность изготовления эталона должна быть на 1–2 квалитета выше точности изготовления контролируемой детали.

Погрешность базирования эталона в контрольном приспособлении определяется в зависимости от выбранной схемы базирования аналогично погрешности $\varepsilon_{\bar{\rho}}$.

1.2.3. Выбор измерительных устройств приспособления

Допустимая величина погрешности измерения определяет выбор модели и типоразмера измерительного инструмента.

В том случае, если с помощью одного измерительного устройства производится одновременный контроль нескольких параметров, тип измерительного устройства определяется по наименьшей допустимой величине погрешности измерения из всех, определенных на стадии точностного расчета.

1.3. Пример выполнения работы

Последовательность выполнения работы рассмотрим на конкретном примере. Здесь контролю подлежат размер $50^{+0,3}$ мм и отклонение от перпендикулярности $0,05$ мм поверхности B относительно поверхности A (рис. 1.1).

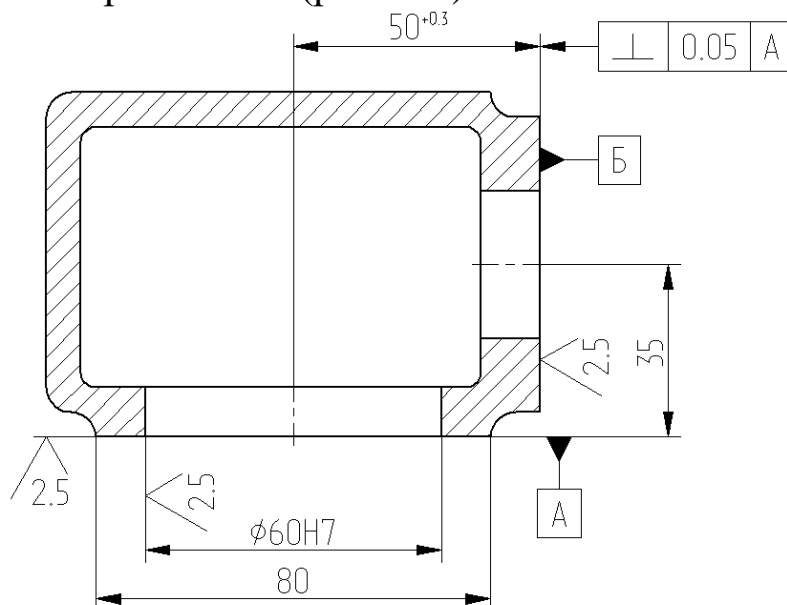


Рис. 1.1. Эскиз детали, подлежащий контролю

1.3.1. Разработка принципиальной схемы приспособления

1.3.1.1. Выбор измерительных баз

Выбор измерительных баз производится по чертежу детали (рис.1.1). Здесь измерительными базами определены:

- для размера $50^{+0,3}$ мм – поверхность *В* либо ось отверстия $\varnothing 60H7$;
- для отклонения от перпендикулярности – поверхность *А*.

Оба параметра контролируются в одном приспособлении, поэтому в качестве измерительных баз принимаются поверхность *А* и ось отверстия $\varnothing 60H7$ (рис. 1.2).

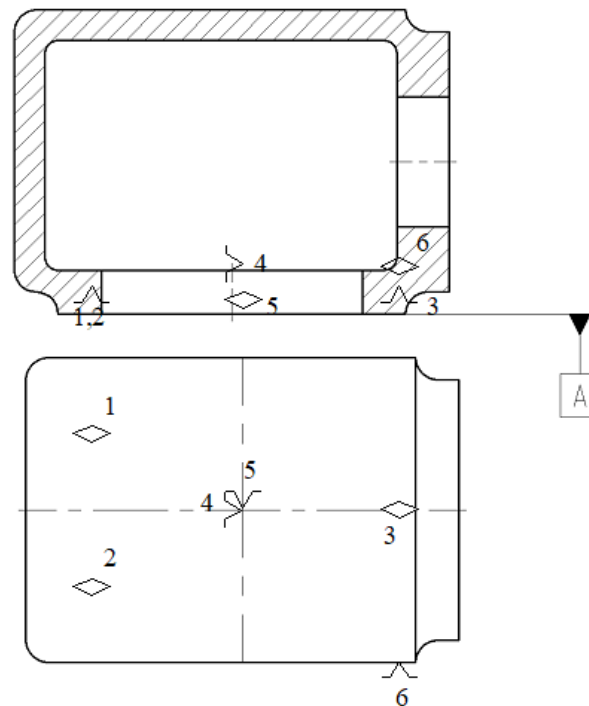


Рис. 1.2. Схема установки контролируемой детали

1.3.1.2. Выбор установочных элементов

Выбор установочных элементов производится в зависимости от формы измерительных баз.

Базовая поверхность *А* имеет шероховатость $Ra\ 1,25\ \mu\text{м}$, следовательно, отклонение от плоскостности этой поверхности также невелико. Поэтому принимается установка детали поверх-

ностью A непосредственно на плоскость корпуса приспособления без применения жестких опор. Для установки детали по оси отверстия $\varnothing 60H7$ принимается гладкая цилиндрическая оправка. С целью обеспечения минимального зазора между оправкой и отверстием $\varnothing 60H7$ принимается диаметр оправки $\varnothing 60g5\left(\begin{smallmatrix} -0,010 \\ -0,028 \end{smallmatrix}\right)$.

1.3.1.3. Выбор схемы измерения

Выбор схемы измерения производится на основании схемы установки детали и характера контролируемых параметров по данным приложения 2. Здесь значками \sphericalangle обозначены измерительные базы, знаками $\leftarrow \odot$ – измерительные устройства приспособлений.

Учитывая невозможность перемещения детали в процессе измерения, отклонение от перпендикулярности поверхности B относительно поверхности A определяется по разности показаний двух измерительных устройств $A2-A1$. Точность $50^{+0,3}$ может быть определена по показанию любого из двух измерительных устройств ($A1$ или $A2$). При этом оба измерительных устройств должны быть предварительно на измерительный размер по эталону (рис. 1.3).

1.3.2. Точностной расчет приспособления

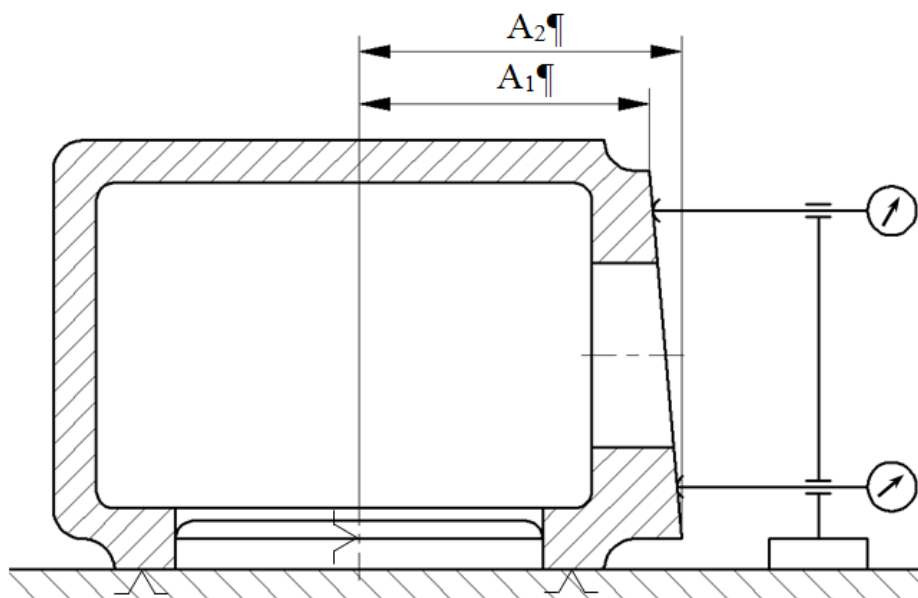


Рис. 1.3. Схема контроля заданных параметров детали

1.3.2.1. Определение допустимых погрешностей измерения

Допускаемые погрешности измерения $\delta_{изм}$ при приемочном контроле но линейные размеры до 500 мм устанавливаются ГО-СТами. В соответствии со стандартом эти погрешности приняты равными 35–20 % от допуска IT на изготовление детали. Допускаемые погрешности измерения геометрических параметров могут быть приняты в пределах 20–30 % от допуска на их величину.

При контроле нескольких параметров в одном контрольном приспособлении одним измерительным элементом допускаемые погрешности измерения определяется для каждого параметра в отдельности. В этом случае точностной расчет контрольного приспособления производится для каждого контролируемого параметра.

В рассматриваемом примере в соответствии с ГОСТ 8.051-81 допустимая погрешность измерения размера $50^{+0,3}$ составляет $\delta'_{изм} = 60 \text{ мкм}$ [22]. Погрешность, допускаемая при измерении отклонения от перпендикулярности, принимается ориентировочно в размере 25 % от допуска на перпендикулярность. Учитывая, что отклонение от перпендикулярности в 0,05 мм может быть допущено как в сторону увеличения угла, так и в сторону уменьшения, суммарное отклонение составляет $\pm 0,05 \text{ мм}$. Таким образом, допуск составляет IT=0,1 мм, а допустимая погрешность измерения

$$\delta''_{изм} = 0,25 \times 100 = 25 (\text{мкм}).$$

1.3.2.2. Определение допустимой величины погрешности измерительных устройств

Определение допустимой величины погрешности измерительных устройств производится по формуле 3. Точностной расчет производится для каждого контролируемого параметра в отдельности.

а) контроль размера $50^{+0,3}$

Погрешность базирования для этого размера при установке на цилиндрическую оправку, равна половине величины макси-

мального зазора S_{\max} между поверхностью отверстия детали $\cap 60H7^{+0,03}$ и поверхностью оправки $\cap 60g5\left(\begin{smallmatrix}-0,010 \\ -0,028\end{smallmatrix}\right)$ [1, 2].

$$\varepsilon'_o = \frac{1}{2} S_{\max} = \frac{1}{2} [+0,030 - (-0,023)] = 0,0265 \text{ (мм)}.$$

В рассматриваемом приспособлении зажимные и передаточные устройства отсутствуют, поэтому:

$$\varepsilon'_z = 0 \text{ (мм)} \text{ и } \varepsilon'_n = 0 \text{ (мм)}.$$

Для настройки приспособления на измерение размера $50^{+0,3}$ должен быть применен эталон. Эталоном может быть специально изготовленная деталь, аналогичная контролируемой, либо разработана более простая и технологичная конструкция, например, в форме тел вращения (рис. 1.4).

Погрешность изготовления эталона составляет

$$\Delta'_{изг} = \frac{0,035}{2} = 0,0175 \text{ (мм)}.$$

Погрешность базирования эталона в приспособлении равна половине величины зазора между поверхностью отверстия эталона и поверхностью цилиндрической оправки [2]:

$$\Delta'_{ycm} = \frac{1}{2} S_{\max} = \frac{1}{2} [0 - (-0,023)] = 0,0115 \text{ (мм)}.$$

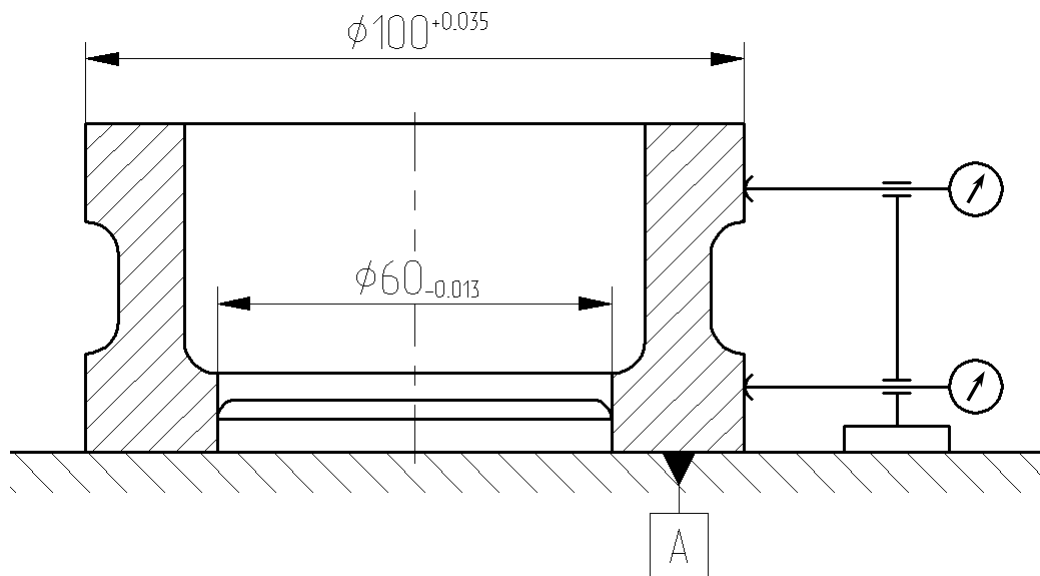


Рис. 1.4. Настройка приспособления по эталону

Погрешность настройки приспособления по эталону, определенная по формуле 1.4 и равна

$$\Delta'_9 = \sqrt{0,0175^2 + 0,0115^2} \approx 0,021 \text{ (мм)}.$$

Допустимая погрешность измерительного устройства для контроля размера $50^{+0,3}$ по формуле (1.3) равна

$$\Delta'_m = \sqrt{60^2 - 26,5^2 - 0^2 - 0^2 - 21^2} \approx 49 \text{ (мкм)}.$$

б) контроль отклонения от перпендикулярности

Погрешность базирования этого параметра равна нулю, так как установка детали по поверхности A происходит без зазоров, а погрешностями формы поверхности A можно пренебречь:

$$\varepsilon''_o = 0 \text{ (мм)}.$$

Поскольку зажимные и передаточные устройства отсутствуют,

$$\varepsilon'_3 = 0 \text{ (мм)} \text{ и } \varepsilon'_n = 0 \text{ (мм)}.$$

Погрешность изготовления эталона определяется отклонением от перпендикулярности поверхности $\cap 100^{+0,035}$ относительно поверхности A эталона. Эта неперпендикулярность принимается равной $\frac{1}{3}$ допуска на диаметр $\cap 100^{+0,035}$:

$$\Delta''_{изг} = \frac{1}{3} 0,035 \approx 0,012 \text{ (мм)}.$$

Погрешность базирования эталона в приспособлении равна нулю, так как эталон устанавливается на поверхность A без зазоров:

$$\Delta''_{уст} = 0 \text{ (мм)}.$$

Погрешность настройки приспособления по эталону для контроля неперпендикулярности по формуле (1.4) равна

$$\Delta''_9 = \sqrt{0,012^2 + 0^2} = 0,012 \text{ (мм)}.$$

Допустимая погрешность измерительного устройства для контроля неперпендикулярности по формуле (1.3) равна

$$\Delta'_m = \sqrt{25^2 - 0^2 - 0^2 - 0^2 - 12^2} \approx 21 \text{ (мкм)}.$$

1.3.3. Выбор измерительных устройств приспособления

Выбор измерительных устройств приспособлений производится на основании точностного расчета по данным прил. 3.

В рассматриваемом примере допустимая погрешность измерения размера $50^{+0,3}$ составляет $\Delta''_m = 49 \text{ мкм}$; допустимая погрешность измерения отклонения от перпендикулярности поверхности B относительно поверхности A составляет $\Delta''_m = 21 \text{ мкм}$. Поскольку оба параметра контролируются одним измерительным устройством, выбор типоразмера этого устройства производится по наименьшей допустимой величине погрешности измерения $\Delta''_m = 21 \text{ мкм}$.

В соответствии с данными приложения 3 выбирается измерительное устройство – индикатор часового типа ИЧ 10 с диапазоном измерений 0–10 мм класса точности 1, имеющий погрешность измерения не более 0,020 мм, то есть менее 21 мкм.

1.4. Содержание отчета

Отчет о проделанной практической работе должен содержать:

- цель работы;
- задание-эскиз контролируемой детали с техническими требованиями;
- обоснование выбора схемы установки детали в контрольном приспособлении;
- схема базирования детали в контрольном приспособлении;
- обоснование выбора установочных элементов приспособления;
- обоснование выбора схемы измерения;
- схема измерения;
- точностной расчет приспособления (в развернутом виде);
- обоснование выбора измерительного устройства приспособления;
- выводы по работе.

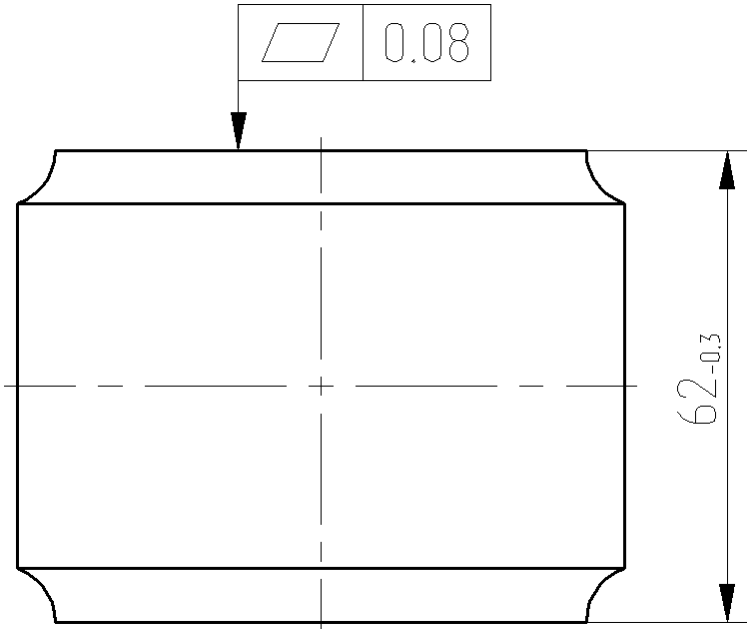
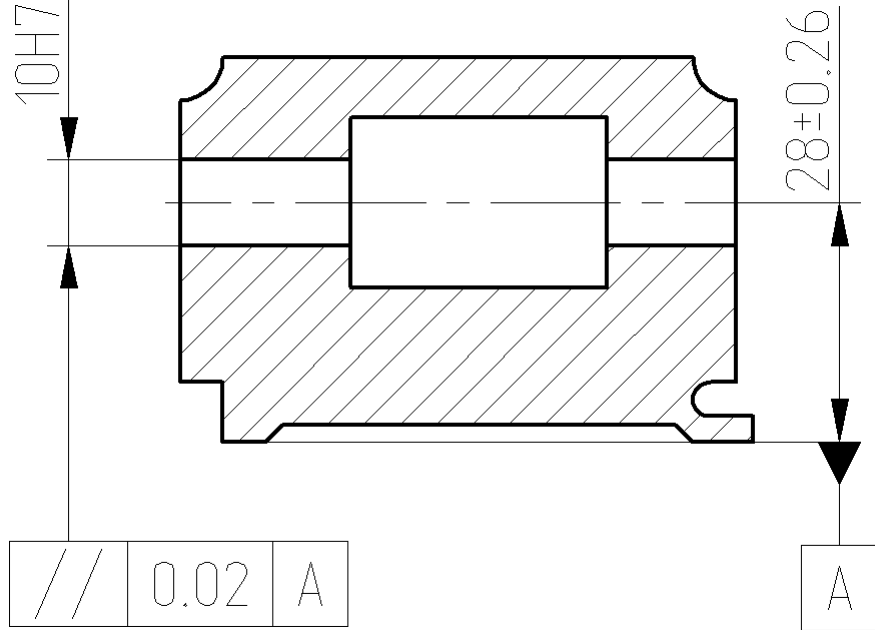
1.5. Контрольные вопросы

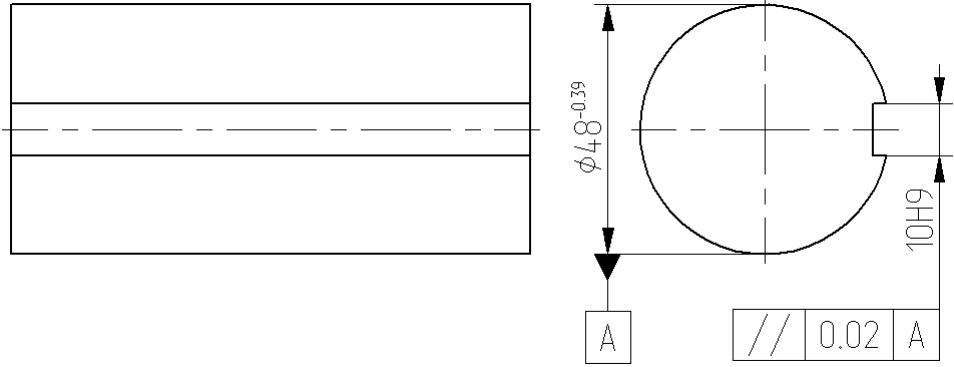
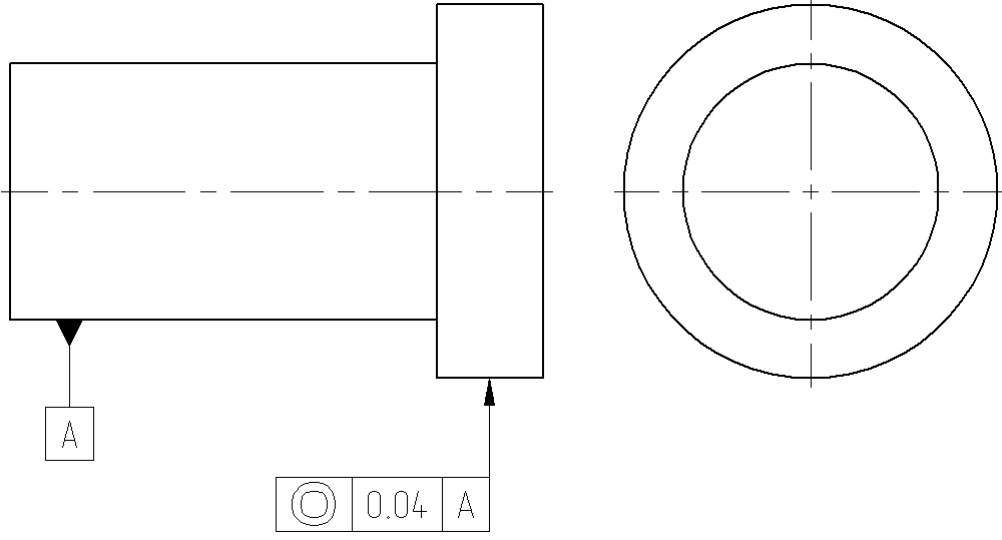
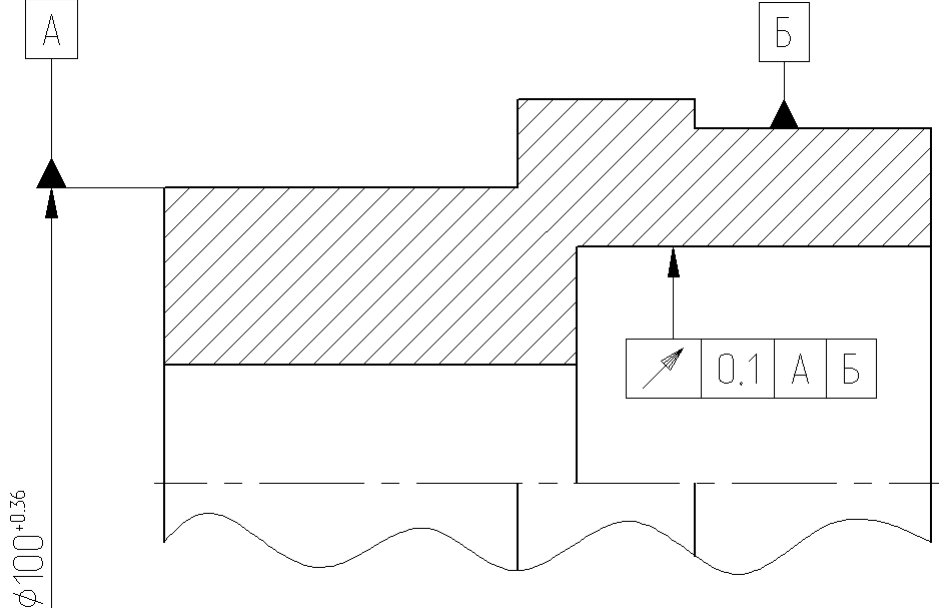
1. Какие этапы включает в себя методика проектирования контрольного приспособления?

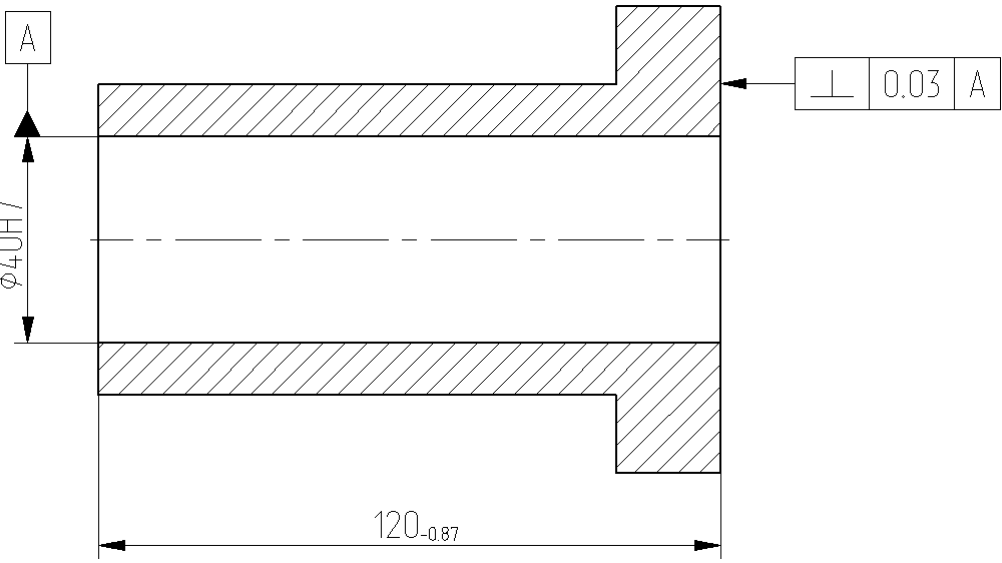
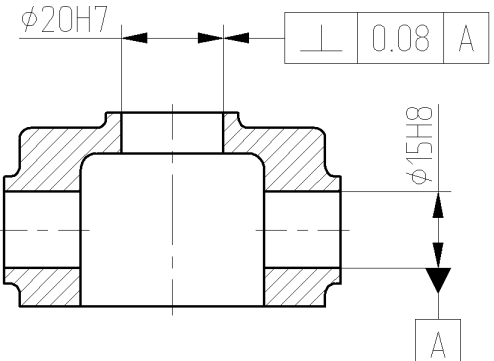
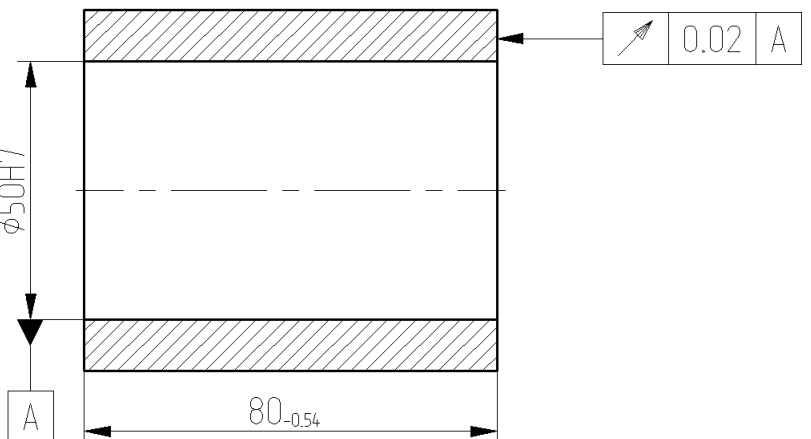
2. От чего зависит схема установки детали в контрольном приспособлении?
3. Какое влияние оказывают передаточные элементы на точность контроля?
4. Для чего проводится точностной расчет приспособления?
5. Какие составляющие входят в формулу для определения допустимой величины погрешности контрольного приспособления? Что влияет на их значение?
6. От чего зависит выбор модели и типоразмера измерительного устройства?

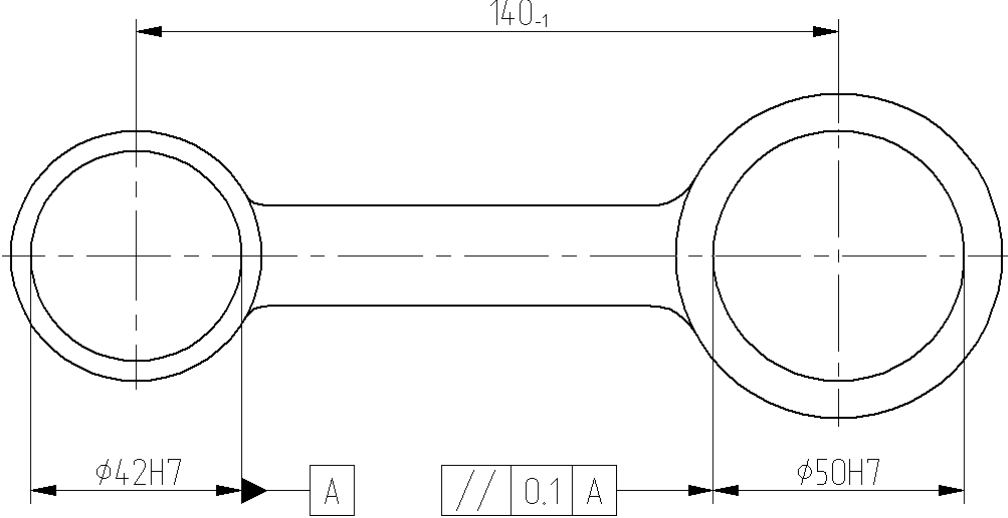
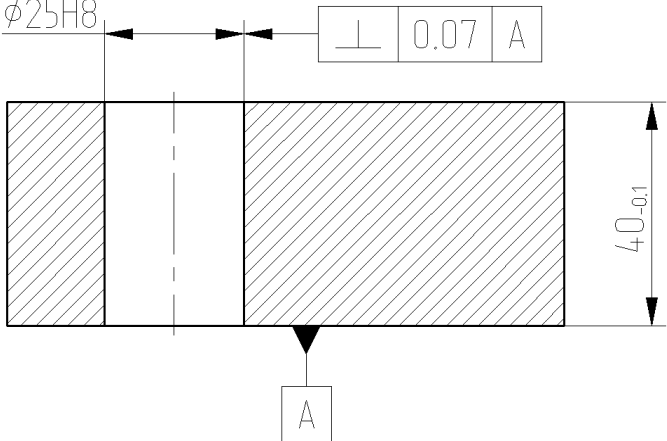
ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

№ варианта	Деталь и параметры для контроля
1	
2	

№ варианта	Деталь и параметры для контроля
3	
4	
5	

№ варианта	Деталь и параметры для контроля
6	
7	
8	

№ варианта	Деталь и параметры для контроля
9	 <p>Technical drawing of a shaft with two flanges. The total length is 140_{-1}. The left flange has a diameter of $\phi 42H7$ and the right flange has a diameter of $\phi 50H7$. A feature control frame on the shaft indicates a parallelism tolerance of 0.1 relative to datum A.</p>
10	 <p>Technical drawing of a rectangular part with a central slot. The left part has a diameter of $\phi 25H8$. The total width is $40_{-0.1}$. A feature control frame indicates a perpendicularity tolerance of 0.07 relative to datum A.</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Типовые схемы контроля основных параметров деталей

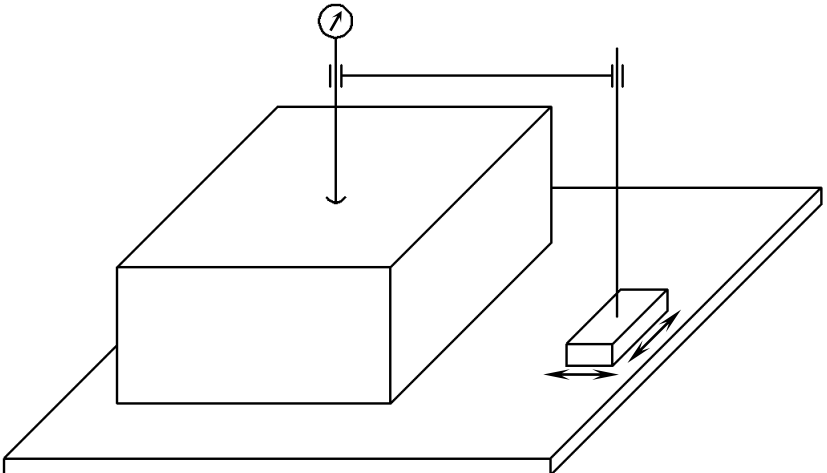
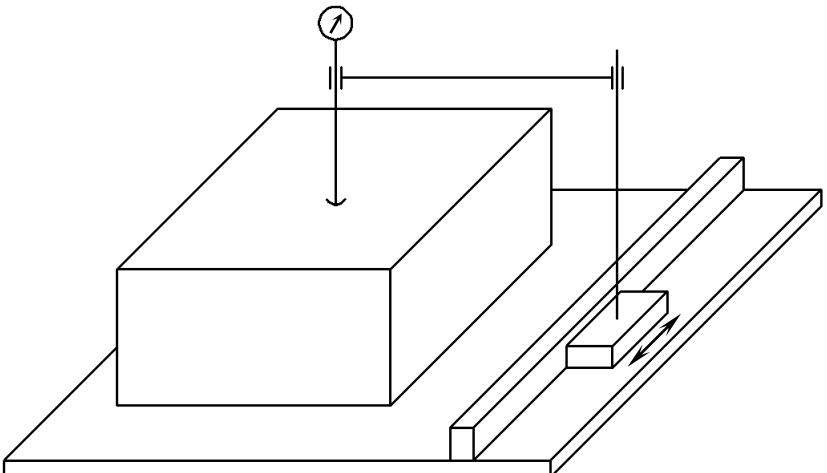
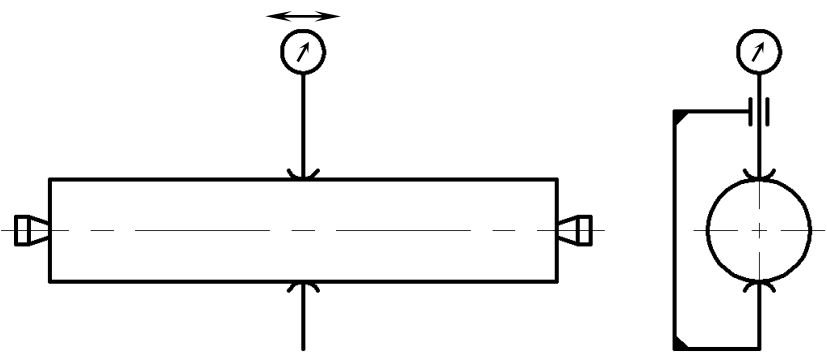
Схема контроля	Контролируемый параметр
Отклонения формы поверхности	
	<p>Отклонение от плоскостности поверхности А.</p> <p>Измерительная база – контролируемая поверхность</p>
	<p>Отклонение от прямолинейности поверхности А.</p> <p>Измерительная база – контролируемая поверхность</p>
	<p>Отклонение от цилиндричности поверхности А.</p> <p>Измерительная база – контролируемая поверхность</p> $\Delta = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2}$

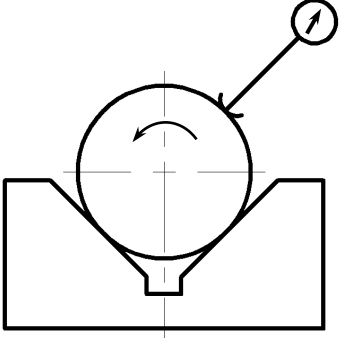
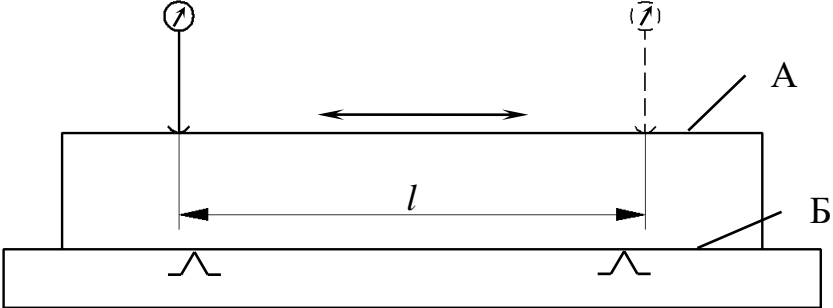
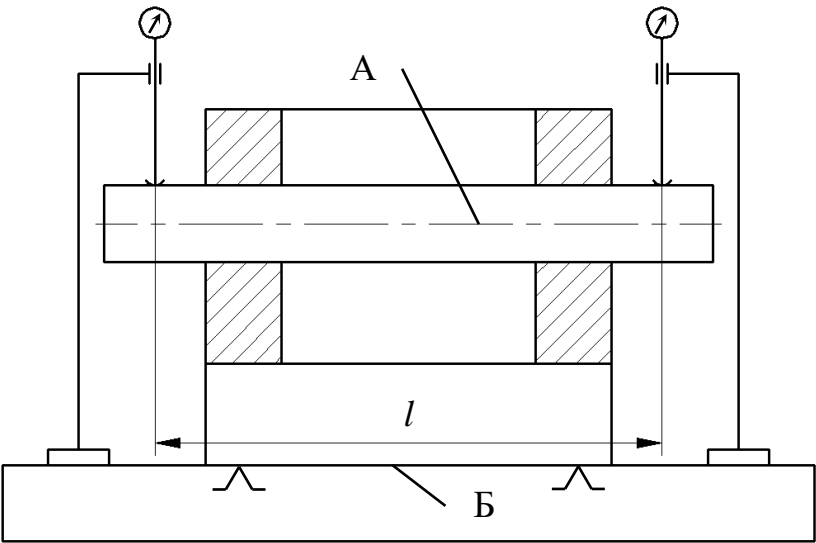
Схема контроля	Контролируемый параметр
	<p>Отклонение от круглости. Измерительная база – контролируемая поверхность</p>
Отклонения расположения поверхностей	
	<p>Отклонение от параллельности поверхности А относительно поверхности Б на длине l</p>
	<p>Отклонение от параллельности оси отверстия А относительно поверхности Б на длине l</p>

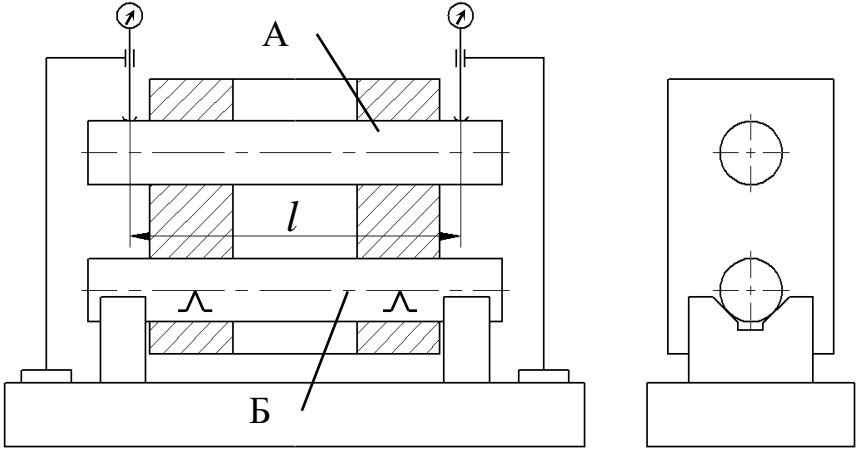
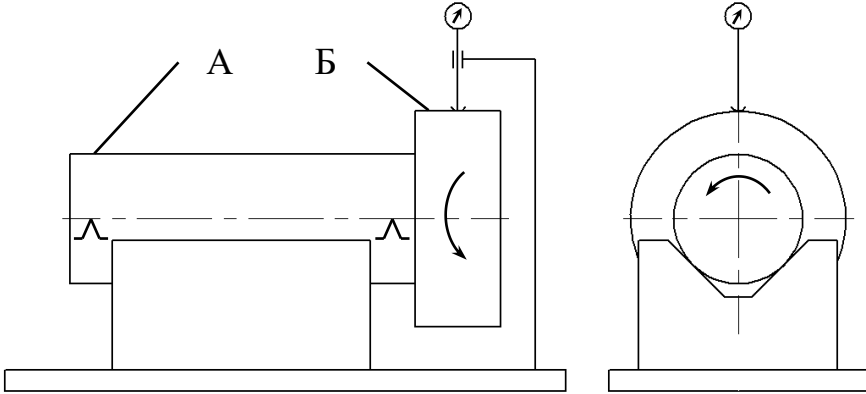
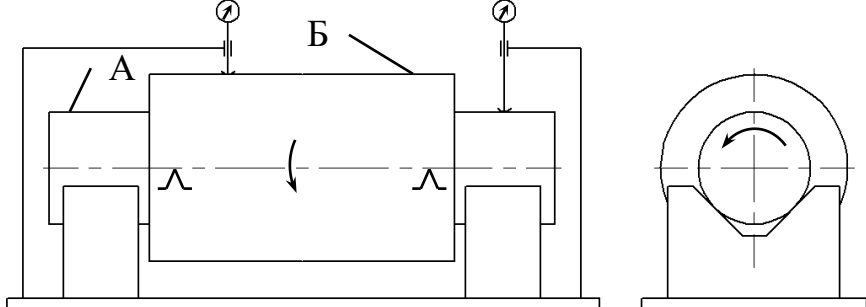
Схема контроля	Контролируемый параметр
	<p>Отклонение от параллельности оси отверстия А относительно оси отверстия Б на длине l</p>
	<p>Отклонение от соосности поверхности А относительно поверхности Б</p>
	<p>Отклонение от соосности поверхностей А и Б относительно общей оси</p>

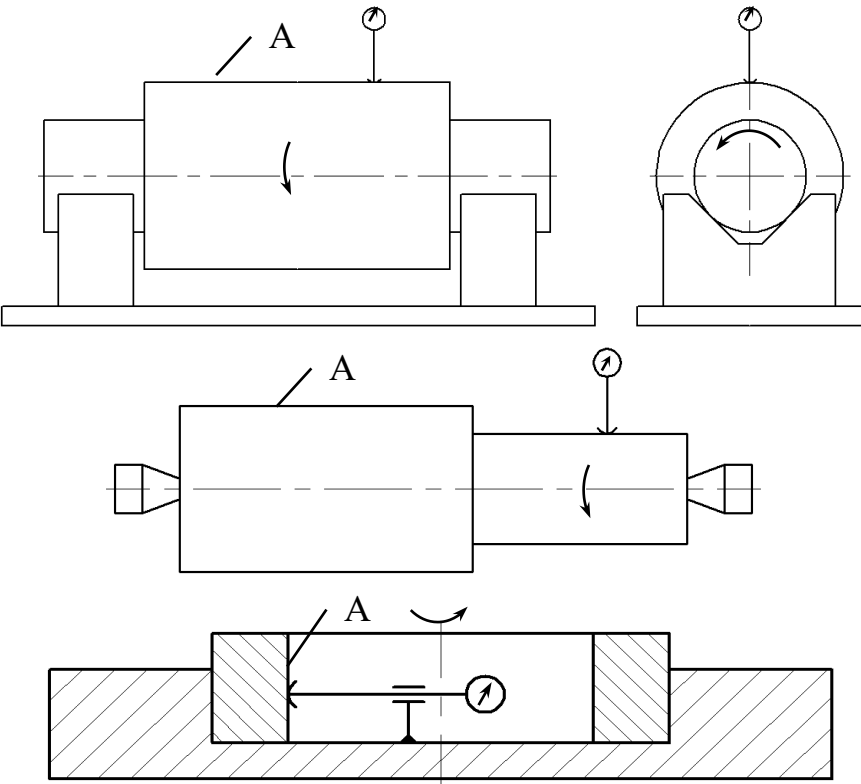
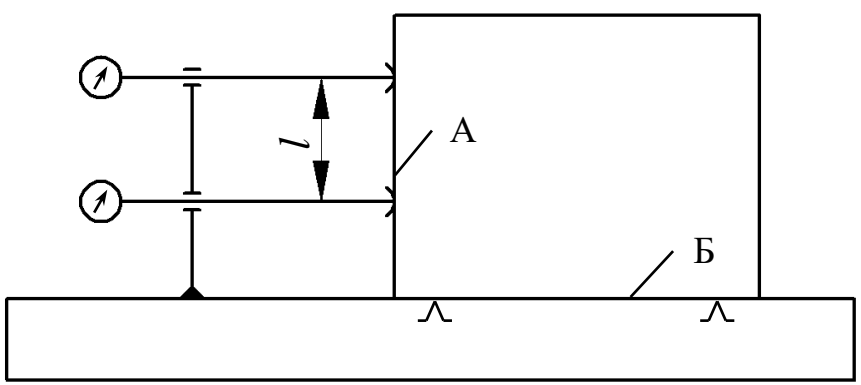
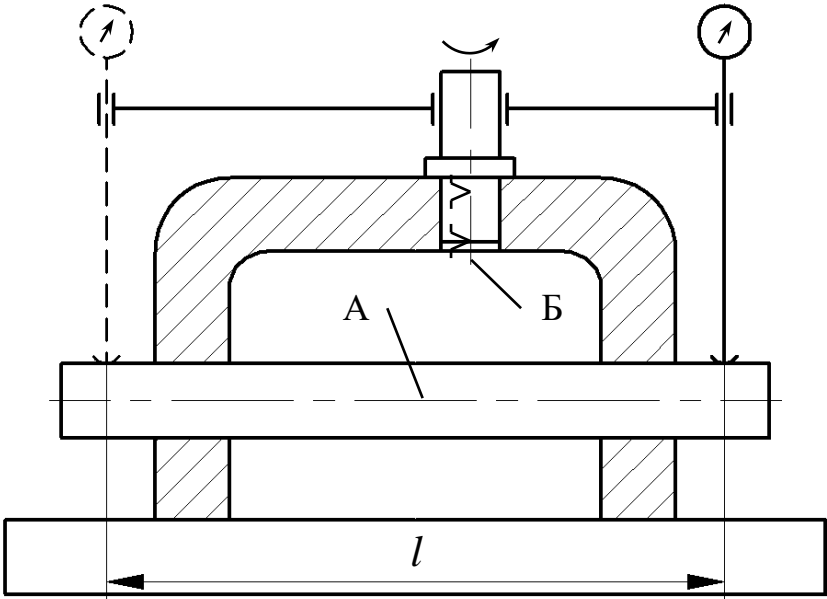
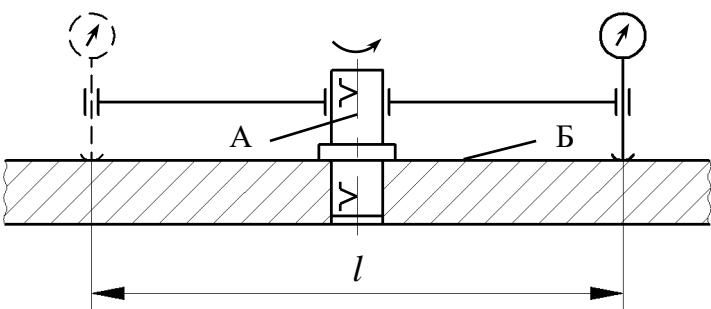
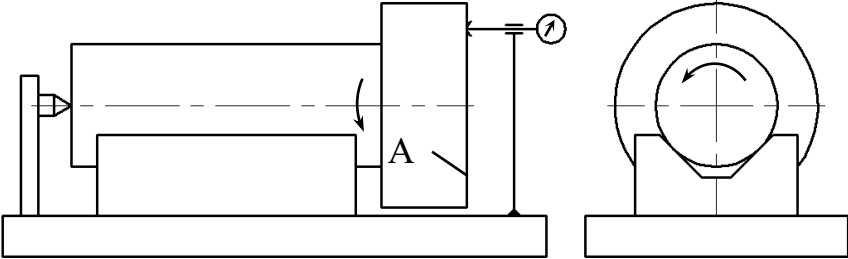
Схема контроля	Контролируемый параметр
	<p>Радиальное биение поверхности А</p>
	<p>Отклонение от перпендикулярности поверхности А относительно поверхности Б</p>

Схема контроля	Контролируемый параметр
	<p>Отклонение от перпендикулярности оси отверстия А относительно поверхности Б на длине l</p>
	<p>Отклонение от перпендикулярности оси отверстия А относительно поверхности Б на длине l</p>
	<p>Торцевое биение поверхности А</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

**Метрологические характеристики
некоторых отсчетных средств измерения**

Тип или модель	Диапазон измерений, мм	Цена деления, мм	Погрешность измерения, мкм	
			класс точности	
			0	1
Индикаторы часового типа				
ИЧ 2	0–2	0,01	10	12
ИЧ 5	0–5	0,01	12	16
ИЧ 10	0–10	0,01	15	20
ИТ	0–2	0,01	10	12
Индикаторы рычажно-зубчатые с наконечниками бокового действия				
ИРБ	0–0,8	0,01	5	—
ИРТ	0–0,8	0,01	5	—
Головка рычажно-зубчатая однобортная				
1ИГ	±0,05	0,001	±0,7	—
2ИГ	±0,10	0,002	±1,2	—
1ИГМ	±0,05	0,001	±0,7	—
2ИГМ	±0,1	0,002	±1,2	—
Индикатор многооборотный				
1МИГ	0–1	0,001	2,5	—
2МИГ	0–2	0,002	5,0	—
1МИГП	0–1	0,001	1,8	—
2МИГП	0–2	0,002	3,5	—

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. РАСЧЕТ ЦЕНТРИРУЮЩИХ ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВ КЛЕЩЕВОГО ТИПА

2.1. Цель работы

Целью работы является ознакомление студентов с методами расчета механических захватных устройств (ЗУ) промышленных роботов (ПР).

2.2. Теоретические положения

Расчет механических ЗУ включает в себя:

- профилирование центрирующих поворотных губок;
- нахождение сил, действующих в местах контакта заготовки и губок;
- определение усилий привода;
- проверку отсутствия повреждений поверхности детали при захвате;
- проверку на прочность деталей ЗУ.

2.2.1. Профилирование центрирующих губок

При манипулировании ступенчатыми валами и фланцами, при групповой обработке надо выдерживать положение оси детали при каком-то диапазоне изменения диаметров деталей (D_{\max} , D_{\min}). Такие ЗУ оснащают поворотными губками криволинейной формы. Губки должны быть профилированы так, чтобы обеспечивать в определенном диапазоне центрирование шеек вала (или фланца) различного диаметра. Верхние части губок делают одинаковой ширины, а нижние срезают так, чтобы они заходили одна за другую. Это позволяет надежно центрировать вал даже в том случае, когда в зоне действия губок оказывается ступень с перепадом диаметров.

Для точного центрирования заготовки профиль губок аппроксимируется дугами окружности.

Исходными данными для построения профиля губок являются диапазон диаметров зажимаемых деталей (D_{\max} , D_{\min}) и цен-

тральный угол между точками контакта губок с деталью 2α (рекомендуется $\alpha = 40 \dots 50^\circ$ (рис. 2.1)). Последовательность построения профиля видна из рисунка. Точка A – ось вращения губок. Размер R между центром зажимаемого вала и осью поворота губок выбирается конструктивно и должен быть

$$R > D_{cp} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}. \quad (2.1)$$

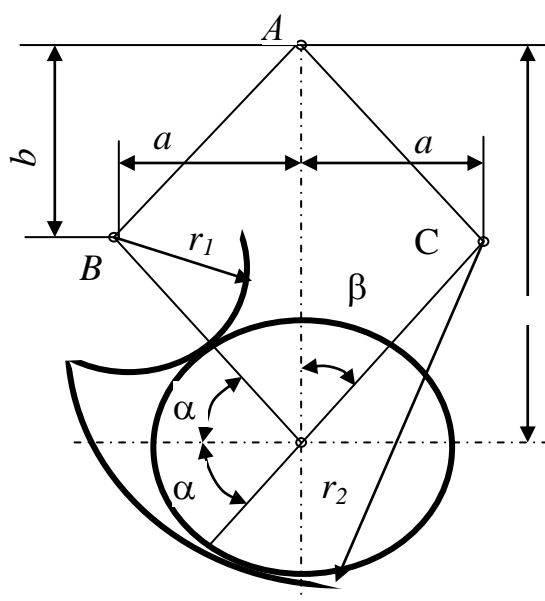


Рис. 2.1. Схема к профилированию губок ЗУ

Координаты точек B и C :

$$a = \frac{R}{2} \operatorname{ctg} \alpha, \quad b = \frac{R}{2}. \quad (2.2)$$

Радиусы дуг профиля губок:

$$r_1 = \frac{R}{2 \sin \alpha} - \frac{D_{CP}}{2}; \quad r_2 = \frac{R}{2 \sin \alpha} + \frac{D_{CP}}{2}. \quad (2.3)$$

Профили губок симметричны.

Если губки имеют разные оси поворота (A_1 и A_2), то рекомендуется центральный угол ($\angle A_1 O A_2$) между ними φ :

$$0 \leq \varphi \leq (2\alpha - 40^\circ). \quad (2.4)$$

При этом точки контакта с радиусом r_1 удаляются, а с радиусом r_2 — сближаются.

Погрешность центрирования при таком методе составляет:

$$\Delta = \pm \frac{(D_{\max} - D_{\min})}{44096 R^3} \operatorname{tg}^2 \beta. \quad (2.5)$$

2.2.2. Определение расчетных нагрузок на губках

Используя расчетные схемы и формулы, приведенные на рис. 2.2, определяются значения расчетных нагрузок на губках R_1 и R_2 .

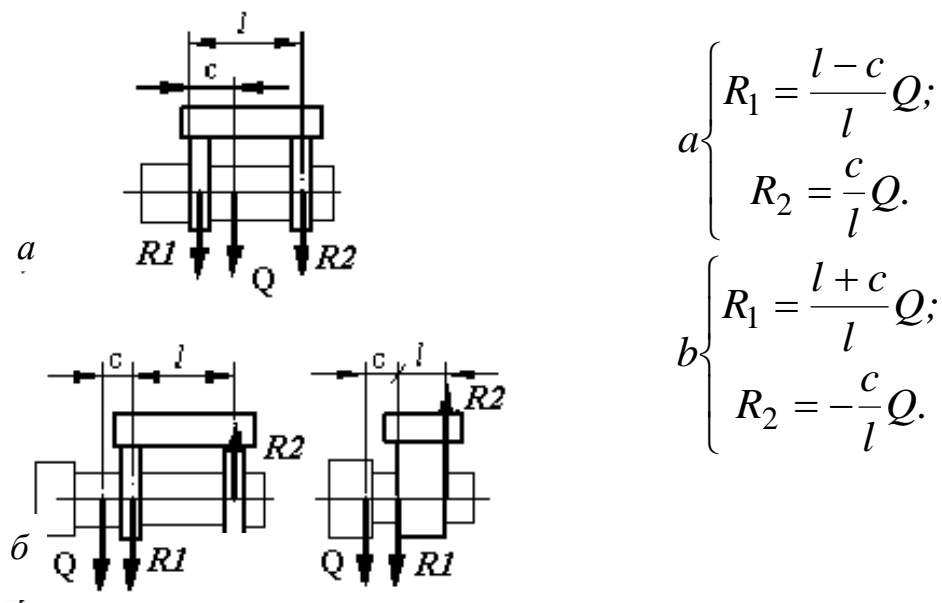


Рис. 2.2. Схемы нагружения ЗУ и расчетные формулы:

a — центр тяжести деталей (линия действия силы a) лежит между губками; b — центр тяжести лежит вне губок

2.2.3. Определение реакций опор, сил трения на губках и крутящих моментов на осях поворота

Для расчета реакции опоры и силы трения можно использовать следующие формулы (рис. 3):

$$N_i = \frac{R_n}{2\cos\alpha_i}; F_i = fN_i, \quad (2.6)$$

где R_n – расчетная нагрузка на n -м захвате; α_i – угол контакта поворотной центрирующей губки с объектом манипулирования для i -й точки контакта; f – коэффициент трения, $f = 0,12...0,15$ для незакаленных губок без насечки (сталь 45, 50) и $f = 0,3...0,35$ – для закаленных губок с острой насечкой (стали 65Г, 60С2, У8А, У10А).

Для расчета крутящего момента можно использовать следующую формулу:

$$M = N\cos\beta_i[a_i \operatorname{tg}\beta_i \pm c_i - f(a_i \mp c_i \operatorname{tg}\beta_i)], \quad (2.7)$$

где a_i , c_i – расстояния от точки подвеса до i -й точки контакта (рис. 2.3). Верхнее значение знака при c_i применяют в том случае, когда точки контакта с заготовкой находятся дальше от оси симметрии, чем точки поворота губок.

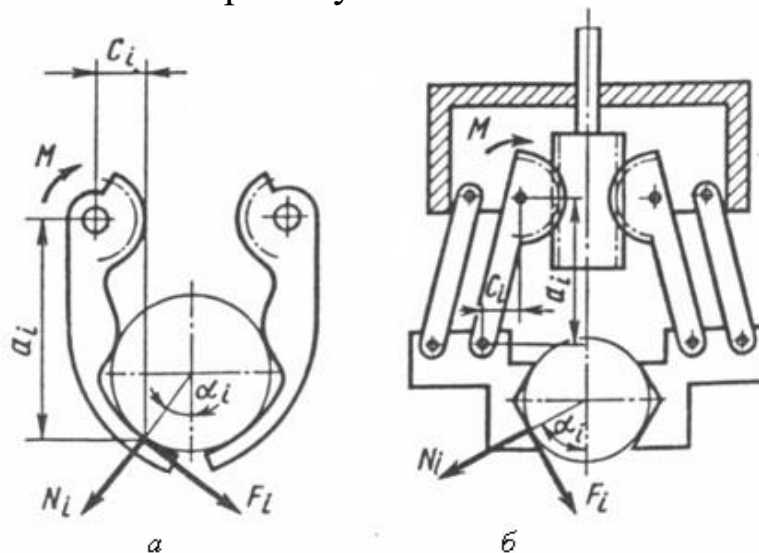


Рис. 2.3. Схемы для расчета моментов, удерживающих заготовку в ЗУ: *а* – с поворотом губок; *б* – с плоскопараллельным движением губок

2.2.4. Определение силы P привода

Для определения силы на приводе для случая использования симметричных губок можно использовать формулы (обозначения по рис. 2.4):

для рычажного механизма

$$P \geq \frac{2KM \cos \alpha}{b\eta_p}, \quad (2.8)$$

где η_p – коэффициент полезного действия механизма, $\eta_p = 0,9 \dots 0,95$; K – коэффициент запаса, $K = K_1 K_2$, где $K_1 = 1,2 \dots 2,0$ – коэффициент запаса, $K_2 = 1 + A/g$ – коэффициент, учитывающий максимальное ускорение A .

для реечного механизма:

$$P \geq \frac{4KM}{m_c z_c \eta_p}, \quad (2.9)$$

где m_c – модуль сектора; z_c – полное число зубьев сектора; $\eta_p = 0,94$.

Примечание: недостающие геометрические размеры принимаются по расчетной схеме профилирования губок, которая выполняется на миллиметровке в принятом масштабе.

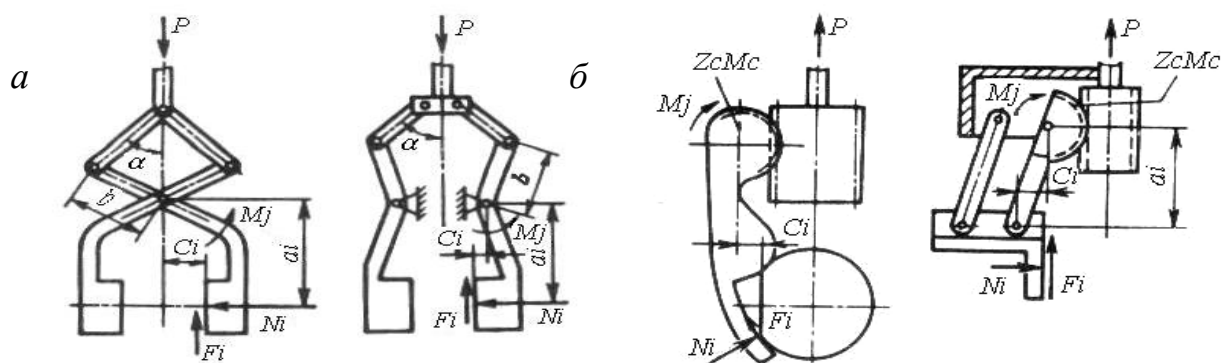


Рис. 2.4. Расчетные схемы для определения силы привода:
а – рычажный механизм; б – реечный механизм

2.2.5. Расчет на отсутствие повреждений поверхности детали

Расчет проводят при необходимости, когда есть опасность повреждения поверхности деталей (например, чистовая обработка).

Контактные напряжения σ_k должны быть меньше допустимых $[\sigma_k]$. Формулы для расчета приведены в табл. П1, значения коэффициента m – в табл. П2. Приведенный модуль упругости:

$$E_{np} = \frac{2E_{заг}E_{зу}}{E_{заг} + E_{зу}}, \quad (2.10)$$

где $E_{заг}$ – модуль упругости материала заготовки (объекта манипулирования); $E_{зу}$ – модуль упругости материала губок ЗУ. Модуль упругости для углеродистых сталей – $(2,0–2,1) \cdot 10^6$ Па, легированных сталей – $2,1 \cdot 10^6$ Па, чугуна – $(0,8–1,5) \cdot 10^6$ Па.

Допустимые контактные напряжения для некоторых видов материала представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Допустимые контактные напряжения (смятие)

Материал	Сталь 45	Сталь 50	65Г	60С2
$E_{[CM]}$	4200	3100	2600	4500

2.3. Порядок выполнения работы

3.1. Получить у преподавателя вариант задания (табл. П3).

3.2. Рассчитать профиль центрирующих губок по формулам (2.1–2.5) и определить значения расчетных нагрузок на губках R_1 и R_2 в соответствии с заданным вариантом.

3.3. Выполнить на миллиметровке в принятом масштабе схему для расчета моментов (рис. 2.3). При разработке схемы конструктивно принять следующие геометрические размеры: c_i , b , a_i , α_i . Определить реакции опор, силы трения, крутящий момент и силу привода.

3.4. Определить контактные напряжения σ_k и сравнить с допустимыми $[\sigma_k]$ (табл. ПЗ).

3.5. Для выполнения расчетов рекомендуется применять программную среду Excel. Пример расчета представлен в приложении. В ячейки A3-V3 вносятся исходные данные в соответствии с заданием. В остальные ячейки вносятся соответствующие формулы. Распечатка программного листа совместно с выполненными на миллиметровке построениями может быть использована в качестве отчета по работе.

2.4. Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Расчетно-графическая схема профилирования губок (выполняется на миллиметровке в принятом масштабе). На ней же можно показать действующие силы и моменты, необходимые геометрические характеристики.

3. Расчетная схема по рис. 2.2, 2.3 для определения расчетных нагрузок на губки.

4. Все необходимые расчеты по формулам 2.1-2.10 (используемые формулы, подставляемые численные значения, полученный результат).

5. Выводы по работе.

2.5. Контрольные вопросы

1. Какие виды расчета приводятся при проектировании механических центрирующих ЗУ ПР?

2. Как осуществляется профилирование губок центрирующих ЗУ ПР?

3. Что учитывается коэффициентом запаса при расчете силы привода ЗУ ПР?

4. Сформулируйте условие отсутствия повреждения поверхностей детали при зажиме ее в ЗУ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1

Формулы для расчета контактных напряжений
при захватывании заготовки губками ЗУ

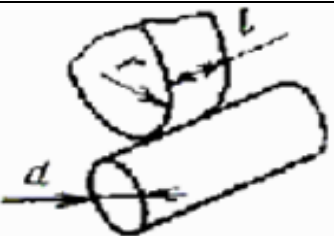

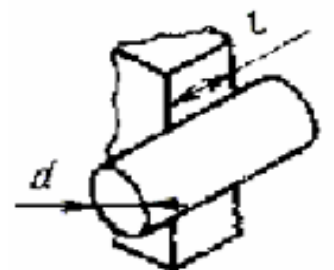

Схема	Формулы
	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{NE_{np}}{l} \left(\frac{2}{d} + \frac{l}{r} \right)}$
	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{NE_{np}}{l} \left(\frac{2}{d} - \frac{l}{r} \right)}$
	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{NE_{np} 2}{ld}}$
	$\sigma = m^3 \sqrt{\frac{N(E_{np})^2}{r^2}} \text{ при } \frac{d}{2} \leq r$
<p>Обозначения: N – сила, действующая в месте контакта захвата с заготовкой и определяемая формулой (6); E_{np} – приведенный модуль упругости материалов губки захвата и заготовки; l – ширина губки захвата, см; d – диаметр заготовки, см; r – радиус губок захвата, см; m – коэффициент, зависящий от отношения наименьшего радиуса к наибольшему из двух соприкасающихся поверхностей (см. табл. П2).</p>	

Таблица П2

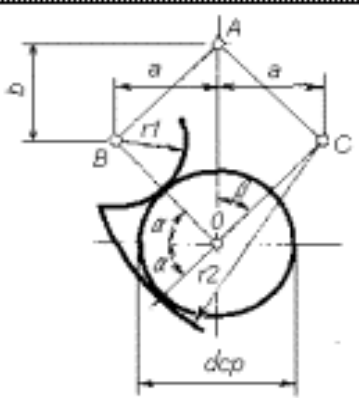
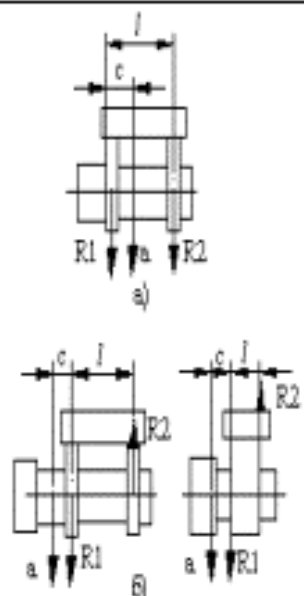
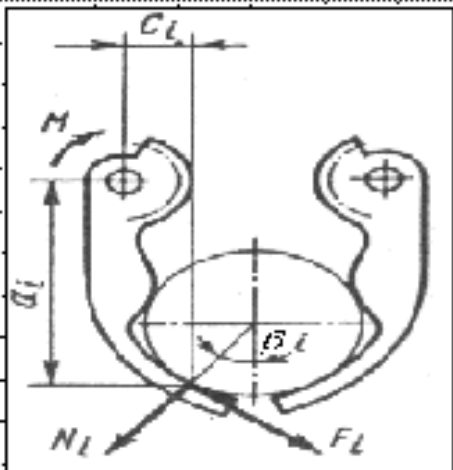
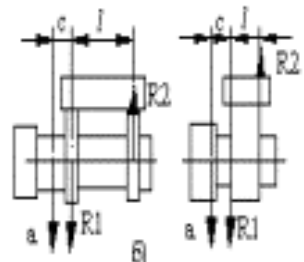
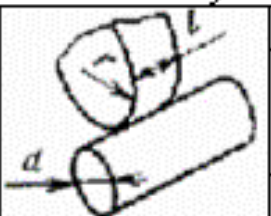
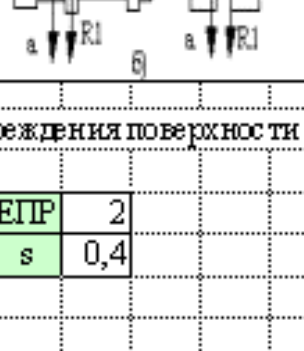
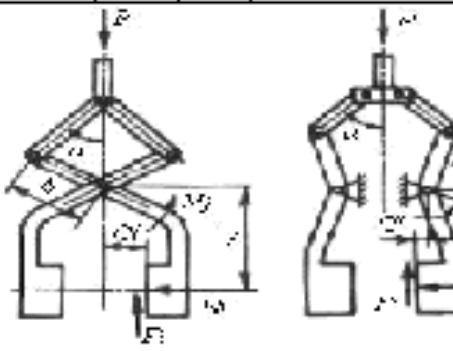
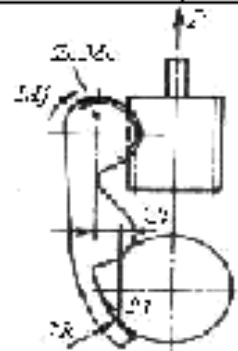
Значения коэффициента m в зависимости от величины $2r/d$

$2r/d$	m	$2r/d$	m	$2r/d$	m	$2r/d$	m	$2r/d$	m	$2r/d$	m
1,0	0,388	0,8	0,42	0,6	0,468	0,4	0,536	0,2	0,716	0,10	0,97
0,9	0,4	0,7	0,44	0,5	0,49	0,3	0,6	0,5	0,8	0,05	1,98

Таблица ПЗ

Варианты заданий к лабораторной работе

Вариант	D_{\max} , мм	D_{\min} , мм	Угол α , град (по рис. 1)	Расстояние между осями губок, мм	Масса детали m , кг	Схема нагрузки (по рис. 2)	База ЗУ l , мм	Расстояние до центра тяжести s , мм	Тип привода (рис. 4)	Максимальное ускорение A	Модуль m_c	Число зубьев сек- тора z_c	Ширина губки l , мм	Материал заготовки	Материал ЗУ
1	32	20	40	нет	1,35	a	80	27	рычажный	1,2	–	–	10	Ст45	60C2
2	40	25	45	нет	2,5	b	100	12,5	рычажный	1,0	–	–	10	65Г	Ст45
3	42	28	50	нет	5	a	105	45	рычажный	0,8	–	–	10	Ст50	65Г
4	45	30	50	нет	10	b	112,5	28,125	рычажный	0,7	–	–	10	60C2	Ст50
5	35	22	45	есть	1,35	b	87,5	15	реечный	1,3	1	7	10	Ст50	Ст45
6	40	27	40	есть	2,5	a	100	40	реечный	1,1	0,8	8	10	65Г	Ст45
7	45	28	50	есть	5	b	112,5	21	реечный	0,9	1,5	9	10	Ст45	65Г
8	47	32	45	есть	10	a	120	50	реечный	0,8	1,25	10	10	Ст45	65Г
9	30	18	40	нет	1,35	b	75	13,5	рычажный	1,3	–	–	10	60C2	Ст45
10	42	26	50	нет	2,5	a	105	45	рычажный	1,1	–	–	10	65Г	Ст50
11	45	28	45	нет	5	a	115	35	рычажный	0,9	–	–	10	Ст45	60C2
12	50	35	40	нет	10	b	125	30	рычажный	0,8	–	–	10	60C2	65Г
13	35	25	50	есть	2,5	b	87,5	17	реечный	1,2	1	8	10	Ст50	Ст45
14	40	30	45	есть	5	a	95	38	реечный	1,0	1,25	9	10	65Г	60C2
15	50	35	40	есть	10	b	125	22	реечный	0,8	2	10	10	Ст45	Ст50

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U																										
1	Лабораторная работа №				РАСЧЕТ ЦЕНТРИРУЮЩИХ ЗУ							Студент:				Группа:																															
2	Исходные данные																																														
3	D max	D min	a	вариант	l	c	m	f	a i	C*i	тип привода	b	b	A	k l	a	кцд	mс	Zc	Eзаг	EЗУ																										
4	35	22	45	b	88	15	1,4	0,1	58	-8,1	реечный	25	-	1,3	1,7	-	0,94	3	7	2,1	2																										
6	1. Профилирование центрирующих губок				2. Определение расчетных нагрузок на губках				3. Определение реакций опор, сил трения на губках и крутящих моментов на осях поворота								4. Определение силы Р привода																														
7																	<table><tr><td>N 1</td><td>8,56</td><td></td><td></td></tr><tr><td>N 2</td><td>-1,3</td><td>k</td><td>1,93</td></tr><tr><td>F1</td><td>1,11</td><td>p</td><td>32,9</td></tr><tr><td>F2</td><td>-0,2</td><td></td><td></td></tr><tr><td>M</td><td>84,2</td><td></td><td></td></tr></table>					N 1	8,56			N 2	-1,3	k	1,93	F1	1,11	p	32,9	F2	-0,2			M	84,2								
N 1	8,56																																														
N 2	-1,3	k	1,93																																												
F1	1,11	p	32,9																																												
F2	-0,2																																														
M	84,2																																														
8																																															
9																																															
10																																															
11																																															
12																																															
13																																															
14																																															
15																																															
16																																															
17																																															
18	Dcp	28,5	r 1	30,09					R 1	16																																					
19	R	62,7	r 2	58,59					R 2	-2																																					
20	a	31,35	D	0																																											
21	b	31,35																																													
25	5. Расчет на отсутствие повреждения поверхности детали																																														
26																																															
27																																															
28																																															
29																																															
30																																															
31	Ci = "+c", если точки контакта с заготовкой находятся дальше от оси симметрии, чем точки поворота губок, иначе "-с"																																														

Пример расчета центрирующего ЗУ ПР в программной среде Excel