

Г. Н. Мигачева

**ПРАКТИКУМ ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Екатеринбург
РГПУ
2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»

Г. Н. Мигачева

**ПРАКТИКУМ ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Учебное пособие

© ФГАОУ ВО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет», 2018

ISBN 978-5-8050-0648-8

Екатеринбург
РГППУ
2018

УДК 681.2(076.5)(075.8)

ББК К92я73-5

М 57

Мигачева, Галина Николаевна.

М 57 Практикум по расчету и проектированию измерительных механизмов: учебное пособие / Г. Н. Мигачева. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2017. 83 с. Режим доступа: <http://elar.rsvpu.ru/978-5-8050-0648-8>.
ISBN 978-5-8050-0648-8

Задания для практических занятий составлены в соответствии с целями, задачами и формируемыми компетенциями, установленными рабочей программой по освоению содержания дисциплины «Основы проектирования измерительных механизмов», даны рекомендации по подготовке к занятиям, критерии оценки работ, разработаны кроссворды и предложен компьютерный тест.

Предназначено студентам, обучающимся по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям), профилю подготовки «Машиностроение и материалобработка», а также работникам в области технического контроля и метрологии.

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент М. Я. Лаховский (ООО «Группа Комос»); кандидат педагогических наук, доцент Т. Б. Соколова (ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»)

Системные требования: Windows XP/2003; программа для чтения pdf-файлов Adobe Acrobat Reader

Учебное издание

Редактор Е. А. Морозова; компьютерная верстка Н. А. Ушениной

Утверждено постановлением редакционно-издательского совета университета

Подписано к использованию 25.06.18. Текстовое (символьное) издание (3,62 Мб).
Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета.
Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.

© ФГАОУ ВО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет», 2018

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Анализ содержания дисциплины «Основы проектирования измерительных механизмов»	8
1.1. Основные характеристики рабочей программы по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов»	8
1.2. Формирование профессиональных компетенций по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов»	9
1.3. Анализ содержания практических занятий, предусмотренных программой дисциплины	10
Глава 2. Анализ типов основных измерительных механизмов, используемых в процессе контроля на предприятиях.....	12
2.1. Измерительные средства с механическим преобразованием	12
2.2. Измерительные головки с рычажно-зубчатым механизмом	18
2.3. Измерительные головки с пружинным механизмом	28
2.4. Погрешности рычажных передач	39
2.5. Измерительные головки с электронным цифровым отсчетным устройством	42
2.6. Штативы и стойки, используемые с измерительными головками	46
Глава 3. Анализ, систематизация и отбор учебного материала для разработки практических работ и заданий	49
3.1. Требования, предъявляемые к методическим указаниям	49
3.2. Разработка методических указаний к практическим занятиям	50
3.3. Творческое задание «Кроссворд»	53
3.4. Разработка системы тестового контроля	65
Заключение	78
Библиографический список	80

Введение

На современном этапе экономического, политического и социального развития Российской Федерации требуются квалифицированные специалисты, качество подготовки которых остается актуальной проблемой современного профессионального образования. На подготовку таких специалистов направлена и политика нашего государства, связанная с введением нового поколения Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО).

Главной целевой установкой в реализации ФГОС ВО третьего поколения является формирование у учащихся компетенций в процессе обучения, при этом под термином «компетенция» понимается способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области.

В понятие «компетенция» в качестве составных частей входят знания, умения и навыки, личностные качества (инициативность, целеустремленность, ответственность, толерантность и т. д.), социальная адаптация (умение работать как самостоятельно, так и в коллективе) и профессиональный опыт [43].

Основой компетентного подхода является работа с информацией, моделирование, рефлексия. Студент должен уметь не просто воспроизводить информацию, а самостоятельно мыслить и быть готовым к реальным жизненным ситуациям.

В этой связи встает необходимость корректировки учебных программ, приведения их в соответствие требованиям нового ФГОСа: образовательные программы дисциплины должны быть ориентированы на повышение качества подготовки специалистов на основе создания механизмов эффективного освоения студентами компетенций, необходимых в профессиональной деятельности.

В учебные программы теперь входит перечень компетенций, формируемых дисциплиной, перечень основных образовательных технологий (форм, методов обучения, типовых задач), используемых для формирования компетенций, перечень типовых заданий для контроля и самооценки уровня заявленных в дисциплине компетенций.

Для достижения цели и задач, поставленных в рабочей программе, методическое обеспечение учебной дисциплины должно способствовать

формированию дескрипторов компетенций. Поэтому при составлении практических, лабораторных работ, заданий для самостоятельной работы студента следует определить, на формирование каких компетенций направлено задание [40].

В РГППУ ведется подготовка бакалавров по направлению «Профессиональное обучение (по отраслям)», профилю подготовки «Машиностроение и материалобработка». Учебный план содержит дисциплину «Основы проектирования измерительных механизмов», ее методическое обеспечение должно соответствовать современным нормам.

Задания для практических занятий составлены в соответствии с целями, задачами и формируемыми компетенциями, установленными рабочей программой по освоению содержания дисциплины «Основы проектирования измерительных механизмов»

Цель работы – разработать проектируемые задания для практических работ и методические указания по их выполнению.

В соответствии с поставленной целью решены следующие *задачи*:

1) проведен анализ ФГОС ВО, нормативной, психолого-педагогической, методической и специализированной литературы;

2) проанализировано и систематизировано содержание учебного материала для разработки практических заданий по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов», выявлены дескрипторы компетенций, формируемые на практических работах;

3) сформированы задания для 6 практических работ;

4) предложена методика выполнения заданий и приведен теоретический материал для их выполнения, разработаны методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов»;

5) разработаны 5 типов кроссвордов для оценки усвоения теоретического материала дисциплины;

6) разработаны компьютерные тесты в системе Айрон, содержащие 55 вопросов.

Методика проведения практических работ формирует у будущих специалистов необходимый объем и уровень знаний, навыков и умений для решения поставленных задач и продвижения от низших к высшим уров-

ням мыслительной деятельности, создает психологическую установку на самостоятельное систематическое пополнение своих знаний и выработку умений ориентироваться в потоке научной информации при решении новых познавательных задач, является важнейшим орудием педагогического руководства и управления самостоятельной познавательной деятельностью студента в процессе обучения.

Глава 1. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ»

1.1. Основные характеристики рабочей программы по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов»

Рабочая программа – нормативно-управленческий документ образовательного учреждения, характеризующий систему организации образовательной деятельности.

Цель дисциплины «Основы проектирования измерительных механизмов» – сформировать у студентов представление об основных способах проектирования различных типов механизмов, обеспечивающих точность измерения на измерительных устройствах [29].

Задачи дисциплины [29]:

- сформировать знания об основах проектирования механизмов различного типа;
- выработать умения по выбору структурной схемы (типа) механизма, обеспечивающей точность измерения, и проектированию основных типов измерительных устройств;
- сформировать умения по применению теоретических знаний по изучаемой дисциплине.

Содержание разделов дисциплины:

1. Строение механизмов

Введение. Основные определения. Кинематические пары и соединения. Избыточные связи в плоских механизмах и их исключение. Структурный синтез механизмов. Классификация механизмов и соединений (резьбовых, шлицевых, шпоночных и зубчатых).

2. Типовые детали и механизмы передач

Основные понятия. Классификация деталей машин. Введение в передачи. Классификация механических передач. Зубчатые передачи. Червячные, цепные и ременные передачи. Фрикционные передачи. Кривошипно-шатунный и рычажный механизмы.

3. Строение и классификация резьбовых механизмов и соединений

Основные понятия. Классификация резьбы. Система допусков и посадок резьбовых соединений. Обозначение резьбы. Нарезание и контроль резьбовых соединений. Винтовые передачи (винт – гайка).

4. Строение и классификация шлицевых и шпоночных механизмов и соединений

Основные понятия. Классификация шпоночных и шлицевых соединений. Система допусков и посадок шпоночных и шлицевых соединений. Обозначение шпоночных и шлицевых соединений. Нарезание и контроль шпоночных и шлицевых соединений.

5. Строение и классификация зубчатых механизмов

Общие сведения. Строение и классификация зубчатых механизмов. Основы теории зубчатого зацепления (теорема зацепления, эвольвента окружности). Образование эвольвентного зацепления. Образование цилиндрического зубчатого колеса. Основные элементы и характеристики эвольвентного зацепления. Скольжение при взаимодействии зубьев. Влияние числа зубьев на форму и прочность зуба (подрезание). Понятие о зубчатых зацеплениях со смещением (корригированных). Точность зубчатых передач. Материалы зубчатых колес. Виды разрушения зубьев и критерии работоспособности зубчатых передач. Допускаемые напряжения.

6. Основы проектирования основных типов механизмов

Основные схемы и характеристики измерительных механизмов: синусные, тангенсные, рычажные передачи, рычажно-пружинные, рычажно-винтовые. Порядок проектирования. Погрешности рычажных передач. Винт – гайка.

1.2. Формирование профессиональных компетенций по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов»

В результате освоения дисциплины у студентов формируются следующие умения [29]:

1) готовность участвовать в разработке и реализации технологических процессов обработки и контроля деталей машин и механизмов в процессе обучения рабочего в области технического регулирования соответствующего квалификационного уровня;

2) способность участвовать в практическом освоении систем управления качеством на предприятии и в образовательном учреждении;

3) способность участвовать в выполнении заданий по разработке, пересмотру, актуализации и применению нормативных документов в сфере

технического регулирования и управления качеством в процессе обучения рабочего соответствующего квалификационного уровня;

4) готовность выполнять работы по метрологическому обеспечению производства и образовательного учреждения;

5) готовность выполнять работы, связанные с проектированием деталей и узлов механизмов и т. д.

В результате выполнения практических работ у студентов формируются следующие дескрипторы компетенции:

- знание основной номенклатуры механизмов, основ проектирования рычажных, резьбовых и зубчатых механизмов;
- умение выбирать структурные схемы измерения;
- владение основными понятиями и положениями структурного анализа типовых механизмов, современными методами проектирования деталей измерительных механизмов.

1.3. Анализ содержания практических занятий, предусмотренных программой дисциплины

Практическая работа – это применение знаний на практике. С точки зрения И. П. Подласого, «практика – это критерий истины, источник познавательной деятельности и область приложения результатов обучения».

Многообразие практических работ порождает потребность в их классификации. Одним из наиболее популярных оснований классификации является уровень познавательной самостоятельности учащихся [38]:

- репродуктивный, т. е. предполагающий воспроизведение знаний в знакомой учащимся ситуации или умение ученика действовать по образцу;
- частично-поисковый, т. е. предполагающий умение учащегося осуществлять перенос знаний и умений, применять знания при решении задач с несколько измененными условиями;
- творческий.

В соответствии с рабочей программой целью дисциплины 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 работы по избранной специализации [26].

С учетом анализа практической потребности машиностроительных предприятий в измерительных механизмах были выбраны расчеты основных метрологических характеристик измерительных головок индикаторов с использованием зубчатых, рычажных и пружинных механизмов.

При изучении зубчатых механизмов индикаторов часового типа студенты должны научиться [21]:

- вычислять модуль (m) зубчатых зацеплений;
- вычислять передаточное число зубчатых механизмов U и определять, с каким увеличением преобразуется перемещение измерительного наконечника индикатора в перемещение конца стрелки (u);
- определять интервал деления шкалы;
- определять погрешность индикатора часового типа.

При изучении рычажных механизмов измерительных головок студенты должны научиться вычислять [29]:

- погрешность перемещения синусного рычага;
- погрешность тангенсных рычагов.

При изучении пружинных механизмов в измерительных головках студенты должны научиться вычислять [29]:

- передаточное число пружинных головок;
- погрешность измерения пружинных головок.

Также студенты должны научиться определять структурную схему измерения индикатором часового типа.

Для более эффективного усвоения теоретических знаний были разработаны следующие практические работы:

- «Основы проектирования зубчатых механизмов»;
- «Основы проектирования рычажных механизмов»;
- «Основы проектирования пружинных механизмов»;
- «Расчет передачи винт – гайка скольжения»;
- «Выбор структурных схем измерения детали».

Выбранные практические работы способствуют формированию практических умений – профессиональных или учебных, необходимых в последующем изучении общепрофессиональных и специальных дисциплин.

На практических занятиях студенты овладевают первоначальными профессиональными умениями и навыками, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются в процессе курсового проектирования, учебной и производственной (профессиональной) практики.

Глава 2. АНАЛИЗ ТИПОВ ОСНОВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

2.1. Измерительные средства с механическим преобразованием

Принципом действия измерительного средства или преобразователя называется физический принцип, положенный в основу построения средств измерения данного вида.

В основе современных средств измерения линейных и угловых размеров лежат следующие физические принципы: механический, оптический, электрический, пневматический и их сочетания.

Рассмотрим измерительные средства, в которых преобразовательный механизм построен на механическом принципе действия, т. е. преобразование малых перемещений измеряемых величин в большие перемещения на отчетном или регистрирующем устройстве производится с помощью механических передач.

Универсальные измерительные средства с механическим преобразованием в зависимости от вида измеряемого размера можно разделить на средства измерения наружных и внутренних размеров; в зависимости от конструктивного оформления и области назначения – на измерительные головки и измерительные средства с корпусом в виде скобы.

Измерительными головками называются отсчетные устройства, преобразующие малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки и имеющие шкалу, по которой отсчитываются величины перемещений наконечника. Также существуют измерительные головки, в которых значение перемещения измерительного наконечника отсчитывается по электронному цифровому устройству.

В качестве отдельного измерительного устройства головки использоваться не могут, и для измерения их устанавливают в специальных приборах, где требуется отсчитать какие-либо перемещения. Поэтому их часто называют «отсчетные головки».

Измерительные головки конструктивно оформляют в одном корпусе. Они имеют элементы, с помощью которых устанавливаются (присоединя-

ются) в измерительном устройстве. В большинстве случаев этот «присоединительный» элемент делают в виде цилиндра диаметром 8 или 28 мм.

Широкое распространение получили головки, в которых используются преобразующие механизмы, содержащие в себе только зубчатые передачи, рычажные вместе с зубчатыми передачами и передачи с пружинными механизмами [26].

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

Схема индикатора часового типа (рис. 1, *a*) состоит из рейки 1, которая нарезана на измерительном стержне, имеющем измерительный наконечник 7, зацепляющийся с трибом 2 (трибом называют обычно зубчатое колесо малого модуля с числом зубьев от 6 до 16, чаще всего изготовленное заодно со своей осью-валом, так называемое валковое колесо). На одной оси с трибом установлено зубчатое колесо 3 большего диаметра, находящееся в зацеплении с трибом 4, на оси которого установлена основная стрелка 5. С помощью стрелки по шкале 6 отсчитывают перемещения измерительного наконечника 7.

a

б

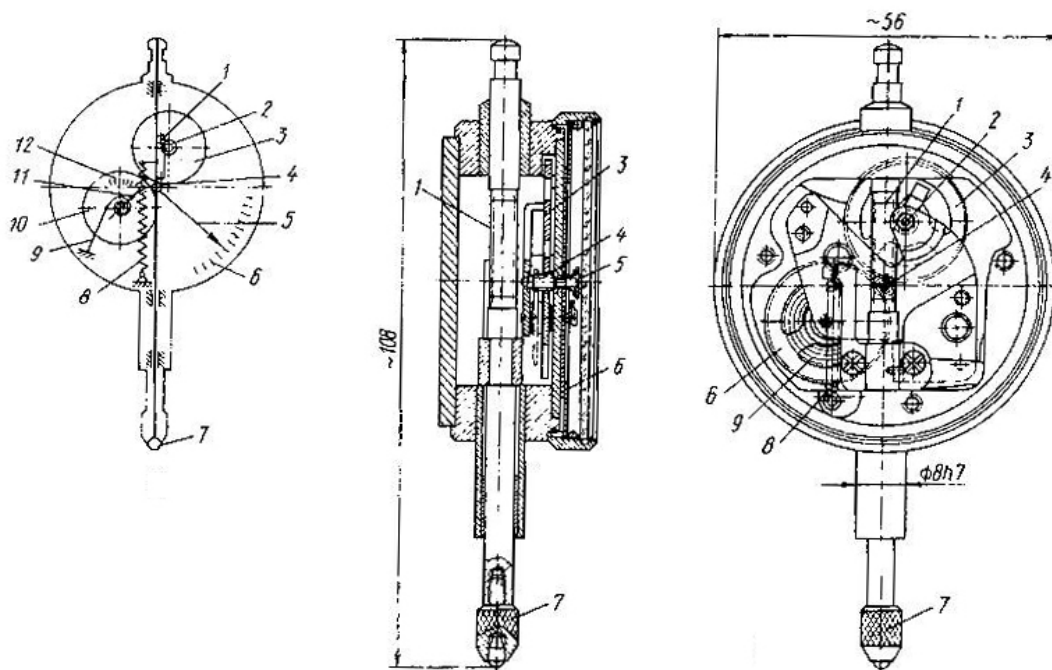


Рис. 1. Индикатор часового типа:
a – схема; *б* – конструкция индикатора ИЧ-10

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 11 на оси вспомогательного колеса 10, зацепляющегося с трибом 4, и шкала 12, 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, в индикаторе для этой цели используют вспомогательное колесо 10, находящееся под воздействием пружинного устройства 9, обеспечивающего зацепление всех зубчатых передач только по одним профилям зубьев вне зависимости от направления перемещения измерительного стержня. Плоскую спиральную пружину 9 чаще всего называют «волосок» за ее малую толщину. Один конец этой пружины закреплен на колесе 10, а второй конец закреплен неподвижно на корпусе механизма индикатора.

В индикаторе предусмотрена винтовая пружина 8, 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 (рис. 1, б), диаметр которого зависит от диапазона показания индикатора. Измерительный стержень, на котором нарезана рейка, обычно делают цилиндрической формы. Он перемещается в корпусе по направляющей скользящей. Для закрепления индикатора предусмотрена гильза – цилиндр диаметром 8 мм. Во многих индикаторах имеется специальное крепление в виде кронштейна на плоскости крышки с противоположной стороны от шкалы (крепление «за ухо»).

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 любой штрих шкалы в конструкции индикатора предусмотрен поворот шкалы за наружный ободок относительно стрелки.

Типоразмеры индикатора и технические характеристики [29]. Если взять индикатор часового типа в отдельности, т. е. не установленный в штативе или стойке, то для него диапазон показаний и диапазон измерений

имеет один и тот же смысл. Подавляющее большинство индикаторов имеет диапазон показаний 2 или 3, 5 или 10 мм. Значительно реже изготавливают индикаторы с диапазоном показаний 25 и 50 мм. Индикаторы с диапазоном показаний 5 и 10 мм обычно имеют одну и ту же конструкцию, но в индикаторе с диапазоном показаний 10 мм введен ограничитель для получения индикаторов с диапазоном показаний 5 мм. Индикатор часового типа имеет цену деления 0,01 мм. Попытка обеспечить меньшую цену деления не дает положительных результатов.

Измерительное усилие индикаторов часового типа обычно находится в пределах 0,8–2 Н (80–200 гс).

Расчет передаточного числа индикатора [12]. Передаточным числом механизмов, содержащих зубчатые передачи, называется отношение числа 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.

Передаточное число индикатора равно

$$U = R\varphi / l,$$

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.

$$l = r_3\alpha,$$

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. $\varphi = (\alpha z_4) / z_5$.

Отсюда *передаточное число индикатора* равно $U = R / z_3$, или, заменив r_3 :

$$r_3 = mz_3 / 2, \text{ получим } U = (2R / mz_3) \cdot (z_4 / z_5).$$

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.

$$U = (R / r) \cdot (z_4 / z_5),$$

где r – радиус делительной окружности триба 3.

Таким образом,

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

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

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

$$\alpha = l/r_3; \varphi = 2\pi = (l/r_3) \cdot (z_4/z_5);$$

$$2\pi = (2 / mz_3) \cdot (z_4/z_5);$$

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

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 ее конца обычно равна 25 мм. Тогда *передаточное число и, т. е. перемещения измерительного наконечника индикатора, преобразуется 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 необходимо длину окружности, описываемой концом стрелки индикатора, разделить на 100 частей, т. е.

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

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 – 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 значениях пределов 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, а 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 подразумевается, что измерение производится с использованием штативов, имеющих достаточную жесткость.

При измерении размеров деталей путем сравнения 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.

Поверка индикаторов [29]. Поверку производят обычно с помощью концевых мер длины. Широко используют для поверки индикаторов также микрометры, у которых вместо пятки делают державку для установки индикатора.

Для поверки индикаторов используют и оптические приборы (микроскоп, длинномер), которые имеют оптические шкалы. Принцип поверки с помощью этих приборов заключается в сравнении показателей индикатора с показаниями по оптической шкале.

2.2. Измерительные головки с рычажно-зубчатым механизмом

В механизмах с зубчатыми передачами (индикатор часового типа) можно получить большое передаточное число, но практически трудно добиться погрешности менее 5–10 мкм из-за погрешности зубчатых передач и особенно погрешностей первой пары (рейки – триб), поскольку эта погрешность увеличивается к выходному звену. Поэтому и были созданы передаточные механизмы для измерительных (отчетных) головок, в которых сочетаются рычажные и зубчатые передачи, причем рычажные передачи установлены на входе передаточного механизма (взамен рейки и первого триба), а зубчатые передачи – на выходе.

В настоящее время применяют два вида измерительных головок, передаточный механизм которых состоит из рычажных и зубчатых передач, – это рычажно-зубчатые индикаторы и рычажно-зубчатые головки.

Под *рычажно-зубчатыми индикаторами* понимают измерительные головки, передаточный механизм которых состоит обычно из рычажной и одной или двух зубчатых пар, причем наконечник располагается на малом плече рычажной передачи (первое плечо).

Схема и конструкция рычажно-зубчатого индикатора [17] (рис. 2). В схеме рычажно-зубчатого индикатора (рис. 2, а, в) наконечник 1 расположен непосредственно на конце малого плеча рычажной передачи. На конце большого плеча 2 находится зубчатый сектор 3, зацепляющийся с трибом 4. На оси триба 4 располагается зубчатое колесо 5, на торце которого нарезаны зубья («торцевое зубчатое колесо»). Зубчатое колесо 5 зацепляется с трибом 6. На оси триба 6 располагается стрелка 8, с помощью которой производится отсчет по шкале 7. Для обеспечения однопрофильного зацепления зубчатых передач на одной оси со стрелкой 8 и трибом 6 установлен волосок 9. Как следует из рис. 2, а, в, в зависимости от положения триба 6 относительно зубчатого колеса 5 получается индикатор с разным положением шкалы относительно корпуса: на рис. 2, а – индика-

тор с боковым расположением шкалы, а на рис. 2, в – с торцевым расположением шкалы.

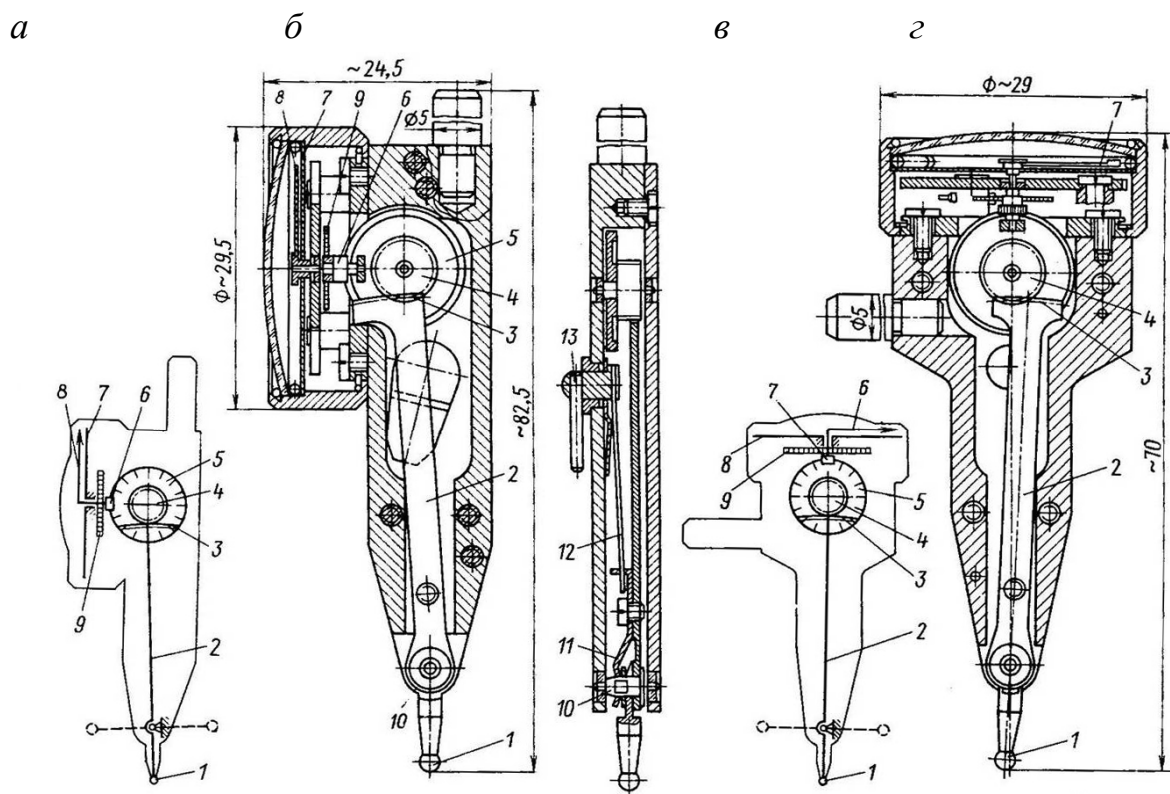


Рис. 2. Рычажный индикатор:

схема (а) и конструкция (б) с боковой шкалой; схема (в) и конструкция (г) с торцевой шкалой

Головка при измерении устанавливается относительно измеряемой поверхности таким образом, чтобы линия измерения – линия, в направлении которой измеряется размер, была перпендикулярна малому плечу, т. е. головка устанавливается как бы боком к детали. Поэтому иногда такие головки называют головками *бокового действия* в отличие от головок *осевого действия* (например, индикатор часового типа), где линия измерения должна совпадать с осью измерительного стержня.

Конструкция рычажно-зубчатого индикатора с боковым расположением шкалы показана на рис. 2, а, б, где позиции, относящиеся к схеме и конструкции, совпадают.

Для измерения при разных положениях индикатора в пространстве малое (первое) плечо рычажной передачи, несущее измерительный наконечник 1, устанавливают на ось 10 и скрепляют со вторым плечом 2 обычно с помощью фрикционного устройства при большом усилии пружинкой 11

(реже с помощью зубчатой муфты). Эти конструктивные решения позволяют установить первое плечо под разным углом относительно второго плеча. В большинстве случаев малое плечо может быть установлено относительно корпуса индикатора на любой угол (не менее $\pm 90^\circ$) от среднего положения.

В конструкциях многих рычажно-зубчатых индикаторов предусмотрена возможность переключать направление воспринимаемых перемещений измерительного наконечника или, другими словами, направление действия измерительного усилия. С этой целью в конструкции предусмотрена пружина 12, которая переключателем 13 поджимает плечо 2 рычажной передачи в правое или левое крайнее положение. Когда рычаг 2 поджат в крайнее правое положение, то индикатором можно измерять при перемещении наконечника слева направо, а когда рычаг поджат в крайнее левое положение, то наконечник может перемещаться только справа налево. Это сделано для того, чтобы можно было установить индикатор в удобное положение относительно измеряемой детали. Пружина 12 вместе с волоском 9 создает измерительное усилие. Известны конструктивные решения, при которых представляется возможность обойтись без переключателя.

В конструкции торцевого индикатора (позиции на рис. 2, а, б, в, г совпадают) иногда корпус делают цилиндрической формы. Индикатор закрепляют за цилиндрическую поверхность корпуса, и в случае необходимости изменения направления перемещения наконечника весь индикатор может быть повернут в державке.

В конструкциях рычажно-зубчатых индикаторов обычно все оси устанавливаются на каменных опорах для обеспечения малого трения и малого измерительного усилия. Иногда ось первого рычага устанавливают на подшипниках качения.

Во всех индикаторах предусмотрена возможность поворота шкалы относительно стрелки для установки начала отсчета (установка на нуль).

Рычажно-зубчатые индикаторы, как правило, снабжают специальными державками для установки их при измерении.

Рычажно-зубчатые индикаторы предназначены в основном для измерения отклонений формы и расположения поверхностей, т. е. для измерения колебаний размера. Благодаря малым габаритным размерам индикатор можно закрепить в различных местах, труднодоступных для измерительных головок осевого действия. Индикатор сравнительно легко закрепляется на шпинделе станка и является основным видом отсчетных головок, ис-

пользуемых при расточных работах, а также при измерении корпусных деталей от плиты. При этом индикатор может быть закреплен, например, на штангенрейсмасе.

Виды рычажно-зубчатых индикаторов и основные технические характеристики. Известно несколько видов рычажно-зубчатых индикаторов, отличающихся расположением плоскости шкалы относительно плоскости перемещения измерительного наконечника. Наиболее удобным является расположение шкалы в плоскости, перпендикулярной плоскости поворота рычага с наконечником (см. рис. 2, а, б). Размеры шкал у индикаторов делают самыми разнообразными (от 25 до 50 мм), чаще всего в зависимости от цены деления.

Рычажно-зубчатые индикаторы изготавливают в основном с ценой деления 0,01 и реже с ценой деления 0,002 мм. Известны, но не распространены индикаторы с ценой деления 0,001 и 0,005 мм. Диапазон показаний по шкале составляет 0,8 мм для индикаторов с ценой деления 0,01 мм (± 40 делений с нулевой отметкой на середине) и 0,2 мм для деления 0,002 мм. Обычно все рычажно-зубчатые индикаторы являются однооборотными.

Измерительное усилие рычажно-зубчатых индикаторов разного типа находится в широком диапазоне – от 8 до 35 сН (гс).

Рычажно-зубчатые индикаторы имеют небольшую массу (30–50 г).

Расчет передаточного числа рычажно-зубчатых индикаторов [29]. Передаточное число рычажно-зубчатого индикатора определяется как отношение длин плеч первого рычага R и последнего рычага – стрелки l , умноженное на передаточное число зубчатых пар, т. е.

$$U = \frac{l z_3 z_5}{R z_4 z_6},$$

где z – число зубьев с номерами колес, показанных на рис. 2.

За z_3 берется не число зубьев сектора, а число зубьев колеса, из которого как бы вырезан сектор, являющийся большим плечом рычажной передачи.

Передаточное число можно выразить через диаметр начальных окружностей сектора и триба, т. е.

$$U = \frac{l d_3 d_5}{R d_4 d_6}.$$

Погрешность измерения рычажно-зубчатыми индикаторами [38]. На погрешность измерения в основном оказывает влияние погрешность от прогиба подвески.

Погрешность индикатора обычно находится в пределах цены деления при использовании всего диапазона показаний и в пределах половины цены деления при использовании меньшего интервала по шкале, особенно в пределах нескольких делений.

Погрешность от прогиба подвески возникает в связи с перепадом измерительного усилия, особенно в момент изменения направления перемещения измерительного наконечника. Хотя перепад измерительного усилия и небольшой (обычно для индикаторов с ценой деления 0,01 мм не более 5 сН (гс)), однако и этот перепад может привести к погрешности до 5 мкм от прогиба шарнирных подвесок. Величина прогиба зависит и от положения индикатора в пространстве.

Погрешность измерения при разных положениях рычажно-зубчатых индикаторов с ценой деления 0,01 мм при использовании различных диапазонов показаний по шкале находится в пределах 0,005–0,015 мм.

Проверка рычажно-зубчатых индикаторов. Проверка может производиться либо по концевым мерам длины, либо в специальных приспособлениях с использованием микрометрической головки, либо с помощью универсального микроскопа с использованием в качестве образцовой меры шкалы этого микроскопа.

Под *рычажно-зубчатыми измерительными головками* понимают измерительные головки осевого действия, в которых передаточный механизм состоит из рычажных и зубчатых передач.

В этих головках входные пары являются рычажными, а конечные пары – зубчатыми, что представляет возможность повысить точность измерительной головки по сравнению с индикатором, так как рычажную передачу можно сделать более точно, чем зубчатую передачу, а кроме того (и это, может быть, самое главное), принципиально возможны конструктивные решения, при которых осуществляется регулировка размеров рычажной передачи не только для устранения погрешности изготовления этой передачи, но и для уменьшения (компенсации) части погрешностей изготовления даже последующих зубчатых передач.

В настоящее время основным видом малогабаритных измерительных головок, обеспечивающих получение цены деления 0,001–0,002 мм, являются головки, содержащие рычажно-зубчатую передачу.

Схема и конструкция рычажно-зубчатых головок. В зависимости от диапазона показаний рычажно-зубчатые головки разделяются на однооборотные и многооборотные.

Однооборотные рычажно-зубчатые головки (рис. 3) имеют механизм, состоящий из двух рычажных и одной зубчатой пары. Измерительный стержень 1 плоской поверхностью контактирует со сферой малого плеча 2 первой рычажной передачи. Специальная конфигурация верхней части стержня 1 позволяет получить механизм, *разгруженный от удара*. Это название возникло вследствие того, что если произвести удар по измерительному стержню вверх вдоль его оси, то этот удар не передается на весь механизм головки. В рассмотренных индикаторах и рычажно-зубчатых индикаторах механизмы не были разгружены от удара, хотя в индикаторах часового типа и есть конструкции, которые обеспечивают такую разгрузку на первом трибе (на рис. 1, б триб 2 установлен с зазором и соединен с осью при помощи спиральной пружины – волоска, который закручивается при резком ударе вдоль оси стержня 1, не передавая удар на остальной механизм).

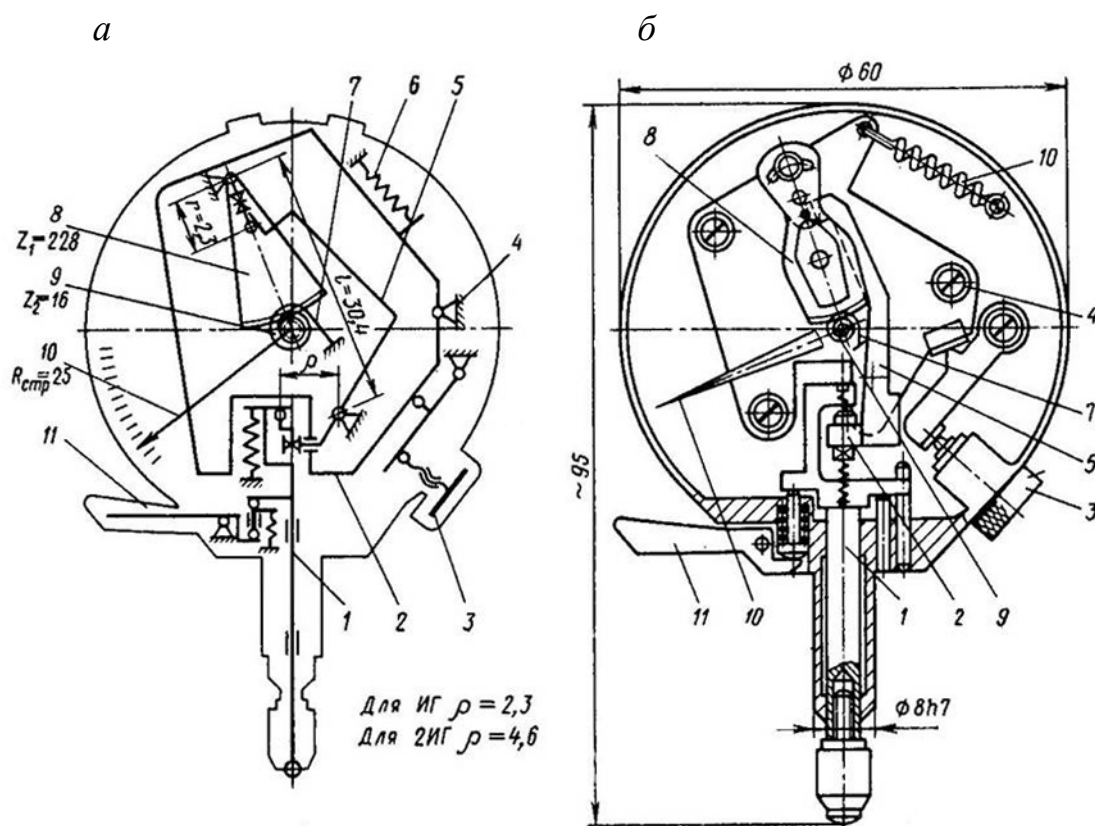


Рис. 3. Рычажно-зубчатая головка однооборотная (ИГ):

а – схема; б – конструкция

Сферическая контактная часть малого плеча 2 (см. рис. 3), взаимодействующая с измерительным стержнем, расположена эксцентрично относительно цилиндра, с помощью которого она устанавливается на рычаге. Благодаря этому поворотом опоры можно изменять размер малого плеча, т. е. регулировать передаточное число всего механизма. Большое плечо 5 рычажной передачи контактирует со сферической опорой на секторе 8. Положение сферической опоры на секторе также может изменяться для регулировки с целью компенсации погрешностей механизма. Сектор 8 зацепляется с трибом 9, на оси которого установлена стрелка 10. На этой оси закреплен один конец спиральной пружины (волоска) 7, а второй конец ее укреплен на плите, на которой монтируется весь механизм.

Для установки стрелки в нулевое положение весь механизм с рычажной и зубчатой передачами размещается на одном основании (плате), поворачиваемом при установке стрелки на нуль на оси 4 с помощью винта 3, к которому плата прижимается пружиной 6. Такое устройство обеспечивает поворот всего механизма винтом 3 относительно неподвижной точки контакта на стержне 1, и этим достигается так называемый фиксированный нуль, т. е. нулевое положение шкалы и стрелки при поверке и при измерении соответствует определенному положению механизма.

Арретирование измерительного наконечника осуществляется с помощью рычага 11, воздействующего на верхнюю часть измерительного стержня.

Все оси механизма головки установлены на корундовых подшипниках, а контактные поверхности обычно армируются твердым сплавом.

На корпусе головки установлены передвижные указатели для обозначения границ допуска. Головка в штативе или стойке крепится за гильзу диаметром 8 мм. В некоторых конструкциях предусмотрено крепление за специальный кронштейн на задней стенке корпуса (за ухо), как в индикаторе часового типа.

Многооборотные рычажно-зубчатые головки [30] отличаются от однооборотных добавлением на конце кинематической цепи еще одной дополнительной передачи. Можно, например, установить еще одну зубчатую передачу, но погрешность ее будет больше, чем погрешность рычажной передачи. Поэтому более правильно добавить дополнительные рычажные пары с плечами 12 и 13 (рис. 4). При этом изменяют соотношение некоторых размеров с целью получения небольших габаритных размеров головки.

Поскольку головка является многооборотной, в схеме ее предусмотрен дополнительный триб 14, на оси которого расположена стрелка оборотов 15 и волосок 7. Все остальные схемные и конструктивные решения в многооборотной головке такие же, как в однооборотной (на рис. 3 и 4 позиции совпадают).

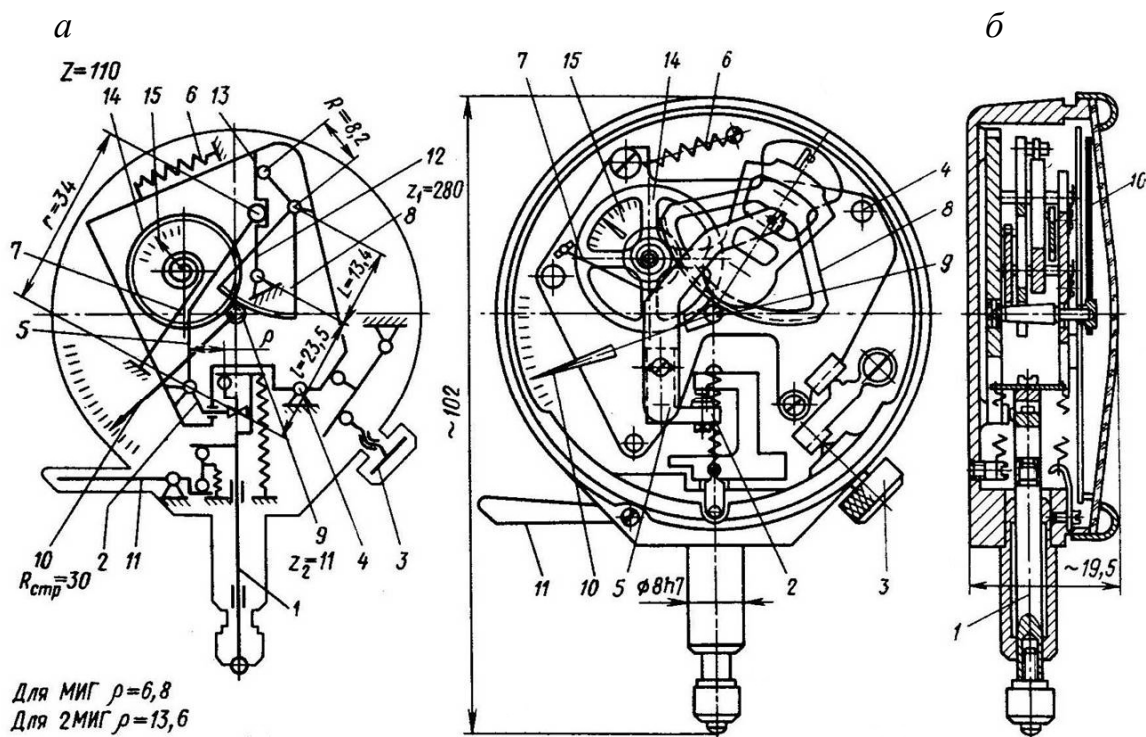


Рис. 4. Рычажно-зубчатая головка многооборотная (МИГ):

а – схема; б – конструкция

Типоразмеры рычажно-зубчатых головок и основные технические характеристики [38]. Рычажно-зубчатые головки изготавливают с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Однооборотные головки обычно имеют на шкале 100 делений (± 50) с нулевым штрихом посередине. Следовательно, диапазон показаний составляет $\pm 0,05$ мм при цене деления 0,001 мм, $\pm 0,1$ мм при цене деления 0,002 мм.

Измерительное усилие однооборотных головок составляет 100 сН и колеблется в пределах 30 сН, а многооборотных – 200 сН с колебанием 50–70 сН.

Масса однооборотных головок не более 100 г, а многооборотных несколько больше.

Расчет передаточного числа рычажно-зубчатых головок [30]. Аналогично рассмотренному ранее механизму рычажно-зубчатых индикаторов передаточное число рычажно-зубчатых головок определяется как отношение длины конечного звена механизма (стрелки) к длине первого (малого

плеча) рычажной передачи, умноженное на передаточное число рычажных и зубчатых передач, расположенных между ними.

Для однооборотной головки (см. рис. 3), состоящий из двух рычажных и одной зубчатой пары (обозначения соответствуют рис. 3)

$$U = \frac{R_{\text{стр}}}{\rho} \frac{l-r}{r} \frac{z_1}{z_2}.$$

Для многооборотной головки, состоящей из двух рычажных и одной зубчатых пар,

$$U = \frac{R_{\text{стр}}}{\rho} U_{\kappa_1} U_{\kappa_2} \frac{z_1}{z_2},$$

где U_{κ_1} и U_{κ_2} – передаточные числа кулисных передач,

$$U_{\kappa_1} = \frac{r}{r-l}, U_{\kappa_2} = \frac{L+R}{R}.$$

Для однооборотных измерительных головок модели ИГ с ценой деления 0,001 мм (см. рис. 3)

$$U = \frac{25}{4,15} \cdot \frac{30,4-2,3}{2,3} \cdot \frac{228}{16} \approx 1050;$$

при цене деления 0,002 (2ИГ) $U = \frac{25}{4,15} \cdot \frac{30,4-4,6}{4,6} \cdot \frac{228}{16} \approx 480.$

Приведенные у некоторых головок нецелые передаточные числа корректируются выбором интервала делений по шкале, а также возможностями регулировки длины рычагов.

В приведенных выражениях в тех случаях, когда зубчатое зацепление осуществляется сектором (z_1), число зубьев берется равным числу зубьев целого колеса, из которого «вырезан» этот сектор.

Погрешности измерения рычажно-зубчатыми головками [39]. Для однооборотных головок на небольшом диапазоне показаний (обычно ± 30 делений) погрешность головки составляет не более половины цены деления. На всем диапазоне показаний этой головки погрешность не превышает цены деления. Обычно отдельно нормируется требование в отношении точности этих головок при поверке по биению (в этом случае погрешность головок нормируется не более цены деления).

Погрешность измерения размеров рычажно-зубчатыми головками зависит от используемого перемещения измерительного стержня, от точности концевых мер и температурных условий измерения. Для размеров 1–250 мм погреш-

ность измерения этими головками может колебаться от 1 до 4 мкм у головок с ценой деления 0,001 мм и от 1 до 6 мкм у головок с ценой деления 0,002 мм.

Для многооборотных головок погрешность головок составляет 1,5–2 значения цены деления при использовании диапазона показаний на одном обороте, 2–3 значения цены деления при диапазоне показаний до 1 мм и 3–4 значения цены деления при диапазоне показаний до 2 мм.

Погрешность измерения многооборотными головками для размеров 1–250 мм составляет 1,5–4,5 мкм для цены деления 0,001 мм для разных случаев применения, а у головок с ценой деления 0,002 мм – 2–6 мкм при тех же условиях применения.

При измерении биения погрешность измерения зависит от размера детали (изменяется длина вылета кронштейна, на котором устанавливается головка) и значения измеряемого биения (изменяется перемещение измерительного стержня). При использовании однооборотных головок погрешность измерения составляет 1,5–2,5 мкм при значении измерительного биения 0,02–0,04 мм и при размерах деталей до 250 мм практически вне зависимости от цены деления измерительной головки.

При применении многооборотных головок для измерения биений в пределах 0,05–0,2 мм и использовании стойки погрешность измерения составляет 2,5–4 мкм. При измерении биения величиной 1–2 мм и использовании штативов погрешность измерения составляет 5–9 мкм (первые цифры везде относятся к головкам с ценой деления 0,001 мм, а вторые – с ценой деления 0,002 мм).

Из анализа приведенных данных о погрешности измерения можно сделать следующие выводы [39]:

1) *погрешность измерения в большинстве случаев больше, чем цена деления головки*, поэтому отсчитывать значения долей деления по шкале головки, как это иногда делают, нецелесообразно;

2) *погрешность измерения в большинстве случаев практически мало отличается* при использовании головок с ценой деления 0,001 и 0,002 мм, а это вызывает сомнения в целесообразности широкого использования головок с обеими ценами делений, кроме случая, когда необходимо иметь большой диапазон показаний, например, когда при одной настройке измеряют детали, для которых заданы большой допуск на размер и малый допуск на биение.

Проверка точности рычажно-зубчатых головок. Проверку рычажно-зубчатых головок в основном производят по концевым мерам длины 3–4-го рядов. Отдельно проверяют погрешность головок при измерении биения с помощью оправки. Аттестацию этих оправок производят с помощью более точных измерительных головок (например, микрокаторов).

При поверке головку устанавливают в стойке, поэтому выявляемая погрешность не будет равна погрешности измерения, когда эта же головка будет установлена на штативе, обладающем меньшей жесткостью.

2.3. Измерительные головки с пружинным механизмом

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 в разные стороны от средней части ленточной пружины.

Принцип работы пружинного преобразовательного механизма, состоящего из скрученной ленты, аналогичен принципу действия самодельной игрушки – «жужжалки», состоящей из нитки и пуговицы. В этой игрушке через два противоположных отверстия пуговицы пропускают нитку и, связав ее концы, образуют кольцо (рис. 5). Теперь если надеть это кольцо на большие пальцы рук так, чтобы пуговица была посередине, и закручивать пуговицу, то нитка будет образовывать спираль с направлением в разные стороны от середины. Если после закручивания растягивать в разные стороны концы полученной спирали, то пуговица будет вращаться в сторону, обратную той, в которую она закручивалась первоначально.

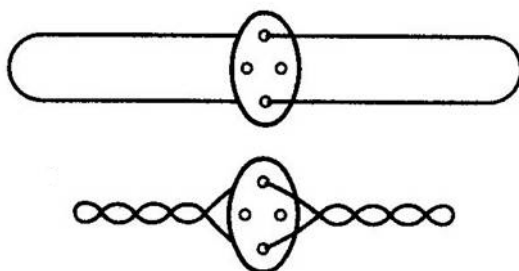


Рис. 5. Принцип получения скрученной пружины для пружинных головок

Передаточный механизм пружинной головки можно представить себе в виде полоски металлической (бронзовой) ленты, которая закручена за среднюю часть при неподвижных концах. В средней части укрепляется указатель (стрелка), поворот которой характеризует величину осевого перемещения одного из концов пружины [29].

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 [29]:

- 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 (миникаторы).

1. Головки измерительные пружинные (микрокаторы).

Эти головки появились первыми (30-е гг. XX в.) с рассмотренным выше пружинным механизмом [33].

Схема микрокатора (рис. 6) 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 смещение 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 (рис. 6, б, в – номера позиций такие же, как на рис. 6, 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 над 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.

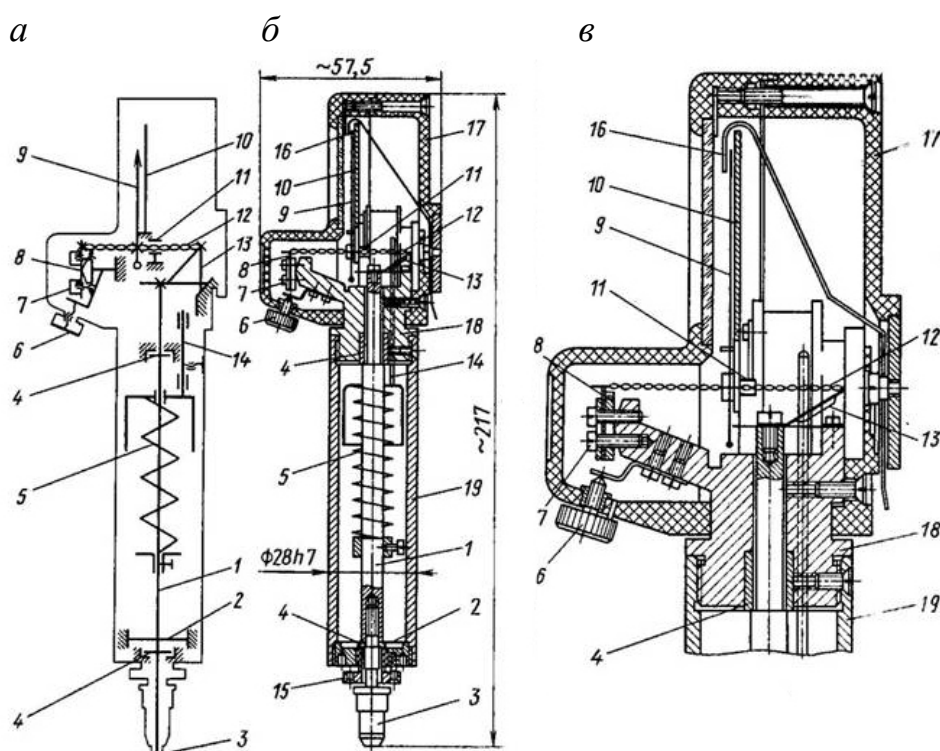


Рис. 6. Пружинная измерительная головка-микрокатор:

а – схема; б – конструкция микрокатора; в – конструкция верхней части микрокатора

Микрокаторы изготавливаются с ценой деления от 0,01 до 0,0001 мм, а иногда производятся 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 пре-

дусматривается возможность установки измерительного усилия в зависимости от того, какое усилие потребуется при измерении.

На рис. 7, *а, 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 одинаковы (если сравнивать с микрокаторами, распространенными ранее), но устройство, обеспечивающее измерительное усилие, отличается. В микрокаторе с переменным измерительным усилием изменяется натяжение пружины 2 (рис. 7) перемещением стакана 1 с помощью зубчатых колес 9 и 5. Зубчатое колесо 5 имеет резьбовое отверстие, которым навертывается на резьбу тяги 4 стакана 1. Осевым перемещением зубчатого колеса 5 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 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.

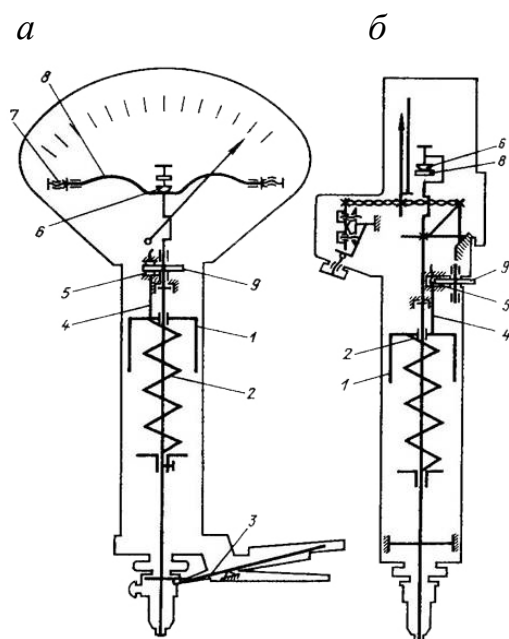


Рис. 7. Микрокатор с регулируемым измерительным усилием:

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 представлен в виде скрученной ленты, а индекс – в виде изображения нити на фоне светлого пятна [24].

Принципиальное отличие оптикатора от микрокатора заключается в том, что у оптикатора на скрученной ленте вместо стрелки установлено зеркало 1 размером $1,5 \times 1,5 \times 0,1$ мм (рис. 8, 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 со схемой и конструкцией микрокатора. 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 (рис. 8, б).

В оптикаторе используются оригинальные указатели поля допуска в виде двух светофильтров – красного и зеленого (на рис. 8 не показаны), которые окрашивают изображение диафрагмы, когда оно перемещается на шкале за границы настроенного размера.

У оптикаторов, в отличие от микрокаторов, увеличено последнее плечо благодаря использованию оптического рычага. Поэтому оптикаторы выпускаются 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.

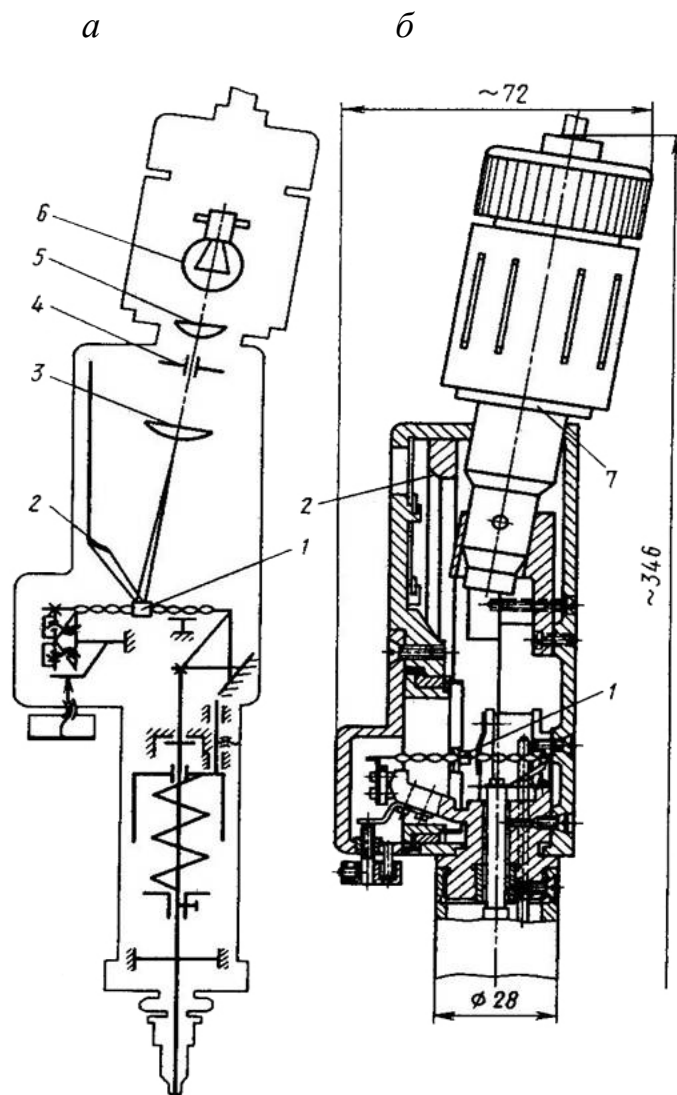


Рис. 8. Пружинно-оптическая измерительная головка-оптикатор:

a – схема; *б* – конструкция верхней части

3. Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы).

Микатором (рис. 9) называется пружинная измерительная головка, у которой передаточный механизм выполнен в виде скрученной ленты, а присоединительный цилиндр имеет диаметр 8 мм.

Принципиальная схема микатора (рис. 9, *a*) аналогична схеме микрокатора, а его конструкция (рис. 9, *б*) соответственно изменена с целью уменьшения габаритных размеров.

В отличие от микрокатора и оптикатора измерительный стержень *1* микатора (см. рис. 9) установлен на шариковых направляющих *2*. Измерительный стержень *1* имеет в верхней части дополнительный кронштейн *б*, 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.

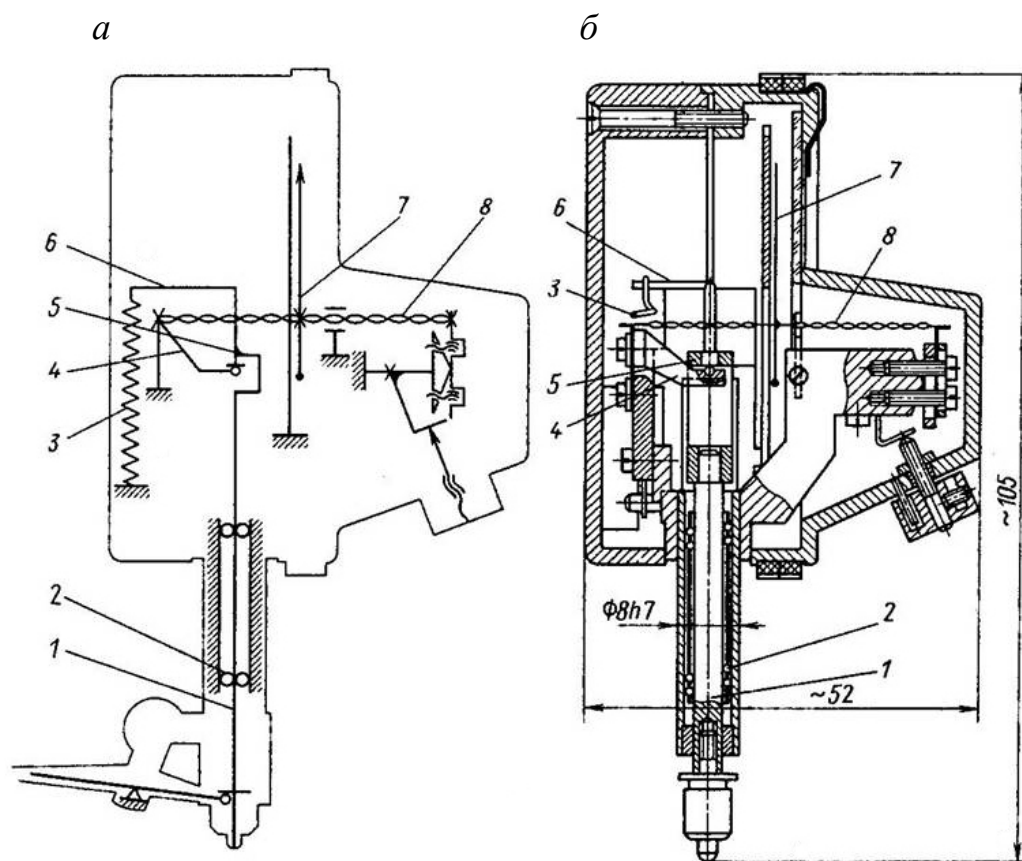


Рис. 9. Пружинная малогабаритная измерительная головка-микатор:
а – схема; б – конструкция

Регулировка механизма у микатора аналогична регулировке механизма у микрокатора. Микаторы изготавливаются 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.

Основным элементом миникатора (рис. 10, *а, б*) является 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, располагающаяся 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.

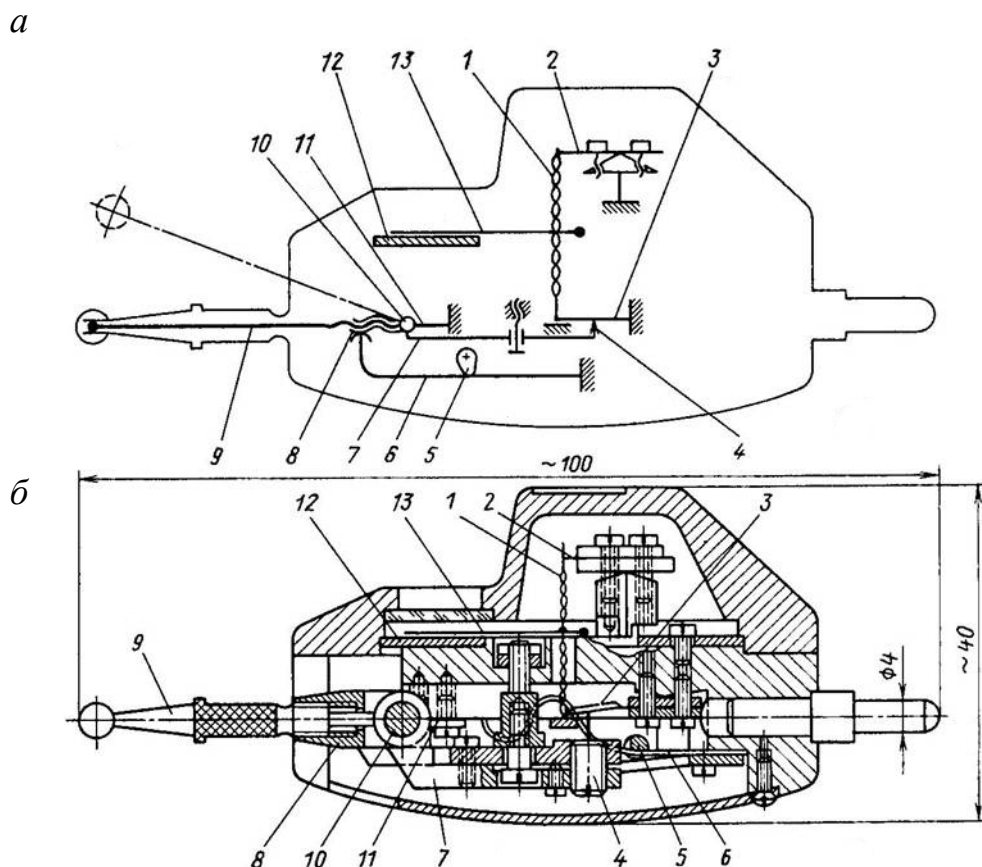


Рис. 10. Рычажно-пружинная измерительная головка-миникатор:

а – схема; *б* – конструкция

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.

Часть рычага вместе с измерительным наконечником можно устанавливать под различным углом к корпусу миникатора. 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 заворачивают его 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 находится 80 (± 40) делений.

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

Принципиальная конструкция скрученной ленты у всех разновидностей 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 пружин 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:

$$U_m = \frac{0,0175U_p}{\frac{0,001}{U_l} + \eta \frac{\Delta Q l^3}{3EJ}},$$

где 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, мм⁴;

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 выражено следующей формулой:

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

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, мм;

l – длина ленты, мм;

r – длина плеча от оси стержня до подвижного конца ленты, мм;

Q – поправочный коэффициент.

Погрешности измерения пружинными головками. Погрешности измерения для *микрокаторов* на всем диапазоне показаний не превышают цену деления, а в некоторых случаях равны цене деления. Только для микрокаторов с ценой деления 0,0001 и 0,0002 мм погрешность равна цене деления в диапазоне показаний 30 делений. У остальных микрокаторов 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 измерения для 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.

Погрешность измерения для *микрокаторов и оптикаторов* с малой ценой делений (0,0001; 0,0002 мм) колеблется в пределах 2–5 цен делений, а для микрокаторов с ценой деления от 0,0005 до 0,01 мм и оптикаторов с ценой деления 0,0005 мм погрешность измерения для малых размеров не превышает половины цены деления, а для больших размеров – одной цены деления.

Для *микаторов* погрешность измерения составляет от 1 до 2 цен деления.

При измерении колебания размера, т. е. биений, отклонений формы и расположения, погрешность измерения для микрокаторов и оптикаторов с малой ценой деления (не более 0,0005 мм) составляет не более одной цены деления, а для головок с другими ценами делений – не более половины цены деления.

Проверка точности пружинных головок. Методика проверки головок с ценой деления от 0,0005 мм и более (чаще всего с помощью плоскопараллельных концевых мер длины) не отличается от проверки других головок с теми же недостатками (фактически проверяется погрешность только

при одном направлении перемещения измерительного наконечника, хотя погрешность обычно нормируется для прямого и обратного хода). Для проверки точности пружинных головок с ценой деления менее 0,001 мм созданы специальные установки, которые включают в себя трубки контактного интерферометра, позволяющие сравнивать показания головки с длиной волны света. При такой проверке можно выявить погрешность при прямом и обратном ходе наконечника.

2.4. Погрешности рычажных передач

В некоторых из рассмотренных измерительных головок 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. Наилучшей является 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 [43, 45].

Сфера может быть установлена либо на звене, совершающем поступательное движение, либо на звене с вращательным движением (рис. 11). Для обоих 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 $s_T = l \sin \varphi$ (рис. 11, 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 (рис. 11, б). Величина перемещения $s = l \operatorname{tg} \varphi$. За такими механизмами, у которых сфера расположена на звене, совершающем поступательное движение, установилось название *тангенсные механизмы*, а за рычагами, у которых рабочей поверхностью является плоскость, – *тангенсные рычаги*.

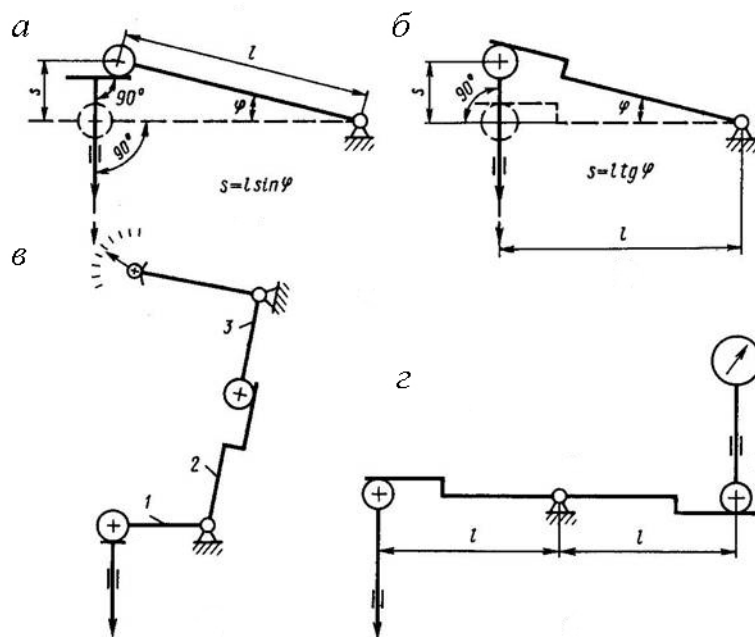


Рис. 11. Схемы рычажных механизмов:

a – 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 рис. 11, *в* рычаги 1 и 3 – синусные, а рычаг 2 – тангенсный). В рычажно-зубчатых головках, рассмотренных ранее (см. рис. 3, 4), можно найти оба вида рычагов [28].

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:

$$\sin \varphi \approx \varphi - \frac{\varphi^3}{6}.$$

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

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

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

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

$$\Delta s = l \frac{\varphi^3}{6}.$$

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

$$\operatorname{tg}\varphi \approx \varphi + \frac{\varphi^3}{3};$$

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

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

$$\Delta s = -l \frac{\varphi^3}{3}.$$

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 [23, 40]:

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) [30].

6. При конструировании рычажной передачи необходимо, чтобы центр сферы располагался на прямой, проходящей через центр опоры, и в исходном положении эта прямая была бы перпендикулярна линии перемещения поступательного звена (см. рис. 11, *а, б*). Если используется прямолинейный рычаг, на втором конце которого находится также сфера, то все центры сфер должны располагаться на одной линии (см. рис. 11, *з*). 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.

2.5. Измерительные головки с электронным цифровым отсчетным устройством

Недостатками всех рассмотренных измерительных головок являются трудность отсчета измеряемых значений по шкале со стрелкой и относительно небольшой диапазон измерения при малой цене деления. В связи с этим разработаны измерительные головки с цифровым электронным отсчетным устройством, имеющим обычно цену деления 0,001; 0,002; 0,005 и 0,010 мм, с диапазоном измерения 10, 30, 60 (50) и 100 мм. Принципиальная схема практически всех этих головок базируется на широкодиапазонном растровом фотоэлектрическом преобразователе.

Растр (от лат. *raster* – грабли) представляет собой пластинку, на которую обычно нанесены чередующиеся прозрачные и непрозрачные линии (штрихи). Протяженность участков между линиями (шаг) прозрачных и непрозрачных участков одинакова.

В головках с электронным отсчетным устройством используется два таких растра, которые соприкасаются между собой (или между ними имеется очень маленький зазор 15–30 мкм) по плоским поверхностям таким образом, что штрихи у них располагаются параллельно. Если перемещать один растр относительно другого в направлении, перпендикулярном штрихам, то при совпадении прозрачных участков одного и другого растра через них может пройти световой поток, а когда совпадает прозрачный участок одного растра с непрозрачным участком другого, то световой поток через растры пройти не может.

В растровых измерительных головках по одну сторону спаренных растров установлен источник светового потока (часто используется инфракрасный светодиод), а по другую сторону – приемник в виде фоторезисто-

ра. При перемещении одного растра, когда прозрачные и непрозрачные участки у обоих растров совпадают, световой поток от источника проходит через прозрачный участок, засвечивает фотоприемник, и в последнем вырабатывается фототок. Когда светлый участок одного растра находится против темного участка другого, световой поток не попадает на фотоприемник и фототок не возникает.

В растровых измерительных головках один из растров имеет длину, равную диапазону измерения (10, 30, 60, 100 мм), и часто называется измерительным, или основным, растром. Этот растр устанавливается на измерительном стержне и перемещается вместе с ним при измерении. Другой растр (индикаторный) имеет небольшую длину и установлен неподвижно в корпусе головки. На этом растре два штриховых участка расположены последовательно и смещены друг от друга на $\frac{1}{4}$ шага для того, чтобы можно было определить направление перемещения измерительного стержня.

Таким образом, в процессе измерения, когда измерительный наконечник перемещается вместе с измерительным растром, в электронную схему прибора подаются дискретные (отдельные) электрические сигналы при засвечивании фотоприемника. Эти сигналы обрабатываются в электронном блоке и отображаются на цифровом табло в виде значения размера. Описанные растровые сопряжения относятся к светопропускающим растровым шкалам. В некоторых приборах с электронным цифровым отсчетным устройством, например, штангенинструментах, применяются так называемые отражающие растровые системы, где используется отраженный световой поток.

Все растровые головки по конструктивному признаку могут быть разделены на два вида: головки с выносным цифровым отсчетным устройством и головки со встроенным отсчетным устройством.

Измерительные головки с выносным цифровым отсчетным устройством (рис. 12) состоят из малогабаритного преобразователя (датчика) 1 (на рисунке показаны еще два датчика с диапазоном измерения 30 мм (2) и 60 мм (3)) и электронного блока 4 с цифровой индикацией. Цена деления у этих головок 0,001 мм. При этом погрешность зависит от диапазона измерения: на участке до 10 мм погрешность 1–2 мкм, до 30 мм – 2–3 мкм и до 60 мм – ≤ 5 мкм. Таким образом, относительная погрешность, т. е. погрешность, отнесенная к диапазону измерения, составляет незначительную величину. Для всех датчиков используется один и тот же электронный блок. Растровые головки применяются

вместе со штативами и стойками. Для установки датчик имеет присоединительный цилиндр диаметром 8 мм при диапазоне измерения до 30 мм и 28 мм – при диапазоне измерения свыше 30 мм.

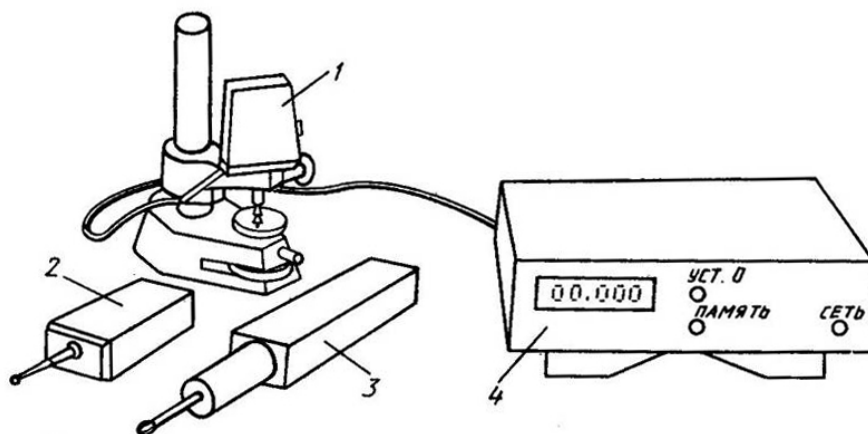


Рис. 12. Измерительная головка с выносным цифровым отсчетным устройством

Измерительные головки со встроенной цифровой индикацией (рис. 13) с таким же диапазоном измерения, как и рассмотренные выше головки (10, 30, 60, 100 мм), имеют больший набор цен делений (0,001; 0,002; 0,005 и 0,010 мм). Эти головки более удобны для работы по сравнению с головками с выносным блоком индикации, поскольку оператору при снятии отсчета не надо поворачивать голову от датчика, где производится измерение, к отсчетному блоку. Погрешность измерения этих головок такая же, как и у предыдущих головок, т. е. в пределах 1–2 цен деления.

Во всех измерительных головках с электронным цифровым отсчетным устройством предусмотрена пятиразрядная индикация, построенная на светодиодах или люминесцентных отражателях. На световом табло высвечивается запятая для отделения целых значений. Имеется знак «минус» для указания направления измерений. В электронном блоке предусмотрена функция «обнуление» для того, чтобы в любом положении измерительного стержня можно было на световом табло установить начало отсчета. Практически все головки имеют функции «память» и «снятие памяти», которые используются при необходимости запоминания измеренного значения [19, 29].

Многие измерительные головки имеют выход для подключения к внешним устройствам с целью обработки результатов измерения на ЭВМ или для подключения к управляющим устройствам, если головка установ-

лена на станке или в контрольном автомате. Некоторые иностранные фирмы изготавливают специальные микропроцессоры для работы с растровыми головками.

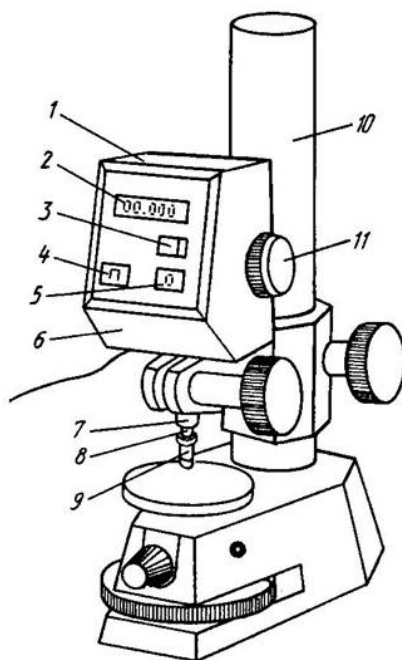


Рис. 13. Измерительная головка со встроенным цифровым отсчетным устройством

Микропроцессор предназначен для статической обработки результатов измерения. На распечатке указываются наибольший и наименьший измеренные размеры, разброс размеров, их среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение. Большинство измерительных головок с электронным отсчетным устройством питается от электрической сети и от автономных источников питания – аккумуляторов (батарей).

Измерительные головки с электронным отсчетным устройством, как и обычные механические измерительные головки, используются в качестве отсчетного устройства, например, в нутромерах, глубиномерах и т. д. Обычно принципиальная схема приборов, в которых устанавливаются головки, остается неизменной и заменяется только головка. Иногда электронная отсчетная система встраивается внутрь прибора.

Основной недостаток измерительных головок с электронным цифровым отсчетным устройством по сравнению с обычными механическими головками со шкалой и стрелкой заключается в затруднениях с отсчетом показаний при измерении колебания размера, например, биения, отклонений

формы и т. д., когда необходимо определить разность размеров. Аналогично и измерение нутромерами, когда в процессе измерения возникает необходимость определения наименьшего размера покачивания нутромера. В головках с цифровым отсчетом при этих измерениях приходится запоминать наибольший и наименьший размеры. В наиболее современных головках предусмотрен так называемый амплитудный режим работы, когда головка показывает разность размеров или фиксируется максимум (минимум) значений. К недостаткам головок с цифровым отсчетом относится также их большая сложность по сравнению с механическими головками, а следовательно, и высокая стоимость. У некоторых головок имеется недостаток, заключающийся в «мерцании» изображения цифр, от которого у оператора устают глаза. Неоспоримым достоинством электронных цифровых устройств является быстрота и безошибочность отсчета измеренных значений [17, 42].

2.6. Штативы и стойки, используемые с измерительными головками

Для измерительных головок, рассмотренных выше, изготавливают универсальные приспособления – установочные узлы, в которых головки могут быть установлены для универсального использования. Такие установочные узлы делятся на две группы: стойки и штативы [11].

Стойкой называется установочный узел, на котором устанавливается как измерительная головка, так и измеряемая деталь.

Штативом называется установочный узел, на котором устанавливается только измерительная головка.

Стойки изготавливают чаще всего для измерительных головок с диаметром присоединительного цилиндра 28 мм и реже 8 мм. Некоторые разновидности стоек приведены на рис. 14, а, б, в, г.

Стойки со столами, которые имеют возможность смещаться по высоте, чаще всего изготавливаются с головками, имеющими цену деления 0,001 мм и менее (рис. 14, а). В этих стойках очень часто вводится и механизм малых перемещений для обеспечения установки на нуль головки. Кронштейн стойки, в котором устанавливается измерительная головка, всегда имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении.

Штативы изготавливают только для головок с диаметром присоединительного цилиндра 8 мм. Штативы устанавливают на основании, где иногда колонка имеет возможность переставляться (рис. 14, д). У некото-

рых видов в основании штативов имеется переключаемый постоянный магнит (рис. 14, *e*), который либо замыкается на корпус основания, и тогда все основание становится магнитом и притягивается к стальной или чугунной поверхности, либо отключается, и тогда штатив можно снять с поверхности. В основании имеется призматическая прорезь, позволяющая устанавливать штатив на цилиндрическую поверхность.

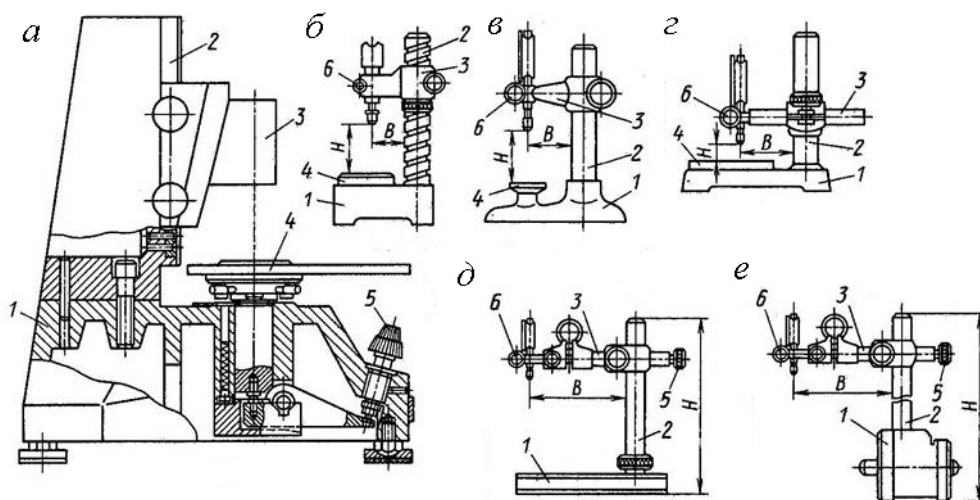


Рис. 14. Схемы стоек и штативов для измерительных головок:

a – стойка – тип CI; *б* – стойка – тип CII; *в* – стойка – тип CIII; *г* – стойка – тип CIV;
д – штативы – типы Ш I, Ш II, Ш III; *e* – штативы – типы ШМ I, ШМ II, ШМ III;
 1 – основание; 2 – колонка; 3 – кронштейн; 4 – измерительный стол; 5 – микроподача,
 винт тонкой установки на размер; 6 – винт крепления измерительной головки

Большинство штативов изготавливают с колонкой высотой 250 мм. Однако имеются, но не очень широко распространены штативы с колонкой высотой до 630 и даже до 1000 мм и более.

Основное требование предъявляется к жесткости. При недостаточной жесткости установочных узлов (стоек и штативов) возникают большие погрешности измерения, особенно при измерении биений, когда у измерительной головки появляется перепад измерительного усилия при перемещении измерительного стержня.

Параметры измерительного усилия головок [27]. Если снять диаграмму измерительного усилия при прямом и обратном ходе измерительного стержня, то в зависимости от величины перемещения диаграмма измерительного усилия будет представлять собой петлю, площадь которой в общем виде характеризует работу по преодолению сил трения в механиз-

ме прибора. Для оценки измерительного усилия важен перепад этого усилия, особенно для момента «реверса», т. е. когда изменяется перемещение измерительного стержня с прямого хода на обратный. При измерении биения цилиндрической детали под действием измерительного усилия штатив изогнулся на какую-то величину. При вращении детали размер ее под наконечником будет изменяться, но одновременно будет изменяться и величина измерительного усилия, а следовательно, и величина прогиба установочного узла. Вместо того, чтобы корпус головки находился на месте, а измерительный стержень смещался и стрелка показывала изменение размера детали, головка вся перемещается в пространстве, не показывая биений поверхности измеряемой детали, хотя биение имеется. При этом погрешность может достигать больших величин. Так, если применять рычажно-зубчатые головки с ценой деления 0,001 мм на штативах с тонкими стержнями (10–12 мм), то погрешность измерения биения может доходить до 0,003–0,005 мм, т. е. в несколько раз больше, чем цена деления [11, 12].

Глава 3. АНАЛИЗ, СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ОТБОР УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ И ЗАДАНИЙ

3.1. Требования, предъявляемые к методическим указаниям

С целью более эффективного выполнения практических занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению как со стороны преподавателей кафедры, так и со стороны обучающихся [34]. Преподаватели в начале семестра (учебного года) должны обеспечить обучающихся методическими материалами для своевременной подготовки к активным формам занятий. Во время лекций, связанных с темой практического занятия, преподавателям следует обратить внимание обучающихся на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к практическому занятию [16].

Методические рекомендации – вид методической продукции, раскрывающий порядок, логику и акценты изучения какой-либо темы, проведения занятий, мероприятий. В методических рекомендациях акцент делается не столько на последовательность осуществляемых действий, как в методической разработке, сколько на раскрытие одной или нескольких частных методик, выработанных на основе положительного опыта [37]. Задача методических рекомендаций – пропагандировать наиболее эффективные, рациональные варианты, образцы действий применительно к определенному виду деятельности, в том числе мероприятию. В методических рекомендациях обязательно содержится указание по организации и проведению одного или нескольких конкретных занятий, иллюстрирующих описываемую методику или технологию на практике.

Методические рекомендации представляют собой особым образом структурированную информацию, которая должна иметь точный адрес (указание на то, кому данные рекомендации адресованы: педагогам, родителям, классным руководителям и т. д.) Соответственно этому регламентируется терминология, стиль, объем методических рекомендаций [15].

3.2. Разработка методических указаний к практическим занятиям

Практическая работа – это применение знаний на практике. Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности, по общепрофессиональным дисциплинам и профессиональным модулям [22].

В соответствии с ведущей дидактической целью содержанием практических занятий является решение разного рода задач, в том числе профессиональных (анализ проблемных ситуаций, решение ситуационных производственных задач, выполнение профессиональных функций в учебных и деловых играх и т. п.), выполнение вычислений, расчетов, работа с измерительными приборами, оборудованием, аппаратурой, нормативными документами, инструктивными материалами, справочниками, составление проектной, плановой и другой технической и специальной документации и др. [6].

На практических занятиях студенты овладевают первоначальными профессиональными умениями и навыками, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются в процессе курсового проектирования, учебной и производственной (профессиональной) практики.

Наряду с формированием умений и навыков в процессе практических занятий обобщаются, систематизируются, углубляются и конкретизируются теоретические знания, развиваются интеллектуальные умения.

В процессе проведения практических занятий, выполнения студентами предложенных заданий и проведения электронного контрольного теста (по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов») с учетом разработанных критериев к практическим работам преподаватель способен объективно дать оценку качеству самостоятельной работы студента в течение всего семестра изучения данной дисциплины, направленной на освоение компетенции [26].

Исходя из вышеизложенного, был отобран теоретический материал и разработаны задания к практическим работам по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов» для бакалавров.

Практическая работа № 1 «Основы проектирования зубчатых механизмов».

Цель работы: приобрести навыки проектирования и расчета зубчатых механизмов, закрепить знания о зубчатых механизмах, индикаторах часового типа, их конструкциях и принципе действия, научиться определять и назначать погрешность измерения с использованием справочной литературы.

Задание для практической работы: вычислить модуль зубчатых зацеплений, определить, с каким увеличением преобразуется перемещение измерительного наконечника индикатора в перемещение конца стрелки (u), определить интервал деления шкалы и погрешность измерения.

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?
5. Как определить интервал деления шкалы?
6. Чему равен модуль зубчатого зацепления?
7. Назовите формулу для определения передаточного числа индикатора.

Практическая работа № 2 «Основы проектирования рычажных механизмов».

Цель работы: приобрести навыки проектирования и расчета рычажных механизмов, закрепить знания о рычажных механизмах, их конструкции и принципе действия, научиться определять погрешность перемещения синусного рычага, погрешность тангенсных рычагов.

Задание для практической работы: вычислить погрешность перемещения синусного рычага и погрешность тангенсных рычагов.

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 «Основы проектирования пружинных механизмов».

Цель работы: приобрести навыки проектирования и расчета пружинных механизмов, закрепить знания о пружинных механизмах, их конструкции и принципе действия, научиться производить расчет передаточного числа пружинных головок, определять и назначать погрешность измерения с использованием справочной литературы.

Задание для практической работы: определить передаточное число пружинной головки, интервал деления шкалы и погрешность измерения.

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 «Расчет передачи “винт – гайка” скольжения». Цель работы: приобрести навыки расчета передачи «винт – гайка» скольжения, 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.

Задание для практической работы: рассчитать винт домкрата, а также определить его КПД. Резьба самотормозящая упорная грузоподъемность F_a , кН, l , м, подпятник шариковый.

Контрольные вопросы:

1. Как устроена передача «винт – гайка» скольжения и где ее применяют?
2. Какие резьбы используют 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 «Выбор структурных схем измерения детали».

Цель работы: приобрести навыки измерения индикатором часового типа и выбора схем измерения, закрепить знания о принципе работы индикатора часового типа, научиться производить измерения с помощью индикатора часового типа, выбирать структурную схему измерения.

Задание для практической работы: в соответствии с чертежом детали выбрать схему измерения и произвести измерения индикатором часового типа.

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 используются при измерении детали?
6. Как произвести отсчет показаний по шкале индикатора часового типа?

Каждое практическое занятие – это итог большой целенаправленной работы студентов по выполнению заданий преподавателя.

3.3. Творческое задание «Кроссворд»

В методических заданиях особое место уделено подготовке к заключительному контролю, для которого разработан электронный тест, состоящий из 55 заданий, а также творческое задание «Кроссворд», содержащее 5 вариантов.

Кроссворд № 1

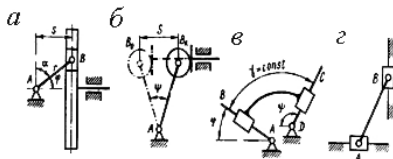


Рис. К 1.2



Рис. К 1.4

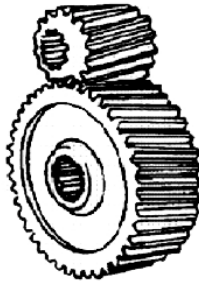


Рис. К 1.3

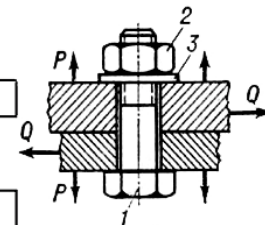


Рис. К 1.5

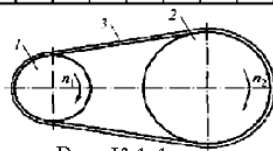
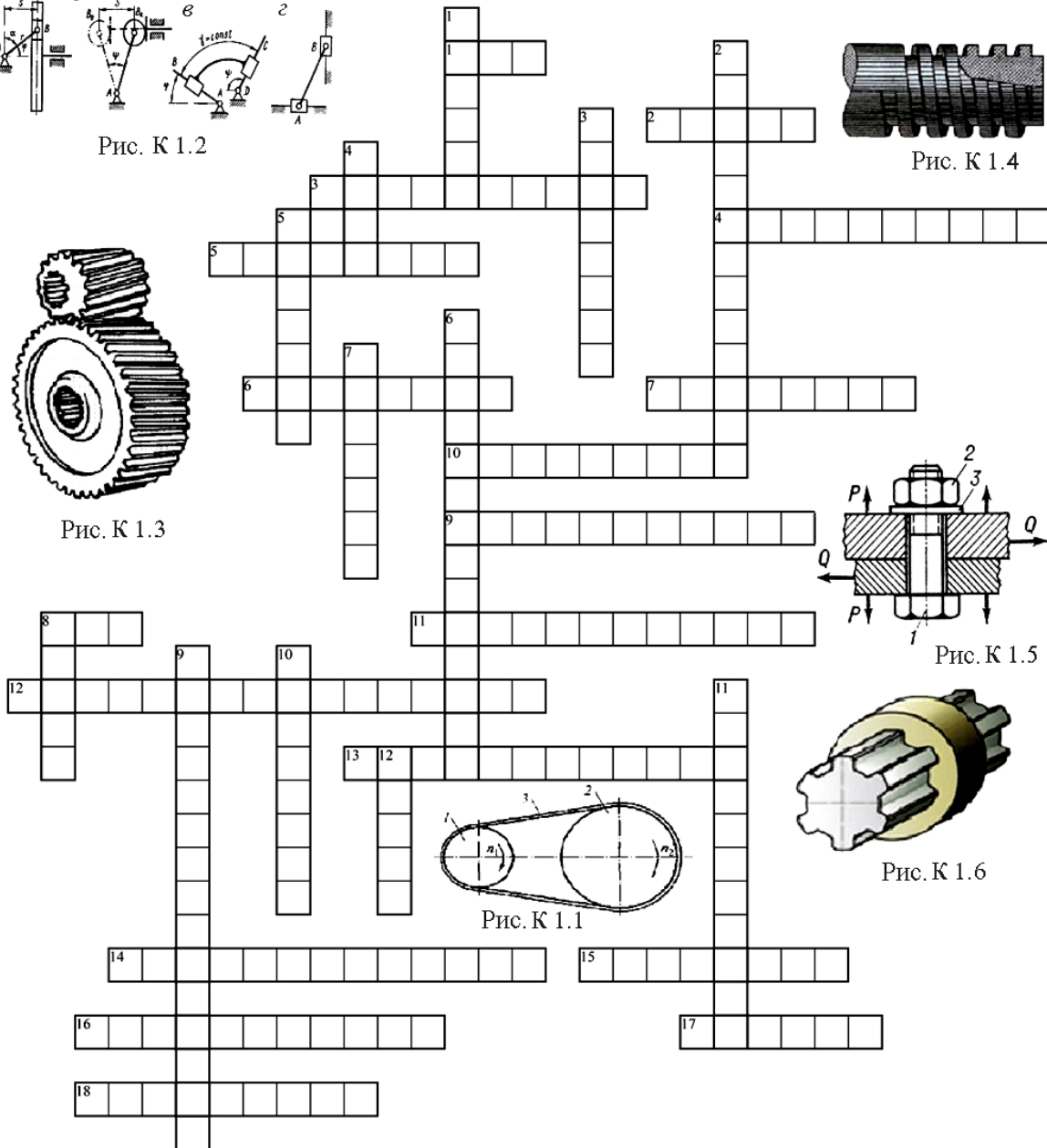


Рис. К 1.1



Рис. К 1.6



Вопросы к кроссворду № 1

По горизонтали:

1. Как называется деталь машины, предназначенная для передачи крутящего момента и восприятия действующих сил со стороны расположенных на ней деталей и опор?
2. Любое условие, которое уменьшает число степеней свободы механизма, называют _____.
3. Какой метод применяют для обработки закаленных зубьев с целью достижения высокой точности?

4. Как называется один из принципов проектирования механизмов, когда проявляется стремление к использованию однотипных и стандартных элементов?

5. Как называется система тел, предназначенных для преобразования движения одного или нескольких твердых тел и (или) сил, действующих на них, в требуемые движения других тел и (или) сил?

6. Как называется соединение деталей, осуществляемое с помощью болта, гайки и шайбы?

7. Какой механизм показан на рис. К 1.2?

8. Один из недостатков зубчатых передач.

9. Один из видов разрушения зубчатых колес.

10. Как называется зубчатая передача, изображенная на рис. К 1.3?

11. Профиль зубьев зубчатого колеса.

12. Как называется передача зубчатого колеса с $V = 3 \dots 15$ м/с?

13. Какая сталь используется для изготовления зубчатых колес?

14. Кинематическая пара с тремя степенями свободы в относительном движении соединяемых твердых тел называется _____.

15. Какая передача показана на рис. К 1.1?

16. Как называется кинематическая цепь, у которой имеется хотя бы одно звено, входящее только в одну кинематическую пару?

17. Как называется спираль, образованная на цилиндрической или конической поверхности по винтовой линии с постоянным шагом?

18. Одно из достоинств шпоночных соединений – это низкая _____.

По вертикали:

1. Как называется инструмент для нарезания глухого отверстия?

2. Какая резьба показана на рис. К 1.4?

3. Один из видов шпонки.

4. Векторная диаграмма, на которой в масштабе изображены в виде векторов звенья механизма, называется _____ положений.

5. Как называется звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев?

6. Как называется процесс разработки технической документации, содержащей технико-экономические обоснования, расчеты, чертежи, макеты, сметы, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для производства машины?

7. Одно из достоинств шлицевых соединений – это уменьшенная длина _____.

8. Как называется крепежное изделие в виде стержня с головкой и специальной наружной резьбой, образующей внутреннюю резьбу в отверстии соединяемого предмета?

9. Как называется широко распространенный способ изготовления резьбовых деталей в технологических процессах?

10. Какое соединение показано на рис. К.1.5?

11. Какое шлицевое соединение изображено на рис. К.1.6?

12. Как называется крепежное изделие с резьбовым отверстием, образующее соединение с помощью винта, болта или шпильки?

Кроссворд № 2

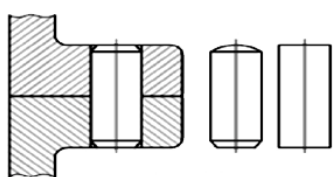


Рис. К 2.1

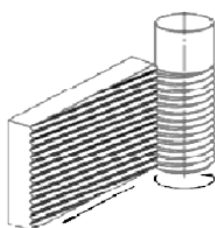


Рис. К 2.3



Рис. К 2.2

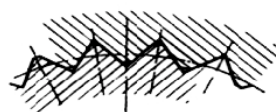


Рис. К 2.4

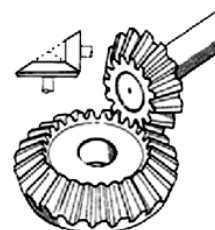
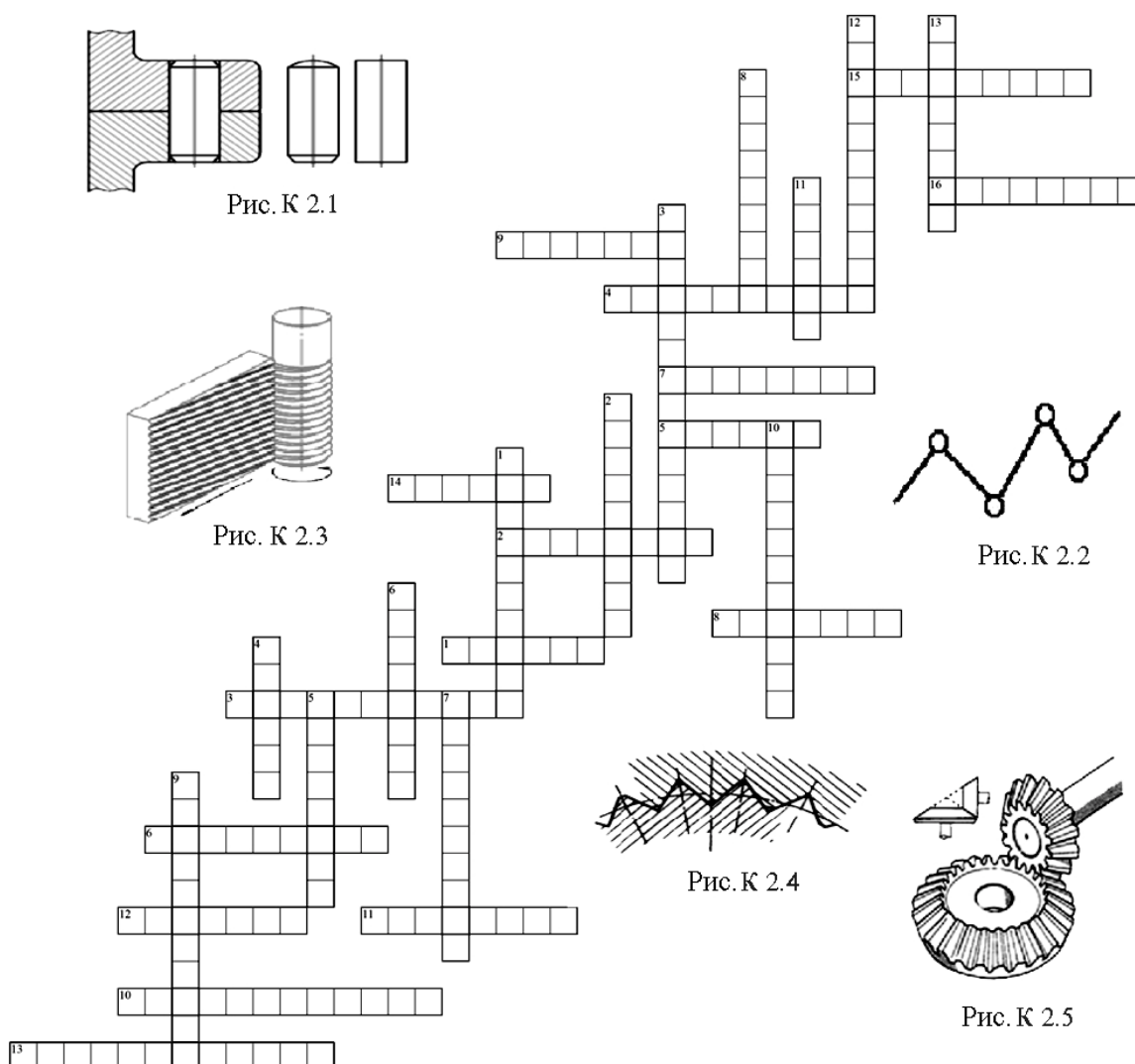


Рис. К 2.5



Вопросы к кроссворду № 2

По горизонтали:

1. Как называется устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации?

2. Один из факторов, влияющих на выбор масла для зубчатой передачи.
3. Механическая система, состоящая из нескольких зубчатых колес (шестерен), вращающихся вокруг центральной, солнечной, шестерни – это _____ передача.
4. Какая зубчатая передача показана на рис. К 2.5?
5. Какие материалы применяются при изготовлении зубчатых колес тихоходных открытых передач?
6. Как называется зубчато-винтовая передача, состоящая из червячного (косозубого) колеса с зубьями специальной формы и червяка?
7. Как называется механизм с геометрическим замыканием звеньев, который не содержит кинематических пар четвертого класса?
8. На рис. К 2.1 показан штифт цилиндрический _____.
9. Как называется стержень с резьбой на обоих концах?
10. Недостаток резьбовых соединений – значительная _____ напряжений в местах резкого изменения поперечного сечения.
11. Как называется соединение деталей, осуществляемое с помощью винта, ввинчиваемого в одну из соединяемых деталей, либо винта, шайбы и гайки?
12. Механизмы, траектория точек звеньев которых расположена в одной или параллельных плоскостях, называются _____.
13. Как называется одноподвижная пара – цилиндрический шарнир, когда наложено пять условий связи: исключены все движения, кроме вращательного?
14. Группа _____ – кинематическая цепь, присоединение которой к механизму или ее отсоединение образуют механизм, имеющий подвижность, равную подвижности исходного механизма, не разделяемую на другие цепи с теми же свойствами.
15. Как называется цепь, у которой нет звеньев, имеющих свободные элементы кинематических пар?
16. Как называется звено, совершающее полный оборот вокруг неподвижной оси?

По вертикали:

1. Планетарную передачу, в которой одно из центральных колес неподвижно, называют _____.
2. Один из недостатков шлицевых соединений – _____ изготовления.
3. Один из принципов проектирования механизмов, заключающийся в том, что надежность сложной системы всегда меньше надежности самого ненадежного элемента.
4. Инструмент в виде зубчатого колеса с режущими элементами для нарезания зубьев реек и зубчатых колес методом обкатки.

5. По условному обозначению M20–6g. Определите вид резьбы.
6. Причина разрушения зубьев, которая происходит преимущественно в высокоскоростных быстроходных передачах.
7. Достоинство шпоночных соединений – _____ конструкции.
8. Какие соединения применяют для закрепления деталей на валах и осях, колоннах, кронштейнах?
9. Какое шлицевое соединение изображено на рис. К 2.4?
10. Какой метод образования резьбы показан на рис. К 2.3?
11. Инструмент для нарезания резьбы на стержнях (болт, винт, шпилька и др.), т. е. наружной резьбы.
12. Какая кинематическая цепь показана на рис. К 2.2?
13. Как называется цилиндрический стержень с головкой?

Кроссворд № 3

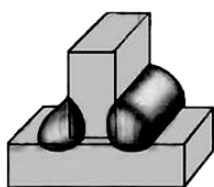


Рис. К 3.2

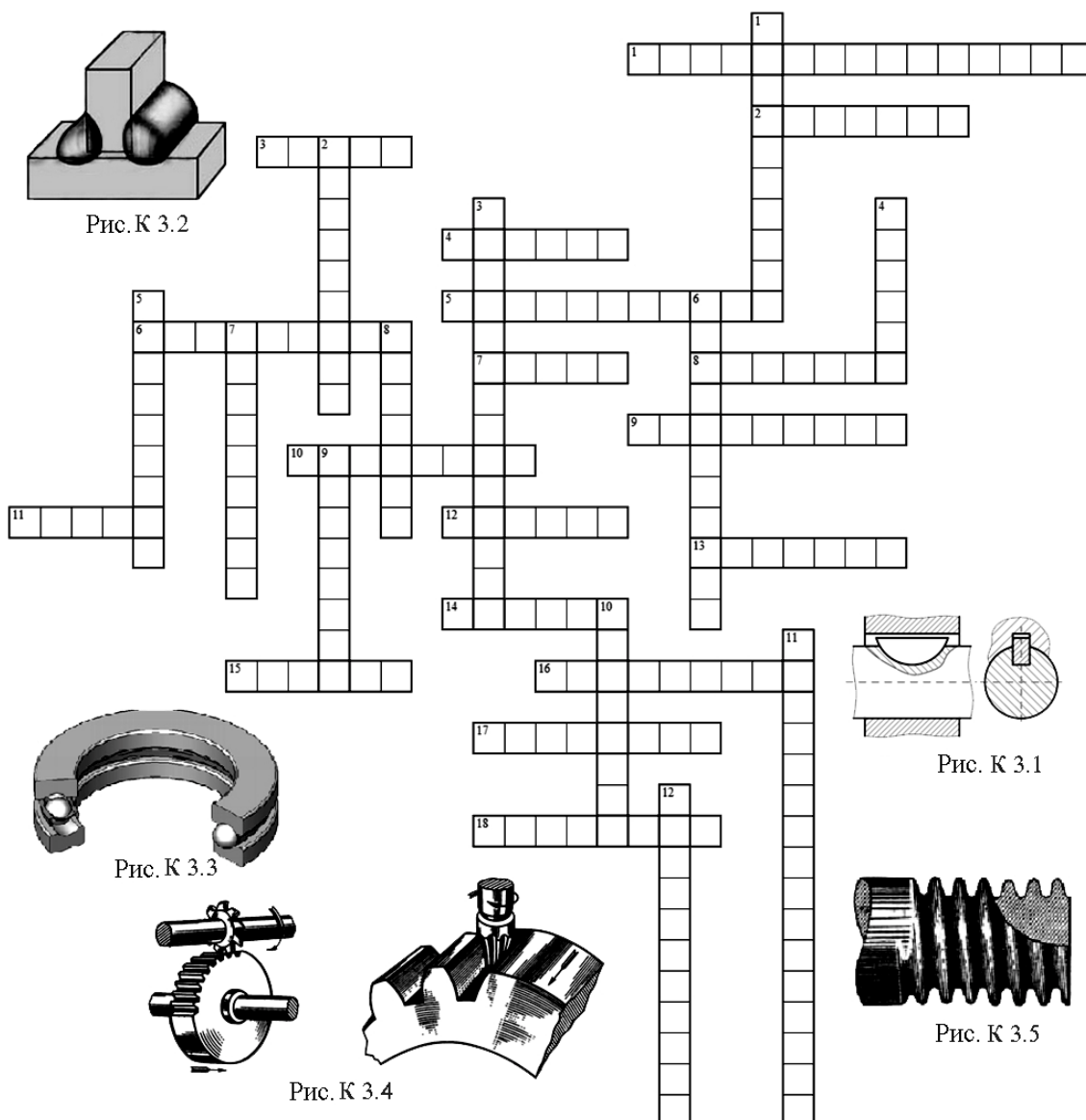


Рис. К 3.3

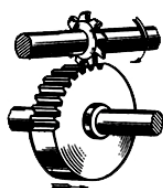


Рис. К 3.4

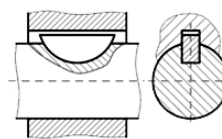
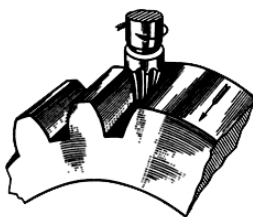


Рис. К 3.1

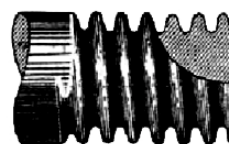


Рис. К 3.5

Вопросы к кроссворду № 3

По горизонтали:

1. Одно из достоинств резьбовых соединений.
2. Как называется величина, обратная масштабному коэффициенту?
3. Изменение числа зубьев приводит к изменению _____ зуба.
4. Как называется изделие, изготовленное из единообразного по наименованию и марки материала без применения сборочных операций?
5. Какая резьба наиболее широко используется в промышленности?
6. Как называется изделие, являющееся частью опоры или упора, которое поддерживает вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жесткостью?
7. Что в отличие от болтов могут иметь как шестигранную, так и квадратную, полукруглую, цилиндрическую и потайную со шлицем головку?
8. Как называется упругий элемент, предназначенный для накопления и поглощения механической энергии?
9. На рис. К 3.3 изображен упорный _____ подшипник.
10. Какое литье применяется при изготовлении крупных зубчатых колес ($d = 500$ мм), работающих в паре с кованой шестерней?
11. Как называется твердое тело, участвующее в заданном преобразовании движения?
12. Как называется звено, совершающее поступательное движение относительно подвижной направляющей, называемой кулисой?
13. Как называются кинематические пары, элементами которых являются поверхности?
14. Инструмент для нарезания внутренней резьбы называется _____.
15. Звено, принимаемое условно за неподвижное, называется _____.
16. Какое соединение предназначено для точной фиксации взаимного положения деталей, а также используется в качестве крепежных деталей при действии небольших нагрузок?
17. Как называется разъемное соединение, затягиваемое или регулируемое с помощью клина?
18. Как называется соединение, в котором шпонки выполнены заодно с валом?

По вертикали:

1. Какой вид шпонки показан на рис. К 3.1?
2. Какие соединения можно разбирать и вновь собирать без разрушения деталей узла?
3. Один из принципов проектирования механизмов, заключающийся в создании конструкции определенных резервов (запас прочности и т. д.).

4. Как по-другому называется канавка, прорезанная по винтовой линии на поверхности детали?

5. Как называется соединение деталей, осуществляемое с помощью шпильки, один конец которой вворачивается в одну из соединяемых деталей, а на другой надевается присоединяемая деталь, шайба и затягивается гайка?

6. Какой метод нарезания зубьев показан на рис. К 3.4?

7. Какие пазы ослабляют прочность вала и ступицы?

8. Какая резьба изображена на рис. К 3.5?

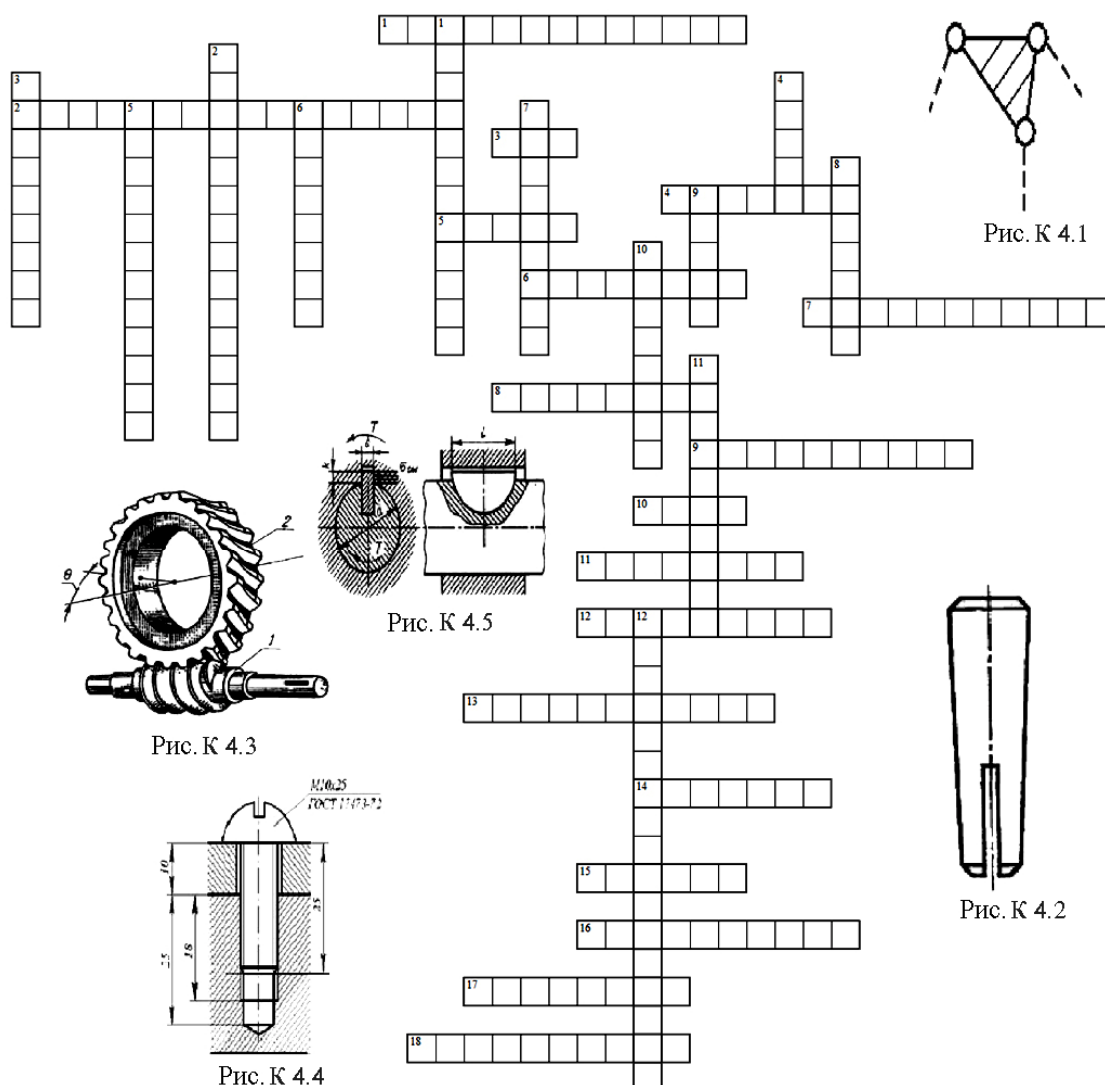
9. Вид сварного шва, изображенного на рис. К 3.2.

10. Какое соединение состоит из стержня (тяги), втулки (муфты) и клина?

11. Как называется кинематическая пара с четырьмя степенями свободы в относительном движении соединяемых твердых тел?

12. Как называется по-другому число степеней свободы кинематической пары (H)?

Кроссворд № 4



Вопросы к кроссворду № 4

По горизонтали:

1. Как называется кинематическая пара с двумя степенями свободы в относительном движении соединяемых твердых тел?
2. Как называют механизмы, звенья которых совершают движение в пространстве?
3. Какая деталь представляет собой вращающийся стержень, предназначенный для поддержания деталей механизмов – зубчатых колес, роликов, муфт?
4. Какие подшипники предназначены для восприятия чисто осевой нагрузки и удовлетворительно могут работать при сравнительно небольших частотах вращения?
5. Недостаток передачи «винт – гайка» – _____ резьбы.
6. _____ – это силы и моменты, нагружающие деталь постоянно или во время передачи энергии.
7. Какие соединения (заклепочные, сварные, клеевые) могут быть разобраны лишь путем разрушения сварного шва, заклепок или других элементов?
8. Как называется звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм?
9. Отношение численного значения физической величины в собственных ей единицах к длине отрезка (мм), изображающего эту величину, – это _____ коэффициент.
10. Что изображено на рис. К 4.4?
11. Какая передача состоит из ведущего и ведомого шкивов, огибаемых гибкой лентой?
12. Какая передача изображена на рис. К 4.3?
13. Как называется неразъемное соединение деталей и узлов при помощи заклепок?
14. Какое звено изображено на рис. К 4.1?
15. Кинематические пары, в которых касание происходит по точке или линии, называются _____.
16. Как называют связь, устранение которой не изменяет число степеней свободы механизма?

17. Какое соединение способно передавать большие вращающие моменты и обеспечивает хорошее центрирование детали на валу?

18. Одно из достоинств резьбовых соединений.

По вертикали:

1. Какая сталь подходит для изготовления малонапряженных деталей машин (болтов, гаек)?

2. Система звеньев и (или) твердотельных элементов механизма, образующих между собой кинематические пары, – это _____ цепь?

3. Какое соединение является наиболее распространенным среди разъемных нерезьбовых соединений?

4. Как называется звено, не имеющее общих кинематических пар со стойкой и совершающее сложное плоскопараллельное движение?

5. Основное достоинство сварных соединений – малая _____.

6. Какое соединение выполняют винтом, ввинчиваемым в резьбовое отверстие одной из соединяемых деталей?

7. Какой вид штифта показан на рис. К 4.2?

8. Автор формулы $W = 3n - 1P_4 - 2P_5$.

9. Как называется процесс получения неразъемного соединения элементов деталей с нагревом ниже температуры их автономного расплавления путем смачивания и заполнения зазора между ними расплавленным припоем и сцепления их при кристаллизации шва?

10. Какой механизм используется в строгальных станках, когда рабочий ход (снятие стружки) происходит медленно, а нерабочий ход (возвращение резца) – быстро?

11. Какая шпонка изображена на рис. К 4.5?

12. Одно из требований, которые предъявляют к машинам и механизмам.

Кроссворд № 5

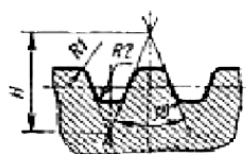


Рис. К 5.3

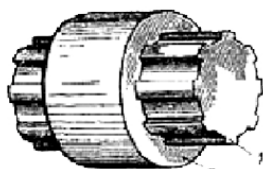


Рис. К 5.5

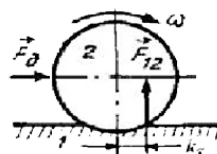
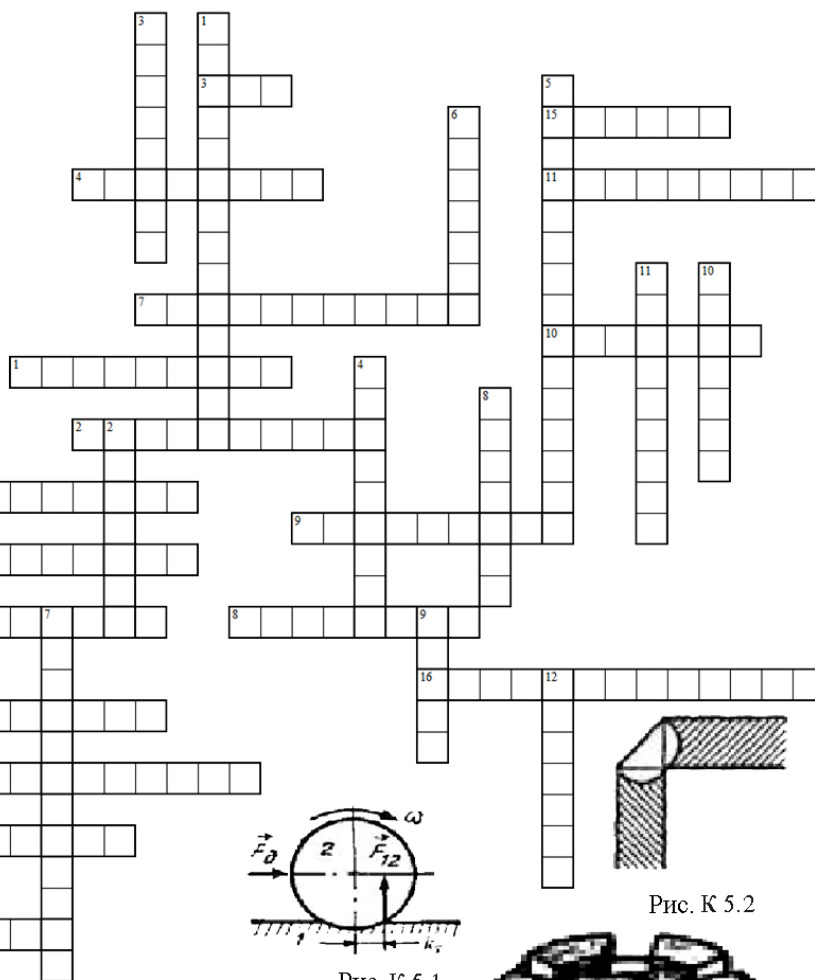


Рис. К 5.1

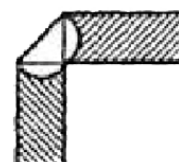


Рис. К 5.2



Рис. К 5.4

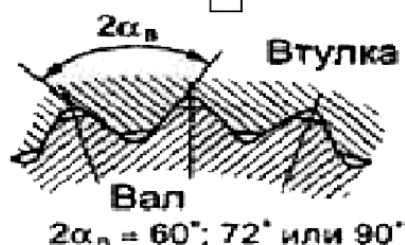


Рис. К 5.6

Вопросы к кроссворду № 5

По горизонтали:

1. Как называется звено, которому приписывается одна или несколько обобщенных координат механизма?
2. Какие опорные подшипники служат для поддержания вращающихся осей и валов при действии нагрузки, направленной вдоль оси вращения?
3. Что в отличие от вала не передает вращающего момента и работает только на изгиб?
4. Какая линия (и соответственно резьба) может быть правой и левой?

5. В какой передаче два подвижных звена являются зубчатыми колесами, образующими с неподвижным звеном вращательную или поступательную пару?

6. Какая передача применяется при вращении между параллельными удаленными друг от друга валами?

7. На рис. К 5.6 изображено зубчатое шлицевое соединение. Назовите вид зубьев в зависимости от профиля.

8. На рис. К 5.5 изображено соединение зубчатое _____.

9. Какая гайка показана на рис. К 5.4?

10. Один из видов электросварки.

11. Какие соединения определяют кинематику машины?

12. Какие машины предназначены для преобразования обрабатываемого предмета (продукта), состоящего в изменении его размеров, формы, свойства или состояния?

13. Как называется соединение деталей, осуществляемое посредством плотной посадки штифта в соединяемые детали?

14. Как называется соединение деталей, осуществляемое с помощью шпильки, один конец которой вворачивается в одну из соединяемых деталей, а на другой надевается присоединяемая деталь, шайба и затягивается гайка?

15. Она бывает внутренняя и наружная, правая и левая.

16. Как называется кинематическая пара с одной степенью свободы в относительном движении соединяемых твердых тел?

17. Твердотельный, жидкостный или газовый компонент механизма, обеспечивающий взаимодействие его звеньев, не контактирующих непосредственно друг с другом, – это _____ механизма.

18. Соединение двух твердых тел механизма, допускающее их заданное относительное движение, – это _____ пара.

По вертикали:

1. Как называется ременная передача с параллельными, пересекающимися или скрещивающимися осями с плоским приводным ремнем?

2. Метод нарезания зубьев.

3. Как называется механизм, предназначенный для преобразования одного вида движения в другое: колебательное вдоль оси или вокруг оси?

4. Какое соединение образуется совместным сверлением соединяемых деталей и установкой в отверстие с натягом специальных цилиндрических или конических штифтов?

5. Какая резьба представлена на рис. К 5.3?
6. Какое сварное соединение показано на рис. К 5.2?
7. Требование, предъявляемое к материалу заклепки.
8. Какая сила трения изображена на рис. К 5.1?
9. Что служит для установки валов и осей?
10. Как называется соединение, осуществляемое путем местного нагрева материала деталей до расплавленного или пластического состояния?
11. Какие пазы (канавки) прорезают в соответствии с формой шпонки, посредством которой осуществляется соединение?
12. Усталостное выкрашивание – это _____.

3.4. Разработка системы тестового контроля

Тестирование является обязательным этапом контроля при изучении дисциплины.

Тестирование – инструмент мониторинга и прогнозирования результатов качества учебного процесса. Мониторинг как контролирующая и диагностическая система обеспечивает преподавателя объективной и оперативной информацией об уровне усвоения студентами обязательного минимума учебного материала, а административно-управленческий аппарат – об эффективности организации учебного процесса и управления им [25].

Пакет фондов контрольных заданий в форме тестов по дисциплинам основных образовательных программ является средством оценки соответствия качества подготовки специалистов при самообследовании и комплексной оценки деятельности учебного заведения.

Тестирование может проводиться в разных формах (письменной и компьютерной), не исключая, не заменяя другие формы контроля качества знаний студентов [14].

Содержание тестовых заданий должно соответствовать конечным целям изучения дисциплины. Тесты должны выявлять знание общих, принципиальных положений дисциплины, определенных конечными целями изучения.

Предъявляют следующие общие требования к тестам контроля знаний [2]:

- валидность;
- определенность (общепонятность);
- простота;
- однозначность;
- надежность.

При реализации систем тестирования необходимо придерживаться именно этих пяти требований. Однако реализация описанных выше условий еще не означает того, что созданный комплекс будет отвечать всем требованиям, предъявляемым к системам тестирования.

Для адекватной оценки знаний необходимо не только оценивать уровень знаний испытуемых, но и анализировать качество диагностических материалов [43].

Понятие качества диагностических материалов включает в себя оценку их надежности и валидности, являющихся одними из важнейших характеристик педагогических измерений. Надежность теста – это характеристика методики, отражающая точность измерения и устойчивость результатов к воздействию посторонних случайных факторов. Надежность теста связана с понятием стандартной ошибки: чем выше надежность, тем меньше стандартная ошибка измерений. Существует несколько различных понятий надежности диагностического теста и соответственно методов ее определения:

- надежность параллельных форм;
- ретестовая надежность;
- надежность расщепленных частей теста.

Надежность параллельных форм – характеристика, получаемая с помощью параллельных форм (вариантов) теста, проведенных на одной и той же выборке испытуемых. Корреляция результатов обоих тестов является показателем надежности. В реальной ситуации доказать параллельность двух форм (вариантов) теста или провести повторное тестирование с соблюдением одинаковых условий не представляется возможным [24].

Ретестовую надежность определяют при повторном использовании того же самого теста спустя некоторый промежуток времени. Однако любой испытуемый, проходя тестирование, всегда получает дополнительные знания, анализируя свои результаты. Поэтому ретестовая надежность также не может считаться абсолютно объективным показателем.

Надежность расщепленных частей теста исследуется путем анализа устойчивости результатов отдельных совокупностей тестовых заданий при однократном тестировании. По сути, данный способ является некоторой модификацией способа исследования надежности параллельных форм, однако он более технологичен и поэтому получил широкое распространение.

Диапазон подходов к определению педагогических тестов как в научной, так и в методической литературе достаточно широк. В современной педагогике наметилось два основных подхода к определению понятия «тест». Под тестом понимается либо весь метод исследования целиком, включая процедуру проверки, либо только средство измерения.

В зависимости от цели тестирования выделяют следующие виды тестов:

- тест обученности – совокупность заданий, сориентированных на определение (измерение) уровня (степени) усвоения определенных аспектов (частей) содержания обучения (В. П. Симонов);
- тест достижений – набор стандартизированных заданий по определенному материалу, устанавливающий степень усвоения его учащимися (А. Н. Майоров);
- тест успеваемости – совокупность заданий, ориентированных на измерение уровня определенных аспектов содержания образования (Н. М. Розенберг).

Очевидно, что многообразие подходов к определению теста порождается многообразием существенных признаков педагогического теста, которые прежде всего зависят от цели создания теста и круга вопросов, решаемых с его помощью.

Сложность рассмотрения понятия «педагогический тест» также усугубляется неоднозначностью подходов к его определению со стороны теоретиков и практиков. В. С. Аванесов понятие «педагогический тест» трактует как систему заданий возрастающей трудности, позволяющую эффективно измерить уровень и качественно оценить структуру подготовленности учащихся.

А. Н. Майоров рассматривает тест как достаточно широкое понятие: «инструмент, состоящий из квалиметрически выверенной системы тестовых заданий, стандартизированной процедуры проведения и заранее спроектированной технологии обработки и анализа результатов, предназначенный для измерения качеств и свойств личности, измерение которых возможно в процессе систематического обучения» [25].

Н. Е. Эрганова считает, что тест – это испытание учащегося с целью выявления уровня сформированности знаний и умений, применяемое в соответствии с методикой измерения уровня знаний и оценки результатов [43].

Педагогическим тестом называется система заданий определенной формы, создаваемая с целью объективной оценки уровня знаний и навыков обучающихся.

Эффективная система тестирования должна являться органической частью всего учебного курса и, конечно, соответствовать основным дидактическим принципам обучения в организациях среднего профессионального образования. А. В. Духавнева так формулирует эти принципы:

- ориентированность высшего образования на развитие личности будущего специалиста;
- соответствие содержания образования современным и прогнозируемым тенденциям развития науки и производства;
- оптимальное сочетание общих, групповых и индивидуальных форм организации учебного процесса в организациях начального профессионального образования;
- рациональное применение современных методов и средств обучения на различных этапах подготовки специалистов;
- соответствие результатов подготовки специалистов требованиям, которые предъявляются конкретной сферой их профессиональной деятельности, обеспечение их конкурентоспособности.

Более конкретные принципы построения тестов являются следствием требования, сформулированного А. Н. Майоровым в определении теста как «квалиметрически выверенной системы тестовых заданий». Квалиметрическая выверенность подразумевает соответствие инструмента измеряемому параметру, точность этого инструмента и минимизацию погрешностей измерения. И. А. Мореев сформулировал 33 принципа создания тестового инструментария. Они охватывают этапы конструирования теста, написания тестовых заданий и разработки технологии тестирования. Воспользовавшись этими принципами, уточнив и конкретизировав их, можно составить перечень требований к написанию заданий и составлению теста, а также выделить набор интегральных критериев, позволяющих судить о качестве тестового инструментария в целом.

Итак, совокупность тестовых заданий, входящих в тест, должна отвечать следующим ключевым критериям:

1. Целесообразность. Содержание теста должно зависеть от целей тестирования.
2. Конкретность. Тема тестирования не должна быть излишне обобщенной.
3. Полнота. Тест должен содержать совокупность заданий, отражающих все структурные элементы содержания дисциплины и их связи.

4. Оптимальность и сбалансированность. В тест должны быть включены только те задания, содержание которых не дублируется и равномерно покрывает в своей совокупности учебный материал.

5. Вариативность. Содержание теста может и должно варьироваться по мере изменения содержания дисциплины, появления новых научных знаний, изменения целей тестирования или уровня подготовленности тестируемых. При повторном тестировании тест должен включать измененные или новые задания.

6. Сложность. Сложность теста должна соответствовать содержанию обучения и поддерживать высокий уровень мотивации студентов.

7. Комплексность и сбалансированность. Следует гармонично сочетать в тесте задания на проверку знаний теоретического материала (понятия, законы, закономерности, гипотезы, факты, структурные компоненты теории), методов научной и практической деятельности, умений решать типовые задания. Отношение количества заданий перечисленных типов должно соответствовать отношению значимости и объема рекомендованной учебной информации.

8. Темперированность сложности и трудоемкости. Последовательность заданий теста строится таким образом, что каждое последующее задание, по мнению составителя, является более сложным и трудоемким, чем предыдущее. Несмотря на то, что студентов не ограничивают в выборе последовательности выполнения заданий, чаще всего они ищут и интуитивно находят для себя индивидуальный ряд заданий возрастающей сложности и трудоемкости.

9. Избыточность. В тест должно быть включено несколько больше заданий, чем необходимо для выявления уровня знаний по курсу. Часть заданий тем или иным образом дублируется, чтобы исключить влияние случайных ошибок тестируемых на результаты.

Каждое тестовое задание должно отвечать следующим критериям:

1. Научная достоверность. В задание включаются только те элементы знания и связи между ними, которые являются истинными с точки зрения науки.

2. Значимость. Тестовое задание должно отражать структурный информационный элемент дисциплины либо связь между структурными элементами, без которых знания становятся неполными.

3. Соответствие современному знанию. Все тестовые задания должны включать только современные элементы знания.

4. Соответствие источникам знания. Задания должны содержать адрес источника, который может быть включен и в демонстрируемую часть текста задания в случаях, когда имеются разночтения в рекомендованной литературе.

5. Трудоемкость. Относительное количество труда, которое тестируемые затратят в среднем на выполнение каждого тестового задания, должно быть пропорционально относительной значимости отраженного в задании элемента курса.

6. Взвешенность оценки. Вес оценки за выполнение задания должен быть пропорционален его трудоемкости.

7. Понятность. Задания должны быть сформулированы в привычной для студентов форме с использованием словарных оборотов из рекомендованных им учебных пособий.

8. Логическая непротиворечивость. В тестовых заданиях не должно быть двусмысленностей, неточностей и противоречий.

9. Дистрактивность. Варианты ответов должны быть сформулированы так, чтобы правильные варианты были похожи на неправильные, и наоборот. Формулировки правильных вариантов должны точно соответствовать материалу учебного курса.

Интегральные критерии качества тестового инструментария включают в себя:

1. Валидность теста. Результаты тестирования группы студентов должны соответствовать объективным характеристикам, данным студентам их руководителями, коллегами, преподавателями.

2. Надежность теста и технологии тестирования. Результаты тестирований подобных групп студентов с помощью одного теста должны быть похожими и не зависеть от времени.

3. Дидактическую направленность теста и технологии тестирования. Технология тестирования в соответствии с принципами дидактики должна не только дифференцировать и измерять знания студентов, но также инициировать их самообучение и стремление к повышению качества знаний, умений, навыков. Следовательно, повторное тестирование группы студентов должно показывать более высокие результаты, чем первое.

4. Разрешающую способность теста. Выраженная численно сложность тестовых заданий должна равномерно заполнять тот интервал, который соответствует уровню знаний студентов. От сбалансированности сложности

и трудоемкости заданий зависит способность теста дифференцировать претендентов в соответствии с уровнем их знаний.

Очевидно, что создание теста, удовлетворяющего всем перечисленным условиям, является непростой задачей. Анализ учебного курса, составление вопросов и вариантов ответов к тестовым заданиям, их упорядочивание и назначение баллов требуют от преподавателя кропотливой работы. Проверка выполнения критериев теста возможна только по результатам проведения пробных тестирований, а расчет этих критериев требует знания теории статистики тестов [5].

Педагогическая корректность тестовых заданий предполагает, что задания должны соответствовать требованиям учебной программы (образовательного стандарта), быть рассчитаны на определенный уровень знаний обучаемых, вариативны и оптимальны по трудности [2].

Методика проектирования дидактических тестов включает 7 этапов:

1) анализ содержания тем предмета и выделение дидактических единиц [1, 3];

2) составление матрицы дидактических единиц;

3) определение уровня усвоения дидактических единиц;

4) составление матрицы тестовых заданий;

5) конструирование дидактического теста;

6) составление бланка ответа;

7) составление эталона.

Подробно раскроем сущность некоторых этапов.

На 1-м этапе проводится анализ учебно-программной документации, перспективно-тематического плана, учебной литературы по предмету и выделение укрупненных дидактических единиц – это логически самостоятельные части учебного материала, по своему объему и структуре соответствующие таким компонентам содержания, как понятие, теория, закон, явление, факт, объект [1, 3].

На 2-м этапе составляется матрица дидактических единиц.

На 3-м этапе для каждой выделенной дидактической единицы необходимо определить уровень ее усвоения (классификацию уровней усвоения знаний, по В. П. Беспалько).

На 4-м этапе разработки дидактических тестов для дидактической единицы выбирается соответствующая форма тестового задания согласно

ее уровню усвоения. Далее формулируется текст тестового задания. Тестовое задание приводится в форме утверждений, а не вопроса или задачи. Результат представляется в виде матрицы тестовых заданий [4].

На 5-м этапе необходимо сформулировать указания к тестовым заданиям и выбрать из матрицы тестовых заданий задания соответствующей формы.

Из матрицы тестовых заданий выбираются сначала все задания закрытой формы, затем все задания открытой формы, далее все задания на установление соответствия и все задания на установление правильной последовательности. Под каждое указание помещаются соответствующие задания [6].

После этого составляются инструкции для работы с дидактическим тестом [18].

Компьютерное тестирование может проводиться в различных формах, различающихся по технологии объединения заданий в тест. Часть из них пока не получили специального названия в литературе по тестовой проблематике.

Благодаря компьютерному тестированию можно повысить информационную безопасность и предотвратить рассекречивание теста за счет высокой скорости передачи информации и специальной защиты электронных файлов. Упрощается также процедура подсчета результирующих баллов в тех случаях, когда тест содержит только задания с выбором ответов.

Возможности педагогического контроля при компьютерном тестировании значительно увеличиваются за счет расширения спектра измеряемых умений и навыков в инновационных типах тестовых заданий, использующих многообразные возможности компьютера (включение аудио- и видеофайлов, интерактивность, динамическая постановка проблем с помощью мультимедийных средств и др.) [7, 8].

Благодаря компьютерному тестированию повышаются информационные возможности процесса контроля, появляется возможность сбора дополнительных данных о динамике прохождения теста отдельными учащимися и возможность для осуществления дифференциации пропущенных и недостигнутых заданий теста.

Результаты зарубежных исследований показали, что опыт работы на компьютерах, имеющийся у учащихся, во многих случаях значительно влияет на валидность результатов выполнения теста [27, 31]. Если в тест

включены задания без инноваций с выбором ответов, то влияние опыта работы с компьютером на результаты тестирования незначительно, поскольку от учащихся в таких заданиях не требуется никаких сложных действий при выполнении теста. При появлении на экране инновационных типов заданий, широко использующих средства компьютерной графики и другие новшества, влияние предшествующего компьютерного опыта на тестовый балл становится очень значительным. Таким образом, при компьютерном тестировании необходимо учитывать уровень компьютерного опыта учащихся, для которых предназначен тест.

С целью снижения влияния опыта работы с компьютером на тестовые баллы рекомендуется включать в оболочки для компьютерного тестирования специальные инструкции и тренировочные упражнения для каждой инновационной формы заданий. Необходимо также предварительно ознакомить учащихся с интерфейсом, провести репетиционное тестирование и выделить в самостоятельные группы учащихся, не имеющих достаточного опыта работы с ПК, для того чтобы дополнительно обучить их или дать им бланковый тест.

Чем более продуман интерфейс, тем меньше внимания учащийся на него обращает, сосредотачивая все свои усилия на выполнении заданий теста [9, 10, 25].

Из рассмотренных программ тестирования для практикума была выбрана программа Айрен.

Айрен – это бесплатная программа, позволяющая создавать тесты для проверки знаний и проводить тестирование в локальной сети, через Интернет или на одиночных компьютерах.

Тесты могут включать в себя задания различных типов: выбрать один или несколько верных ответов, ввести ответ с клавиатуры, установить соответствие, упорядочить и классифицировать понятия.

Чтобы приступить к тестированию, учащемуся достаточно запустить полученный файл на любом компьютере с Windows, установка каких-либо программ для этого не требуется.

Предлагаемая программа является адаптированным для широкого применения вариантом системы тестирования Айрен для учебных заведений.

Для прохождения теста учащиеся запускают на своих компьютерах модуль тестирования. Основная программа на компьютере преподавателя

при этом тоже должна быть открыта, поскольку модуль тестирования будет обращаться к ней по сети для получения вопросов теста и отправки ответов учащегося.

Первое, что необходимо сделать тестируемому, *войти в систему*. Затем учащийся может приступать к выполнению задания. Дав ответ, он нажимает кнопку *Ответить* (или Ввод на клавиатуре), на экране появляется следующее задание и т. д.

По окончании тестирования – после выполнения всех заданий или по истечении отведенного времени – нужно нажать кнопку *Завершить работу* или просто закрыть окно. Оставшееся время отображается слева от указанной кнопки.

На вопросы не обязательно отвечать по порядку, можно свободно перемещаться между ними различными способами:

Кнопки *← Назад и Вперед →* внизу окна позволяют перейти к предыдущему или следующему заданию.

В верхней части окна расположена диаграмма, состоящая из прямоугольных участков, каждый из которых обозначает один вопрос. Щелкая по ним, можно быстро переходить к любому заданию теста. Вопросы, на которые уже даны ответы, выделены на диаграмме синим цветом.

Справа от диаграммы находится кнопка *Обзор*, показывающая краткие, в одну строку, тексты всех вопросов.

Щелкнув по тексту какого-либо задания, можно сразу перейти к нему.

Когда тестируемый начинает давать ответ на текущий вопрос, возможность перехода к другим заданиям отключается до тех пор, пока он не нажмет кнопку *Ответить*.

По окончании тестирования появляется окно с результатами. Объем информации, представленной в нем, определяется преподавателем. В нашем случае имеются две вкладки – *Общий итог* и *Вопросы*.

На первой из них выводятся основные сведения о результатах тестирования, в том числе круговая диаграмма, на которой зеленым цветом показана доля верно выполненных заданий. В процентном выражении ее можно увидеть в графе *Итог*. В следующей графе показана оценка, выставленная в соответствии с используемой шкалой (рис. 15).

Просмотрев результаты, тестируемый нажимает кнопку *Заккрыть* для выхода из программы.

После анализа теоретических сведений о тестовых заданиях и видах тестов был разработан электронный тест в программе Айрен, приведенный в системе Тайм Лайн.

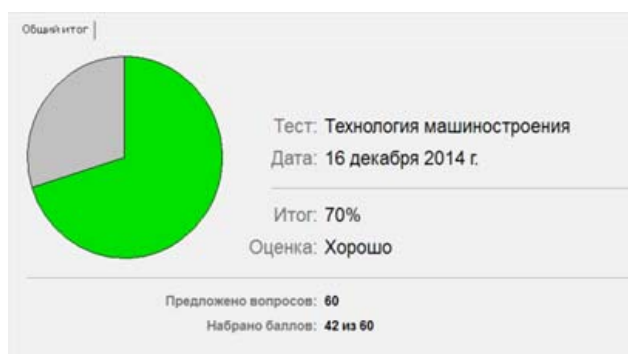


Рис. 15. Диаграмма результатов тестирования

Итоговый тест содержит следующие вопросы:

1. Одно из требований, которые предъявляют к машинам и механизмам.
2. Установить соответствие между названием соединения и его обозначением.
3. Как называется окружность, по которой обкатывается инструмент при нарезании?
4. Установить соответствие между измерительной головкой и формулой расчета передаточного числа.
5. Какой механизм показан на рисунке?
6. Как называется меньшее зубчатое колесо пары?
7. Установить соответствие между видом шпонки и рисунком.
8. Какой знак имеет погрешность тангенсных рычагов?
9. Какая передача применяется при вращении между параллельными удаленными друг от друга валами?
10. Что в отличие от вала не передает вращающего момента и работает только на изгиб?
11. Установить соответствие между названием резьбы и ее обозначением.
12. Какие подшипники скольжения предназначены для восприятия радиальной нагрузки?
13. Поверку индикаторов производят с помощью...
14. Какие пазы ослабляют прочность вала и ступицы?
15. Как называется кинематическая пара с четырьмя степенями свободы в относительном движении соединяемых твердых тел?
16. Назовите достоинства резьбовых соединений.

17. Какая сила трения изображена на рисунке...?
18. Какое влияние оказывают зазоры в направляющих на погрешность тангенсных рычагов?
19. Как называется спираль, образованная на цилиндрической или конической поверхности по винтовой линии с постоянным шагом?
20. По какой формуле можно вычислить модуль зубчатых зацеплений?
21. Недостатки передачи «винт – гайка».
22. Как называется звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев?
23. Усталостное выкрашивание – это
24. Назовите достоинство червячной передачи.
25. Как называется ременная передача с параллельными, пересекающимися или скрещивающимися осями с плоским приводным ремнем?
26. Какая резьба наиболее широко используется в промышленности?
27. Какая передача показана на рисунке...?
28. Как называется по-другому число степеней свободы кинематической пары (H)?
29. Как называется стержень с резьбой на обоих концах?
30. Механизм, у которого сфера расположена на звене, совершающем вращательное движение, называется...
31. Какая сталь подходит для изготовления малонапряженных деталей машин (болтов, гаек)?
32. Какую цену деления обычно имеют рычажно-зубчатые головки?
33. Установить соответствие между названием шлицевого соединения и рисунком.
34. Установочный узел, на котором устанавливается только измерительная головка, называется....
35. Погрешность перемещения синусного рычага зависит от....
36. Установить соответствие между видом зубчатой передачи и рисунком.
37. Индикатор часового типа имеет цену деления....
38. Установить соответствие между видом пружинной головки и рисунком.
39. Установить соответствие между названием элементов конструкции индикатора ИЧ-10 и соответствующей цифрой...
40. Какое соединение способно передавать большие вращающие моменты и обеспечивать хорошее центрирование детали на валу?

41. Регулировкой плеч синусных и тангенсных рычагов можно компенсировать....

42. Чем отличаются многооборотные рычажно-зубчатые головки от однооборотных?

43. Установить соответствие между названием измерительной головки и рисунком.

44. Установить соответствие между измеряемым параметром и схемой измерения.

45. Как называют связь, устранение которой не изменяет число степеней свободы механизма?

46. Как называется система тел, предназначенных для преобразования движения одного или нескольких твердых тел?

47. Как называют механизмы, звенья которых совершают движение в пространстве?

48. Как называются отчетные устройства, преобразующие малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки?

49. Установочный узел, на котором устанавливается как измерительная головка, так и измеряемая деталь, называется...

50. Как называются механизмы, предназначенные для закрепления валов и осей в пространстве?

51. Под пружинными головками подразумевается группа головок, в конструкции которых передаточным механизмом является...

52. Измерительная головка, имеющая механизм увеличивающего устройства в виде только зубчатых передач, называется....

53. Под рычажно-зубчатым индикатором понимают измерительные головки, передаточный механизм которого состоит из...

54. Установить соответствие между типом передач и соответствующим рисунком.

55. Установить соответствие между погрешностью рычага и формулой.

Опробывание данного теста показало, что психологические и эмоциональные реакции студентов на компьютерное тестирование носят позитивный характер. Им понравились незамедлительная выдача тестовых баллов, протокола тестирования с результатом по каждому заданию, а также сам инновационный характер контроля.

Заключение

Сложившаяся в настоящее время социально-экономическая обстановка требует от выпускников учебных заведений не просто наличия знаний, а сформированности умений, необходимых в будущей профессиональной деятельности. Поэтому перед учебным заведением стоит задача подготовить выпускников, обладающих определенными знаниями, умениями и владениями – главными составляющими общих и профессиональных компетенций выпускника.

Сформировать компетентность студента, только передав ему определенный объем знаний, нельзя. Компетентным он может стать лишь сам, найдя и апробировав различные модели поведения в данной предметной области, выбрав из них те, которые в наибольшей степени соответствуют его стилю, притязаниям, эстетическому вкусу и нравственным ориентациям.

Анализируя современные требования к профессиональной подготовке бакалавров профессионального обучения и учитывая, что ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений (профессиональных или учебных), необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и специальным дисциплинам, в учебном пособии мы рассмотрели современные подходы к проведению практических занятий.

Цель практических заданий – обобщить, систематизировать, углубить и конкретизировать теоретические знания, выработать у студентов способность и готовность использовать эти знания на практике, развивать интеллектуальные умения.

Каждое практическое занятие – это итог большой целенаправленной работы студентов по выполнению заданий преподавателя.

Задания для практических занятий составлены в соответствии с целями, задачами и формируемыми компетенциями, установленными рабочей программой по освоению содержания дисциплины «Основы проектирования измерительных механизмов».

В первой главе данной работы представлен анализ рабочей программы, рассмотрены особенности формирования профессиональных компетенций по дисциплине «Основы проектирования измерительных механизмов», проанализировано содержание практических занятий по данной дисциплине.

Во второй главе представлен анализ типов основных измерительных механизмов, используемых в процессе контроля на предприятиях.

Третья глава содержит методические указания, в которых разработаны задания для проведения практических работ, рекомендации по подготовке к ним, критерии оценки готовых работ. Для оценки качества усвоения учебного материала дисциплины разработан электронный тест и творческое задание.

Мы надеемся, что данное учебное пособие поможет студентам самостоятельно подготовиться к каждой практической работе, рационально распределить аудиторное время на выполнение заданий и будет полезно для работы на производстве.

Библиографический список

1. *Аванесов В. С.* Композиция тестовых заданий: учебная книга для преподавателей вузов, школ, студентов / В. С. Аванесов. Москва: Адепт, 1998. 217 с.
2. *Аванесов В. С.* Основы научной организации педагогического контроля в высшей школе: учебное пособие / В. С. Аванесов. Москва: Исследовательский центр, 1989. 167 с.
3. *Аванесов В. С.* Теория и методика педагогических измерений: материалы публикаций в открытых источниках и Интернет / В. С. Аванесов. Екатеринбург: ЦТ и МКО УГТУ – УПИ, 2005. 98 с.
4. *Аванесов В. С.* Форма тестовых заданий / В. С. Аванесов. Москва: Центр тестирования, 2006. 152 с.
5. *Андреев А. Б.* Компьютерное тестирование: системный подход к оценке качества знаний студентов / А. Б. Андреев. Москва: Педагогика, 2001. 164 с.
6. *Батышев С. Я.* Профессиональная педагогика: учебник для студентов, обучающихся по педагогическим специальностям и направлениям / С. Я. Батышев. Москва: Профессиональное образование, 1997. 512 с.
7. *Бешенков С. А.* Информация и информационные процессы / С. А. Бешенков // Информатика и образование. 2008. № 6. С. 38–50.
8. *Бордовская Н. В.* Педагогика / Н. В. Бордовская, А. А. Реан. Москва: Наука, 2001. 256 с.
9. *Булынский Н. Н.* Внедрение педагогических тестов в систему управления качеством профессионального образования учащихся ПУ: методическое пособие для педагогических работников профучилищ / Н. Н. Булынский, Т. Т. Кожевина. Челябинск, 2005. 30 с.
10. *Валишевская Н. П.* Рекомендации по моделированию тестовых заданий / Н. П. Валишевская. Москва: Интеллект-Центр, 2005. 180 с.
11. *Гулиа Н. В.* Детали машин: учебник для вузов / Н. В. Гулиа, В. Г. Клоков, С. А. Юрков; под общ. ред. Н. В. Гулиа. 2-е изд., испр. Санкт-Петербург: Лань, 2010. 416 с.
12. *Дунаев П. Ф.* Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. 9-е изд., перераб. и доп. Москва: Академия, 2006. 496 с.
13. *Ерецкий М. И.* Проверка знаний, умений и навыков / М. И. Ерецкий, Е. С. Пороцкий. Москва: Наука, 2002. 214 с.

14. *Загвязинский В. И.* Методология и методика дидактического исследования: учебное пособие для студентов высших педагогических учебных заведений / В. И. Загвязинский. 2-е изд. Москва: Академия, 2005. 208 с.
15. *Звонников В. И.* Современные средства оценивания результатов обучения: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. И. Звонников. Москва: Академия, 2008. 224 с.
16. *Иванов М. Л.* Детали машин: учебник для студентов вузов / М. Л. Иванов; под ред. В. А. Финогенова. 6-е изд., перераб. Москва: Высшая школа, 2000. 383 с.
17. *Ивашина А. С.* Тестовый контроль знаний / А. С. Ивашина, Т. С. Свиридова // Специалист. 1997. № 12. С. 10–14.
18. *Ильин Г. Л.* Педагогические технологии и педагогическое мастерство: учебное пособие / Г. Л. Ильин // Школьные технологии. 2005. № 5. С. 4–10.
19. *Клепиков В. В.* Технология машиностроения / В. В. Клепиков. Москва: Форум-Инфра-М, 2004. 287 с.
20. *Коджаспирова Г. М.* Словарь по педагогике / Г. М. Коджаспирова, А. Ю. Коджаспиров. Москва: МарТ, 2005. 174 с.
21. *Колеса зубчатые. Виды повреждений. Классификация и описание.* Межгосударственный стандарт [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.imash.ru/normatdok/etc_gosts/3355-kolesa-zubchatye-vidypovrezh-denijj.html.
22. *Куклин Н. Г.* Детали машин: учебник для машиностроительных специальностей техникумов / Н. Г. Куклин, Г. С. Куклина. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Высшая школа, 2010. 383 с.
23. *Левина М. М.* Технологии профессионального педагогического образования: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / М. М. Левина. Москва: Академия, 2001. 125 с.
24. *Левитский Н. И.* Теория механизмов и машин: учебное пособие / Н. И. Левитский. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Наука, 1990. 592 с.
25. *Майоров А. Н.* Теория и практика создания тестов для системы образования / А. Н. Майоров. Москва: Интеллект-центр, 2011. 197 с.
26. *Мамай С. П.* Конструирование педагогических тестов: вводный курс / С. П. Мамай, И. Н. Серебренникова. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехн. ун-та, 2003. 68 с.
27. *Мамай С. П.* Методика составления тестовых заданий: учебное пособие / С. П. Мамай. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 2001. 58 с.

28. *Марков Н. Н.* Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов / Н. Н. Марков, Г. М. Ганевский. Москва: Машиностроение, 1981. 367 с.

29. *Мигачева Г. Н.* Основы проектирования измерительных механизмов: рабочая программа / Г. Н. Мигачева. Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2017. 33 с.

30. *Новиков А. А.* Детали и механизмы приборов: конспект лекций / А. А. Новиков. Минск: Изд-во Белорус. нац. техн. ун-та, 2011, 96 с.

31. *Новиков В. Ю.* Технология машиностроения: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / В. Ю. Новиков, А. И. Ильянков. 2-е изд., перераб. Москва: Академия, 2012, 352 с.

32. *Общая* и профессиональная педагогика: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности «Профессиональное обучение»: в 2 книгах / под ред. В. Д. Симоненко, М. В. Ретивых. Брянск: Изд-во Брян. гос. ун-та, 2003. Кн. 1. 174 с.

33. *Пахомова Н. Ю.* Учебное проектирование: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Н. Ю. Пахомова. Москва: Академия, 2006. 336 с.

34. *Романов А. В.* Допуски изделий и средства измерений: справочник для учащихся ПТУ, техникумов и молодых рабочих. Санкт-Петербург: Политехника, 2003. 291 с.

35. *Самылкина Н. Н.* Современные средства оценивания результатов обучения / Н. Н. Самылкина. Москва: Наука, 2007. 217 с.

36. *Селевко Г. К.* Педагогические технологии на основе информационно-коммуникативных средств: учебное пособие / Г. К. Селевко. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Народное образование, 2007. 220 с.

37. *Сибикин М. Ю.* Технологическое оборудование / М. Ю. Сибикин. Москва: Форум, 2010. 280 с.

38. *Словарь* по педагогике / авт.-сост. Л. В. Мардахаев. Москва: Академия, 2002. 368 с.

39. *Схиртладзе А. Г.* Технологическое оборудование / А. Г. Схиртладзе. Москва: Высшая школа, 2002. 401 с.

40. *Теория* механизмов и машин: методические указания к выполнению курсового проекта / сост. Ю. И. Евдокимов. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. аграр. ун-та, 2008. 60 с.

41. *Теория механизмов и механика машин: учебник для вузов* / К. В. Фролов [и др.]; под ред. К. В. Фролова. 5-е изд., стер. Москва: Изд-во Моск. гос. техн. ун-та им. Н. Э. Баумана, 2004. 604 с.

42. *Черпаков Б. И.* Технологическое оборудование машиностроительного производства: учебник / Б. И. Черпаков, Л. И. Вереина. 3-е изд., испр. Москва: Академия, 2010. 413 с.

43. *Эрганова Н. Е.* Методика профессионального обучения: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Н. Е. Эрганова. 2-е изд., стер. Москва: Академия, 2008. 160 с.

44. *Якушев А. И.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для вузов / А. И. Якушев. 6-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1986. 352 с.