

Министерство образования и науки российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»
Машиностроительный факультет
Кафедра технологии машиностроения, сертификации и методики
профессионального обучения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
« ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ»

Для студентов всех форм обучения
направления подготовки 051000.62 Профессиональное обучение (по отраслям)
профиля подготовки «Машиностроение и материалобработка»
специализации «Сертификация, метрология и управление качеством в
машиностроении»

Екатеринбург
РГППУ

2015

Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине
«Основы расчета и проектирования измерительных механизмов» .
ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т». Екатеринбург, 2015, 58с.

Автор: канд. техн. наук. доц.

Г.Н. Мигачева

Одобрены на заседании кафедры технологии машиностроения,
сертификации и методики профессионального обучения.
Протокол от 23.04.2015 № 10.

Заведующая кафедрой ТМС

Н.В. Бородина

Рекомендованы к печати методической комиссией Машиностроительного
факультета ФГАОУ ВПО РГППУ. Протокол от 14.05.2015 №8.

Председатель
методической комиссии МСФ

Ю.И. Категоренко

©ФГАОУ ВПО «Российский
государственный профессионально-
педагогический университет», 2015
©Г.Н. Мигачева, 2015

Целью преподавания дисциплины «Основы расчета и проектирования измерительных механизмов» является изучение способов проектирования различных типов механизмов, обеспечивающих точность измерения на измерительных устройствах, формирование у будущих педагогов профессионального обучения теоретических и практических знаний и умений, необходимых для деятельности по избранной специализации.

Основными задачами изучения дисциплины являются:
формирования знаний об основах проектирования механизмов различного типа;

- овладение умениями по выбору структурной схемы (типа) механизма, обеспечивающей точность измерения, и проектированию основных типов измерительных устройств;

- овладение умениями по применению теоретических знаний по изучаемой дисциплине.

В результате выполнения практических работ студент должен:

знать:

- основные понятия и физико-механические явления в процессе обработки металлов;

- основную номенклатуру механизмов;

- современные методы обеспечения точности и качества продукции машиностроения;

- современные методы проектирования типовых деталей машиностроения;

- основные понятия и положения структурного анализа типовых механизмов;

- основы проектирования рычажных, винтовых, и зубчатых механизмов;

- методику обучения в образовательном учреждении

уметь:

- выбирать структурные схемы измерения;

- конструировать основные структурные схемы для измерительных устройств;
- рассчитывать основные размеры типовых деталей;
- организовывать эффективный контроль точности при использовании схемы;
- выполнять мероприятия по эффективному использованию материалов;
- оформлять техническую и организационно-распорядительную документацию по установленным нормам;
- определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров продукции и технических процессов;

владеть:

- современными методами расчета и проектирования измерительных механизмов;
- опытом практического выполнения заданий по разработке, пересмотру, актуализации и применению нормативных документов при проектировании механизмов;
- педагогическими технологиями специальных дисциплин в образовательном учреждении.

Практическая работа №1

Тема: Основы проектирования зубчатых механизмов

Цель: приобрести навыки в проектировании и расчете зубчатых механизмов.

Задачи:

- закрепить знания о зубчатых механизмах, индикаторах часового типа, их конструкциях и принципе действия;
- научиться производить расчет передаточного числа индикатора часового типа;
- научиться вычислять величину перемещения измерительного наконечника индикатора часового типа;
- научиться определять и назначать погрешность измерения с использованием справочной литературы.

Оснащение:

- методические указания;
- схема конструкции индикатора часового типа;
- калькулятор инженерный;
- справочная литература.

Работа рассчитана на 4 академических часа.

ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Назначение зубчатых механизмов

Зубчатые механизмы (передачи) - это механизмы, в которых движение между звеньями передается с помощью последовательно зацепляющихся зубьев.

Зубчатые механизмы являются наиболее распространенным в машиностроении и приборостроении видом передач благодаря существенным **достоинствам:**

- компактности;

- высокой надежности в широком диапазоне мощностей (до 150 МВт) и скоростей (до 275 м/с);
- высокому КПД;
- простоте ухода;
- обеспечению высокой точности передаточного отношения;
- сравнительно малым нагрузкам на валы и опоры.

Недостатки передач обусловлены:

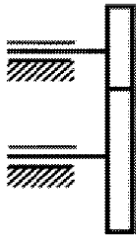
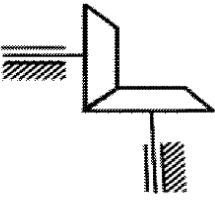
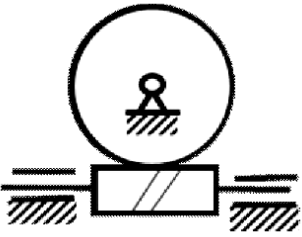
- высокой трудоёмкостью изготовления колес;
- относительно высоким требованием к точности изготовления и монтажа;
- возможностью появления шума при работе на больших скоростях.

Зубчатые механизмы служат для передачи вращения от одного вала (входного) к другому валу (выходному).



Рисунок 1 – Зубчатый механизм

Основные виды зубчатых механизмов представлены на рисунках 2, 3, 4.

С параллельными валами  Рис. 2 – Цилиндрическая передача	С пересекающимися валами  Рис. 3 – Коническая передача	Со скрепляющимися валами  Рис. 4 – Червячная передача
---	---	--

В механизмах часового типа перемещение стрелки обеспечивается за счёт системы зубчатых колёс. Такие механизмы применяются в механических и электромеханических приборах измерения времени (часах, секундомерах, хронометрах), а также в индикаторах часового типа, граммаметрах часового типа, шагомерах и других устройствах.

Единственной измерительной головкой, имеющей механизм увеличивающего устройства в виде только зубчатых передач, является индикатор часового типа.

Термин «индикатор» произошел от латинского слова *indico* - «указываю», «определяю». Этот термин используется в различных областях техники для определения устройств или приборов, отображающих ход процесса или состояние объекта наблюдения в форме, удобной для восприятия человеком (индикаторы давления, индикаторы газоразрядки, индикаторы изотопные и т. д.).

Индикатор часового типа - это измерительный прибор, предназначенный для абсолютных и относительных измерений и контроля отклонений от заданной геометрической формы детали, а также взаимного расположения поверхностей.

Измерительные головки имеют механическое преобразующее устройство, которое обеспечивает преобразование малых перемещений наконечника инструмента в большие перемещения стрелки указателя. Перемещения стрелки указателя наблюдают на шкале отсчетного устройства. Различают измерительные головки зубчатые и рычажно-зубчатые.

Зубчатые измерительные головки (рисунок 5) — индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм изготавливают следующих основных типов: ИЧ02; ИЧ05; ИЧ10; ИЧ25. Измерительный стержень у этих индикаторов перемещается параллельно шкале и обеспечивает диапазоны измерений соответственно 0... 2; 0... 5; 0... 10; 0...25 мм.

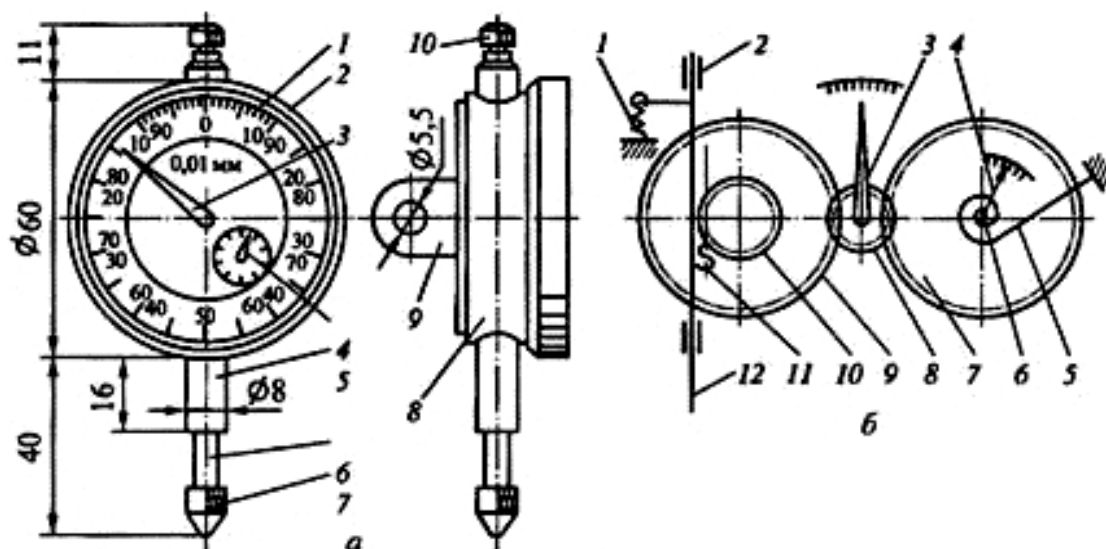


Рисунок 5 – Зубчатая измерительная головка:

- а) общий вид: 1- измерительная шкала, 2-кольцо для установки шкалы на ноль, 3-стрелка указатель, 4-стрелка отсчета числа оборотов, 5-гильза, 6-стержень, 7-наконечник, 8-корпус, 9-крепежное ушко, 10- головка отвода измерительного стержня;
- б) кинематическая схема: 1- пружина, 2-гильза, 3- стрелка указатель, 4-стрелка контроля числа оборотов, 5-пружина, 6-ось, 7-10- зубчатые колеса, 11- зубчатая рейка, 12- наконечник.

Схема и конструкция индикатора часового типа

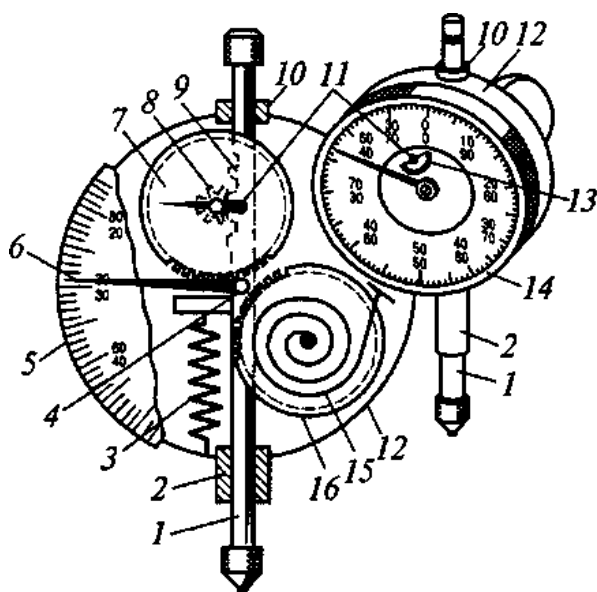


Схема индикатора (рисунок 7, а) состоит из рейки 1, которая нарезана на измерительном стержне, имеющем измерительный наконечник 2, зацепляющейся с трибом 3 (**трибом** называют обычно зубчатое колесо малого модуля с небольшим числом зубьев 6-16, чаще всего изготовленное за одно со своей осью, так называемое «валковое колесо»). На одной оси с трибом установлено зубчатое колесо 4 большего диаметра, находящееся в зацеплении с трибом 5, на оси которого установлена основная стрелка 6.

С помощью стрелки по шкале 7 отсчитывают перемещения измерительного наконечника 2.

Рисунок 7 - Индикатор часового типа:
а - схема; б - конструкция индикатора ИЧ-10

Рисунок 6 - Индикатор часового типа:
1-измерительный стержень,
2-10-направляющие втулки, 3-пружина, 4,7,8-
шестерни, 5-большая (подвижная) шкала, 6-
большая стрелка индикатора,
9-зубчатая рейка, 11- малая стрелка
индикатора, 12- корпус, 13- малая шкала,
14- ободок корпуса, 15- пружина,
16- шестерня.

Индикатор относится к так называемым **многооборотным головкам**, т.е. к головкам, в которых стрелка совершает несколько оборотов при перемещении наконечника в диапазоне показания. Поэтому в схеме индикатора установлена дополнительная стрелка 8 на оси вспомогательного колеса 9, зацепляющегося с трибом 5, и шкала 10, по которой отсчитывают числа оборотов основной стрелки.

В связи с тем, что преобразующий механизм индикатора должен обеспечивать отсчет при перемещении измерительного стержня в обоих направлениях (как известно, большинство зубчатых передач работает по одной стороне профиля зуба, а по другим профилям существует так называемый боковой зазор), в индикаторе для этой цели используют вспомогательное колесо 9, находящееся под воздействием пружинного устройства 11, обеспечивающее зацепление всех зубчатых передач только по одним профилям зубьев вне зависимости от направления перемещения измерительного стержня. Плоскую спиральную пружину 11 чаще всего называют «**волосок**» за ее малую толщину. Один конец этой пружины закреплен на колесе 9, а второй конец закреплен неподвижно на корпусе механизма индикатора.

В принципе волосок можно было бы установить непосредственно на оси триба 5, однако тогда необходимо было бы брать большой волосок, так как триб 5 делает несколько оборотов. Поэтому зубчатое колесо 9 выполняет роль уменьшающей передачи от триба 5 на волосок (колесо 9 имеет диаметр значительно больший, чем триб 5).

В индикаторе предусмотрена винтовая пружина 12, один конец которой укреплен на измерительном стержне, а другой - на корпусе индикатора.

Этой пружиной измерительный стержень поджимается к детали, т. е. создается измерительное усилие.

Механизм индикатора располагается в круглом корпусе (рисунок 7, б), диаметр которого делают в зависимости от диапазона показания индикатора. Конструкция его понятна из (рисунка 7, б) с теми же позициями, что и на (рисунке 7, а).

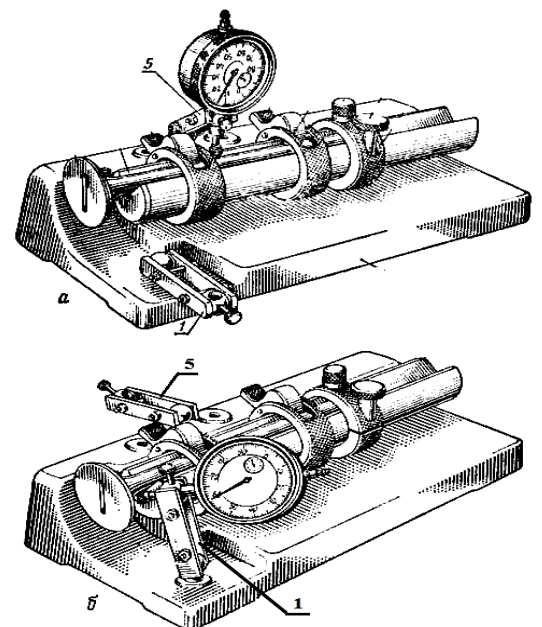


Рисунок 8 - Приспособление для проверки биения стержня (а) и тарелки (б) клапана:
1 и 5- кронштейны для установки индикатора.

Измерительный стержень, на котором нарезана рейка, обычно делают цилиндрической формы.

Он перемещается в корпусе по направляющей скольжения. Для закрепления индикатора предусмотрена *гильза* — цилиндр диаметром 8 мм. Во многих индикаторах имеется специальное крепление в виде *кронштейна* (рисунке 8, 9) на плоскости крышки с противоположной стороны от шкалы (крепление «за ухо»).

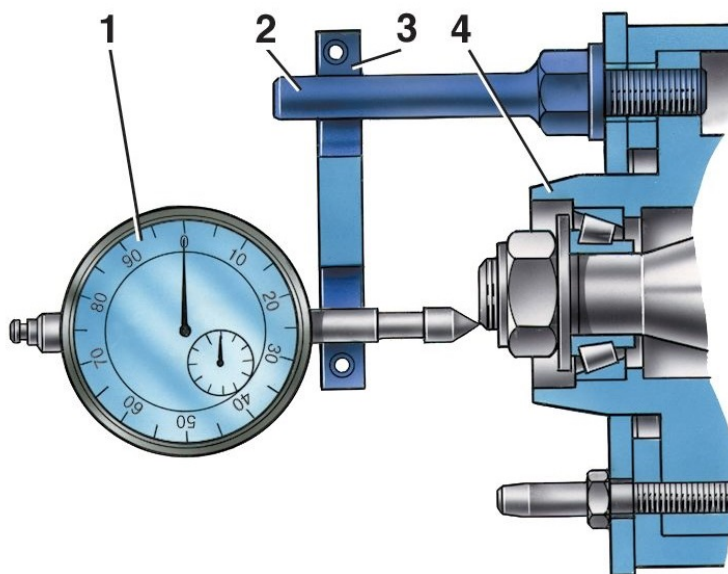


Рисунок 9 – Проверка осевого зазора подшипников ступицы переднего колеса приспособлением 02.7834.9505:

1 - индикатор, 2 - болт, 3 - кронштейн, 4 - ступица колеса.

Это крепление часто оказывается более удобным, так как при установке на цилиндре при сильном сжатии можно «пережать» стержень и он не будет перемещаться.

Для установления стрелки на нуль либо на штрих шкалы в конструкции индикатора предусмотрен поворот шкалы за наружный ободок относительно стрелки.

Расчет передаточного числа индикатора

Основной характеристикой зубчатого механизма является *передаточное число*.

Передаточным числом механизмов, содержащих зубчатые передачи, называется отношение чисел зубьев колеса (большее по диаметру зубчатое колесо пары) к числу зубьев шестерни (меньшее зубчатое колесо пары).

Передаточное число последовательного соединения передач равно произведению передаточных чисел отдельных пар. В общем виде передаточное число для увеличивающих передач характеризует отношение величины перемещения выходного звена к перемещению входного звена, т. е. оно всегда или равно или больше 1. Для случая индикатора передаточное число равно:

$$U = R\varphi/l, \quad (1)$$

где R – длина стрелки от оси поворота до свободного конца;

φ – угол поворота стрелки;

$R\varphi$ – перемещение конца стрелки индикатора (выходного звена);

l – величина перемещения измерительного наконечника (перемещение рейки входного звена).

Величину перемещения измерительного наконечника l можно выразить как произведение радиуса делительной окружности триба 3 (r_3) на угол его поворота, т. е.

$$l = r_3\alpha, \quad (2)$$

где r_3 – радиус делительной окружности триба; α – угол поворота.

Угол поворота стрелки φ равен углу поворота триба 3, умноженному на передаточное число передачи от стрелки до этого триба, т. е.

$$\varphi = (\alpha z_4)/z_5, \quad (3)$$

Отсюда *передаточное число индикатора*:

$$U = R/z_3, \quad (4)$$

или, заменив r_3 :

$$r_3 = mz_3/2 \quad (5)$$

получим:

$$U = (2R/ mz_3) \times (z_4/z_5). \quad (6)$$

Передаточное число индикатора можно получить, если представить себе конечное звено стрелки и начальное звено триба как рычаг, и тогда передаточное число равно отношению плеч рычага, увеличенному на передаточное число зубчатой пары, т. е.

$$U = (R/r) \times (z_4/z_5), \quad (7)$$

где r - радиус делительной окружности триба 3.

И таким образом,

$$U = (2R/ mz_3) \times (z_4/z_5), \quad (8)$$

Одним из основных показателей индикатора, облегчающих его использование и ограничивающих число вариантов для расчета, является условие, что при перемещении наконечника на $l = 1$ мм стрелка совершает один оборот т.е. $\varphi = 2\pi$.

$$r_3 = mz_3/2 \quad (9)$$

Это ограничение дает возможность получить выражение для определения значения модуля зубчатых зацеплений, используя приведенные выше зависимости для l (2) и для φ (3);

$$\alpha = l/r_3; \varphi = 2\pi = (l/r_3) \times (z_4/z_5) \quad (10)$$

$$2\pi = (2/mz_3) \times (z_4/z_5) \quad (11)$$

$$m = (1/\pi z_3) \times (z_4/z_5) \quad (12)$$

В отечественных конструкциях индикаторов с диапазоном показаний 5 и 10 мм из многолетней практики установились значения $z_3=16$, $z_4=100$ и $z_5=10$ зубьев.

В указанных выше индикаторах длина стрелки от оси поворота до конца обычно равна 25 мм. Тогда передаточное число U , т.е. перемещения измерительного наконечника индикатора преобразуются в перемещения конца стрелки с увеличением в U раз.

Интервал деления на шкале индикатора определяют так же, исходя из принятого условия, что полный оборот стрелки должен соответствовать перемещению наконечника на 1 мм. Поскольку цена деления индикатора принята 0,01 мм, то на шкале должно содержаться 100 делений. Тогда для определения интервала деления шкалы, а необходимо длину окружности, описываемой концом стрелки индикатора, разделить на 100 частей, т. е.

$$\alpha = 2\pi R/100 \quad (13)$$

Погрешность измерения индикатором

Погрешности индикатора нормируются в зависимости от используемого диапазона показаний (в зависимости от перемещения измерительного стержня).

Обычно на участке в 0,1 мм погрешность находится в пределах 5-8 мкм; на участке в 1-2 мм погрешность 10-15 мкм; на участке до 3 мм - до 15 мкм; на участке до 5-10 мм погрешность находится в пределах 18-22 мкм.

Таким образом, на небольшом участке погрешность индикатора находится в пределах цены деления. На больших пределах погрешность превышает цену деления. Это показывает, что отсчитывать доли от цены деления (т. е. тысячные доли миллиметра - микрометры) на индикаторе часового типа нельзя.

При измерении колебаний размера погрешность измерения зависит от используемого перемещения измерительного стержня, не жесткости установочных узлов (штативов и стоек).

При использовании перемещения измерительного стержня до 10 мм погрешность измерения биения составит от 15 мкм (для размеров деталей 1-3 мм) до 20 мкм (для размеров 350-500 мм).

При измерении биений в пределах 0,1 мм погрешность измерения равна 10 мкм и практически не зависит от размера детали. При измерении биений, равных 2-3 ценам деления (20-30 мкм), погрешность в большинстве случаев составляет 5 мкм. При этом имеется в виду, что измерение производится с использованием штативов, имеющих достаточную жесткость.

При измерении размеров деталей сравнением с размерами концевых мер длины погрешность измерения зависит также от точности используемых концевых мер длины и от температурных условий, при которых производится измерение. В зависимости от этих факторов погрешность измерения может составлять от 5 до 40 мкм.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть.
2. Выбрать исходные данные в соответствии с номером варианта, приведенного в таблице 1.
3. Вычислить модуль (m) зубчатых зацеплений (не округлять).

$$m = (1/\pi z_3) \times (z_4/z_5)$$

4. Определить, с каким увеличением преобразуется перемещение измерительного наконечника индикатора в перемещение конца стрелки (u).

$$U = (2R/ mz_3) \times (z_4/z_5).$$

5. Определить интервал деления шкалы (a).

$$\alpha = 2\pi R/100$$

6. Определить погрешность измерения.

7. Результаты изложить в виде расчетов.

8. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта	Длина стрелки от оси поворота до конца				
	30	25	20	15	10
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
0					

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Основные формулы.
4. Решение.
5. Вывод по решенной задаче.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные составляющие части индикатора часового типа?

2. Дайте определение передаточного числа механизма?
3. Как называется меньшее зубчатое колесо пары?
4. Как определить перемещение измерительного наконечника I?
5. Как определить интервал деления шкалы?
6. Чему равен модуль зубчатого зацепления?
7. Назовите формулу для определения передаточного числа индикатора?

Пример расчета параметров индикатора часового типа

1. Выбрать исходные данные в соответствии с номером варианта, приведенного в таблице 1.

2. Вычислить модуль (m) зубчатых зацеплений (не округлять).

$$m = (1/\pi z_3) \times (z_4/z_5),$$

где $z_3=16$, $z_4=100$ и $z_5=10$ зубьев.

$$m = \frac{1}{3,14 \times 16} \times \frac{100}{10} = 0,199 \text{ мм}$$

3. Определить с каким увеличением преобразуется перемещение измерительного наконечника индикатора в перемещение конца стрелки (u).

Длина стрелки от оси поворота до конца равна 25 мм.

Определим передаточное число (u):

$$U = (2R/mz_3) \times (z_4/z_5),$$

$$U = \frac{2 \times 25}{0,199 \times 16} \times \frac{100}{10} \approx 157, \quad \text{т.е. перемещения измерительного}$$

наконечника индикатора преобразуется в перемещения конца стрелки с увеличением в 157 раз.

4. Определить интервал деления шкалы (a).

$$a = 2\pi R/100.$$

$$a = \frac{2\pi R}{100} = \frac{2 \times 3,14 \times 25}{100} = 1,57 \text{ мм}$$

5. Определить погрешность измерения.

Так как диапазон показаний выбранного индикатора часового типа 5 и 10 мм, то погрешность находится в пределах 18 - 22 мкм.

Практическая работа №2

Тема: Основы проектирования рычажных механизмов

Цель: приобрести навыки в проектировании и расчете рычажных механизмов.

Задачи:

- закрепить знания о рычажных механизмах их конструкции и принципе действия;
- научиться определять погрешность перемещения синусного рычага;
- научиться определять погрешность тангенсных рычагов.

Оснащение:

- методические указания;
- схемы рычажных механизмов;
- калькулятор инженерный;
- справочная литература.

Работа рассчитана на 4 академических часа.

ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В некоторых измерительных головках передаточный механизм содержит в себе рычажные передачи.

Важной особенностью рычажных передач, используемых в измерительных средствах, является то, что контакт между сопрягаемыми элементами рычажной передачи делается скользящим. Наилучшая форма контакта — в виде сферы и плоскости, так как в этих случаях контакт теоретически осуществляется в точке, и эти поверхности относительно просто изготовить. При этом оказывается, что точность передачи зависит от того, на каком элементе передачи будет установлена плоскость, а на каком сфера и как эти плоскость и сфера расположены относительно опоры вращения.

Сфера может быть установлена либо на звене, совершающем поступательное движение, либо на звене с вращательным движением (рисунок

1). Для обоих этих рычагов теоретическая величина перемещений конца рычага s_T при малых углах поворота равна длине рычага, умноженной на угол поворота, т. е. $s=l\varphi$. У рычажной передачи величина перемещения $s_T = l \sin \varphi$ (рисунок 1, а). Поэтому за механизмами, у которых сфера расположена на звене, совершающем вращательное движение, установилось название *синусные передачи*, а за рычагами, у которых на конце находится сфера — *синусные рычаги*. У рычажной передачи сфера находится на звене, совершающем поступательное движение (рисунок 1, б). Величина перемещения $s = l \operatorname{tg} \varphi$. За такими механизмами, у которых сфера расположена на звене, совершающем поступательное движение, установилось название *тангенсных механизмов*, а за рычагами, у которых рабочей поверхностью является плоскость, *тангенсных рычагов*.

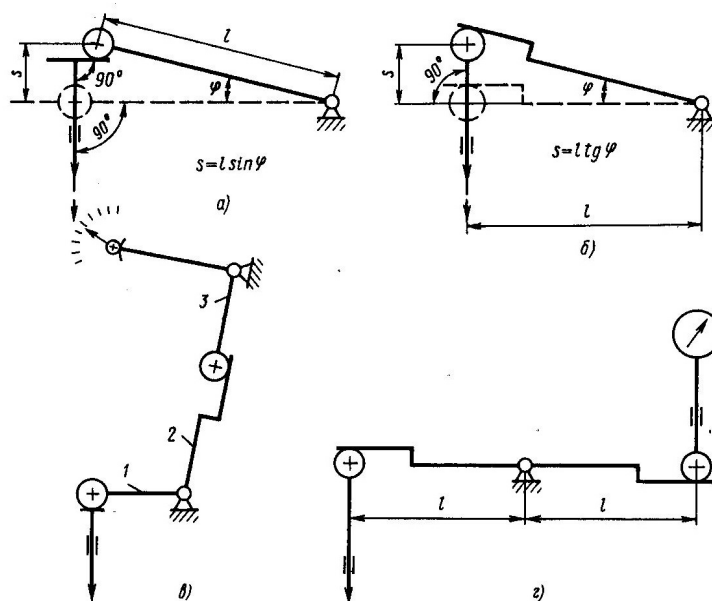


Рисунок 1 – Схемы рычажных механизмов:

а — синусного; б — тангенсного; в — двухрычажная передача с угловым рычагом; г — двухрычажная передача со сферическими опорами на, одной прямой

Обычно в передаточных механизмах используются и синусные, и тангенсные рычаги (на рисунке 1, в рычаги 1 и 3 — синусные, а рычаг 2 — тангенсальный). В рычажно-зубчатых головках, рассмотренных ранее (см. рисунок 3; 4), можно найти оба вида рычагов.

Погрешность синусных рычагов. Для определения значения расчетной погрешности рычажной передачи заменим $\sin\varphi$ формулой разложения этой тригонометрической функции в степенной ряд по углу φ и ограничимся членами со степенью аргумента φ не выше третьей:

$$\sin\varphi \approx \varphi - \frac{\varphi^3}{6} \quad (1)$$

Тогда вместо $s=l \sin\varphi$ можно написать:

$$s = l \left(\varphi - \frac{\varphi^3}{6} \right) \quad (2)$$

Погрешность перемещения синусного рычага будет равна разности между теоретическим перемещением s_T и расчетным s , т. е.

$$\Delta s = s_T - s = l\varphi - l \left(\varphi - \frac{\varphi^3}{6} \right); \quad \Delta s = l \frac{\varphi^3}{6} \quad (3)$$

Таким образом, синусные рычаги имеют систематическую (функциональную) погрешность со знаком плюс, которая зависит от длины рычага и угла поворота.

Погрешность тангенсных рычагов. Используя тот же прием, получим:

$$\tan\varphi \approx \varphi + \frac{\varphi^3}{3}; \quad s = l \left(\varphi + \frac{\varphi^3}{3} \right) \quad (4)$$

$$\Delta s = s_T - s = l\varphi - l \left(\varphi + \frac{\varphi^3}{3} \right) = -l \frac{\varphi^3}{3} \quad (5)$$

Погрешность тангенсных рычагов имеет минусовый знак и также зависит от угла поворота и длины исходного рычага. Выявленные погрешности часто называют погрешностями схемы (схемные погрешности), и они носят расчетный характер без учета погрешности изготовления.

Сопоставление погрешностей синусного и тангенсного рычагов и общие рекомендации по их применению.

1. Погрешность синусных рычагов проявляется со знаком плюс, а погрешности тангенсных рычагов – со знаком минус.
2. Погрешности синусного рычага в два раза меньше, чем тангенсного, при одинаковых начальных длинах рычагов и равных углах поворота.
3. При последовательной установке обоих видов рычагов можно произвести взаимную компенсацию погрешностей при соответствующей регулировке длин плеч рычагов, что и используют в рычажно-зубчатых головках.
4. Регулировкой плеч рычагов (практически это можно осуществить изменением положения сферы) можно компенсировать расчетную погрешность.
5. Зазоры в направляющих с поступательным перемещением практически не отражаются на погрешностях передачи при синусном рычаге, но проявляются значительной величиной при тангенсных рычагах (увеличивается случайная погрешность).
6. При конструировании рычажной передачи необходимо, чтобы центр сферы располагался на прямой, проходящей через центр опоры и в исходном положении эта прямая была перпендикулярна линии перемещения поступательного звена (см. рисунок 1, а и б). Если используется прямолинейный рычаг, на втором конце которого находится также сфера, то все центры сфер должны располагаться на одной линии (см. рисунок 1, г). Если используется угловой рычаг, то центры сфер должны быть расположены в исходном положении на концах угла с вершиной на оси вращения, который должен быть дополнительным к углу между линиями измерения элементов, совершающих прямолинейное движение.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть.
2. Выбрать исходные данные в соответствии с номером варианта, приведенного в таблице 1.

3. Вычислить погрешность перемещения синусного рычага.
4. Вычислить погрешность тангенсных рычагов.
5. Результаты изложить в виде расчетов.
6. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	Рисунок	L, мм	φ , град
1	2а	100	75
2	2а	115	15
3	2а	65	30
4	2б	90	45
5	2а	250	60
6	2б	300	20
7	2б	170	50
8	2б	95	35
9	2а	80	65
0	2б	180	80

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Основные формулы.
4. Решение.
5. Вывод по решенной задаче.

Контрольные вопросы

1. Назовите главную особенность рычажных передач?
2. Какие механизмы называются синусными передачами?
3. Какие механизмы называются тангенсными?
4. Чему равна погрешность перемещения синусного рычага?
5. От чего зависит систематическая погрешность синусных рычагов?
6. Можно ли произвести взаимную компенсацию погрешностей при установке рычагов?

7. Какое влияние оказывают зазоры в направляющих на погрешность передачи?

Практическая работа №3

Тема: Основы проектирования пружинных механизмов

Цель: приобрести навыки в проектировании и расчете пружинных механизмов.

Задачи:

- закрепить знания о пружинных механизмах их конструкции и принципе действия;
- научиться производить расчет передаточного числа пружинных головок;
- научиться определять и назначать погрешность измерения с использованием справочной литературы.

Оснащение:

- методические указания;
- схемы пружинных механизмов;
- калькулятор инженерный;
- справочная литература.

Работа рассчитана на 2 академических часа.

ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Принцип действия пружинных головок. Под пружинными головками подразумевается группа головок, в конструкции которых передаточным механизмом является пружина (плоская или свернутая) и используются ее упругие свойства. Этот термин применяют только к одному виду головок с преобразовательным механизмом в виде скрученной от средней части ленточной пружины.

Принцип действия современных пружинных головок основан на использовании упругих свойств скрученной пружинной ленты.

Виды пружинных головок. Всю большую номенклатуру пружинных головок можно разделить на четыре вида:

- 1) головки измерительные пружинные (микрокаторы) с присоединительным размером цилиндра 28 мм;
- 2) головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) с присоединительным размером цилиндра 28 мм;
- 3) головки измерительные пружинные малогабаритные (микрокаторы) с присоединительным размером цилиндра 8 мм;
- 4) головки измерительные рычажно-пружинные (микаторы).

1. Головки измерительные пружинные (микрокаторы). Эти наиболее распространенные теперь головки были первыми (30-е годы XX в.) с рассмотренным выше пружинным механизмом.

Схема микрокатора (рисунок 1) включает в себя следующие основные функциональные элементы: измерительный стержень *1*, пружинный угольник *13*, спиральную ленту (пружину) *12*, шкалу *10*, стеклянную стрелку *9*, на конце которой наносят небольшую каплю шеллака как противовес, консольную пружину *8*, устройство *7*, для натяжения пружины *12*, винт *6* для перемещения конца пружины *12* при установке стрелки *9* на нуль, винтовую пружину *5*, создающую измерительное усилие, устройство *15* для регулировки измерительного усилия при изготовлении микрокатора, ограничители *4* хода измерительного стержня *1* и плоскую пружину *2*, на которой подвешен измерительный стержень *1*. На конце измерительного стержня *1* находится наконечник *3*.

Головка работает следующим образом. Наконечник *3* контактирует с поверхностью измеряемой детали и смещается вместе с измерительным стержнем *1*, подвешенным на плоской пружине *2* и угольнике *13*. При перемещении стержня *1* угольник *13* поворачивается и его верхний конец растягивает пружину *12* в осевом направлении, благодаря чему средняя часть пружины *12* поворачивается вместе с укрепленной на ней стеклянной стрелкой *9*, которая показывает на шкале *10* перемещения измерительного наконечника. При установке положения стрелки *9* на нуль или какой-либо другой штрих шкалы *10* вращением винта *6* деформируется кронштейн, на котором

прикреплена консольная плоская пружина 8, и этим самым создается осевое растяжение пружины 12. В головке винта 6 предусмотрен ограничитель, с тем чтобы смещать стрелку только на несколько делений (обычно на 6 делений). Устройством 7, состоящим из двух винтов, обеспечивается также смещением левого конца пружины 12 для того, чтобы создать необходимое натяжение этой пружины при сборке микрокатора с целью получения необходимого передаточного отношения. В схеме микрокатора предусмотрено демпфирующее устройство 11, представляющее собой небольшую трубочку, охватывающую пружину 12, а внутри трубочки находится капля жидкости, обладающей большой вязкостью. Узлы микрокатора (рисунок 1, б, в – номера позиций такие же, как на рисунке 1, а) помещены в стальной трубке 19 с наружным диаметром 28 мм и в верхнем пластмассовом корпусе 17. Трубка 19 и корпус 17 скрепляются с помощью основания 18, на котором монтируются все основные элементы пружинного механизма. Микрокаторы снабжаются указателями поля допуска 16, которые находятся на шкалой 10. В нижней части микрокатора размещается гайка 15, с помощью которой измерительный стержень 1 поджимается к верхнему ограничителю 4 для того, чтобы при перевозке микрокатора не произошла поломка пружины 12 и стрелки 9 от сотрясений при ударах.

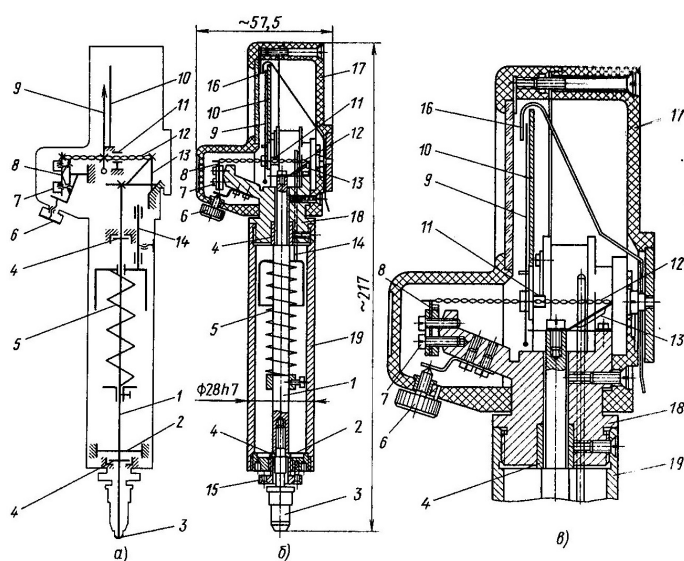


Рисунок 1 – Пружинная измерительная головка-микрокатор:
а – схема; б – конструкция микрокатора; в – конструкция
верхней части микрокатора

Микрокаторы изготавливаются с ценой деления от 0,01 до 0,0001 мм, а иногда делают высокоточные уникальные головки с ценой деления 0,00005 и 0,00002 мм. Обычно микрокаторы имеют на шкале ± 20 ; ± 30 ; ± 40 делений.

Измерительное усилие микрокаторов обычного применения находится в пределах 150 – 300 сН (для цен делений соответственно 0,001 и 0,01 мм).

Изготавливают также микрокаторы, в которых устанавливается небольшое измерительное усилие (например, 50 сН или даже 5 сН) или предусматривается возможность установки измерительного усилия в зависимости от того, какое усилие потребуется при измерении.

На рисунке 2, а и б показана схема микрокатора, в котором измерительное усилие может устанавливаться при работе в пределах от 40 до 150 сН. По всем основным функциональным элементам схема и конструкция этого микрокатора одинакова с распространенным ранее, но устройство, обеспечивающее измерительное усилие, отличается. В микрокаторе с переменным измерительным усилием изменяется натяжение пружины 2 (рисунок 2) перемещением стакана 1 с помощью зубчатых колес 9 и 5. Зубчатое колесо 5 имеет резьбовое отверстие, которым навертывается на резьбу тяги 4 стакана 1. осевое перемещение зубчатого колеса 5 (т.е. гайка) и перемещается стакан 1, изменяя усилие от пружины 2. На торце зубчатого колеса 9, выступающего из корпуса микрокатора, указывается величина измерительного усилия при определенном положении колеса. Однако такой регулировки оказывается недостаточно для обеспечения небольшого перепада усилия и, прежде всего, из-за массы измерительного стержня. Поэтому в микрокаторе с переменным усилием предусмотрено пружинное устройство, состоящее из плоской пружины 8 с упором 6 и регулировочных винтов 7. В этом устройстве измерительный стержень через упор 6 контактирует с плоской пружиной 8, благодаря чему влияние массы измерительного стержня на измерительное усилие может быть изменено в зависимости от силы упругости пружины 8, создаваемой при сборке осевым натягом с помощью винтов 7.

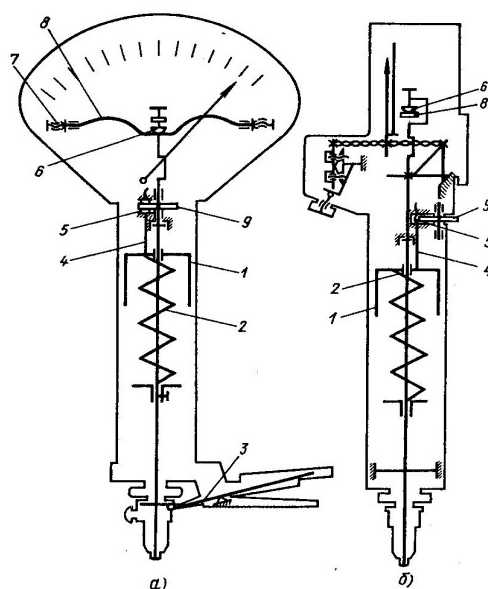


Рисунок 2 – Схема микрокатора с регулируемым измерительным усилием: а - схема; б – вид сбоку

Арретирующими устройствами 3 в виде рычага снабжаются все пружинные головки.

2. Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы).

Оптикатором называется пружинная измерительная головка, у которой передаточный механизм в виде скрученной ленты, а индекс – в виде изображения нити на фоне светлого пятна.

Принципиальное отличие оптикатора от микрокатора заключается в том, что у него на скрученной ленте вместо стрелки установлено зеркало 1 размером $1,5 \times 1,5 \times 0,1$ мм (рисунок 3, а, б). Перемещение измерительного наконечника, как и в микрокаторе, преобразуется в поворот средней части скрученной ленты, а следовательно, и в поворот зеркала. Схема и конструкция устройства для передачи перемещений от наконечника до поворота пружины у оптикатора совершенно одинаковы с микрокатором. На зеркало 1, прикрепленное к средней части пружины, направлен световой поток от лампы 6 через конденсор 5, прямоугольную диафрагму 4 и объектив 3. В диафрагме 4 посередине натянута тонкая нить, а поэтому на зеркало 1 попадает изображение диафрагмы в виде светлого прямоугольника с узким темным штрихом посередине. Этот штрих и используется в качестве индекса при отражении изображения

диафрагмы на коническую поверхность шкалы 2 оптикатора. Оптические узлы головки вместе с лампой находятся в одном корпусе – осветителе 7 (рисунок 3, б).

В оптикаторе используются оригинальные указатели поля допуска в виде двух светофильтров – красного и зеленого (на рисунке 3 не показаны), которые окрашивают изображение диафрагмы, когда оно переместится на шкале за границы настроенного размера.

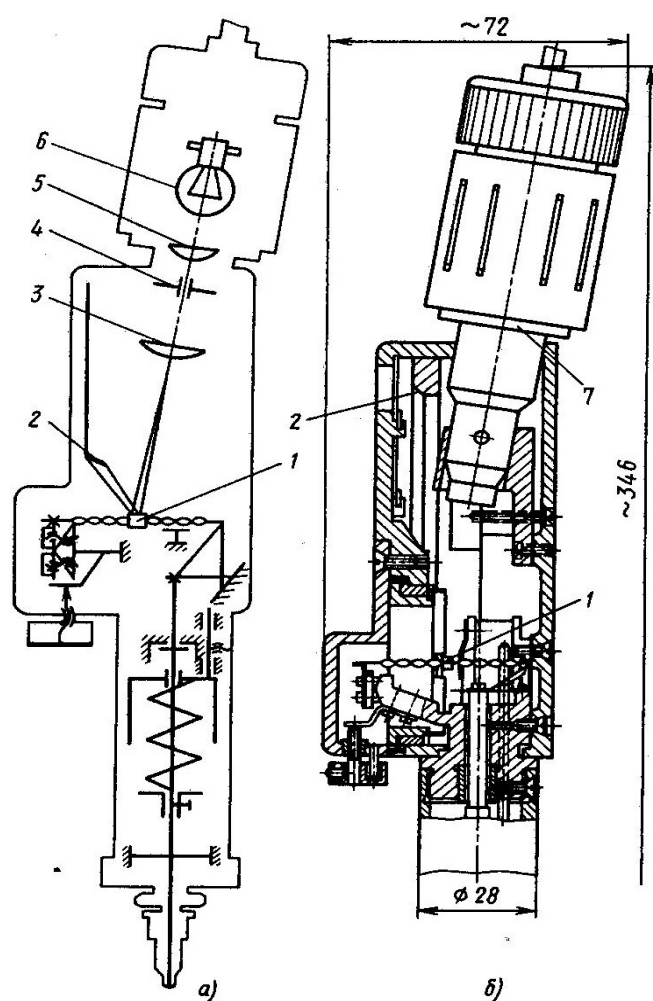


Рисунок 3 – Пружинно-оптическая измерительная головка-оптикатор: а – схема; б – конструкция верхней части

У оптикатора, в отличие от микрометров, увеличено последнее плечо благодаря использованию оптического рычага. Поэтому оптикаторы выпускают в основном с ценой деления 0,0001, 0,0002 и 0,0005 мм, т.е. менее 0,001 мм, и при значительно большем диапазоне показаний (0,024, 0,050, 0,100 мм).

Измерительное усилие у этих головок 150 сН. Изготавливаются оптикаторы с регулируемым измерительным усилием от 5 до 150 сН.

Рассмотренные микрокаторы и оптикаторы относятся к однооборотным головкам. Однако механизм в виде свернутой пластины дает возможность сделать головки с расширенным диапазоном показаний.

3. Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы).

Микаторы (рисунок 4) называется пружинная измерительная головка, у которой передаточный механизм выполнен в виде скрученной ленты, а присоединительный цилиндр имеет диаметр 8 мм.

Принципиальная схема микатора (рисунок 4, а) аналогична схеме микрокатора, а конструкция его (рисунок 4, б) соответственно изменена с целью уменьшения габаритных размеров.

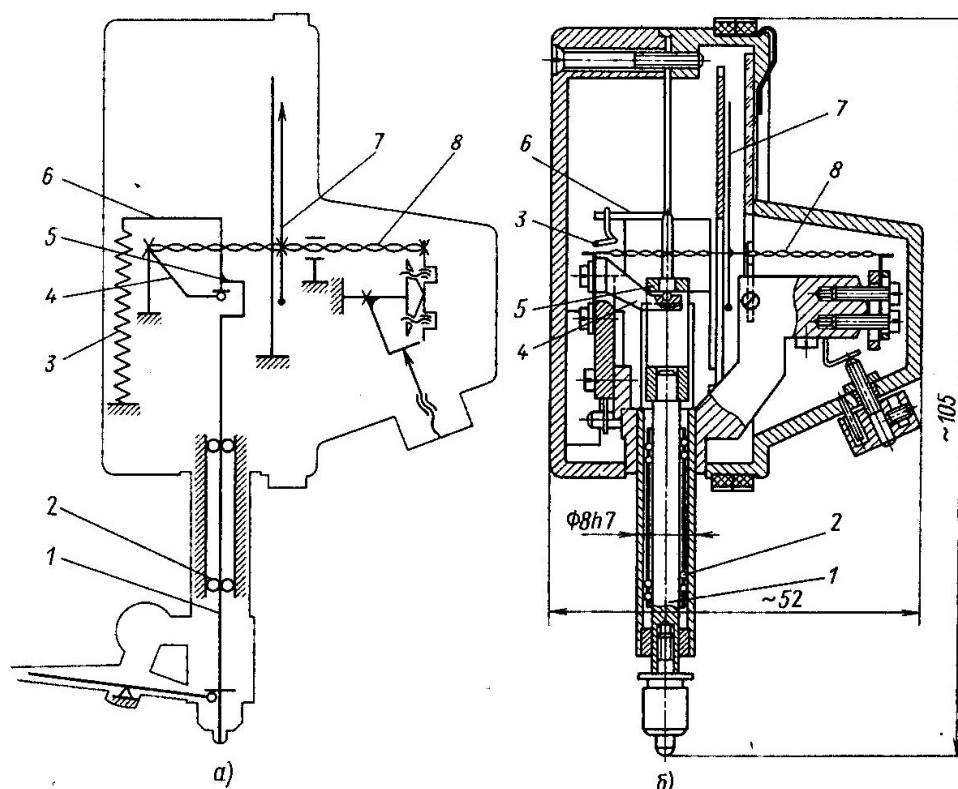


Рисунок 4 – Пружинная малогабаритная измерительная головка-микатор: а – схема; б – конструкция

В отличие от микрокатора и оптикатора измерительный стержень 1 микатора (см. рисунок 4) установлен на шариковых направляющих 2.

Измерительный стержень 1 имеет в верхней части дополнительный кронштейн 6, через который создается измерительное усилие с помощью пружины 3.

При перемещении измерительного стержня его упор 5 в верхней части освобождает рычаг 4, к которому прикреплен конец свернутой ленты 8. Рычаг 4, отгибаясь, растягивает свернутую ленту 8, которая поворачивается вместе со стрелкой 7. При такой схеме неосторожный удар вдоль оси измерительного стержня не распространяется на свернутую ленту.

Регулировка механизма у микатора аналогична микрокатору. Микаторы изготавливают с ценой деления 0,0002, 0,0005, 0,001 и 0,002 мм с измерительным усилием 100 – 150 сН и с уменьшенным усилием 50 сН. Все головки имеют на шкале по 100 делений (± 50), что и определяет их диапазон показаний.

4. Головки измерительные рычажно-пружинные (миникаторы).

Миникатором называется пружинная измерительная головка, у которой передаточный механизм выполнен в виде скрученной ленты, а передача на один конец этой ленты осуществляется с помощью рычага.

Миникатор относится к головкам бокового действия (как и рассмотренные ранее рычажно-зубчатые индикаторы).

Основными элементами миникатора (рисунок 5, а, б) являются свернутая пластина 1 (пружина), одним концом закрепленная за неподвижную при работе плоскую пружину 2, а другим концом – за пружину 3. В средней части пружины 1 прикреплена стрелка 13, располагаемая над шкалой 12. Рычажная передача состоит из рычага 7, подвешенного на двух плоских пружинах 11, на конце которого имеется сфера. Второй конец рычага имеет винт 4, с помощью которого рычаг 7 упирается в пружину 3.

При перемещении измерительного наконечника рычаг 7 поворачивается на своих подвесках и иглой винта 4 прогибает пружину 3, благодаря чему один конец пружины 1 растягивается и поворачивается вместе со стрелкой 13. Регулировка передаточного отношения осуществляется, как и в других пружинных головках, изменением положения конца плоской пружины 2.

В миникаторе отсутствует демпфирующее устройство для того, чтобы обеспечить небольшое измерительное усилие и небольшой перепад его при разных положениях миникатора в пространстве. Но при работе миникатор чувствителен к вибрациям.

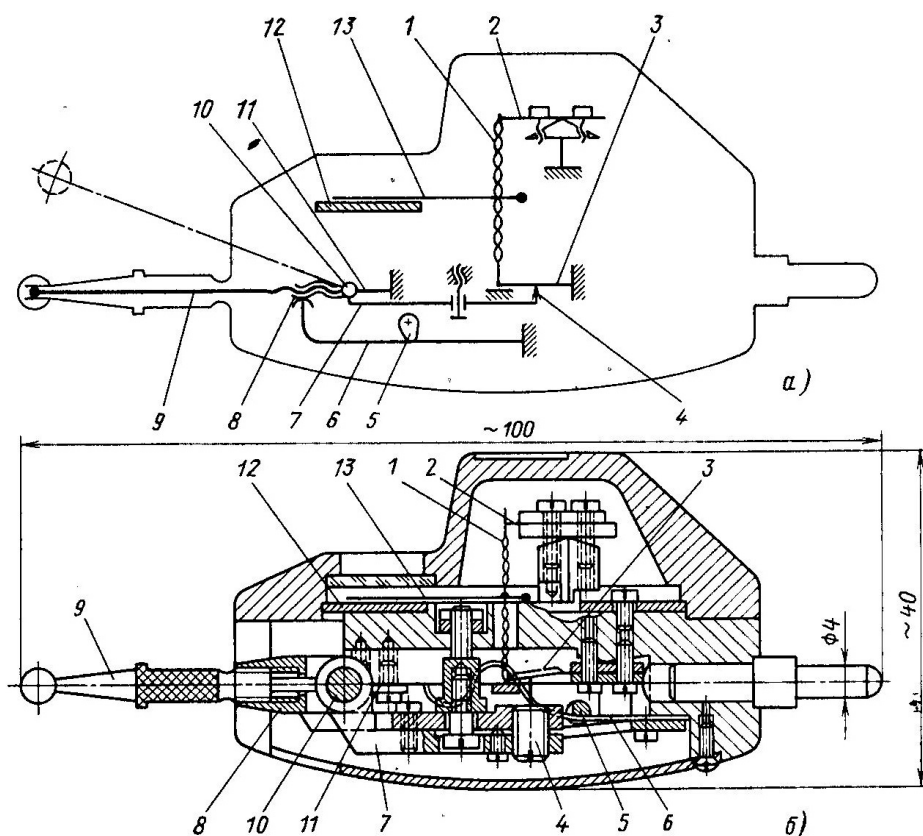


Рисунок 5 – Рычажно-пружинная измерительная головка-миникатор: а – схема; б – конструкция

Часть рычага вместе с измерительным наконечником можно устанавливать под различным углом к корпусу миникатора. С этой целью рычаг 7 состоит из двух частей, соединенных с помощью шарнира 10. Часть рычага с винтом 4, имеющим на конце иглу, сделана на левом конце в виде вилки, за которую рычаг крепится к корпусу на плоских пружинах 11. Вторая часть 8 рычага со сменным измерительным наконечником 9 крепится на резьбе в корпусе шарнирного соединения. Поэтому когда необходимо установить рычаг под каким-либо углом относительно корпуса, отворачивают немного

наконечник, а потом поворачивают наконечник на необходимый угол и вновь завертывают до упора.

Для переключения направления измерений в миникаторе имеется плоская пружина 6 и переключатель 5.

Миникатор выпускают с ценой деления 0,001 мм, но снабжают сменным удлиненным наконечником, при использовании которого цена деления у той же головки в два раза больше (0,002 мм). На шкале головки 80 (± 40) делений.

Измерительное усилие миникатора не более 20 сН при использовании короткого наконечника (30 мм) и не более 10 сН при использовании длинного (72 мм) наконечника.

Принципиальная конструкция скрученной ленты у всех конструкций пружинных головок одинакова. Вся номенклатура головок обеспечивается тремя типоразмерами скрученных лент (толщина $\times$ ширина в мм): 0,004 $\times$ 0,08; 0,06 $\times$ 0,1; 0,008 $\times$ 0,12.

Материалом ленты является оловянно-цинковая бронза БрОЦ 4 – 3 (3,5 – 4 % олова, 2,7 – 3,3 % цинка, остальное медь).

Расчет передаточного числа пружинных головок. В общем виде свернутая лента, используемая в пружинных головках, имеет передаточное число 1...10 угл. град/мкм, т.е. при перемещении конца пружины на 1 мкм средняя часть ее поворачивается у разных пружинок на 1..10 угл. град.

Передаточное число u_n может быть приблизительно выражено следующей зависимостью:

$$u_n \approx 0,45 \frac{E}{G} \frac{1}{t} \frac{1}{\left(\frac{a}{b}\right)^2 + 13,2 \left(\frac{b}{t}\right)^2},$$

где E – модуль упругости материала ленты (для БрОЦ 4 – 3 $E=115\,000$ ГПа); G – модуль сдвига материала ленты (для БрОЦ 4 – 3 $G=45\,000$ ГПа); a , b – толщина и ширина ленты, мм; t – шаг спирали, мм.

Передаточное число может быть выражено также эмпирической зависимостью для микрокаторов и микаторов:

$$u_m = \frac{0,0175Ru_p}{\frac{0,001}{u_l} + \eta \frac{\Delta Ql^3}{3EJ}},$$

где R – длина стрелки, мм; u_p – передаточное число рычажной системы от стержня на конце пружины; u_l – передаточное число ленты; η – экспериментальный поправочный коэффициент, учитывающий деформацию рычажной системы; ΔQ – растягивающее усилие, соответствующее повороту среднего сечения ленты на 1° ; E – модуль упругости материала ленты; J – момент инерции поперечного сечения ленты, мм^4 ; l – свободная длина свернутой ленты, мм.

Приведенные зависимости характеризуют влияние отдельных элементов механизма и материала пружинной головки на передаточное число и могут быть использованы только для *ориентировочного расчета* передаточного числа.

Для микрокатора передаточное число может быть упрощенно написано следующим выражением:

$$u_m = \frac{R\theta\pi}{\delta \cdot 180} = 0,0175 \frac{R}{\delta},$$

где R – длина стержня микрокатора от оси поворота до свободного конца, мм; δ – перемещение измерительного наконечника, мм; θ – угол поворота середины ленты (угл. град), соответствующий перемещению измерительного стержня.

Для оптикаторов передаточное число может быть выражено следующей упрощенной формулой:

$$u = 2Q \frac{Rl}{r},$$

где R – длина плеча от плоскости зеркала до шкалы; l – длина ленты; r – длина плеча от оси стержня до подвижного конца ленты; Q – поправочный коэффициент.

Погрешности измерения пружинными головками. Погрешности микрометров на всем диапазоне показаний почти для всех цен делений не превышают цену деления, а в некоторых случаях равны цене деления. Только для микрометров с ценой деления 0,0001 и 0,0002 мм погрешность равна цене деления в диапазоне показаний 30 делений. У остальных микрометров в диапазоне показаний в пределах 30 делений погрешность обычно равна половине цены деления.

Приблизительно такой же точностью обладают **микаторы. Оптикаторы**, благодаря наличию оптического рычага, обладают меньшей погрешностью по сравнению с другими головками. Так, в пределах 100 делений погрешность оптикаторов не превышает половины цены деления, а на всем диапазоне показаний укладывается в цену деления.

Поскольку головка при измерении устанавливается в стойки, на которых можно производить измерения деталей длиной до 180 мм, то указанные ниже погрешности относятся именно к измерениям размеров от 1 до 180 мм.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть
2. Выбрать исходные данные в соответствии с номером варианта, приведенного в таблице 1, 2.
3. Определить передаточное число пружинной головки

$$u_n \approx 0,45 \frac{E}{G} \frac{1}{t \left(\left(\frac{a}{b} \right)^2 + 13,2 \left(\frac{b}{t} \right)^2 \right)}$$

4. Определить интервал деления шкалы $\alpha = 2\pi R/100$
5. Определить погрешность измерения.
6. Результаты изложить в виде расчетов.
7. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта	Длина стрелки от оси поворота до конца				
	30	25	20	15	10
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
0					

Таблица 2 – Исходные данные

№ варианта	Размеры скрученной ленты ($a \times b$, мм) и шаги спирали (t , мм)					
	$a \times b$	t	$a \times b$	t	$a \times b$	t
	0,004× 0,08	1	0,06× 0,1	2	0,008× 0,12	3
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
0						

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Основные формулы.
4. Решение.
5. Вывод по решенной задаче.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение пружинной головки?

2. Назовите основные составляющие части пружинной головки?
3. На чем основан принцип действия современных пружинных головок?
4. Назовите основные виды пружинных головок?
5. Что такое оптикатор?
6. Что такое микатор?
7. Какую погрешность измерения имеют пружинные головки?

Практическая работа №4

Тема: Расчет передачи винт-гайка скольжения

Цель: приобрести навыки в расчете передачи «винт-гайка» скольжения.

Задачи:

- закрепить знания о винтовых передачах и их видах, достоинствах и недостатках;
- научиться производить расчет передаточного числа передачи «винт-гайка» скольжения;
- научиться проводить расчет передачи «винт-гайка» скольжения на прочность;
- научиться вычислять КПД передачи «винт-гайка» скольжения с использованием справочной литературы.

Оснащение:

- методические указания;
- схема действия передачи «винт-гайка» скольжения;
- калькулятор инженерный;
- справочная литература.

Работа рассчитана на 4 академических часа.

ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Винтовая передача - механическая передача, преобразующая вращательное движение в поступательное, или наоборот. *Винтовая передача* состоит из **винта** и **гайки**.

Механизмы «винт - гайка» используются для преобразования вращательного движения в поступательное. Для этой цели их применяют в домкратах, прессах, металлорежущих станках, прокатных станах, грузоподъемных механизмах, роботах, испытательных стендах и в других устройствах.

Для преобразования поступательного движения во вращательное эти механизмы используются редко (механизм перемещения пленки фотоаппарата).

Достоинства винтовых передач:

- бесшумны в работе,
- повышенная плавность зацепления;
- просты по конструкции и в изготовлении;
- позволяют получать большой выигрыш в силе.

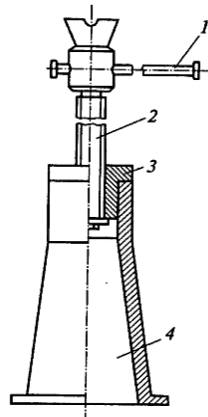


Рисунок 1 - Винтовой домкрат:
1 - рукоятка, 2 - подвижный винт,
3 - неподвижная гайка, 4 - станина

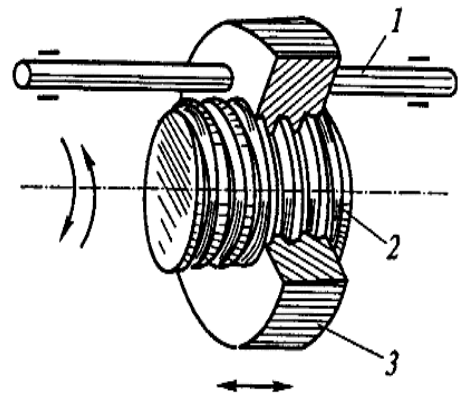


Рисунок 2 - Винтовая передача с подвижной гайкой
(стрелками показано направление движения):
1 - направляющая, 2 - неподвижный винт,
3 - подвижная гайка

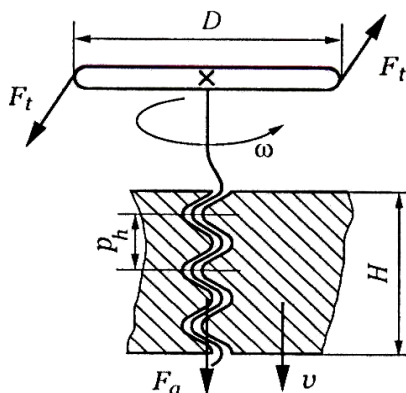


Рисунок 3 - Схема действия
передачи «винт-гайка»

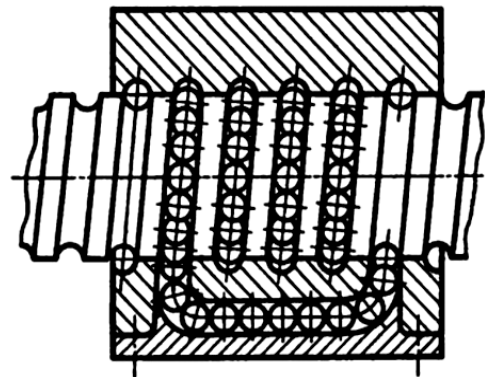


Рисунок 4 - Шариковая винтовая
передача

К недостаткам следует отнести:

- относительно низкий КПД;
- склонность к заеданию;
- тихоходность передачи.

Современные винтовые передачи могут содержать как неподвижную гайку и подвижный винт, например в винтовом домкрате (рисунок 1), так и неподвижный винт, и подвижную гайку, например ходовые винты станков (рисунок 2).

Виды винтовых передач

Винтовые передачи могут быть:

- скольжения (рисунок 5, а);
- качения (когда гайка содержит канавки с помещенными туда шариками) (рисунок 5, б);
- планетарными роликовыми (перспективные передачи, обладающие большой точностью и жесткостью);
- волновые (для очень малых поступательных перемещений);
- гидростатические (с малыми трением, износом и повышенной точностью).

Передачи типа «винт – гайка» применяют в подъемных механизмах, в станках (механизмы подачи рабочих инструментов), в измерительных приборах (механизмы для точных перемещений, микрометрические и дифференциальные винты), в прокатных станах (регулирующе–установочные механизмы подшипников, нажимные винты), в винтовых процессах.

Винтовые механизмы принципиально ничем не отличаются от резьбовых соединений, но так как они применяются для передачи движения, то трение в резьбе должно быть минимальным.

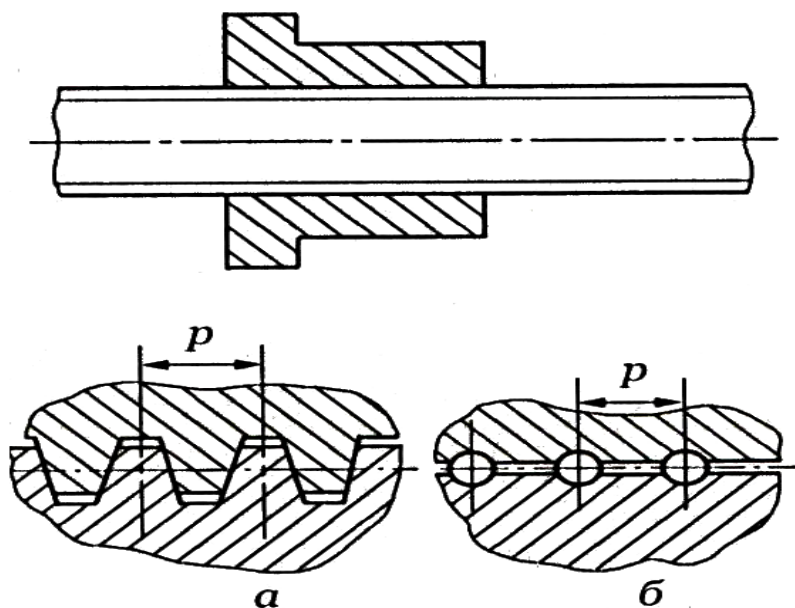


Рисунок 5 - Передача:
а) с трением скольжения, б) с трением качения

Наименьшее трение между винтом и гайкой обеспечивает **прямоугольная резьба** (рисунок 7), однако ее не технологичность, то есть невозможность нарезания на резьбофрезерных станках, и небольшая прочность по сравнению с **трапециoidalной резьбой** делают ее применение крайне ограниченным. Поэтому для передаточных винтов применяют главным образом **трапециoidalную резьбу** (рисунок 8) с мелким, средним и крупным шагами и упорную резьбу.

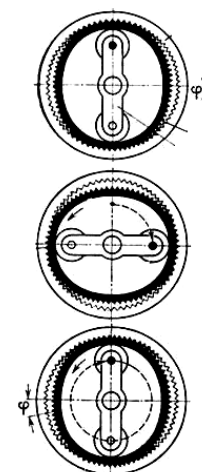


Рисунок 6 - Волновая зубчатая передача

Наибольшее распространение получила **трапециoidalная резьба со средним шагом**. Трапециoidalную резьбу с мелким шагом используют при относительно небольших перемещениях; трапециoidalную резьбу с крупным шагом – при тяжелых условиях эксплуатации. Профиль трапециoidalной резьбы позволяет использовать ее в механизмах с реверсивным перемещением.

Для передач с большими односторонними нагрузками (прессы, домкраты, нажимные устройства в прокатных станах и др.) применяют **упорную резьбу** (рисунок 9).

Резьба винтов и гаек передач бывает правой или левой, однозаходной или многозаходной.

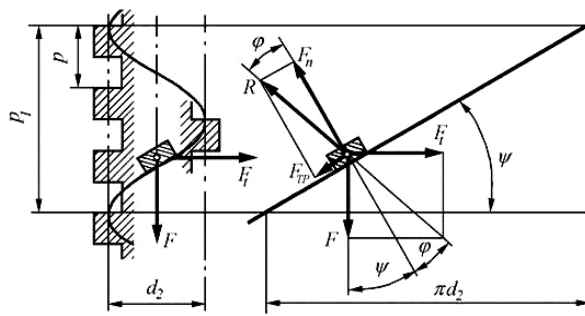


Рисунок 7 - Силы взаимодействия между винтом и гайкой на примере прямоугольной резьбы

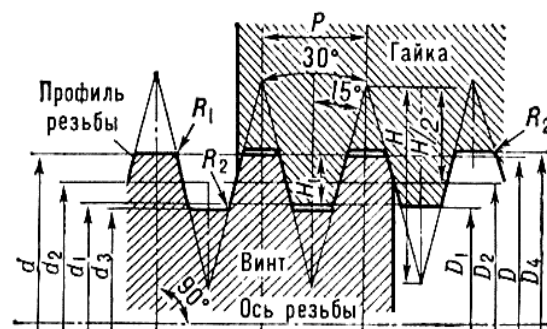


Рисунок 8 - Профиль и основные параметры трапецидальной однозаходной резьбы

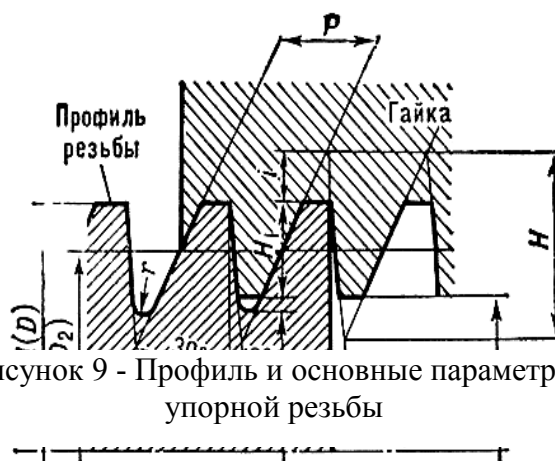


Рисунок 9 - Профиль и основные параметры упорной резьбы

Материалы винтов должны обладать высокой износостойкостью и хорошей обрабатываемостью, а более нагруженные – высокой прочностью. Винты, не подвергаемые закалке, изготавливают из сталей 45, 50, А50, а винты, подвергаемые закалке, выполняют из сталей У10, У65, 40Х, 40ХГ и др. Материал гаек – бронзы оловянные БрОФЮ– 1, БрОЦС–6–6–3 и др.

Для червяков рулевого управления автомобилей, механизмов наводки ракет и ходовых винтов станков используют шариковые винты. Канавки шарикового винта 3 (рисунок 10, I) и гайки 2 в осевом сечении имеют полукруглую форму. Непрерывный замкнутый поток шариков 4 заполняет винтовое пространство между желобами по всей длине гайки. Пройдя его,

шарики переходят в округленный трубчатый канал 1, по которому они возвращаются в рабочую зону винтовой пары.

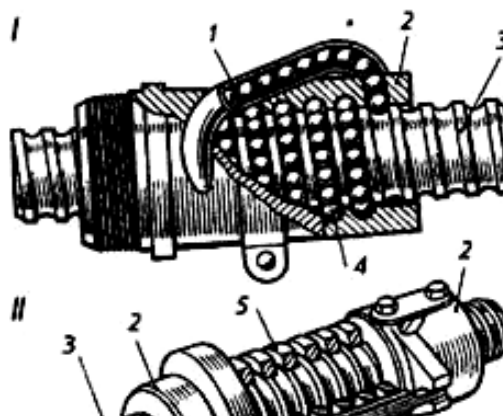


Рисунок 10 - Шариковая пара «винт-гайка»: исполнение I и II

Коэффициент полезного действия шариковой винтовой пары много выше, чем обычной, вследствие резкого снижения трения в резьбе.

Для полного устранения зазоров в шариковой паре «винт – гайка» на винте устанавливают одновременно две шариковые гайки 2 (рисунок 10, II), между которыми помещают стальную пружину 5. Пружина, создавая предварительный натяг между винтом 3, шариками и гайками, устраняет все зазоры в передаче.

Рабочие поверхности такой передачи закаливают до твердости HRC60 и выше. Винты изготавливают из сталей ХВГ, 7ХГ2ВМ с объемной закалкой. Материал гаек – стали 9ХС, ШХ15, ХВГ с объемной закалкой и др.

Передаточное отношение винтовой передачи равно:

$$U = C/L = \pi d/pK, \quad (1)$$

где C – длина окружности, по которой перемещается точка приложения силы;

L – ход винта, p – шаг винта, K – число заходов винта.

Расчет передачи винт–гайка на прочность

Как показывает опыт, неудовлетворительная работа винтовых передач чаще всего вызывается **износом резьбы**.

Поэтому основным расчетом всех винтовых передач является *расчет на износ*, в результате которого определяют диаметр винта и высоту гайки. Проверяя среднее давление p в резьбе, полагают, что все витки резьбы нагружены равномерно.

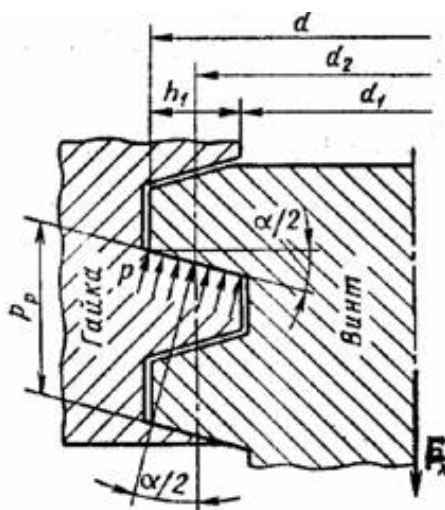


Рисунок 11 – Расчет передачи винт-гайка на износостойкость

Расчет передачи на износостойкость ведут из условия не выдавливания смазочного материала, предполагая, что вследствие приработки нагрузка по виткам резьбы распределяется равномерно:

$$p_{\text{изн}} = F_a / A z_v = F_a / (\pi d_2 \times H_l \times z_v) \leq [p]_{\text{изн}}, \quad (2)$$

где F_a – внешняя осевая сила;

A – площадь рабочей поверхности витка;

d_2 – средний диаметр резьбы;

H_l – рабочая высота профиля резьбы;

z_v – число витков в гайке высотой H : $z_v = H/p$ (здесь p — шаг резьбы);

$[p]_{\text{изн}}$ – допускаемое давление (выбирается по таблице 1).

Таблица 1 – Допускаемое давление в резьбе для пары «винт-гайка»

Материал винтовой пары	$[p]_{\text{изн}}$, МПа
Закаленная сталь—бронза	10 - 12
Незакаленная сталь—бронза	8 - 10

Закаленная сталь—антифрикционный чугун АЧВ-1, АЧК-1	7 - 9
Незакаленная сталь—антифрикционный чугун АЧВ-2, АЧК-2	6 - 7
Незакаленная сталь—чугун СЧ20, СЧ25	5

Примечание. При редкой работе, а также для гаек малой высоты значение $[p]_{изн}$ может быть повышено на 20%.

Для проектного расчета полученную формулу целесообразно преобразовать, заменив z на (H/p_p) , обозначив $\psi_H = H/d_2$ - коэффициент высоты гайки, $\psi_h = h/p_p$ - коэффициент высоты резьбы.

Тогда (рис.20):

$$d_2 = \sqrt{\frac{F_a}{\pi \psi_H \psi_h [p]_{изн}}}, \quad (3)$$

Принимают $\psi_h = 0,5$ для трапецеидальной и $\psi_h = 0,75$ для упорной резьбы; $\psi_H = 1,2 - 2,5$ в зависимости от конструктивных соображений (большие значения для резьб меньших диаметров). Полученное значение d_2 согласуется со стандартом.

После расчета резьбы сильно нагруженные винты, например винты домкратов, проверяют на прочность, принимая $[\sigma] = 0,3\sigma_T$, и на устойчивость.

КПД передачи винт-гайка скольжения

В передаче винт-гайка скольжения потери возникают в резьбе и в опорах. Потери в резьбе составляют главную часть. Они зависят от профиля резьбы, ее заходности, материала винтовой пары, точности изготовления, шероховатости контактирующих поверхностей и вида смазочного материала:

$$\eta_{е.пер} = \eta_{он} \eta_{е.н} = \frac{\eta_{он} \operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi')}, \quad (4)$$

где $\eta_{он}$ - коэффициент, учитывающий потери в опорах. Этот коэффициент зависит от конструкции винтового механизма. Так, для ходовых винтов станков (опоры - подшипники качения) $\eta_{он} = 0,98$.

Порядок выполнения работы

Рассчитать винт домкрата, а так же определить его КПД. Резьба самотормозящая упорная грузоподъемность F_a , кН, l , м, подпятник – шариковый. Исходные данные приведены в таблице 2.

1. Изучить теоретическую часть.
2. Выбрать исходные данные в соответствии с номером варианта, приведенного в таблице 2.

3. Рассчитать винт, определив его диаметр.

$$d_2 = \sqrt{\frac{F_a}{\pi \psi_H \psi_h [p]_{\text{изн}}}}$$

4. Выбираем резьбу и из стандарта выписываем ее параметры:

d, p - шаг резьбы, d_1, d_2, h , коэффициент трения $f = 0,1$ будет постоянным.

Номер ГОСТа выбранной резьбы смотреть в таблице 3.

5. Определяем число витков.

$$Z = \frac{F_a}{\pi d_2 h [\sigma_{\text{см}}]}$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4F_a}{\pi(D_6^2 - D^2)} \leq [\sigma]_{\text{см}},$$

$$H = Z \times p.$$

6. Рассчитываем КПД домкрата.

$$\eta = \frac{\eta_{\text{он}} \operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \varphi')}$$

7. Результаты изложить в виде расчетов.

Таблица 2 – Исходные данные

Вариант	F_a , кН	l , м	Материал винта	Материал гайки
1	50	0,6	Сталь 45	Бронза Бр010Ф1
2	200	0,7	Сталь 35	Чугун АЧК-1
3	125	0,8	Сталь 40ХГ	Чугун АЧВ-1
4	150	0,9	Сталь 40ХГ	Бронза Бр010Ф1
5	75	1,0	Сталь 35	Бронза Бр010Ф1
6	125	0,9	Сталь 45	Чугун СЧ20
7	250	0,8	Сталь 50	Чугун СЧ20
8	200	0,7	Сталь 50	Бронза Бр010Ф1
9	75	0,6	Сталь 40ХГ	Чугун АЧК-2

Вариант	F _a , кН	l, м	Материал винта	Материал гайки
0	100	1,0	Сталь 50	Чугун СЧ25

Таблица 3 - Обозначения стандартных резьб

Тип резьбы	Стандарт	Вид
Метрическая	ГОСТ 9150-81 - профиль; ГОСТ 24705-81 - основные размеры; ГОСТ 8724-81- диаметры и шаги; ГОСТ 16093-81 - допуски	Крупный шаг Мелкий шаг Многозаходная Левая
Дюймовая	ОСТ НКТП 1260- профиль. основные размеры, допуски	Наружная Внутренняя
Трубная цилиндрическая	ГОСТ 6357-81- профиль, основные размеры, допуски	Класс А (повышенный) Класс В (нормальный) Левая
Трубная коническая	ГОСТ 6211-81 - профиль, основные размеры, допуски	Наружная Внутренняя Внутренняя цилиндрическая Левая
Коническая дюймовая	ГОСТ 6111-52- профиль, основные размеры, допуски	Наружная Внутренняя
Метрическая коническая	ГОСТ 9150-81- профиль; ГОСТ 25229-82- основные размеры, диаметры и шаги; ГОСТ 16093-81 - допуски	Коническая Внутренняя цилиндрическая Левая
Трапецеидальная однозаходная	ГОСТ 9484-81 - профиль; ГОСТ 24738-81 - основные размеры, диаметры и шаги; ГОСТ 9562-81 - допуски	Однозаходная Левая
Трапецеидальная многозаходная	ГОСТ 9484-81 - профиль; ГОСТ 24739-81 - основные размеры, шаги, ходы и допуски	Многозаходная Левая
Упорная	ГОСТ 10177-82 - профиль, основные размеры, диаметры и шаги ГОСТ 25096-82 - допуски	Однозаходная Многозаходная Левая
Упорная усиленная 45°	ГОСТ 13535-87., профиль, основные размеры, диаметры, шаги и допуски	Однозаходная Многозаходная Левая
Круглая	ГОСТ 13536-68 -й профиль, основные размеры, допуски	Правая

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

6. Наименование работы.
7. Цель работы.
8. Основные формулы.

9. Решение.
10. Вывод по решенной задаче.

Контрольные вопросы

1. Как устроена передача винт-гайка скольжения и где ее применяют?
2. Какие резьбы применяют для грузовых винтов?
3. Каковы преимущества и недостатки винтовых передач скольжения по сравнению с передачами качения?
4. Почему в домкратах передачу выполняют самотормозящей?
5. Из каких материалов изготавливают винты и гайки?
6. Что является основной причиной выхода из строя передачи винт-гайка скольжения?
7. Что понимают под передаточным отношением винтовых передач?
8. Как использовать свойство самоторможения винтовых передач?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема: Выбор структурных схем измерения детали

Цель: приобрести навыки в измерении индикатором часового типа и выборе схем измерения.

Задачи:

- закрепить знания о принципе работы индикатора часового типа;
- научиться производить измерения с помощью индикатора часового типа;
- научиться выбирать структурную схему измерения.

Оснащение:

- методические указания;
- стойка, индикатор часового типа, ПКМД, плита поверочная, штатив;
- калькулятор инженерный;
- справочная литература.

Работа рассчитана на 4 академических часа.

ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерительными головками называются отсчетные устройства, преобразующие малые перемещения измерительного стержня в большие перемещения стрелки по шкале (индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые индикаторы, многооборотные индикаторы, рычажно-зубчатые головки).

В качестве отдельного измерительного устройства головки использоваться не могут и для измерения их устанавливают на стойках, штативах или оснащают приборы и контрольно-измерительные приспособления.

Измерительные головки предназначены в основном для относительных измерений. Если размеры деталей меньше диапазона показаний прибора, то измерения могут быть выполнены абсолютным методом.

Измерение индикатором часового типа

Индикатор 1 крепится на индикаторной стойке 2 винтом 3 (рисунок 1, а). Ослабляя винт 5, опускаем индикатор до касания наконечником измерительного столика 4, после чего опускаем дополнительно еще на 1...2 мм (создаем «натяг»). Фиксируем это положение затягиванием винта 5. Поворачиваем за ободок 6 круговой шкалы индикатора до совмещения «0» шкалы с большой стрелкой. Записываем показания индикатора (например, 1,00 мм при натяге 1 мм).

Не изменяя положение корпуса индикатора, поднимаем измерительный наконечник и кладем на измерительный столик деталь. Отпускаем стержень (рисунок 1, б) и записываем показание индикатора (например, 2,15 мм). Разница между показанием индикатора при измерении и при настройке дает значение перемещения стержня относительно столика при измерении ($b=2,15-1,00=1,15$ мм). Это и будет размер b . Таким способом производят измерения абсолютным методом.

В тех случаях, когда размер детали больше диапазона показаний прибора, пользуются относительным методом. Для этого определяем приблизительно размер детали (например, около 42 мм), набираем блок из плоскопараллельных концевых мер длины (тоже 42 мм) настраиваем прибор на «0» относительно плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД) (рисунок 1, в) аналогично настройке при абсолютном методе. Записываем показания индикатора (например, 1,00 мм), убираем блок ПКМД и ставим деталь. Записываем показания индикатора (например, 2,15 мм). Определяем перемещение стержня при измерении относительно ПКМД ($\Delta=2,15-1,00=1,15$ мм) (рисунок 1, г). Действительный размер детали $d=\text{ПКМД}+\Delta$ (например, $d=42+1,15=43,15$ мм). При сложении необходимо учитывать знак относительного перемещения: если размер детали окажется меньше блока ПКМД, то Δ получится отрицательным (если индикатор показывал при настройке 1,00 мм, а при измерении 0,42 мм, то $\Delta=0,42-1,00=-0,58$ мм).

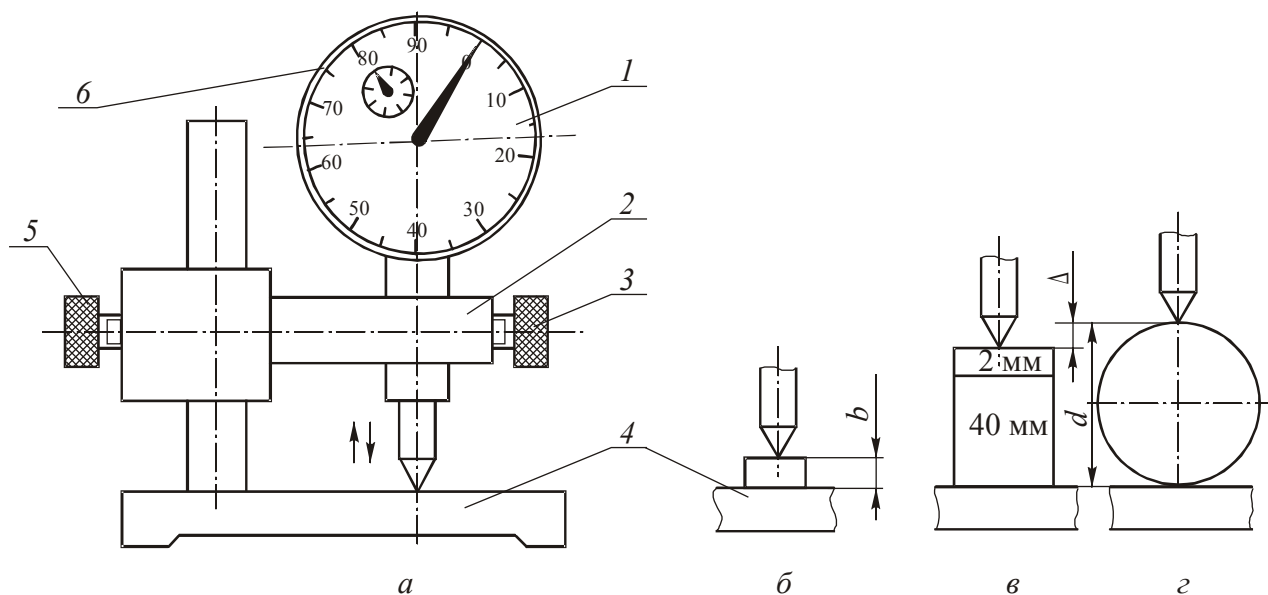
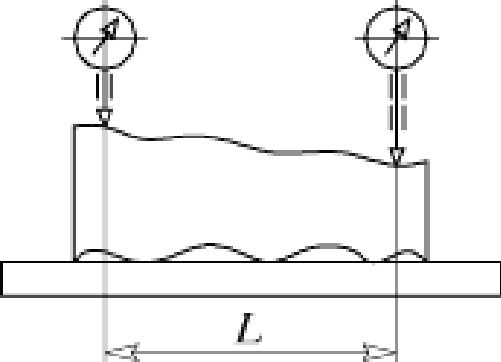
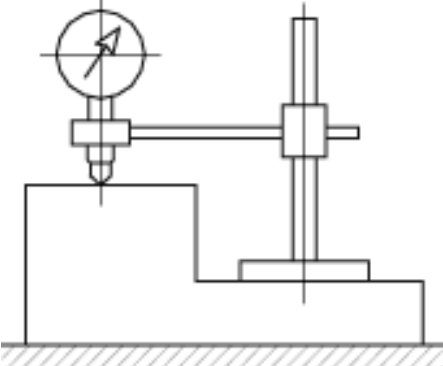
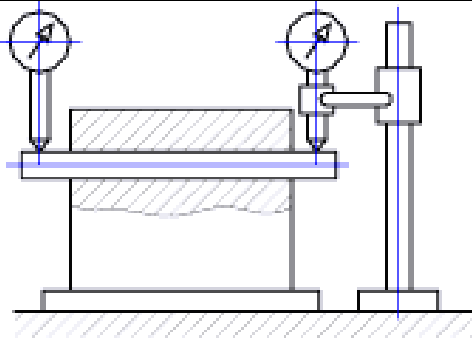
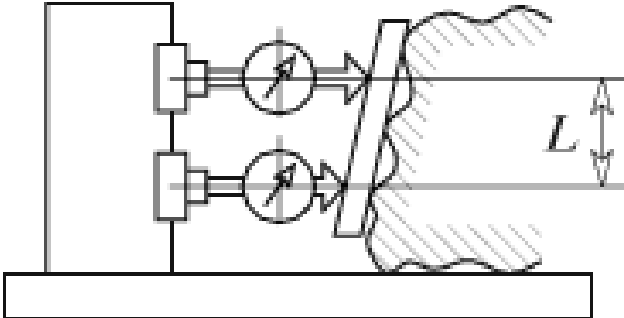
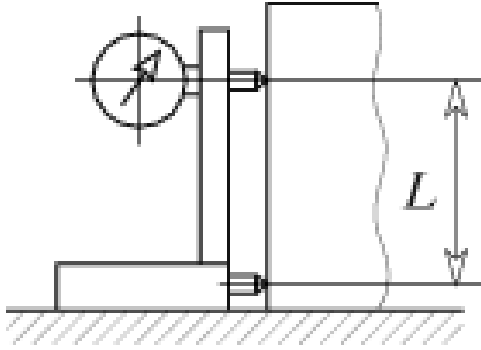


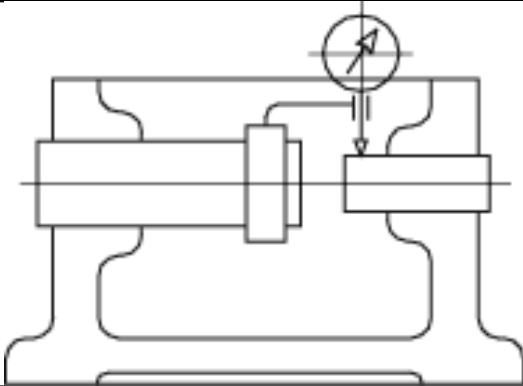
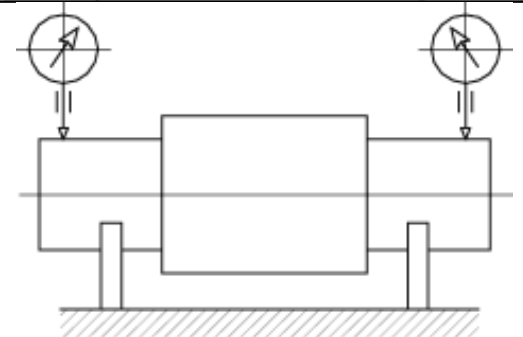
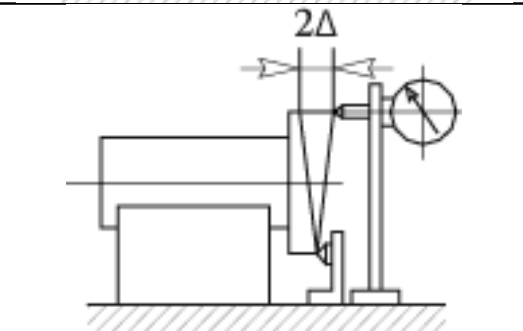
Рисунок 1 – Измерение индикатором

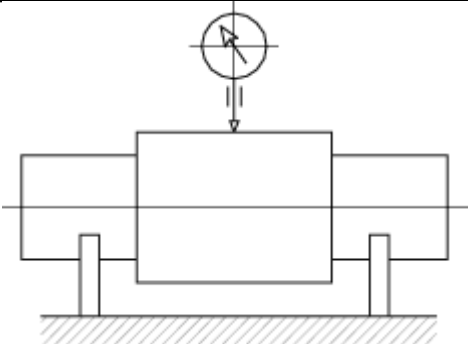
Относительным методом пользуются и в тех случаях, когда необходимо уменьшить погрешность измерения, т.е. уменьшить измерительное перемещение с тем, чтобы избавиться от накапливающейся погрешности прибора.

Таблица 1 – Схемы измерения индикаторной головкой

Измеряемый параметр	Краткое описание измерения	Схема измерения
Измерение отклонения от параллельности плоскостей	Деталь устанавливают базовой поверхностью на поверочную плиту. Перемещая измерительную головку параллельно поверхности плиты, определяют разность показаний измерительной головки в различных точках проверяемой поверхности на заданной площади или длине	
	Штатив с закрепленным на нем измерительным устройством перемещают по одной из контролируемых поверхностей, а наконечник измерительной головки — по другой. При этом определяют разность показаний прибора на заданной длине	
Измерение отклонения от параллельности оси отверстия или вала	Деталь устанавливают на поверочную плиту так, чтобы контролируемая поверхность была параллельна поверхности плиты. Положение оси отверстия при измерении определяют по образующей оправке. Разность показаний измерительной головки в двух положениях	

Измеряемый параметр	Краткое описание измерения	Схема измерения
	определяет непараллельность	
Измерение отклонения от перпендикулярности плоскостей	Деталь устанавливают базовой поверхностью на поверочную плиту. На заданной длине L определяют разность показаний измерительной головки, перемещаемой по колонке перпендикулярно плоскости плиты. Использование плоскопараллельной пластины исключает влияние погрешностей формы данной поверхности	
	При измерении используется неподвижный упор. Измерительную головку предварительно выставляют на нуль по угольнику. Затем одним отсчетом определяют неперпендикулярность на заданной длине L.	

Измеряемый параметр	Краткое описание измерения	Схема измерения
Измерение отклонения от соосности относительно оси базовой поверхности	Измерение производят с помощью двух точных оправок и измерительной головки, закрепленной на одной из них. Отклонение от соосности равно половине разности отсчетов по шкале измерительной головки за один оборот измерительного устройства	
Измерение отклонения от соосности относительно общей оси двух поверхностей	Несоосность поверхностей относительно их общей оси определяют при вращении детали на двух ножевых опорах, расположенных в средних сечениях поверхностей. Несоосность каждой из контролируемых поверхностей равна половине радиального биения, измеренного в крайних сечениях этих поверхностей	
Измерение торцового биения	Контролируемую деталь устанавливают базовой поверхностью на призмы и фиксируют в осевом направлении упором. Торцевое биение Δ составит половину разности между наибольшим и наименьшим показаниями измерительной головки за один оборот детали	

Измеряемый параметр	Краткое описание измерения	Схема измерения
Измерение радиального биения	Контролируемую деталь устанавливают базовыми поверхностями на призмы (в центрах насаживают на коническую, цилиндрическую, ступенчатую или разжимную оправку). Радиальное биение определяют как разность между наибольшим и наименьшим показаниями измерительной головки, закрепленной на стойке, за один оборот детали	

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть.
2. В соответствии с чертежом детали выбрать схему измерения.
3. Произвести настройку на нуль индикатора часового типа.
4. Произвести измерения индикатором часового типа.
5. Полученные результаты занести в таблицу 2.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Сделать выводы о проделанной работе

Таблица 2 – Результаты измерения детали

Измеряемый параметр	Предельные отклонения		Схема измерения	Действительный размер
	min	max		
1.				
2.				
3.				
.....				
Заключение о годности детали				

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Эскиз измеряемой детали.
4. Заполненная таблица 2.
5. Вывод по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Какой метод сравнения с мерой используется в лабораторной работе?
2. Назначение индикатора часового типа?
3. Устройство и принцип действия индикатора часового типа?
4. Как настроить индикатор часового типа на нуль?

5. Какие структурные схемы использовались при измерений детали?
6. Как произвести отчет показаний по шкале индикатора часового типа?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунаев П.Ф. конструирование узлов и деталей машин: учеб.пособие для студ.высш.учеб.заведений /Дунаев П.Ф, Леликов О.П. – 9-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 496 с.
2. Иванов М.Л. Детали машин: Учеб. для студентов втузов/Под ред. В.А. Финогенова. — 6-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 2000. — 383 с: ил.
3. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин [Текст] : учеб. пособие / Левитский Н. И. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1990. - 592 с. : ил.
4. Марков Н.Н., Ганевский Г.М. Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов /Марков Н.Н., Ганевский Г.М. – М.: Машиностроение, 1981. – 367 с., ил.
5. Мигачева Г.Н. Рабочая программа дисциплины «Основы расчета и проектирования измерительных механизмов». Екатеринбург, ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2015. 13 с.
6. Колеса зубчатые. Виды повреждений. Классификация и описание. Межгосударственный гос. стандарт. Режим доступа: http://www.imash.ru/normatdok/etc_gosts/3355-kolesa-zubchatye-vidy-povrezhdenijj..html
7. Основы проектирования передаточных механизмов: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений Кушнаренко В.М., Ковалевский В.П., Чирков Ю.А. Режим доступа: http://window.edu.ru/window_catalog/pdf2txt?p_id=2512&p_page=12

8. Практика проектирования технологической оснастки машиностроительного производства : учебник для вузов по направлению подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" [Гриф УМО] / А. А. Малов [и др.] ; под общ. ред. В. Т. Сеницына. - Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2014. - 307 с.

9. Проектирование и расчет приспособлений : учебник для вузов по направлению подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" [Гриф УМО] / В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе. - Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2014. - 301 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ РАСЧЕТА И
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ»

Подписано в печать _____. Формат 60×84/16. Бумага для множ. аппаратов.
Печать плоская. Усл. печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____. Тираж _____ экз. Заказ № _____.

ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет». Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.

Ризограф ФГАОУ ВПО РГППУ. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.