

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Забайкальский государственный университет»

**И.В. САДОВНИКОВ**

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Учебное пособие*

Чита  
Забайкальский государственный университет  
2021

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом  
Забайкальского государственного университета

**Рецензенты:**

В.А.Ильиных, доцент, канд. тех. наук, Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения;

В.Ю.Киргинцев, главный метролог – начальник отдела по метрологии ФБУ «Забайкальский региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний Забайкальского края»

**Садовников И.В. Методы и средства линейных измерений: учеб.**

Пособие / И.В.Садовников; Забайкал. гос. ун-т. –Чита: ЗабГУ, 2021. –  
175 с.: ил.75

В учебном пособии рассмотрены вопросы эволюции средств линейных измерений, классификация, устройство и операции поверки наиболее распространенных средств измерения линейных размеров.

Для студентов направления 27.03.01 «Стандартизация и метрология», изучающих курс «Методы и средства измерений и контроля», а также студентов технических специальностей, изучающих курс «Взаимозаменяемость и технические измерения».

Разработано с учетом требований ФГОС и основывается на применении компетентностного подхода в реализации образовательного процесса.

## Оглавление

Введение.....	4
1. История развития средств измерений.....	5
2. Термины и определения.....	17
3. Меры и эталоны.....	20
4. Измерительные преобразователи.....	24
5. Средства измерений.....	26
6. Метрологические характеристики средств измерений.....	31
7. Концевые меры длины.....	36
8. Штриховые меры длины.....	48
9. Калибры для гладких цилиндрических деталей.....	57
10. Штангенинструменты.....	67
11. Микрометрические инструменты.....	78
12. Измерительные головки.....	93
13. Рычажно-механические средства измерений.....	109
14. Оптико-механические измерительные приборы.....	119
15. Оптические измерительные приборы.....	136
16. Средства контроля и измерения резьбы.....	150
Заключение.....	168
Библиографический список.....	169

## Введение

Технические измерения являются важнейшей составляющей системы управления качеством продукции на машиностроительном предприятии и неотъемлемой частью производственного процесса. Технические измерения должны удовлетворять требованиям единства измерений, т.е. результат должен быть выражен в узаконенных единицах, а показатели точности должны находиться в установленных пределах. Измерения выполняются при помощи средств измерений с назначенным классом точности, прошедших поверку или калибровку.

Качество измерений, выполняемых в ходе производственного процесса, в конечном итоге определяет качество готовой продукции и степень удовлетворенности потребителей этой продукции. Точность измерений во многом определяется правильным выбором методов и средств измерений. Главным критерием выбора средств измерений является соответствие средств измерений требованиям достоверности измерений и получения значений измеряемых величин с заданной точностью при минимальных временных и материальных затратах.

Основу технических измерений в машиностроении составляют измерения линейных и угловых величин. Метролог на машиностроительном предприятии должен иметь достаточный уровень подготовки относительно назначения, устройства, настройки и регулировки средств измерений, а также содержания операций поверки и калибровки конкретных средств измерений. Учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров по направлению 27.03.01 «Стандартизация и метрология», изучающих курс «Методы и средства измерений и контроля». Учебное пособие может быть полезно студентам других технических направлений и специальностей при изучении курса «Взаимозаменяемость и технические измерения»

## 1. История развития средств измерений

В древнем мире путешественники, торговцы, строители и астрономы нуждались в измерениях длины, площади, объема, массы. В те времена системы мер, как правило, привязывались к размерам человеческого тела (локоть, ладонь, шаг). Но локти и шаги у всех разные и поэтому для измерения стали использовать палки, шесты и посохи определенной длины. Первые упоминания о таком измерительном инструменте есть в Библии. В «Книге пророка Иезекииля»: «...в руке того мужа трость измерения в шесть локтей, считая каждый локоть в локоть с ладонью; и намерил он в этом здании одну трость толщины и одну трость вышины...»[60]. В откровениях Иоанна Богослова: «Говоривший со мною имел золотую трость для измерения города и ворот его и стены его »[36]. Другой древнейший измерительный инструмент можно увидеть на памятниках Египта эпохи фараонов: заместники зачастую изображены с мерным шнуром – средством распределения земельных наделов, которое быстро стало одним из символов их власти (рис.1) [60]. В пророчествах Иезекииля также упоминается «льняная вервь» для больших измерений:



*Рис.1.* Древнеегипетская фреска, на которой изображены люди с мерным шнуром «...муж, которого вид как бы вид блестящей меди, и льняная вервь в руке его и трость измерения», и еще: «Когда тот муж пошел на восток, то в руке держал шнур, и отмерил тысячу локтей»[35].

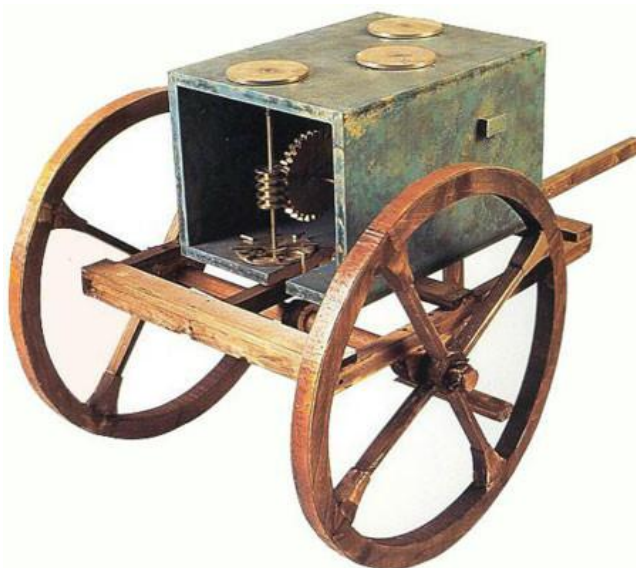
В древней Греции и Риме, кроме шнуров и шестов, применялись мерные цепи. В коллекции Политехнического музея хранится землемерная цепь, изготовленная в России в первой половине XIX века (рис.2).



*Рис. 2. Землемерная цепь (Россия, 1800 – 1860 гг.)*

Греческий механик и математик Герон Александрийский, живший в I века н. э. и известный своими трудами «Диоптра» и «Метрика», так описывал изготовление измерительных веревок: намоченную веревку растягивали между двумя колами и высушивали несколько раз, затем натирали воском и смолой [60]. Полученная измерительная веревка, по словам Герона, не отличалась по длине от более надежных, но дорогих и тяжелых мерных цепей более чем на 1:2000 (1см на 20м). Вербка размечалась через равные отрезки, на ней также отмечались узлами части в 3,4,5 единиц для построения прямого угла на местности. Такой измерительный инструмент использовался в разных странах в течение тысячелетий.

Для облегчения и ускорения измерения больших расстояний было изобретено «мерное колесо», впервые описанное Витрувием в 1 в. до н.э. Позднее Герон, используя принцип «мерного колеса», изобрел устройство для измерения расстояний и назвал его годомером или одомером (рис.3). Годомер обеспечивал точность 1:300 (ошибка составляла



*Рис.3.* Годомер Герона

1 см на 3 метрах). Сам Герон об этом устройстве писал: «При помощи годомера мы можем измерить пройденное на земле расстояние без утомительного применения землемерной цепи и шеста. Напротив, сидя с удобством в экипаже мы просто по вращению колеса измеряем оставляемое позади пространство»[60]. Годомер представлял собой небольшую тележку, установленную на двух колесах специально подобранного диаметра. Колеса поворачивались ровно 400 раз на миллиатрий (древняя мера длины, равная 1598 м). Посредством зубчатой передачи во вращение приводились многочисленные колеса и оси, а индикатором пройденного расстояния были камешки, выпадавшие в специальный лоток. Для того чтобы узнать, какое расстояние было пройдено, нужно было лишь подсчитать количество камешков в лотке.

Древние люди умели измерять расстояния до удаленных объектов и косвенными способами. Например, древнегреческий математик Фалес еще в VI веке до н.э. определял высоту предмета по ее тени. В частности, он измерил высоту пирамиды, заметив, что длина ее тени находится в таком же отношении к длине тени вертикального шеста, как их высоты. Свои наблюдения он вел в момент, когда тень человека имела ту же длину, что и он сам.

Самый древний сохранившийся измерительный медный стержень датируется 2650 годом до н. э., он был найден немецким ассириологом Эххардом Унгером при раскопках в Ниппуре — священном городе и религиозном центре Шумера в Южной Месопотамии (современный Ирак). Раскопки показали, что цивилизация долины Инда использовала линейки из слоновой кости еще до 1500 г. до н. э. Одна из таких линеек была найдена в Лотале и, по мнению археологов, соответствует размерам древних кирпичей, обнаруженных по всему региону. Ее предполагаемая длина 33,4 мм, деления отстоят друг от друга на 1,6 мм

При раскопках в древней Помпеи, был обнаружен измерительный инструмент, представляющий собой дощечку с вырезанными делениями и напоминающий линейку. Принято считать, что этот инструмент использовали древние архитекторы при построении чертежей. Привычная нам линейка с сантиметровыми и миллиметровыми делениями появилась в послереволюционной Франции в результате создания метрической системы мер. В России такие линейки стали производить по инициативе Д.И. Менделеева лишь в 1899 году.

Измерение линейкой расстояния между двумя поверхностями какого либо предмета производят её прикладыванием к нему таким образом, чтобы нулевой штрих шкалы линейки совпадал с одной из поверхностей, вторая поверхность в этом случае указывает на деление шкалы, соответствующее искомому размеру (рис.4). Для случаев, когда



измерение линейкой затруднялось сложной формой поверхностей или наличием скруглений стали использовать специальные приспособления для «переноса» размеров на шкалу линейки – кронциркули и нутромеры (рис.5) .

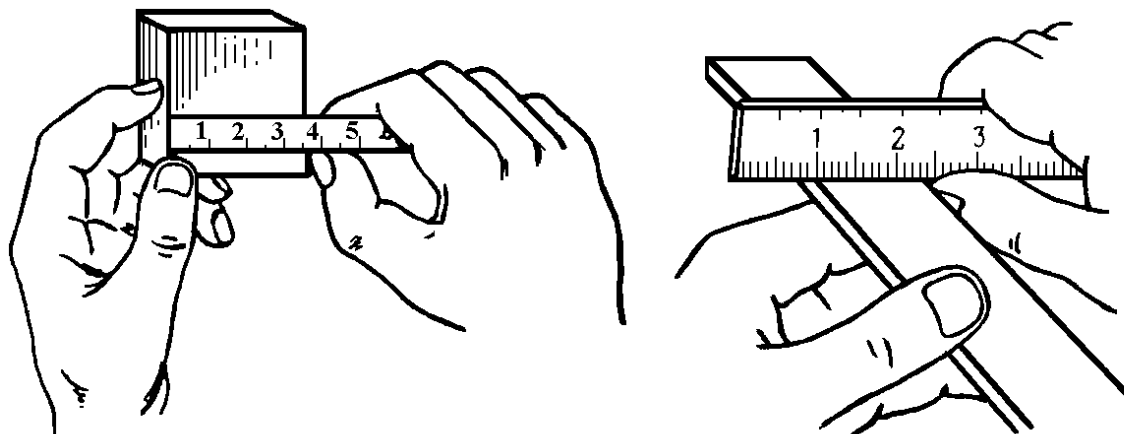


Рис.4. Измерение линейкой

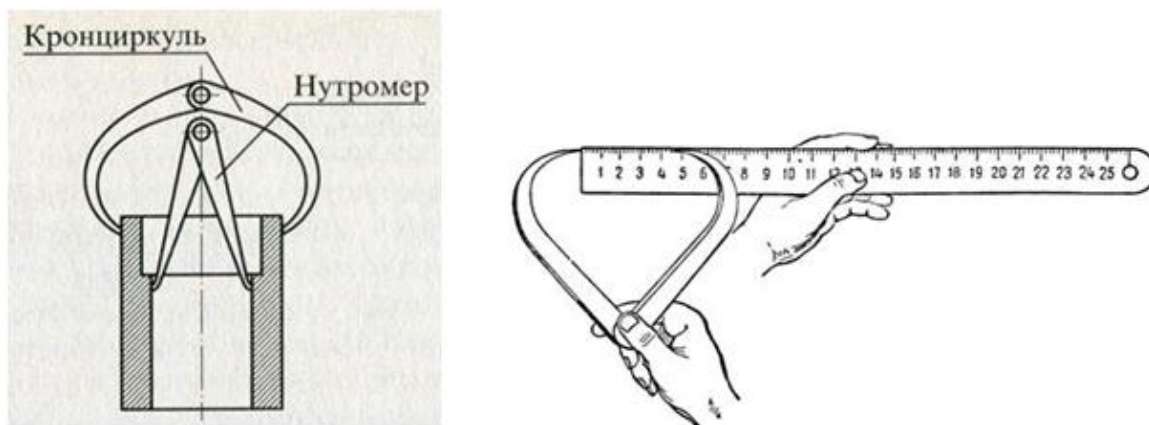
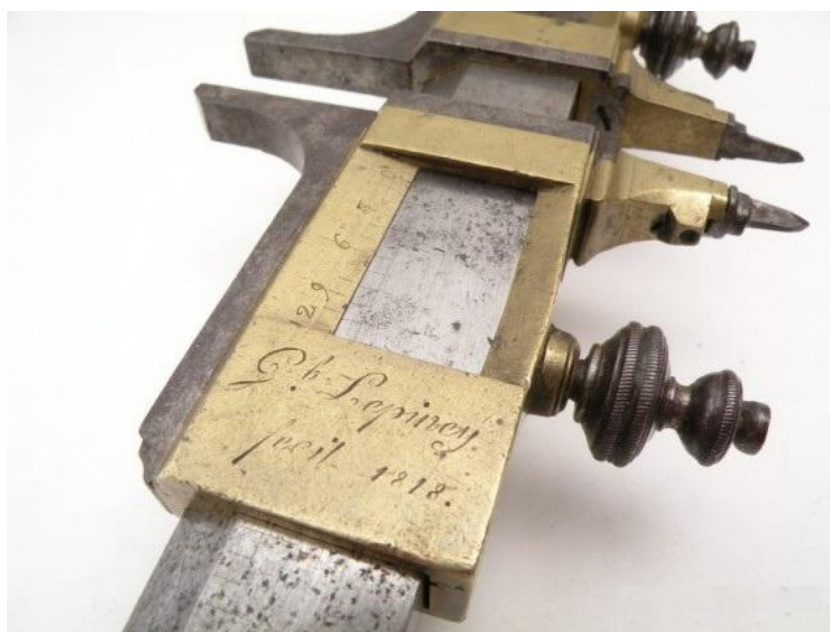


Рис.5. Измерение с помощью кронциркуля и линейки

В конце XVIII века в Англии появились металлические штангенциркули, которые вместе с основной шкалой содержали и дополнительную, которая использовалась для определения доли неполного деления шкалы в размере. В XVI веке португальский математик Педро Нуниш при разработке угломерного прибора для определения высоты светил над горизонтом использовал новый подход для повышения

точности отсчета показаний, основанный на том, что глаз человека куда более точно способен определить совпадение делений на шкалах, чем долю неполного деления на глаз. Это и легло в основу нониуса, который был назван в его честь. В 1631 г. шкала Нониуса была усовершенствована французом Пьером Вернье и именно его некоторые исследователи считают её создателем. Шкала нониуса позволила повысить точность измерений до десятых и даже до сотых долей миллиметра. На рис.6 показан старинный французский штангенциркуль 1818 года, а на рис.7 современные штангенциркули.



*Рис.6.* Штангенциркуль начала XVIII века

Следующим шагом в процессе совершенствования линейных измерений стало изобретение микрометра, инструмента основанного на использовании механизма винтовой пары. Первый патент на микрометр как самостоятельное средство измерений был выдан во Франции Ж.-Л. Пальмеру в 1848 году как на «винтовой штангенциркуль с круговым нониусом». Новый инструмент позволял измерять наружные размеры деталей с точностью до сотых долей миллиметра. Однако в то время, при обработке материалов такая точность не требовалась, и новый

измерительный прибор не нашел применения. Только в 1867 году американские инженеры Джозеф Браун и Луснан Шарпе начали



Рис.7. Современные штангенциркули



Рис.8. Микрометры фирмы Brown&Sharpe

промышленное производство микрометров. На рис.8 показан один из первых образцов микрометров фирмы Brawn&Sharpe и современный микрометр этого же производителя.

В 1898 г. шведский изобретатель Карл Йоханссон (1864–1943) предложил использовать для контроля размеров деталей концевые меры длины, представляющие собой металлическую плитку, расстояние между параллельными поверхностями которой точно соответствовало определенному линейному размеру. Плитки разных размеров комплектовались в наборы, благодаря чему можно было составить произвольный размер из нескольких плиток. Плитки сцеплялись друг с другом благодаря свойству «притираемости». В 1911 г. фирма Йоханссон начала промышленное производство наборов плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД).

Точность измерений существенно повысилась после изобретения первых приборов для относительных измерений, с помощью которых определялся не собственно размер, а его отклонение от предварительно заданного размера. Это позволило получать результат измерения с точностью до тысячных долей миллиметра. В 1890 г. началось производство рычажных измерительных головок – миниметров. В начале XX века появились зубчатые и рычажно-зубчатые стрелочные измерительные головки. В 1937 году фирмой Йоганссон была изобретена пружинная измерительная головка (микрокатор) с ценой деления 0,1 и 0,05 мкм. Долгое время микрокаторы были самыми точными и широко применяемыми механическими приборами.

С двадцатых годов XX века начинается быстрое развитие оптических и оптико-механических приборов. В 1920 году фирмой Carl Zeiss (Германия) при участии профессора Эрнста Аббе (известного также своим основополагающим принципом Аббе) были созданы оптиметр и инструментальный микроскоп. Оптиметр был точным

прибором с ценой деления 0,001 мм диапазоном измерений  $\pm 100$  мкм и широко применялся в лабораториях и цехах для относительных измерений.

На основе схемы двухлучевого интерферометра американского физика Альберта Майкельсона, предложенной в 1892 году, в 1923 году был создан интерференционный компаратор Кестерса, для измерений концевых и штриховых мер длины в пределах до 100мм.

В 1925 году появился резьбовой компаратор-микроскоп для измерения линейных и угловых параметров наружной резьбы, предшественник универсального микроскопа, выпущенного в 1926 году. В это же время началось производство оптических делительных головок, широко применявшихся в цехах и измерительных лабораториях. В 1926 году была выпущена первая оптическая измерительная машина, а с 1930 г. началось производство проекторов.

В 1946 году инженером Уверским И.Т. (завод «Калибр», Москва) был создан контактный интерферометр с переменной ценой деления от 0,05 до 0,2 мкм. Долгое время это был самый точный контактный измерительный прибор.

В 1928 году во Франции были созданы первые пневматические измерительные приборы низкого давления с водяным манометром в качестве отсчетного устройства. В тридцатых годах в Австралии, США и Англии появились пневматические приборы высокого давления с пружинными манометрами. В 1940 году появились пневматические приборы с ротаметрами. В 1945-1955 гг. в СССР были созданы дифференциальные пневматические приборы высокого давления и разработаны основы их теории. Долгое время пневматические приборы широко применялись для контроля и сортировки деталей на группы и в качестве приборов активного контроля. Пневматические приборы имеют высокую точность измерения, легко поддаются автоматизации и

просты в эксплуатации, позволяет осуществлять точные бесконтактные измерения.

В начале XX в. появляются электроконтактные датчики, широко применявшиеся при автоматизации контроля и для сортировки деталей на группы. На базе электроконтактных датчиков и пневматических дифференциальных приборов значительно расширились работы по автоматизации контроля. С 1937 году стали выпускаться автоматизированные контрольные приспособления и контрольно-сортировочные автоматы, оснащенные электроконтактными датчиками, а с 1948 года начали выпускать сложные многомерные контрольные автоматы, оснащенные пневматическими дифференциальными преобразователями, имеющими шкалу, стрелку и командные электроконтакты.

С использованием пневматического способа измерения стали создаваться приборы для контроля в процессе обработки (приборы активного контроля) для оснащения полуавтоматических шлифовальных станков и станков-автоматов, используемых в серийном и массовом производстве.

Но технический прогресс постепенно привел к тому, что пневматические приборы стали вытесняться индуктивными приборами.

В 90-х годах прошлого века начали выпускать широкодиапазонные линейные индуктивные, емкостные, магнитные и оптоэлектронные преобразователи. Это привело к их широкому внедрению в измерительном инструменте (штангенциркули, микрометры, индикаторы и др.), микроскопах, проекторах, координатно-измерительных машинах и других приборах для координатных измерений.

В 80-ые годы XX века начали совершенствоваться измерительные оптические микроскопы и проекторы, оснащая их программным

обеспечением, цифровым отсчетом и компьютерами. В это же время появились бесконтактные лазерные интерферометры с большими диапазонами измерений и большой разрешающей способностью до сотых долей микрометра, оснащенные компьютером и цифровым отсчетом.

Вершиной прогресса в области технических измерений стали координатно-измерительные машины (рис.9).



Рис.9. Координатно-измерительная машина

Это интеллектуальное автоматическое средство измерений с программным управлением, позволяющее определять размеры длин и углов, отклонения формы от круглости, цилиндричности, прямолинейности, плоскостности и отклонения взаимного расположения поверхностей от параллельности, перпендикулярности, пересечения осей, симметричности практически любых деталей с одной установки. На КИМ измеряют сложные корпусные детали, например, блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания, штампы, пресс-формы, турбинные лопатки, зубчатые колеса и даже кузова автомобилей. Это имеет большое значение в современном высокоавтоматизированном и безлюдном производстве, оснащённом станками с ЧПУ.

### **Контрольные вопросы**

1. Что представляли собой первые средства измерения длины?
2. Кто изобрел первое автоматизированное средство измерений?
3. В каком году появились первые линейки в России?
4. В каких случаях при измерениях использовали кронциркули и нутромеры?
5. Кто считается изобретателем шкалы нониуса?
6. В каком году началось промышленное производство микрометров?
7. Кто предложил использовать при измерении длин концевые меры?
8. С появлением каких приборов стало возможным существенно повысить точность измерений?
9. Чем знаменит профессор Эрнст Аббе?



10. Какой измерительный прибор изобрел российский инженер И.Т.Уверский?
11. В каком году началось производство оптических делительных головок и оптических измерительных машин?
12. Какие средства измерений являются самыми прогрессивными в настоящее время?

## **2. Термины и определения**

Согласно РМГ 29-2013 «Метрология. Основные термины и определения» средства измерений входят в более широкое понятие «средства измерительной техники»[59]. Средство измерительной техники – это обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений. Оно включает в себя средства измерений, эталоны, измерительные системы, измерительные установки, измерительные принадлежности, средства сравнения, стандартные образцы и т.д. (рис.10).

Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики. Метрологической называется характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений.

Средство сравнения – техническое средство или определенная среда, посредством которых возможно выполнять сравнение друг с другом мер однородных величин или показания измерительных приборов. Частным случаем средства сравнения является компаратор, т.е. средство измерения, предназначенное для сличения мер однородных величин, измерительных преобразователей и измерительных приборов.



Рис.10. Терминологическая схема

Примеры средств сравнения:

- рычажные весы, на одну чашку которых устанавливается эталонная гиря, а на другую поверяемая являются средством для их сравнения;
- жидкость для сравнения показаний ареометров служит необходимой средой для градуировки;
- температурное поле, создаваемое термостатом для сравнения показаний термометров, является средой сравнения.

Измерительные принадлежности – вспомогательные средства, служащие для обеспечения необходимых условий для выполнения измерений с требуемой точностью. Измерительные принадлежности предназначены для защиты от воздействия влияющих величин. Например: термостат, барокамера, специальные противовибрационные фундаменты, устройства, экранирующие влияние электромагнитных полей, тренога для установки прибора по уровню.

Мера – средство измерений, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит величины одного или более данных родов, с приписанными им значениями. Например: эталонная гиря, линейная шкала (линейка), концевая мера длины, меры твердости (минералы различной твердости по шкале Мооса), аттестованный стандартный образец. Мера может выступать в качестве эталона.

Эталон – средство измерительной техники, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины или шкалы измерений.

Измерительный преобразователь – средство измерений или его часть, служащее для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия. Например: вольтметр, микрометр, термометр, электронные весы.

Измерительная установка – это совокупность функционально объединенных и расположенных в одном месте мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких величин.

Измерительная система – это совокупность средств измерений и других средств измерительной техники, размещенных в разных точках объекта измерения, функционально объединенных с целью измерений одной или нескольких величин, свойственных этому объекту. Например: измерительная система теплоэлектростанции, позволяет получать измерительную информацию о значении технологических параметров в различных энергоблоках.

## Контрольные вопросы

13. В каком документе регламентированы термины и определения обязательные для применения в метрологии?
14. Дайте определение средства измерительной техники.
15. Что относится к средствам измерительной техники?
16. Дайте определение средства измерений.
17. Для чего предназначены средства сравнения?
18. Дайте определение меры?
19. Чем эталон отличается от меры?
20. Какая особенность превращает средство измерений в измерительный прибор?

## Рекомендуемая литература

1. РМГ 29–2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации ГСИ. «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения». – Москва: Изд-во стандартов, 2013. – 45 с.

## 3. Меры и эталоны

Меры, как указывалось выше, предназначены для хранения и воспроизведения физических величин определенных размеров. Операцию воспроизведения величины заданного размера можно формально представить как преобразование цифрового кода  $N$  в заданную физическую величину  $X_m$ , основанное на единице данной физической величины  $[Q]$ . Уравнение преобразования можно записать в виде  $X_m = N [Q]$ .

Выходом меры является квантованная аналоговая величина  $X_M$  заданного размера, а входом следует считать числовое значение величины  $N$  (рис. 11).

Меры подразделяют на следующие типы:

- однозначные, воспроизводящие физическую величину одного размера, например: гиря 1 кг (рис.12,а), плоскопараллельная концевая мера длины 100 мм (рис.12,б), конденсатор постоянной емкости;
- многозначные, воспроизводящие физическую величину разных размеров, например: металлическая линейка (рис.12,в), конденсатор переменной емкости.

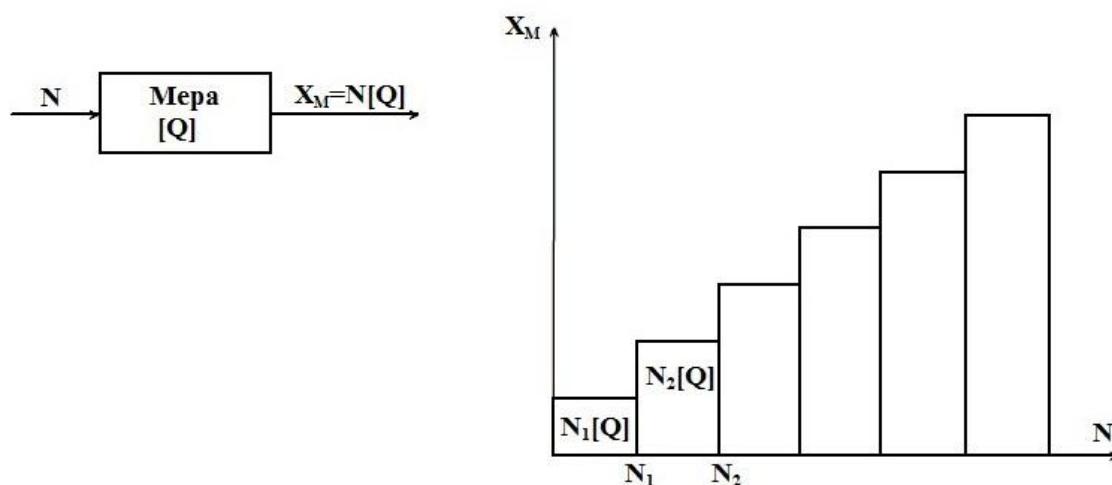


Рис.11. Обозначение меры в структурных схемах и функция преобразования многозначной меры

Меры выпускаются, как единичными экземплярами, так и наборами (рис.12,д). Набор мер конструктивно оформленный, как одно устройство, имеющее возможность объединять их в различных

Меры выпускаются, как единичными экземплярами, так и наборами (рис.12,д). Набор мер конструктивно оформленный, как одно устройство, имеющее возможность объединять их в различных

комбинациях, называют магазином мер. Мерами могут комплектоваться средства измерения для их настройки. В этом случае меры называют установочными. Например, установочные меры для гладких микрометров с нижним пределом измерения свыше 25 мм (рис.12,г).

Степень совершенства меры определяется постоянством размера каждой ступени квантования  $[Q]$  и степенью многозначности, т.е. числом  $N$  воспроизводимых известных значений ее выходной величины. С наиболее высокой точностью посредством мер воспроизводятся основные физические величины: длина, масса, частота, напряжение и ток.

Если мера используется для передачи единицы величины, то она выполняет функции эталона. Эталон в отличие от меры предназначен не только для воспроизведения и хранения единицы величины, но и для её передачи. Таким образом, эталон выполняет три функции воспроизведение, хранение и передачу единицы величины.

Воспроизведение единицы величины – это совокупность операций по материализации единицы величины с помощью первичного эталона.

Хранение единицы – это совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, воспроизводимой, хранимой и передаваемой данным эталоном.

Передача единицы величины – это приведение размера величины, хранимой средством измерений, к единице величины, воспроизводимой или хранимой эталоном данной единицы величины или стандартным образцом.

Эталоны принято делить на первичные и вторичные, эталоны сравнения и рабочие эталоны. Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы величины с наивысшей точностью. Вторичный получает единицу величины непосредственно от

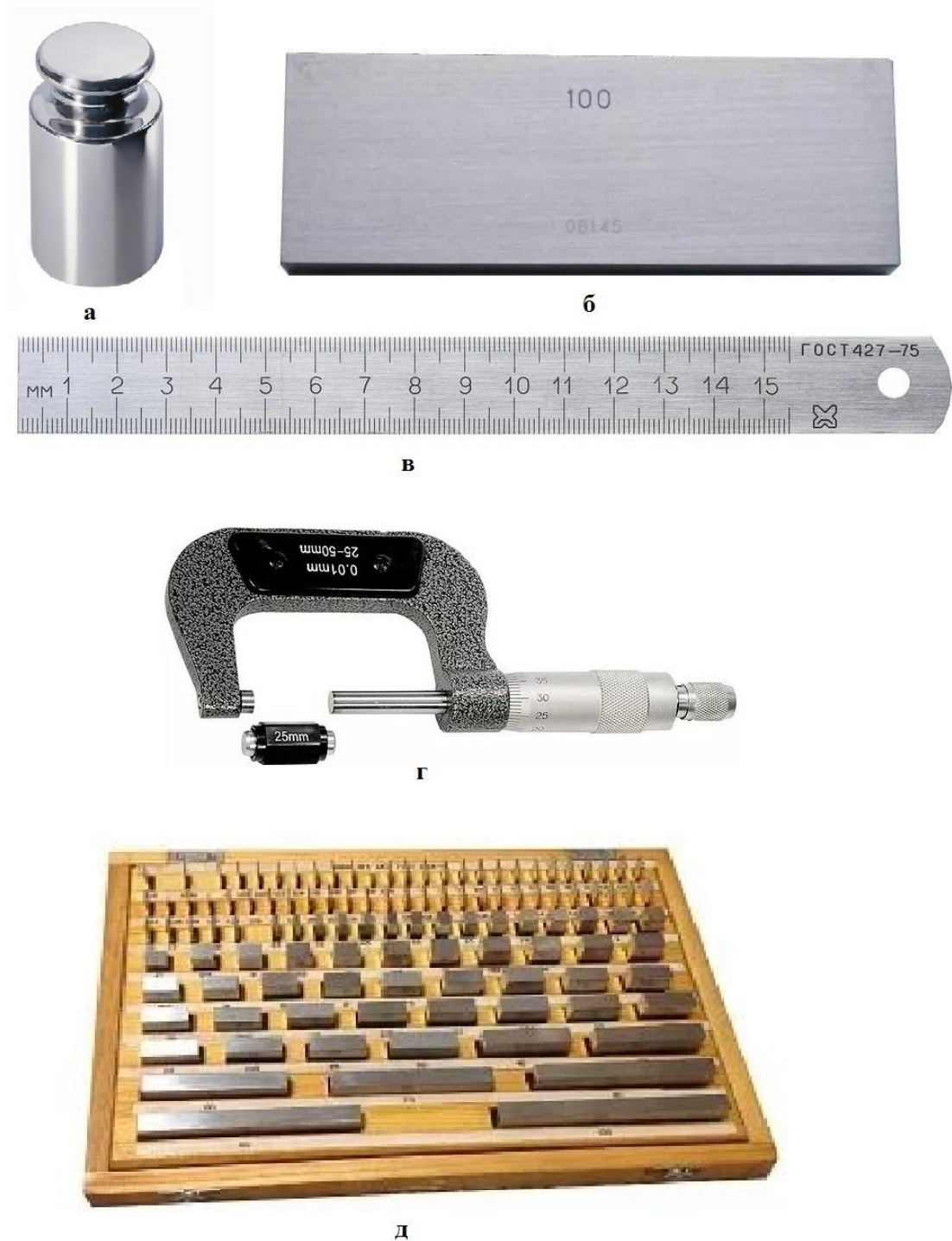


Рис.12. Меры

первичного эталона этой величины. Эталон сравнения применяется для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом. Рабочий эталон предназначен для передачи единицы величины или шкалы измерений средствам

измерений. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ...). В этом случае передачу единицы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При этом от последнего рабочего эталона в цепочке единицу передают средству измерения.

### **Контрольные вопросы**

1. Что принимается в качестве входа и выхода меры?
2. Чем отличается многозначная мера от однозначной? Приведите примеры однозначных и многозначных мер.
3. Дайте определения понятиям: хранение, воспроизведение и передача единицы величины.
4. Как классифицируются эталоны?
5. В каких случаях следует применять эталоны сравнения?

### **4. Измерительные преобразователи**

Процесс измерения связан с получением и обработкой информации об объекте измерения. Физический носитель информации, один или несколько параметров, которого функционально связаны с измеряемой величиной, принято называть измерительным сигналом. При прохождении по измерительной цепи измерительный сигнал подвергается преобразованиям в специальных устройствах – измерительных преобразователях.

По расположению в измерительной цепи измерительные преобразователи подразделяются на первичные и промежуточные. Первичным называют преобразователь, на который непосредственно



воздействует материальный объект или явление, являющееся носителем величины, подлежащей измерению. Все прочие преобразователи называют промежуточными. Конструктивно обособленный первичный преобразователь или совокупность первичного и других измерительных преобразователей называют датчиком.

Основной метрологической характеристикой измерительного преобразователя является функция преобразования  $X=F(x)$ , определяющая зависимость выходного сигнала  $X$  от входного сигнала  $x$ .

Наиболее типичными являются следующие виды измерительных преобразований:

- изменение физического рода преобразуемой величины (жидкостный термометр);
- масштабное линейное преобразование (микроскоп измерительный);
- масштабное-временное преобразование (самописец);
- иное функциональное преобразование.

По характеру преобразования измерительные преобразователи подразделяются на аналоговые (на входе аналоговый сигнал – на выходе также аналоговый сигнал), аналого-цифровые (на входе аналоговый сигнал – на выходе цифровой сигнал) и цифро-аналоговые (на входе цифровой сигнал – на выходе аналоговый сигнал).

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение измерительного преобразователя.
2. Как классифицируются измерительные преобразователи по расположению в измерительной цепи?
3. Как классифицируются преобразователи по виду измерительного преобразования?

4. Как классифицируются измерительные преобразователи по характеру преобразования?

## 5. Средства измерений

Для отнесения технического средства к средствам измерения необходимо выполнение двух условий:

- средство должно использоваться для измерения, т.е. для экспериментального определения значения определенной величины;
- средство должно иметь нормированные метрологические характеристики.

Значение величины – это выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц по соответствующей шкале измерений. То есть значение величины определяется посредством сравнения величины с её единицей или соотношения со шкалой. В общем случае средство измерения состоит из одного или нескольких измерительных преобразователей, однозначной или многозначной меры и средства сравнения (рис.13).



Рис.13. Обобщенная структурная схема средства измерений

Входной измерительный сигнал  $x$  от объекта измерения поступает на вход первичного измерительного преобразователя и далее через совокупность промежуточных измерительных преобразователей в преобразованном виде  $X=F(x)$  на первый вход средства сравнения. При отсутствии совокупности измерительных преобразователей сигнал  $x$  поступает непосредственно на первый вход средства сравнения. Сигнал на второй вход средства сравнения поступает с выхода меры.

Средство сравнения позволяет установить соотношение между величинами преобразованного  $X=F(x)$  или не преобразованного измерительного сигнала  $X=x$  с сигналом формируемым мерой  $X_m$ .

Возможные результаты сравнения:

- $X < X_m$ ;
- $X > X_m$ ;
- $X = X_m$ .

Точное совпадение  $X$  и  $X_m$  встречается достаточно редко, так как сигнал  $X$  может принимать любые значения, а сигнал  $X_m$  квантован и может принимать только значения кратные  $[Q]$ . Результат сравнения указывает на необходимость увеличения или уменьшения цифрового кода меры для выполнения условия  $|X - X_m| < [Q]$ . В качестве результата измерения может использоваться как значение цифрового кода меры  $Y = N$ , так и аналоговая величина  $Y = X_m$ .

Простейшим примером средства измерений является линейка (рис.12,в), представляющая собой многозначную штриховую меру длины. В процессе измерения длины произвольного объекта оператор совмещает торец линейки с одной гранью объекта и производит отсчет по делению шкалы линейки точно или приблизительно совпадающему с противоположной гранью. В этом примере средство измерений состоит

только из многозначной меры. Измерительный преобразователь отсутствует, а функции средства сравнения берет на себя оператор.

Средства измерений подразделяются на виды и типы.

Вид средств измерений – это совокупность средств измерений, предназначенных для измерений определенной физической величины [59]. Например: средство измерений силы электрического тока, линейных или угловых размеров и т.д.

Тип средств измерений – это совокупность средств измерений одного и того же назначения, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации [59]. Например: линейка, штангенциркуль, микрометр для измерений линейных размеров.

Средств измерений, используемые в различных отраслях науки и техники, чрезвычайно многообразны, однако можно выделить некоторые общие признаки, присущие всем средствам измерений независимо от области применения. Эти признаки положены в основу различных классификаций СИ.

По метрологическому назначению различают эталонные или метрологические и рабочие средства измерений. Эталонные или метрологические средства измерений используются для передачи размера единицы физической величины другим эталонным или рабочим средствам измерений, т.е. предназначены для обеспечения единства измерений, а рабочие используются непосредственно для определения размера искомой физической величины и не связаны с передачей размера единицы величины.

По уровню автоматизации средства измерений подразделяются на ручные или неавтоматизированные, автоматизированные и автоматические. При использовании ручных средств измерений все измерительные операции выполняются вручную оператором,

автоматизированных – часть операций выполняется с участием оператора, а часть без участия, автоматических – все операции выполняются без участия человека.

По уровню стандартизации различают стандартизованные и не стандартизованные средства измерений. Большинство средств измерений являются стандартизованными, то есть изготавливаются в соответствии с требованиями стандартов. Не стандартизованные средства измерений выпускаются предприятиями и организациями в единичных экземплярах, и предназначены для решения специальных измерительных задач, не требующих стандартизации требований к их изготовлению и эксплуатации.

По отношению к измеряемой величине средства измерений принято делить на основные и вспомогательные. Основные предназначены для измерения величины, которую необходимо определить в соответствии с измерительной задачей, а вспомогательные предназначены для измерения величин, влияние которых на средство измерений или объект измерения необходимо учитывать для обеспечения требуемой точности результата основного измерения.

Более сложной является классификация средств измерений по выполняемым функциям (рис.14).

Элементарные средства измерений реализуют одну из элементарных измерительных операций (хранение и/или воспроизведение размера величины, преобразование измерительного сигнала), а комплексные средства измерений предназначены для реализации всей процедуры измерений.



Рисунок 14 – Классификация средств измерений по выполняемым функциям

### Контрольные вопросы

1. Какие условия должны быть выполнены для отнесения технического средства к средствам измерений?
2. Дайте определение значения величины?
3. Приведите обобщенную схему средства измерений.
4. Что такое вид и тип средства измерений?
5. На какие группы по метрологическому назначению делятся все средства измерений?
6. Как классифицируются средства измерений по уровню автоматизации?
7. В чем отличие основных средств измерений от вспомогательных?

## Рекомендуемая литература

1. РМГ 29–2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации ГСИ. «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения». – Москва: Изд-во стандартов, 2013. – 45 с.

### **6. Метрологические характеристики средств измерений**

Метрологической называется характеристика одного из свойств средства измерений, оказывающая влияние на результат измерения. Свойство средства измерения сохранять неизменными с течением времени метрологические характеристики называется стабильностью средства измерений. Стабильность может быть выражена интервалом времени, в течение которого метрологическая характеристика изменится на установленное значение, или изменением характеристики за установленный интервал времени (нестабильностью средства измерений).

ГОСТ 8.009-84 «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» [27] подразделяет метрологические характеристики на несколько групп, наиболее важными из которых являются:

- характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (например, цена деления шкалы измерительного прибора);
- характеристики погрешностей средств измерений (например, значение систематической составляющей погрешности средства измерений);
- характеристики чувствительности средств измерений к влияющим величинам (например, изменение значений метрологической

характеристики средства измерений вызванное изменением влияющих величин в установленных пределах).

Совокупность метрологических характеристик средства измерений, влияющих на точность измерений, принято называть точностными характеристиками средств измерений. К точностным характеристикам относятся погрешность средства измерений, его нестабильность, смещение нуля и др.

Погрешность средства измерений – это разность между показанием средства измерений и известным действительным значением величины. Наибольшее значение погрешности, установленное в нормативной документации для данного типа средств измерений при котором оно еще признается метрологически исправным, называется пределом допускаемой погрешности средства измерений. Метрологически исправным считается средство измерений, у которого все нормируемые метрологические характеристики соответствуют установленным требованиям.

Постоянная или закономерно изменяющаяся погрешность средства измерений называется систематической, а случайно изменяющаяся случайной погрешностью средства измерений. Систематическая погрешность разных экземпляров средства измерений одного типа, как правило, различна.

Основной погрешностью называется погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях, а дополнительной – составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального значения или ее выхода за пределы нормальной области значений.

Инструментальная неопределенность – составляющая неопределенности измерений, обусловленная применяемым средством



измерений. Инструментальную неопределенность, как правило, определяют при калибровке средства измерений. Информация, касающаяся инструментальной неопределенности, может быть приведена в спецификации средства измерений.

Как было указано выше, измерительный прибор информацию об измеряемой величине представляет в форме доступной для непосредственного восприятия человеком. Если информация представлена в визуальной форме, то измерительный прибор называют показывающим. К основным метрологическим характеристикам показывающих измерительных приборов относят характеристики их шкал (рис.15).

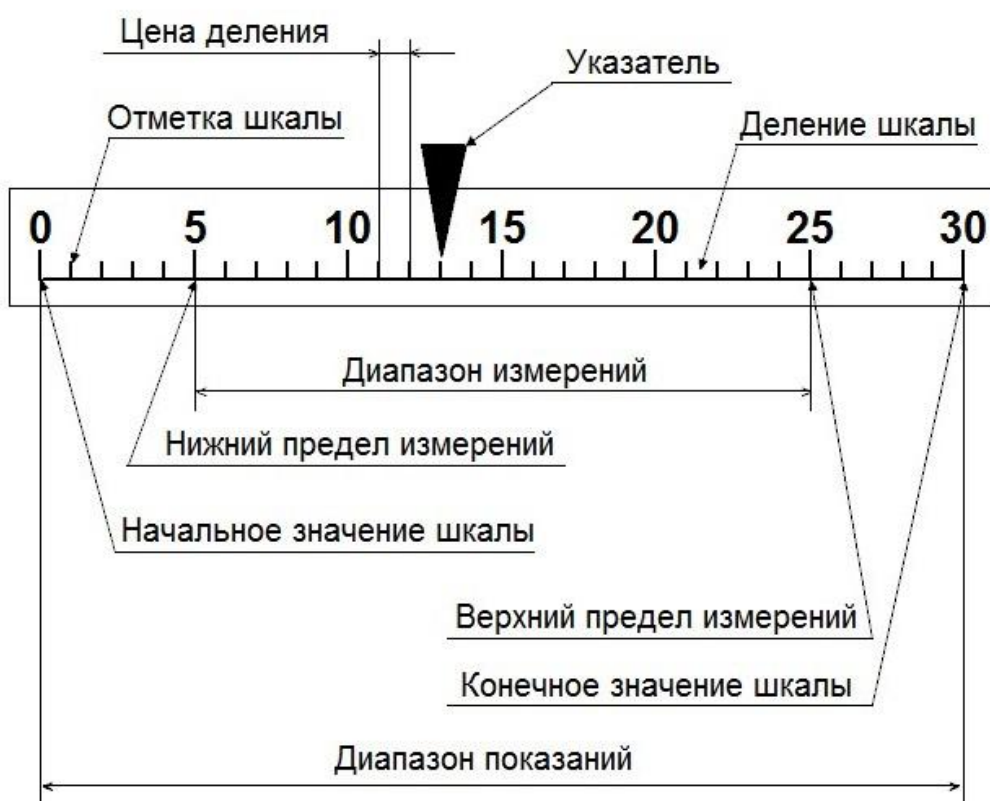


Рис.15. Характеристики шкал измерительных приборов

Шкала измерительного прибора – часть средства измерений, представляющая собой упорядоченный набор меток вместе со

значениями соответствующей величины. Длина линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы и ограниченная начальной и конечной метками, называется длиной шкалы. Линия может быть как прямолинейной, так и криволинейной.

Участок шкалы ограниченный двумя соседними отметками называется делением шкалы.

Цена деления шкалы – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

Начальное значение шкалы – наименьшее значение величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений (например, для медицинского термометра начальным значением шкалы является  $34,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Конечное значение шкалы – наибольшее значение величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений (например, для медицинского термометра конечным значением шкалы является  $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Указатель – это часть отсчетного устройства, положение которого относительно отметок шкалы определяет показание измерительного прибора, то есть определяет значение величины, формируемое средством измерений. Указатель, как правило, выполняется в виде подвижных стрелок разной формы. Область значений шкалы измерительного прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы называется диапазоном показаний.

Диапазон измерений – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений с указанными инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.

Вариация показаний измерительного прибора – это разность показаний в одной и той же точке диапазона измерений при плавном

подходе к этой точке со стороны меньших и больших значений измеряемой величины.

Порог чувствительности средства измерений – наименьшее значение изменения величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством измерения. Например, если изменение массы, которое вызывает перемещение стрелки весов, составляет 10 мг, то порог чувствительности весов равен 10 мг.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие характеристики средств измерений называют метрологическими?
2. Что такое стабильность средства измерений?
3. На какие группы принято подразделять метрологические характеристики?
4. Дать определение погрешности измерения.
5. В чем отличие основной погрешности от дополнительной?
6. В чем отличие систематической погрешности от случайной?
7. Перечислите и дайте определения характеристик шкал измерительных приборов.
8. Чем диапазон показаний отличается от диапазона измерений?
9. Что такое вариация показаний измерительного прибора?
10. Что такое порог чувствительности средства измерений?

### **Рекомендуемая литература**

1. РМГ 29–2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации ГСИ. «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения». – Москва: Изд-во стандартов, 2013. – 45 с.

2. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 27 с.

## 7. Концевые меры длины

Впервые использовать для измерений и контроля стальные плитки в форме прямоугольного параллелепипеда, расстояние между двумя рабочими параллельными гранями которого точно соответствовало определенному размеру, предложил в 1890 году шведский изобретатель Карл Йоханссон. Благодаря тщательной обработке рабочих поверхностей плитки могли сцепляться между собой, образуя блоки требуемого размера. Свойство плиток «прилипать» одна к другой при наведении или прикладывании называется притираемостью (рис.16).

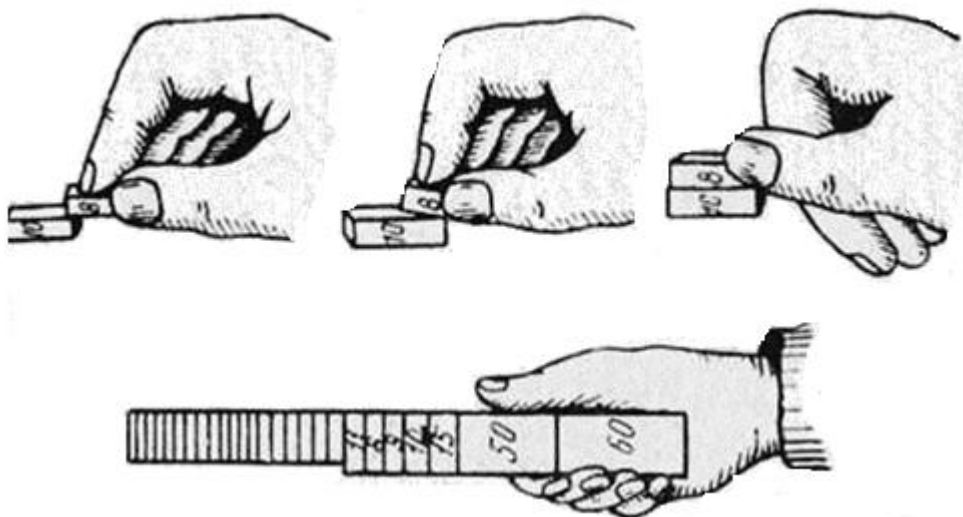


Рис.16. Сборка блока из концевых мер

Притираемость – свойство измерительных поверхностей концевой меры, обеспечивающее прочное сцепление концевых мер между собой, а также с плоской металлической, стеклянной пластинами при прикладывании или наведении одной концевой меры на другую или

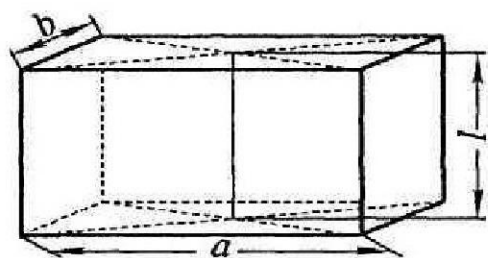
концевой меры на пластину. Сцепление мер вызывается межмолекулярными силами сцепления при наличии тонкой пленки смазки между измерительными поверхностями плиток. Сила сцепления плиток достаточно велика, поэтому блок может выдержать боковую нагрузку. Чем меньше шероховатость и больше твердость измерительных поверхностей, тем лучше притираемость.

Плоскопараллельные концевые меры длины производятся в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 9038-90 «Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия» [33]. Концевые меры предназначены для использования в качестве рабочих мер при настройке и регулировке средств измерения, а также непосредственно при измерении размеров. Меры также могут использоваться в качестве эталона для передачи размера единицы длины при поверке или градуировке измерительных приборов.

Концевые меры выпускаются в форме прямоугольного параллелепипеда с размерами поперечного сечения  $a \times b$  (рис. 17,а), которые зависят от номинального размера: 15x5; 20x9; 30x9; 35x9.

За размер плоскопараллельной концевой меры длины принимается ее срединная длина  $l$ . Срединная длина концевой меры – длина перпендикуляра, опущенного из центра одной измерительной поверхности на противоположную измерительную поверхность.

На нерабочих поверхностях концевых мер длиной более 100мм на расстоянии  $0,211l$  от обоих их концов наносятся риски (рис.17, б), определяющие места опор при использовании концевой меры в горизонтальном положении. При установке опор в этих точках отклонение от параллельности измерительных поверхностей концевой меры от прогиба под действием собственного веса будет наименьшей. Для соединения больших и некоторых других мер в блоки с помощью стяжек на расстоянии 25мм от измерительных поверхностей



a)



б)

Рис.17. Размеры и конструктивные особенности плоскопараллельных концевых мер длины

предусматриваются отверстия диаметром 12 мм (рис.17, б).

На каждой концевой мере должно быть нанесено значение ее номинальной длины. На концевых мерах длиной 5,5 мм и менее значение номинальной длины наносится на измерительную поверхность и должно быть максимально удалено от середины измерительной поверхности с тем, чтобы в ее центральной части зона длиной 9 мм оставалась свободной от надписей. На концевых мерах длиной более 5,5 мм значение номинальной длины и товарный знак предприятия-изготовителя должны быть нанесены на нерабочей поверхности.

Концевые меры длины изготавливаются из стали или твердого сплава. Твердость измерительных поверхностей мер из стали должна быть не ниже 800HV. Температурный коэффициент линейного

расширения материала концевых мер из стали на 1 м должен быть в пределах 10,5-12,5 мкм при изменении температуры на 1°C. Шероховатость измерительных поверхностей  $Rz \leq 0,063$  мкм.

Градации и номинальные значения длин концевых мер приведены в таблице 1. Концевые меры производят классов точности 0, 1, 2 и 3.

Таблица 1

**Градации и номинальные значения длин концевых мер**

Градация концевых мер, мм	Номинальные значения длины, мм	
	от	до
–	1,0005	
0,001	0,99	1,01
	1,99	2,01
	9,99	10,01
0,005	0,40	0,41
0,01	0,1	0,7
	0,9	1,5
	2	3
	9,9	10,1
0,1	0,1	3
0,5	0,5	25
1	1	25
10	10	100
25	25	200
50	50	300
100	100	1000

При отнесении к определенному классу точности учитываются отклонение значения длины от номинальной (наибольшая по абсолютному значению разность между длиной концевой меры в любой точке и номинальной длиной концевой меры) и отклонение от плоскопараллельности (разность между наибольшей и наименьшей длинами меры). Требования по допускаемым отклонениям не распространяются на зону шириной 0,5 мм по краям измерительной поверхности, считая от нерабочих поверхностей - для мер номинальной длиной до 0,29 мм включительно и 0,8 мм - для мер номинальной длиной более 0,29 мм. В качестве примера в таблице 2 приведены

допускаемые отклонения для мер с номинальными размерами от 10 до 25 мм. Меры, используемые в качестве эталонов должны быть аттестованы с присвоением 0, 1, 2, 3 или 4 разрядов точности.

Таблица 2

Допускаемые отклонения							
длины от номинального значения $\pm$ , мкм, для классов точности				от плоскопараллельности, мкм, для классов точности			
0	1	2	3	0	1	2	3
0,14	0,30	0,60	1,20	0,10	0,16	0,30	0,30

Концевые меры выпускаются из производства в виде отдельных мер и наборов мер. Наборы комплектуются таким образом, чтобы из наименьшего числа плиток можно было собрать блок произвольного размера с точностью до 3 знака после десятичной запятой. Класс точности набора концевых мер определяется низшим классом отдельной меры, входящей в набор. Каждому набору присваивается определенный номер. В ГОСТ 9038-90 предусмотрено 19 основных наборов с №1 по №19 и 18 специальных с №20 по №37. Специальные наборы предназначены для калибровки и поверки штангенциркулей, микрометров и некоторых других средств измерения. В некоторые наборы помимо основных концевых мер включены защитные меры, которые притирают по концам блока. Они служат для предохранения основных мер набора от повреждений, износа. Применять защитные плитки нужно обязательно в том случае, если блок плиток используется многократно. Защитные плитки в отличие от остальных имеют срезанные углы и дополнительную буквенную маркировку. Размеры защитных мер 1, 2 и 50 мм. Размер защитных мер учитывается при составлении блока. Наборы №18 и №19 состоят только из пары защитных мер размером 1 мм и 2 мм соответственно.

Для формирования блоков и надежной фиксации используются наборы принадлежностей, в которые согласно ГОСТ 4119-76 «Наборы



принадлежностей к плоскопараллельным концевым мерам длины.

Технические условия » [16] входят:

- 1) державки для крепления блоков концевых мер (рис.18, а);
- 2) основание для установки блоков при разметке (рис.18, б);
- 3) стяжки для крепления блоков, включающих концевые меры размером более 100 мм (рис.18,в);
- 4) сухари зажимные для крепления стяжками блоков концевых мер с боковиками (рис.18, г);
- 5) плоскопараллельные боковики для проверки внутренних и внешних размеров (рис.18, д);
- 6) радиусные боковики (рис.18, е,ж,з);
- 7) центральной боковик (рис.18, и);
- 8) чертильный боковик (рис.18, к).

С помощью державки 1 (рис.19, а) блока 2 концевых мер и боковиков 3 можно собрать скобу или неполную пробку и измерить ими соответственно диаметр вала 4 и отверстия детали 5. С помощью державки, чертильного и центрального боковиков можно собрать циркуль для точной разметки окружности с радиусом  $r$ , равным размеру  $l$  блока концевых мер (рис.19, б).

Согласно МИ 1604-87 «Меры длины концевые плоскопараллельные. Общие требования к методикам поверки» поверка концевых мер должна проводиться при температуре 20°C и атмосферном давлении 760 мм.рт.ст. При несоответствии условий поверки номинальным значениям влияющих величин в результат должны быть внесены соответствующие поправки. Положение при поверке концевых мер длиной до 100 мм – вертикальное, а свыше 100 мм – горизонтальное. В горизонтальном положении поверяемая мера должна быть установлена узкой боковой поверхностью на две опоры, расположенные на расстоянии  $0,211L$  от концов меры.

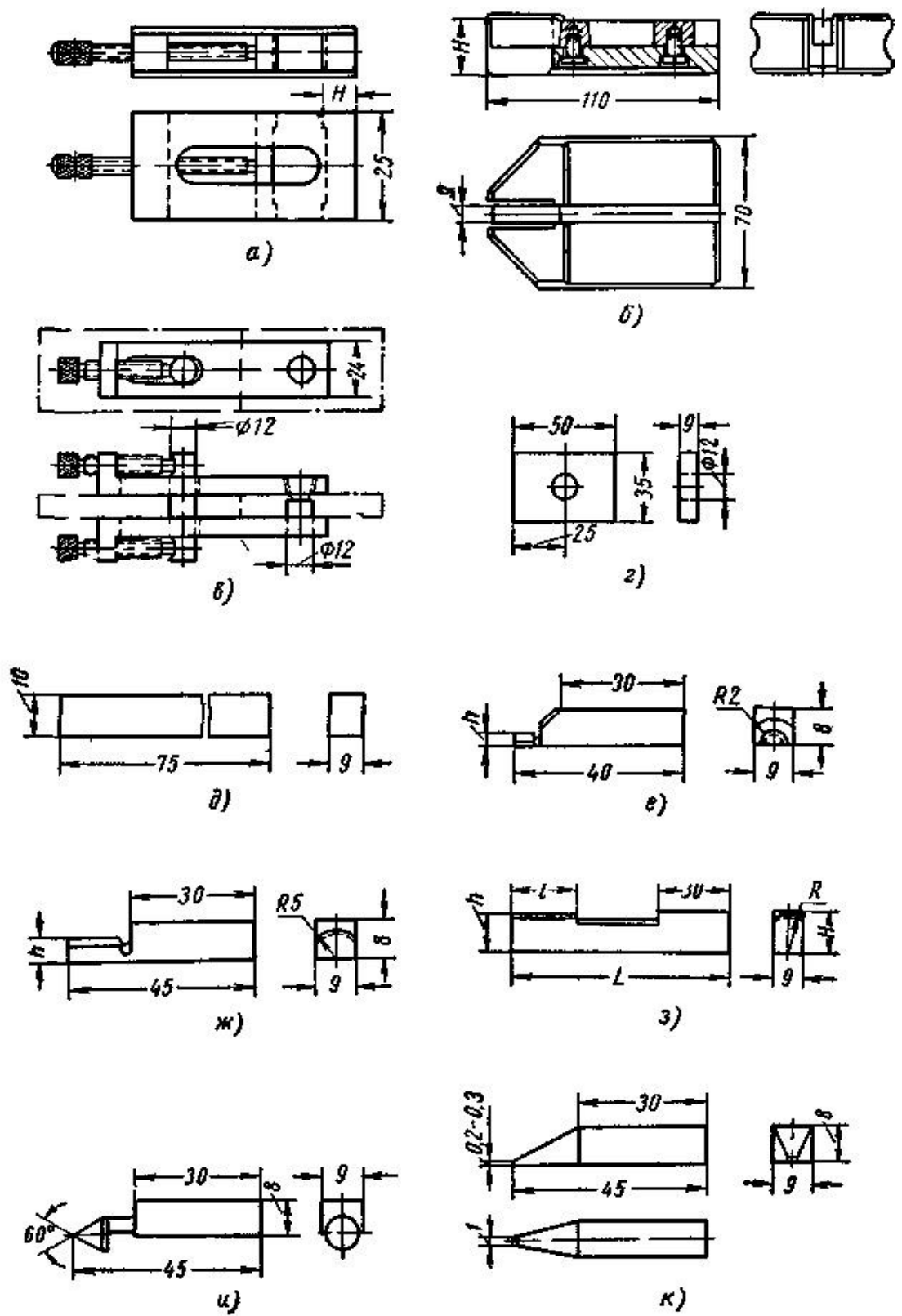


Рис.18. Принадлежности для плоскопараллельных концевых мер длины

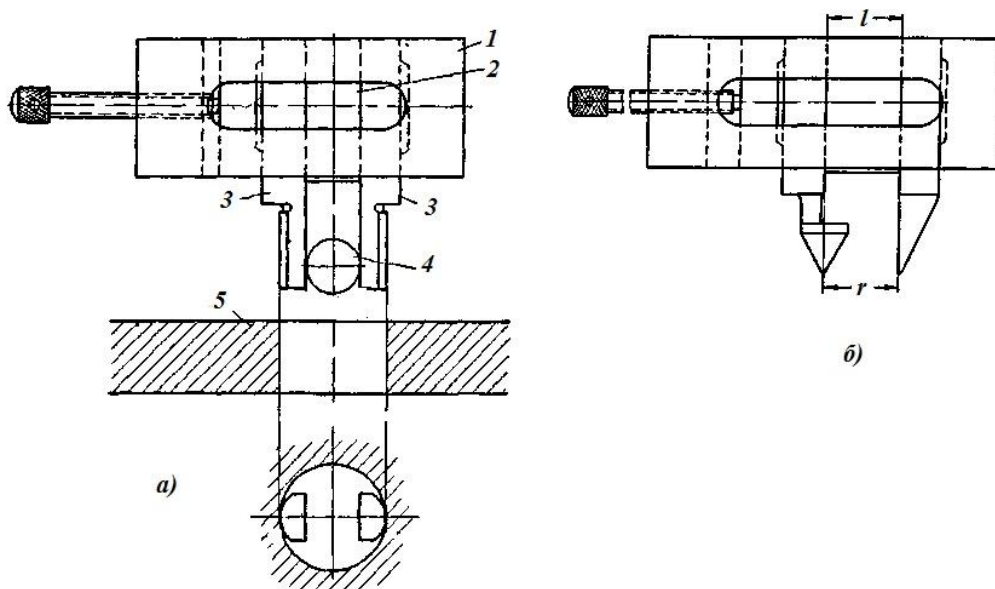


Рис.19. Примеры использования принадлежностей для концевых мер длины

Согласно МИ 2079-90 «ГСМ. Меры длины концевые плоскопараллельные образцовые 3 и 4-го разрядов и рабочие классов точности 1 - 5 длиной до 100 мм. Методика поверки» [50] методика поверки включает следующие операции:

- внешний осмотр;
- проверка притираемости к вспомогательной пластине;
- определение отклонения от плоскостности измерительных поверхностей;
- определение отклонения длины от номинальной и отклонение от плоскопараллельности;
- определение срединной длины (для образцовых мер).

При проверке притираемости меры притирают к плоской стеклянной пластине ПИ 60 класса точности 2 по ГОСТ 2923-75 сначала одной, а затем другой измерительной поверхностью. Наблюдая поверхность концевой меры через пластину, слегка прижимают пластину к концевой мере до появления интерференционных полос, увеличивая нажим на меру и осторожно перемещая ее в поперечном направлении в одну или другую сторону, добиваются постепенного их

исчезновения. Допускаются оттенки в виде светлых пятен, наблюдаемых в белом свете. Проверка притираемости мер друг к другу осуществляется только при выпуске из производства по усилию сдвига при помощи динамометра.

При определении отклонения от плоскостности измерительных поверхностей мер длиной 0,9–3,0 мм их прикладывают к стеклянной пластине и наблюдают интерференционные полосы. По величине стрелы прогиба судят о величине отклонения от плоскостности. Отклонение от плоскостности измерительных поверхностей также может быть определено с помощью поверочной лекальной линейки ЛД-50 класса точности 0 по ГОСТ 2923-75 и образца просвета. Отклонение от плоскостности не должно превышать 2 мкм. Для получения образца просвета к нижней плоской стеклянной пластине притирают три концевые меры, разность номинальных длин которых равна 2 мкм. Две одинаковые меры с большей длиной (например 1,007 мм) притирают по краям, а меру с меньшей длиной (например 1,005 мм) притирают между ними. При наложении ребра поверочной линейки на концевые меры в направлении, параллельном их короткому ребру, получаем «образец просвета» размером 2 мкм (рис.20).

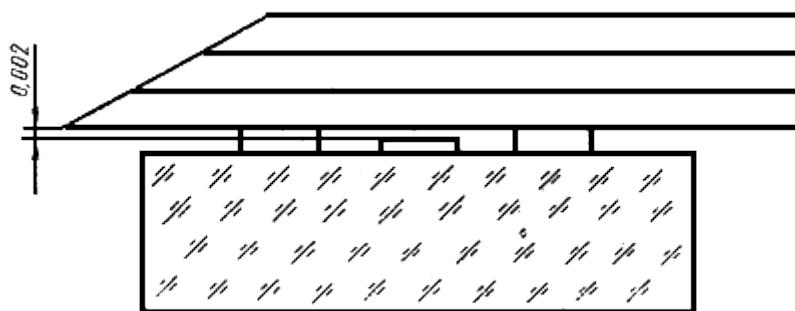


Рис.20. Образец просвета

При определении средней длины, отклонения длины от номинальной и отклонения от плоскопараллельности используют специальную индуктивную двухконтактную установку или контактные

интерферометры. При этом контактные интерферометры настраивают на цену деления 0,05 мкм для рабочих мер 1 класса точности и образцовых мер 3 разряда. Для рабочих мер 2,3,4 и 5 классов точности и образцовых мер 4 разряда интерферометры настраивают на цену деления 0,1 мкм.

Рассмотрим применение стеклянных пластин при проверке плоскостности концевой меры. При наложении стеклянной пластины на измерительную поверхность концевой меры под небольшим углом между ними образуется воздушный клин (рис.21, а). Часть падающих на пластину световых лучей будет отражаться от наружной и внутренней поверхностей стеклянной пластины, а часть — от доведенной измерительной поверхности концевой меры.

Путь луча  $S_2$  больше пути луча  $S_1$ . Разность хода этих лучей зависит от высоты воздушного клина. При монохроматическом освещении будет наблюдаться темная полоса, если разность хода лучей равна нулю или четному числу полуволн, или светлая полоса, если разность хода лучей равна нечетному числу полуволн. Таким образом, каждая полоса характеризует высоту воздушного клина в месте расположения полосы. Расстояние между серединами двух соседних темных или двух соседних светлых полос в интерференционной картине называют шириной интерференционной полосы и обозначают буквой  $b$ . При применении немонохроматического света и получении цветных полос за ширину полосы принимают расстояние между серединами двух соседних полос одинакового цвета, но неодинаковой яркости.

Разность соседних высот воздушного клина, соответствующая ширине одной интерференционной полосы, равна половине длины волны  $\frac{\lambda}{2}$ . Следовательно, при монохроматическом свете высота воздушного клина над первой от ребра клина черной полосой равна 1

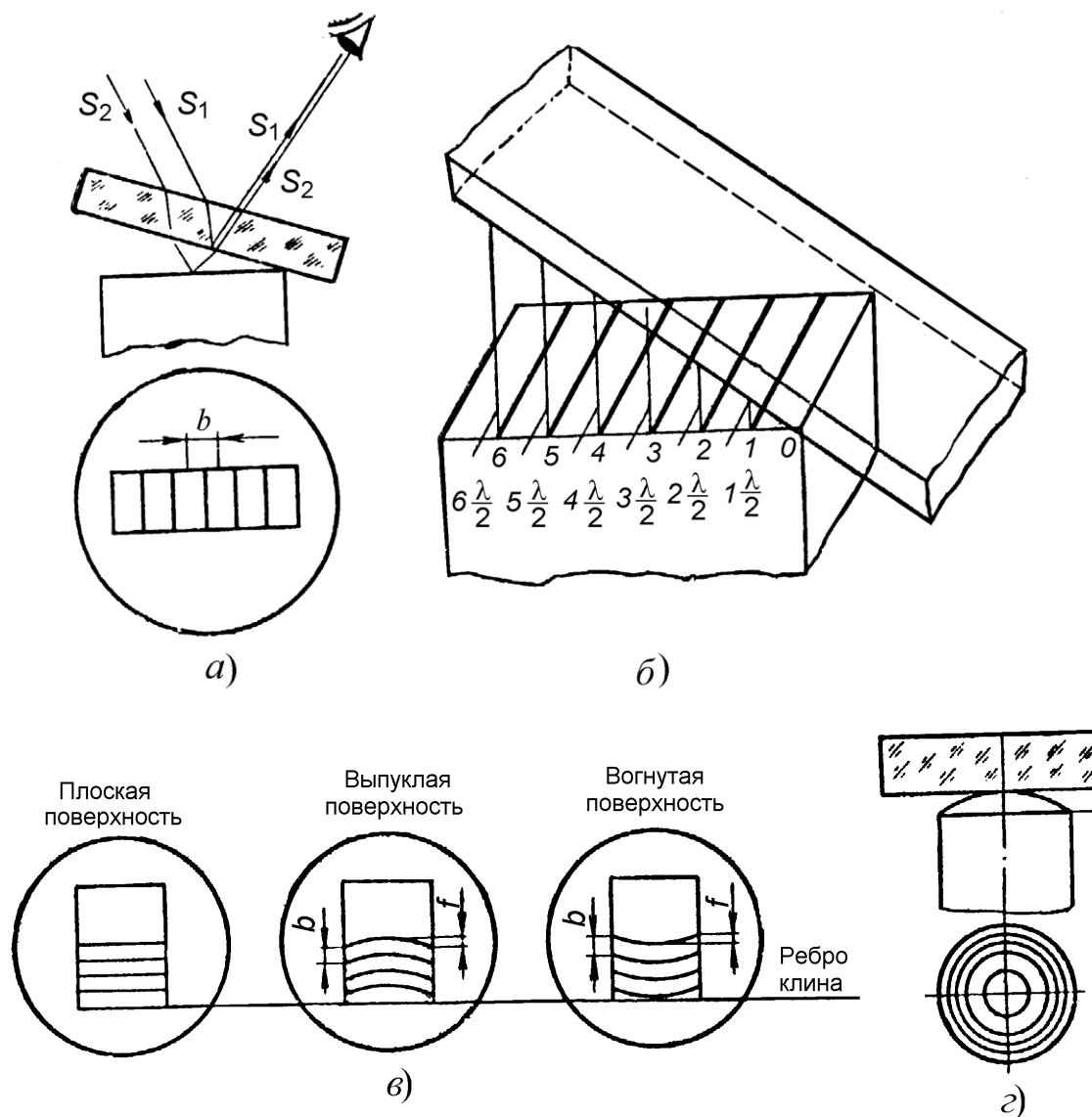


Рис.21. Интерференционные измерения плоскостности доведенных поверхностей

$\frac{\lambda}{2}$ , над второй  $2 \frac{\lambda}{2}$ , над третьей  $3 \frac{\lambda}{2}$  и т.д. (рис.21, б).

Четкая интерференционная картина наблюдается при небольших до 2 мкм высотах воздушного клина. Если наблюдатель будет пользоваться белым цветом света ( $\frac{\lambda}{2} \approx 0,3\text{мкм}$ ), то практически он увидит последними шестую или седьмую полосу, а дальше интерференционная картина будет расплываться. Шестой полосе будет соответствовать высота воздушного клина  $h_6 = \frac{\lambda}{2} 6 = 0,3 \cdot 6 = 1,8 \text{ мкм}$ , а

седьмой полосе соответственно  $h_7 = 2,1$  мкм.

На рисунке 21,в изображены интерференционные картины, получающиеся при плоской, вогнутой и выпуклой поверхностях. Если стеклянную пластину наложить на доведенную правильную сферическую поверхность (рис.21, г), то интерференционная картина будет в виде концентрических колец. Отклонение сферической поверхности от плоскостности  $h = n \frac{\lambda}{2}$  (где  $n$  - число колец).

Величина отклонения от плоскостности исследуемой поверхности выраженная в количестве полос, определяется соотношением  $\frac{f}{b}$ , где  $f$  – стрела прогиба полосы,  $b$  – ширина полосы (рис.27, в), а в микрометрах – произведением  $\frac{f}{b} \frac{\lambda}{2}$ .

### Контрольные вопросы

1. Что такое притираемость поверхностей мер?
2. Что принимается за размер концевой меры длины?
3. Для чего на мерах длиной более 100 мм наносятся риски на нерабочих поверхностях?
4. Для чего предназначены отверстия на длинных мерах?
5. Что учитывают при отнесении концевых мер к тому или иному классу точности?
6. Как определяется класс точности набора концевых мер длины?
7. Что входит в наборы принадлежностей к плоскопараллельным концевым мерам длины?
8. Какие операции включает периодическая поверка плоскопараллельных концевых мер длины?

9. Как определить величину отклонения от плоскостности рабочей поверхности меры при техническом интерференционном методе?

### **Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ 9038-90 «Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия». – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004, – 11с.
2. ГОСТ 4119-76 Наборы принадлежностей к плоскопараллельным концевым мерам длины. Технические условия. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004, – 14с.
3. МИ 2079-90. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Меры длины концевые плоскопараллельные образцовые 3 и 4-го разрядов и рабочие классов точности 1 - 5 длиной до 100 мм. Методика поверки. – Москва: ВНИИИзмерения, 1991. – 9 с.

### **8. Штриховые меры длины**

Штриховыми мерами длины называются меры, у которых значение длины определяется расстоянием между осями штрихов шкалы. Штриховые меры могут быть однозначными или многозначными. Однозначная штриховая мера имеет два штриха, расстояние между которыми определяет длину шкалы меры. Многозначная штриховая мера имеет ряд штрихов, нанесенных через определенные интервалы по всей длине меры или на отдельных ее участках. Значение длины интервала штриховой меры определяется



кратчайшим расстоянием между осями штрихов шкалы. Многозначные штриховые меры должны изготавливаться с метровыми, дециметровыми, сантиметровыми или миллиметровыми интервалами. Допускается изготовление мер с интервалами  $0,1 \cdot n$  мм на всей длине или на отдельных ее участках, где  $n$  - целое число, и с интервалами 0,25 мм.

К штриховым мерам длины относятся штриховые брусковые меры длины по ГОСТ 12069-90, измерительные металлические линейки по ГОСТ 427-75, измерительные металлические рулетки по ГОСТ 7502-98, а также складные металлические метры.

Штриховой метр 1-го разряда (штриховая мера длины тип IV по ГОСТ 12069-90) предназначен для поверки образцовых штриховых мер длины 2-го разряда и рабочих штриховых мер длины [4]. Он представляет собой жесткую монолитную металлическую линейку с двумя скошенными сторонами по всей длине и направляющим выступом в верхней части, по которому перемещаются две каретки с лупами 7-кратного увеличения (рис. 22). В направляющем выступе смонтирован термометр для контроля температурных условий измерения. На скошенных сторонах нанесены шкалы с ценой деления 0,2 (или 0,1) и 1,0 мм. По сторонам от начального и конечного штрихов каждой шкалы имеются свободные участки длиной 15 мм. Предел допускаемой погрешности для любых подразделений шкал не должен превышать  $\pm 0,020$  мм в пределах 50 мм,  $\pm 0,025$  мм в пределах половины

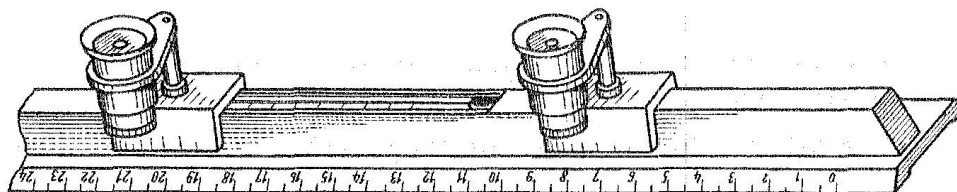


Рис.22. Штриховой метр 1-го разряда

длины шкалы  $\pm 0,050$  мм в пределах всей длины.

Линейка контрольная типа КЛ, по конструкции аналогичная штриховому метру 1-го разряда, предназначена для измерения линейных размеров в лабораторных и производственных условиях, а также для поверочных работ. В отличие от штрихового метра 1-го разряда контрольная линейка имеет предел допускаемой погрешности на всей длине шкалы с ценой деления 0,2 мм –  $\pm 0,060$  мм, а с ценой деления 1,0 мм –  $\pm 0,080$  мм. В пределах половины длины шкалы предел допускаемой погрешности в два раза меньше чем на всей длине.

Измерительные металлические линейки ГОСТ 427-75 (рис.23)

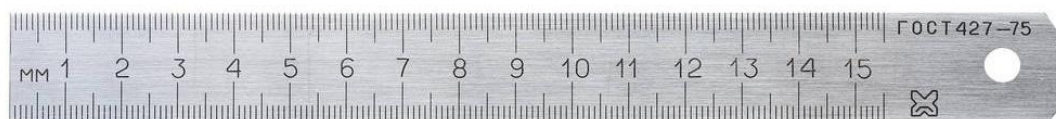


Рис. 23. Линейка измерительная металлическая

предназначены для линейных измерений путем непосредственного сравнения измеряемых размеров со шкалой меры [17]. Линейки изготовляют длиной 150; 300, 500, 1000, 1500, 2000, 3000 мм из стальной холоднокатанной термообработанной ленты с полированной поверхностью. Чтобы устранить влияние параллакса при измерениях, толщину линейек длиной до 500 мм делают равной (0,4–0,6) мм, а линейек длиной свыше 500 мм — (0,8–2,0) мм.

Началом шкалы линейки служит торцовая грань, перпендикулярная к продольному ребру линейки. Линейки за последней сантиметровой отметкой шкалы должны иметь не менее пяти добавочных миллиметровых делений. Закругленный конец линейки должен иметь для подвешивания отверстие диаметром не менее 5 мм

для линеек с пределами измерений 150, 300 и 500 мм и не менее 8 мм для линеек с пределом измерения 1000 мм и более.

Отклонения от номинальных значений длины шкалы и расстояний между любым штрихом и началом или концом шкалы не должны превышать значений, указанных в табл.3. Допускаемые отклонения длин сантиметровых делений  $\pm 0,10$  мм, миллиметровых делений  $\pm 0,05$  мм.

Таблица 3

**Отклонения от номинальных значений длины шкалы и расстояний между любым штрихом и началом или концом шкалы**

Общая длина шкалы и расстояние между любым штрихом и началом или концом шкалы, мм	Допускаемые отклонения, мм
До 300	$\pm 0,10$
Св. 300 до 500	$\pm 0,15$
» 500 » 1000	$\pm 0,20$
» 1000 » 1500	$\pm 0,25$
» 1500 » 2000	$\pm 0,30$
» 2000 » 3000	$\pm 0,60$

Для линеек длиной до 500 мм длина миллиметровых штрихов должна быть не менее 3,5 мм, полусантиметровых – 5,0 мм, сантиметровых – 6,5 мм.

Разница в длине миллиметровых, полусантиметровых и сантиметровых штрихов должна быть не менее 1,5 мм.

При проверке линеек согласно МИ 2024-75 должны выполняться следующие операции [47]:

- внешний осмотр;
- определение просвета между поверочной плитой и плоскостью линейки;
- определение отклонения от прямолинейности торцевых граней линейки;

- определение отклонения от перпендикулярности торцевых граней к продольному ребру;
- определение шероховатости поверхности торцевых граней;
- определение длин сантиметровых и миллиметровых штрихов шкалы;
- определение отклонения от номинального значения длины шкалы линейки и расстояния между любым штрихом и началом или концом шкалы линейки.

Отклонение от номинального значения длины шкалы линейки и расстояния между любым штрихом и началом или концом шкалы линейки определяют сравнением с брусковой штриховой мерой длины, аттестованной в качестве образцовой штриховой меры 3-го разряда, или контрольной линейкой. Измерение расстояния между любым штрихом и началом или концом шкалы линейки проводят не менее двух раз в трех равномерно распределенных по шкале точках для линеек 150 и 300 мм и в пяти для линеек 500 и 1000 мм. За результат измерений в каждой точке принимают среднее арифметическое значение.

ГОСТ 7502-98 распространяется на измерительные металлические рулетки 2-го и 3-го классов точности, предназначенные для измерения линейных размеров путем непосредственного сравнения со шкалой [25]. Рулетки представляют собой стальную ленту, на которой с одной стороны нанесена штриховая шкала с миллиметровыми, сантиметровыми, дециметровыми и метровыми интервалами. Рулетки изготавливают со шкалами номинальной длины 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 м.

Вытяжные концы рулеток по ГОСТ 7502-98 изготавливают с кольцом либо с грузом. Рулетки до 5 м допускается изготавливать с вытяжным концом в виде прямоугольного торца или с держателем для закрепления на объекте измерения. На рис. 24 изображена рулетка с



*Рис. 24. Рулетка измерительная металлическая*

кольцом на вытяжном конце. Рабочее усилие натяжения ленты при измерениях:  $(100\pm 10)$  Н - для рулеток длиной 10 м и более;  $(10\pm 1)$  Н для рулеток длиной 1-5 м. Для рулеток с грузом - усилие натяжения создает сам груз массой  $(20\pm 1)$  кг.

Рулетки изготавливают с началом шкалы, совпадающим с торцом измерительной ленты. Рулетки с вытяжным кольцом длиной 10 м и более, изготавливают с началом шкалы, удаленным от торца не менее чем на 100 мм. Для рулеток с грузом началом шкалы служит нижний торец груза.

Ленты рулеток изготавливают из холоднокатаных нержавеющей и углеродистых сталей. Толщина ленты от 0,12 до 0,30 мм, а ширина от 7 до 25 мм.

Допускаемые отклонения действительной длины шкал рулеток назначаются на всю длину шкалы и на отдельные ее подразделения. Допускаемое отклонение действительной длины интервалов шкал рулеток от нанесенной на шкале должно быть не более указанных в

таблице 4.

Таблица 4

Наименование интервала	Допускаемое отклонение действительной длины, не более, для класса точности	
	2	3
Миллиметровый	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$
Сантиметровый	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$
Дециметровый	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$
Отрезок шкалы 1 м и более	$\pm [0,30 + 0,15(L-1)]$	$\pm [0,40 + 0,20(L-1)]$
Примечание - L - число полных и неполных метров в отрезке.		

При измерении рулетками суммарная погрешность измерения складывается из погрешности градуировки шкалы и отсчета, температурной погрешности, а также из погрешностей, вызванных отклонением от параллельности шкалы рулетки и оси изделия, удлинением рулетки вследствие ее натяжения и провисанием рулетки.

Периодическую поверку рулеток 2-го и 3-го классов точности следует проводить по МИ 1780-87 [14]. Методика периодической поверки включает:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение отклонения общей длины и длины отдельных интервалов шкалы от номинального значения.

Длину отдельных миллиметровых, сантиметровых, дециметровых интервалов измеряют выборочно для трех-пяти интервалов каждого вида равномерно по длине ленты. Больше число измерений соответствует рулеткам длиной более 10 м. Выборочно измеряют три-пять метровых интервала.

Отклонение длины интервалов определяют сличением с образцовой измерительной лентой 3-го разряда. Общую длину и интервалы поверяемой рулетки сравнивают с соответствующими

делениями образцовой ленты при помощи лупы. Погрешность отсчета при этом не должна превышать 0,1 мм.

При отсутствии образцовой измерительной ленты 3-го разряда рулетки допускается проверять по образцовой штриховой мере 2-го разряда. При этом кромка штриховой меры должна быть параллельна кромке ленты рулетки, а начальный штрих штриховой меры должен совпадать с серединой начального штриха рулетки. В таком положении сравнивают первый метровый интервал рулетки со штриховой мерой, и по шкале штриховой меры определяют разность сравниваемых длин. После этого образцовую штриховую меру длины 2-го разряда переключают последовательно и проверяют каждый метровый интервал рулетки.

Складные металлические метры (рис.25) служат для линейных измерений путем непосредственного сравнения измеряемых размеров со шкалой метра. Метры изготовляют длиной 1000 мм (в развернутом

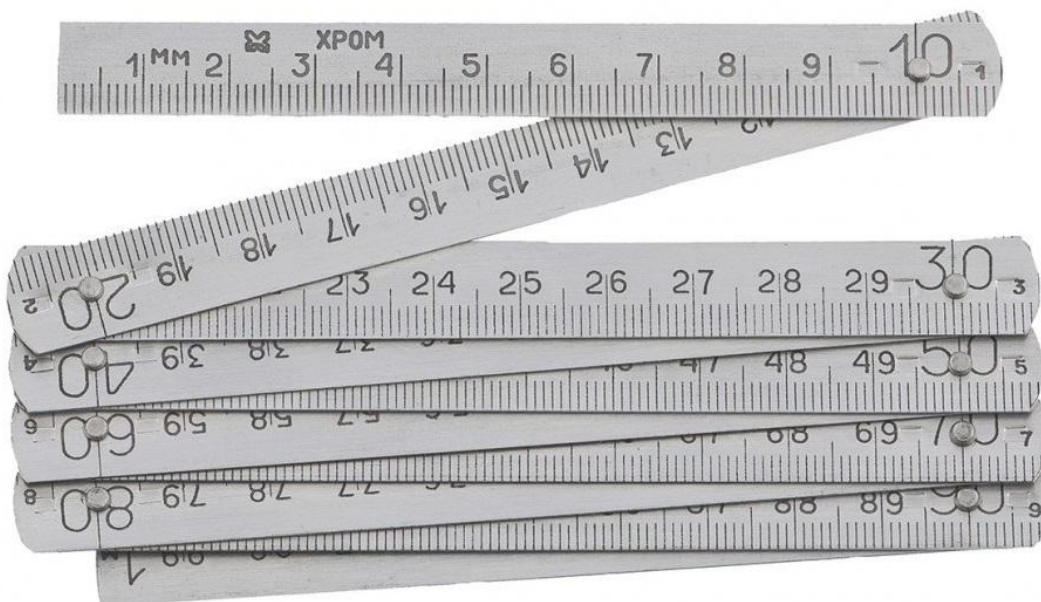


Рис. 25. Складной металлический метр

виде). Они состоят из десяти стальных упругих пластин (звеньев), шарнирно соединенных между собой. Допускаемые отклонения общей

длины метра не должны превышать  $\pm 1$  мм, а для отдельных интервалов это отклонение колеблется от  $\pm 0,2$  до  $\pm 0,5$  мм.

### **Контрольные вопросы**

10. Для каких целей предназначен штриховой метр 1-го разряда?
11. Какой длины изготавливают металлические измерительные линейки?
12. Для чего предназначено отверстие на конце линейки?
13. Какие операции должны выполняться при периодической поверке металлических измерительных линеек?
14. Какова максимальная длина шкалы рулеток по ГОСТ 7502-98?
15. С помощью каких средств измерения проверяют отклонения общей длины и длины отдельных интервалов шкалы рулеток от номинального значения.
16. Какой длины изготавливают складные металлические метры?

### **Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ 12069-90. Меры длины штриховые брусковые. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 12 с.
2. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 5 с.
3. МИ 2024-75. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Линейки измерительные металлические. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 5 с.
4. ГОСТ 7502-98. Рулетки измерительные металлические. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 8 с.



5. МИ 1780-87. Методические указания. ГСИ. Ленты образцовые и рулетки металлические измерительные. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 10 с.

## **9. Калибры для гладких цилиндрических деталей**

Калибрами называют безшкальные средства контроля, предназначенные для проверки соответствия действительных размеров, формы и расположения поверхностей деталей заданным требованиям. По содержанию контрольной операции калибры подразделяются на нормальные и предельные.

Нормальные калибры по форме и размерам соответствуют номинальным форме и размерам контролируемой детали. Степень соответствия, как правило, определяется визуально по наличию или отсутствию зазоров между поверхностями нормального калибра и контролируемой детали. Для повышения объективности результатов контроля могут использоваться щупы для количественного определения величины зазора. Большинство шаблонов для контроля профилей деталей сложной формы являются нормальными калибрами.

Предельные калибры представляют собой комплект из двух калибров, предназначенных для контроля предельных значений контролируемого геометрического параметра. Предельные калибры используются для контроля формы и размеров гладких цилиндрических и конических поверхностей, глубины и высоты уступов, параметров резьбовых и шлицевых поверхностей деталей. Кроме этого, предельные калибры используют для контроля расположения поверхностей деталей

при нормировании позиционными допусками, допусками соосности и т.п.

Наибольшее распространение получили предельные калибры, ограничивающие наибольший и наименьший предельные размеры детали. Предельные калибры определяют не числовое значение контролируемого размера, а то находится ли размер между заданными предельными размерами. Комплект предельных калибров для контроля гладких цилиндрических поверхностей деталей включает проходной и непроходной калибры. Проходной калибр (условное обозначение – ПР) контролирует начальный с технологической точки зрения размер поля допуска: наибольший предельный размер вала или наименьший предельный размер отверстия. Непроходной калибр (условное обозначение – НЕ) контролирует конечный с технологической точки зрения размер поля допуска: наименьший предельный размер вала или наибольший предельный размер отверстия. Деталь считается годной, если проходной калибр под действием собственного веса или усилия, примерно равного ему, проходит, а непроходной калибр не проходит по контролируемой поверхности детали. При этом измерительные поверхности калибров должны быть слегка смазанными.

Калибры для контроля отверстий называются калибры-пробки (рис.26,а), а для контроля размеров валов калибры-скобы (рис.26,б). По конструкции калибры-скобы подразделяются на жесткие и регулируемые. Регулируемые скобы позволяют компенсировать износ и в определенном интервале могут настраиваться на разные размеры, однако они имеют меньшие по сравнению с жесткими нерегулируемыми скобами точность и надежность и, как правило, применяются для контроля размеров с допусками не точнее 8-го качества.

На рисунке 27 показана схема контроля размеров предельными

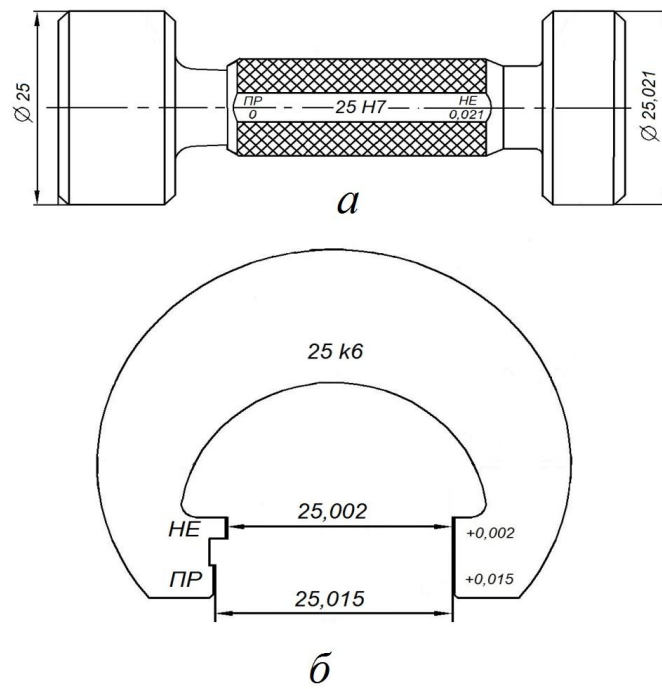


Рис. 26. Предельные калибры для гладких цилиндрических поверхностей

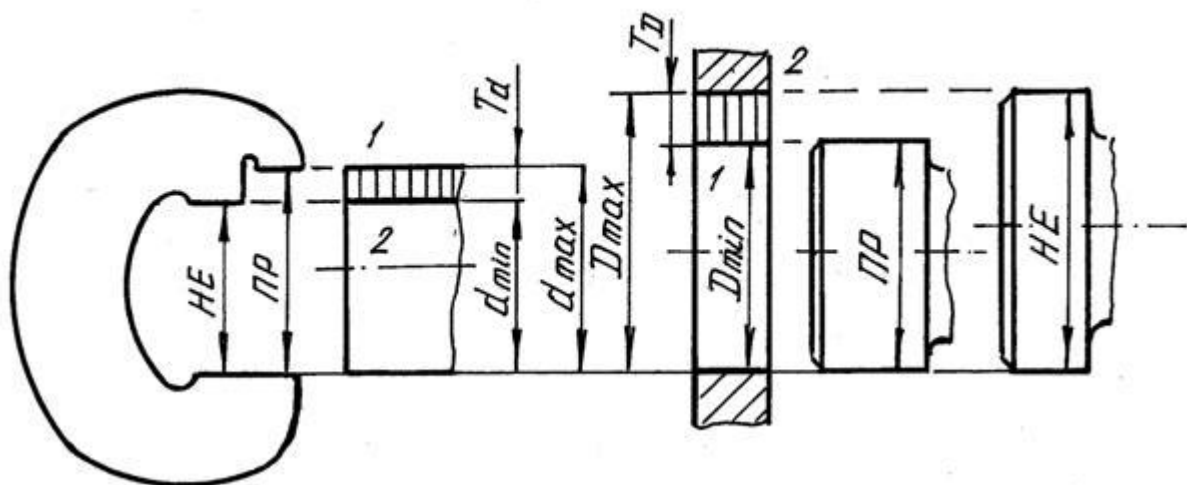


Рис. 27. Схема контроля размеров предельными калибрами:

1 – начало поля допуска; 2 - конец поля допуска

калибрами.

По назначению предельные калибры делят на рабочие и контрольные. Рабочие калибры (проходной Р–ПР и непроходной Р–НЕ)

предназначены для проверки изделий в процессе их изготовления. Этими калибрами пользуются рабочие и контролеры, причем в последнем случае применяют частично изношенные калибры Р–ПР и новые калибры Р–НЕ. Контрольные калибры предназначены для проверки или регулировки (установки) размеров рабочих калибров-скоб (К–ПР, К–НЕ), а также для контроля их износа (К–И). Контрольные калибры имеют форму шайб.

При конструировании предельных калибров должен соблюдаться принцип подобия (принцип Тейлора), согласно которому проходные калибры по своей форме должны являться прототипом сопрягаемой детали с длиной, равной длине соединения, и контролировать размеры по всей длине соединения с учетом погрешностей формы деталей. Непроходные калибры должны иметь малую измерительную длину и контакт, приближающийся к точечному, для того чтобы проверять только собственно размер детали. Для осуществления этого принципа следует применять проходные калибры-кольца и непроходные калибры-пробки с малой, измерительной поверхностью. Однако на практике приходится отступать от принципа Тейлора вследствие неудобств контроля (например, использование проходных колец при изготовлении требует многократного снятия детали, закрепленной в центрах станка). Поэтому вместо проходных колец применяют многократный контроль проходными скобами с широкими измерительными поверхностями.

Калибры должны иметь наибольшую жесткость при наименьшем весе. Это требование наиболее существенно для больших скоб. Собственный размер – это размер между измерительными поверхностями скобы в свободном состоянии, когда на нее не действуют внешние силы. Рабочим размером скобы называют размер соответствующего контрольного калибра, на который скоба входит под действием собственного веса. Для скоб до 170 мм разница между

рабочим и собственным размером невелика и ею можно пренебречь. Но для больших размеров скоб эта разница значительна (например, для жесткой скобы с размером 324 мм она составляет 30 мкм) и ее надо учитывать.

По исполнению гладких калибров различают:

- однопредельные пробки или скобы (применяются преимущественно при контроле относительно больших размеров) (рис.28,а);
- двухпредельные двусторонние калибры (применяются для сравнительно небольших размеров: калибры-скобы до 10 мм и калибры пробки до 50 мм) (рис.28,б);
- двухпредельные односторонние калибры (применяются в широком диапазоне размеров) (рис.28,в).

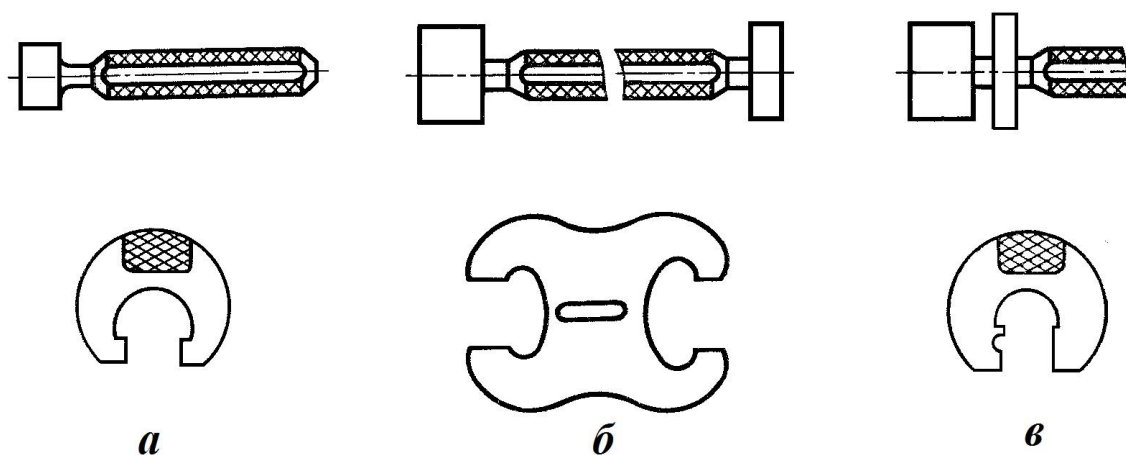


Рис. 28. Варианты исполнения калибров:

а – однопредельные; б – двухсторонние двухпредельные;

Односторонние скобы, начиная с размеров свыше 200 мм для контроля валов до 8-го качества включительно, обязательно должны снабжаться теплоизоляционными ручками-накладками.

Допуски на гладкие калибры размеров до 500 мм устанавливаются в ГОСТ 24853-81 [13]. Принятые в ГОСТе обозначения:

$H$  – допуск на изготовление калибров–пробок;

$H_1$  – допуск на изготовление калибров–скоб;

$H_p$  – допуск на изготовление контрольных калибров для скоб;

$Z$  – отклонение середины поля допуска проходного калибра–пробки относительно наименьшего предельного размера детали;

$Z_l$  – отклонение середины поля допуска проходного калибра–скобы относительно наибольшего предельного размера детали;

$Y$  – допустимый выход размера изношенного проходного калибра–пробки за границу поля допуска детали;

$Y_l$  – допустимый выход размера изношенного проходного калибра–скобы за границу поля допуска детали.

Схема полей допусков пробок для номинальных размеров до 180 мм представлена на рис.29, а схема полей допусков скоб и контрольных калибров для номинальных размеров до 180 мм – на рис.30.

Для непроходных калибров, которые в процессе контроля изнашиваются незначительно, устанавливают лишь допуск на изготовление, поле которого располагается симметрично относительно соответствующего предельного размера детали. Проходные калибры в процессе контроля изнашиваются. Износ проходных калибров вызывает искажение посадки. В посадках с натягом износ проходных калибров вызывает увеличение натяга; в посадках с зазором может образоваться натяг.

Для предотвращения значительного искажения характера посадки износ проходных калибров ограничивается установлением допуска на износ. Принципиально допуски калибров на изготовление и износ желательно было бы располагать целиком в поле табличного допуска детали, чтобы гарантировать получение размеров деталей в заданных пределах. Однако практически, особенно для деталей точных классов, выполнить это условие невозможно, так как поля допусков на изготовление и износ калибров, будучи вписаны в поле допуска детали, сокращают и без того жесткие допуски точных деталей, вызывая

большие производственные трудности.

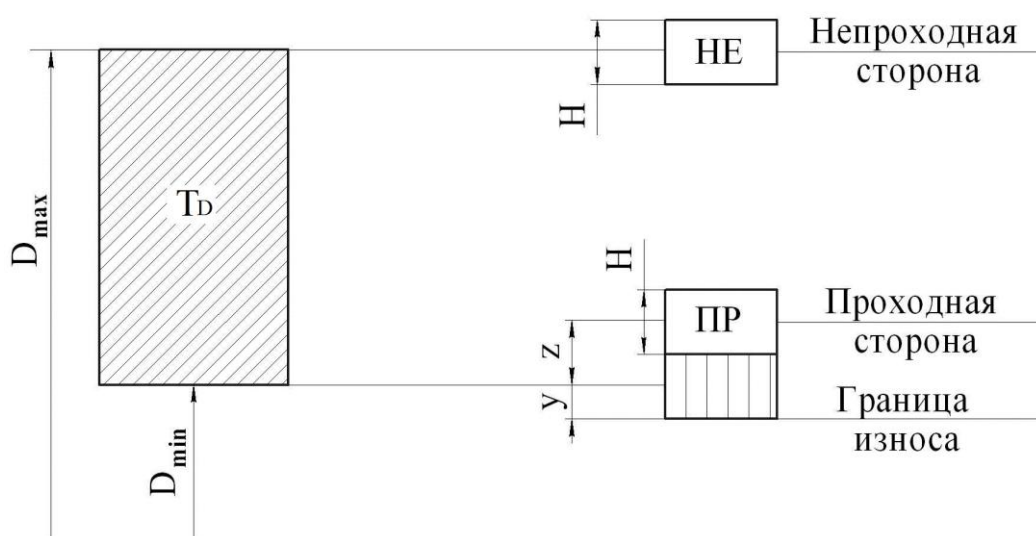


Рис. 29. Схема полей допусков калибров-пробок

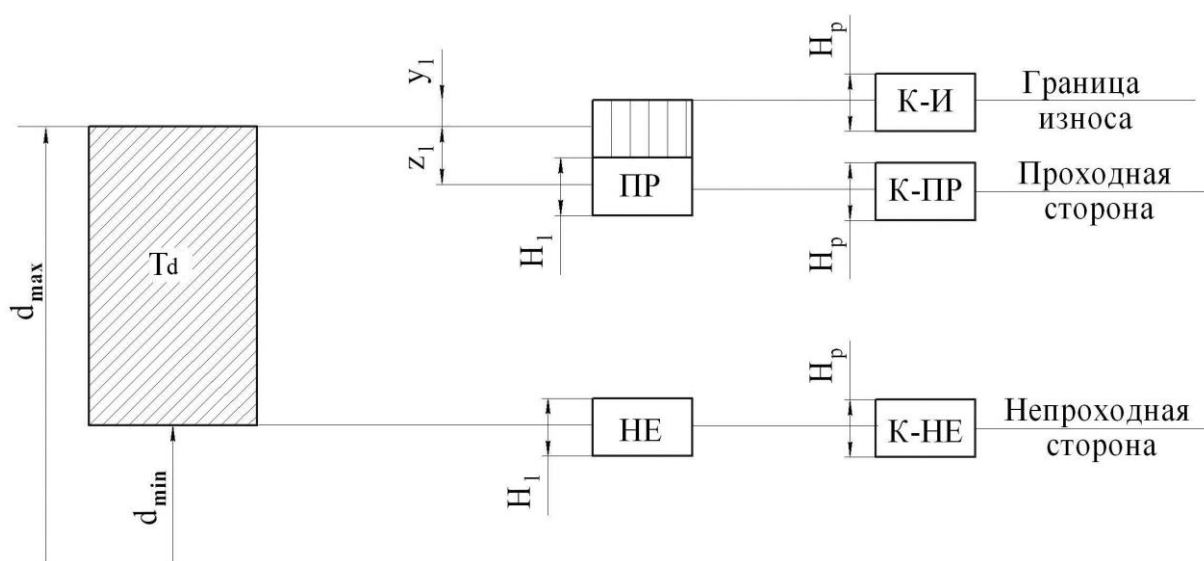


Рис. 30. Схема полей допусков калибров-скоб

С целью обеспечения приемлемой для изготовления величины производственного допуска 6-8 квалитетов точности части полей допусков на износ проходных калибров и изготовление непроходных калибров выносятся за пределы поля допуска детали. Допуск детали при этом практически расширяется. Практика показывает, что

нарушения взаимозаменяемости деталей в таких случаях не наблюдается благодаря малой вероятности сочетаний на сборке наименьших отверстий и наибольших валов, принятых изношенными калибрами. Этому способствует также действующий порядок передачи части изношенных калибров цеховым контролерам.

Только для проходных калибров, предназначенных для контроля деталей 9 квалитета и грубее, допуски на изготовление и износ полностью вписываются в поле допуска детали. Получающееся в этих случаях сужение поля допуска изделия оказывается незначительным по сравнению с величиной этого допуска.

Контрольные калибры применяют только для проверки калибровскоб 6-го и более грубых квалитетов точности. Для рабочих калибров 5 квалитетов они не предусматриваются, так как из-за малого допуска их изготовление слишком дорого. Калибры такой точности проверяют только универсальными измерительными средствами. Ими же контролируют все калибры-пробки.

Контрольные калибры К–ПР и К–НЕ используют соответственно для проверки рабочих скоб Р–ПР и Р–НЕ при их изготовлении. Эти калибры должны плотно, без усилий и покачиваний, проходить в новые контролируемые скобы. Таким образом, устанавливают соответствие размера скоб наименьшему значению или их выход за допустимые пределы. Контрольные калибры К–И являются непроходными и служат для изъятия из эксплуатации вследствие износа проходной рабочей (приемной) скобы.

Несмотря на малую величину допуска контркалибров, они все же искажают установленные поля допусков на изготовление и износ рабочих калибров. Поэтому контркалибры по возможности не должны применяться. Целесообразно, особенно в мелкосерийном производстве, контрольные калибры заменять концевыми мерами или использовать



универсальные измерительные приборы.

Для снижения затрат на калибры стремятся увеличить их износостойкость (например изготавливают твердосплавные скобы и пробки, износостойкость которых повышается в 50–150 раз по сравнению со стальными калибрами).

При маркировке на калибр наносят номинальный размер детали, для которого предназначен калибр, буквенное обозначение поля допуска изделия и обозначение качества точности, цифровые величины предельных отклонений изделия в миллиметрах (на рабочих и приемных калибрах), тип калибра (например, ПР, НЕ) и товарный знак завода-изготовителя.

Контроль гладких калибров должен выполняться по МИ 1927–88 «Калибры гладкие для цилиндрических валов и отверстий. Методика контроля» [43]. В соответствии с методикой контроль калибров находящихся в эксплуатации должен включать следующие операции:

- внешний осмотр;
- определение размеров калибров для отверстий;
- проверка нерегулируемых калибров–скоб; проверка и настройка на размер регулируемых калибров–скоб.

Определение размеров калибров–пробок производят на измерительных машинах, оптиметрах или с помощью других средств измерения, выбранных на основании РД 50-98-86 [58], не менее чем в 3-х равномерно распределенных вдоль оси сечениях, включая два крайних на расстоянии 1 мм от края фаски, по двум направлениям, расположенным под 90°.

Проверку размеров калибров-скоб производят с помощью контрольных калибров, плоскопараллельных концевых мер длины и с помощью измерительных приборов (горизонтальный оптиметр, измерительная машина, оптический длиномер). При проверке размеров

новых калибров-скоб проходная скоба в вертикальном положении под действием собственного веса или определенной силы должна скользить по контракалибру К-ПР, а непроходная скоба при тех же условиях проверки должна скользить по контракалибру К-НЕ. При проверке калибров, находящихся в эксплуатации калибр-скоба считается изношенным, если контракалибр износа К-И проходит на  $\frac{1}{3}$  длины рабочей поверхности проверяемого калибра-скобы.

Взамен контрольных калибров при контроле калибров-скоб до 180 мм допускается применять блоки, набранные из концевых мер длины.

Размеры блоков рекомендуется набирать близкими (в пределах 30% величины поля допуска соответствующего контрольного калибра) к наименьшему предельному размеру контрольного калибра К-ПР, К-НЕ и наибольшему предельному размеру контрольного калибра износа К-И.

Определение размеров новых и находящихся в эксплуатации калибров-скоб с помощью измерительных приборов производят не менее чем в трех точках, равномерно расположенных на рабочих поверхностях калибров; при этом крайние точки должны находиться на расстоянии 1 мм от края фаски (притупления).

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое калибры и для чего они предназначены?
2. Чем отличаются нормальные калибры от предельных?
3. Можно ли с помощью калибра определить значение размера?
4. Какими калибрами контролируют размер вала?
5. Какими калибрами контролируют размер отверстия?
6. Какой предельный размер контролируют с помощью проходной скобы?

7. Какой предельный размер контролируют с помощью проходной пробки?
8. В чем суть принципа подобия Тейлора при конструировании калибров?
9. Чем контролируется износ проходных калибров?
10. Для чего используются контрольные калибры?

### **Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ 24853-81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски. Москва: Издательство стандартов, 2003. – 8 с.
2. МИ 1927–88. Рекомендация. Калибры гладкие для цилиндрических валов и отверстий. Методика контроля. – Москва: Издательство стандартов, 1989. – 15 с.
3. РД 50-98-86. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм. (По применению ГОСТ 8.051-81) – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 83 с.

### **10. Штангенинструменты**

К штангенинструментам относятся средства измерения линейных размеров, объединенные общей конструктивной особенностью – наличием штанги с основной штриховой шкалой и перемещающейся вдоль неё измерительной рамки с вспомогательной шкалой (нониусом). К штангенинструментам относятся штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы и штангензубомеры. Все эти инструменты предназначены для измерений абсолютным методом.

Положение измерительной каретки относительно основной штриховой шкалы с ценой деления 1 мм определяет отсчет целых миллиметров в размере. Для точного определения доли неполного деления, т.е. десятых и сотых долей миллиметра предназначен нониус.

В основе отсчета по нониусу лежит способность человеческого глаза более точно определять совпадение или несовпадение штрихов двух сомкнутых шкал, чем оценивать долю деления шкалы на глаз. Принцип построения нониуса рассмотрим на примере нониуса с величиной отсчета  $c=0,1$  мм (рис.31,а). Для получения шкалы нониуса отрезок основной шкалы, равный 9 мм, делят на 10 равных частей, т.е. длина деления шкалы нониуса составляет 0,9 мм ( $b=0,9$  мм). Если нулевой штрих нониуса совпадает с нулевым штрихом основной шкалы,

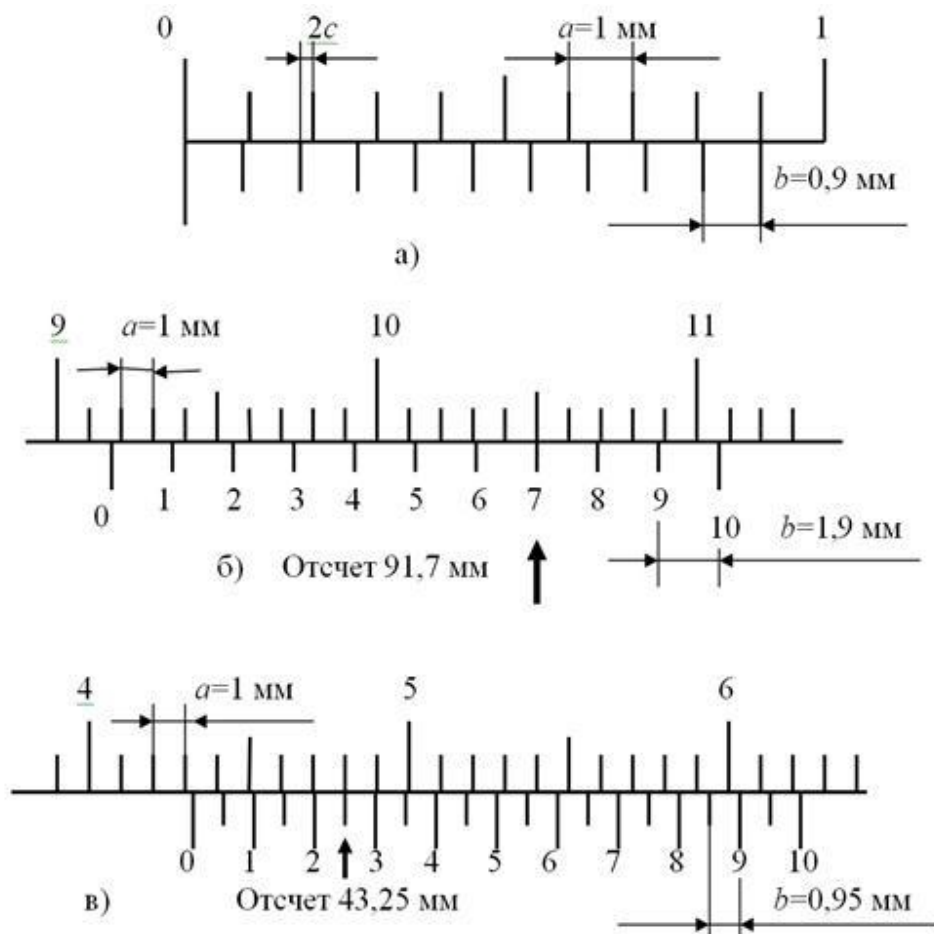


Рис. 31. Устройство нониуса и примеры отсчетов по нониусу

то первый штрих нониуса не доходит до первого штриха основной шкалы на 0,1 мм, второй штрих нониуса не доходит до второго штриха основной шкалы на 0,2 мм, третий – на 0,3 мм и т.д. При перемещении измерительной каретки на 0,1 мм со штрихом основной шкалы совпадет первый штрих нониуса, при перемещении на 0,2 мм – второй, на 0,3 – третий, при перемещении на 0,9 мм – девятый штрих нониуса. Так формируется отсчет десятых долей миллиметра в размере.

Важной характеристикой нониуса является его модуль. Модуль нониуса ( $\gamma$ ) – параметр определяющий длину деления шкалы нониуса. Визуально определить значение модуля можно по количеству делений основной шкалы примерно соответствующих одному делению нониуса. Модуль нониуса на рис.36,а –  $\gamma = 1$ , а на рис.31,б –  $\gamma = 2$ . Увеличение модуля и, соответственно, длины деления нониуса облегчает процесс отсчета.

Функцию указателя для основной шкалы выполняет нулевой штрих нониуса, а для шкалы нониуса любой штрих основной шкалы совпадающий со штрихом шкалы нониуса. На рис.31,б приведен пример отсчета 91,7 мм. Нулевой штрих шкалы нониуса расположен между 91-м и 92 – м штрихом основной миллиметровой шкалы (91 полный миллиметр в размере), а 105-й штрих основной шкалы совпадает с 7-м штрихом нониуса (0,7 миллиметра – длина неполного деления в размере). Окончательный размер получают суммирование отсчетов по основной шкале и нониусу ( $91 + 0,7 = 91,7$ ).

Если шкалу нониуса разделить не на 10, а на 20 делений, то величина отсчета уменьшится в два раза и составит  $c=0,05$  мм. На рис.36,в приведен пример отсчета размера 43,25 мм по нониусу с модулем  $\gamma=1$  и величиной отсчета  $c=0,05$  мм.

Ниже приведем формулы для расчета основных параметров нониуса.

Величина отсчета по нониусу  $c$ :

$$c = \frac{a}{n}, \quad (1)$$

где  $a$  – цена (длина) деления основной шкалы, мм;

$n$  – число делений шкалы нониуса.

Длина деления шкалы нониуса  $b$ :

$$b = \gamma * a - c. \quad (2)$$

Длина шкалы нониуса  $l$ :

$$l = n * b = (\gamma * n - 1) * a. \quad (3)$$

Самым распространенным штангенинструментом является штангенциркуль. Штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних размеров. ГОСТ 166-89 предусматривает 4 основных типа штангенциркулей [7]:

I – двусторонние с глубиномером (рис.32,а);

T-1 – односторонние с глубиномером с измерительными поверхностями из твердых сплавов(рис.32,б);

II – двусторонние(рис.32,в);

III – односторонние(рис.32,г).

Основной частью штангенциркуля является штанга, на которой нанесена миллиметровая шкала. Вдоль штанги скользит подвижная рамка с нониусом. Положение рамки на штанге может быть зафиксировано с помощью стопорного винта. Неподвижные губки составляет одно целое со штангой. Измерительные поверхности губок строго перпендикулярны продольным граням штанги. Подвижные губки составляют одно целое с рамкой. Рамка обеспечивает плавное перемещение и устойчивое положение губок относительно штанги. Внутренние грани рамки плотно прилегают к наружным граням штанги, что обеспечивает параллельность измерительных поверхностей губок. Когда измерительные поверхности губок соприкасаются, нулевой штрих нониуса совпадает с нулевым штрихом основной миллиметровой

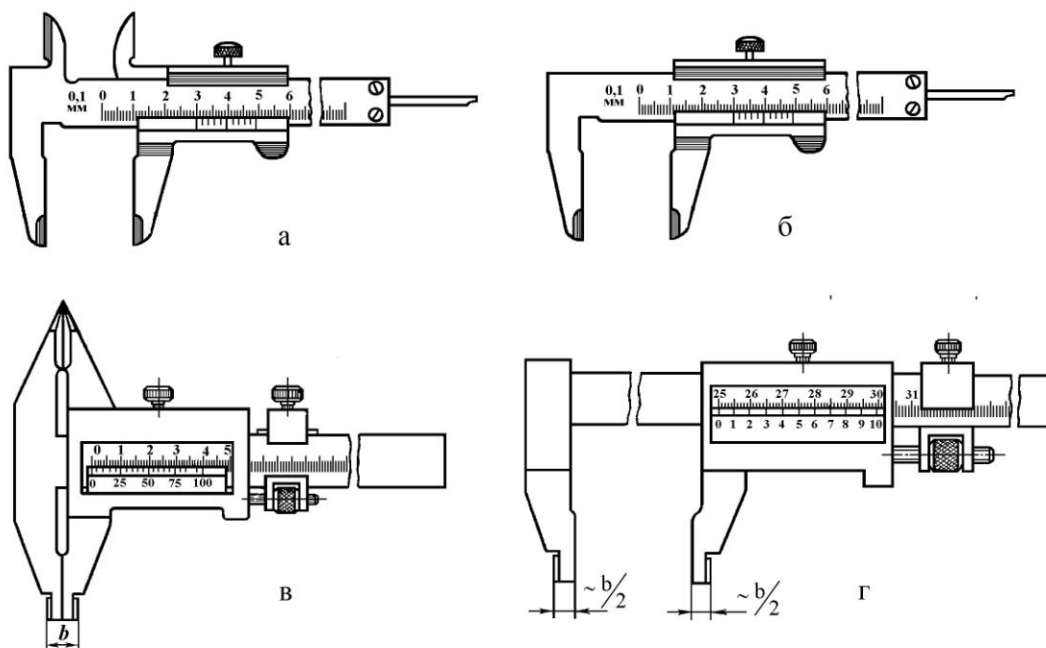


Рис. 32. Типы штангенциркулей (а – ШЦ-I, б – ШЦТ-1, в – ШЦ-II, г – ШЦ-III)

шкалы на штанге.

Штангенциркули типа ШЦ-I имеет две пары измерительных губок. Нижние служат для наружных измерений (рис.33,а), а верхние – для внутренних (рис.33,б). Верхних губки заходят одна за другую, что позволяет производить измерения от нуля. С рамкой жестко соединен глубиномер, который перемещается в специальном пазе штанги. При установленном на ноль штангенциркуле торец глубиномера совпадает с торцом штанги. При перемещении рамки вправо глубиномер выдвигается за торец штанги (рис.33,в).

У штангенциркулей типа ШЦТ-1 отсутствуют верхние губки для внутренних измерения, а нижние губки выполнены из твердого сплава в результате чего снижается износ измерительных поверхностей и повышается долговечность инструмента.

Штангенциркули типа ШЦ-II имеют две пары измерительных губок. Заостренные верхние губки служат для наружных измерений и

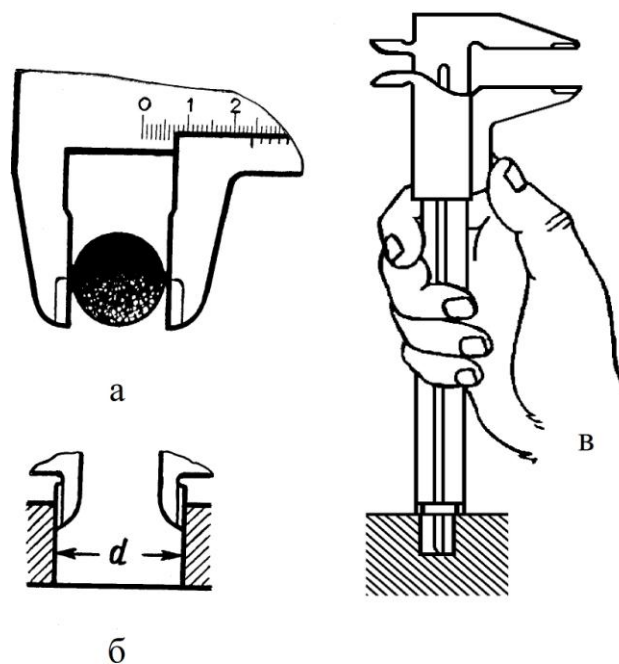


Рис. 33. Измерение штангенциркулем наружных размеров (а),  
внутренних размеров (б), глубин и высот (в)

разметочных работ. Каждая из нижних губок имеет две измерительные поверхности – внутреннюю (плоскую) и наружную (цилиндрическую). Плоские поверхности служат для наружных измерений, а цилиндрические – для внутренних измерений. При измерении внутренних размеров ширина губок  $b$  (рис.32,в) прибавляется к отсчету.

Для точного перемещения измерительной рамки в конструкции штангенциркуля предусмотрено устройство микроподачи. Оно состоит из дополнительной рамки со стопорным винтом и гайкой и винта жестко соединенного с измерительной рамкой. Если зафиксировать рамку микроподачи стопорным винтом, то при вращении гайки измерительная рамка получает точное поступательное движение за счет передачи винт-гайка.

Штангенциркули типа ШЦ-III в отличие от штангенциркулей типа ШЦ-II не имеют верхних губок, а в остальном конструктивно идентичны.



Кроме штангенциркулей с отсчетом по нониусу в ГОСТ 166-89 предусмотрены штангенциркули с отсчетом по круговой шкале (рис.39,а) и с цифровым отсчетным устройством (рис.34,б).

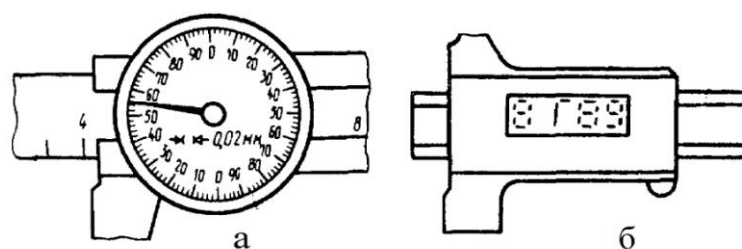


Рис. 34. Круговое(а) и цифровое (б) отсчетное устройство штангенциркуля

Диапазон измерения штангенциркулей по ГОСТ 166-89 изменяется от 0–125 до 800–2000. Верхний предел измерения для штангенциркулей типов ШЦ-I и ШЦТ-1 не должен превышать 300 мм. Величина отсчета по нониусу может принимать значения 0,1 или 0,05 мм, по круговой шкале – 0,1; 0,05 и 0,02 мм. Цифровое отсчетное устройство имеет шаг дискретности 0,01 мм. Шероховатость измерительных плоских и цилиндрических поверхностей не должна превышать  $Ra0.32$ . Предел допускаемой погрешности для штангенциркулей с отсчетом по нониусу 0,1 мм 2 класса точности составляет 0,1 мм, 1 класса точности в зависимости от диапазона измерения изменяется от 0,05 до 0,20 мм, а для штангенциркулей с отсчетом по нониусу 0,05 в зависимости от диапазона измерения изменяется от 0,05 до 0,10 мм.

Условное обозначение штангенциркуля содержит указание на тип, диапазон измерения, величину отсчета по нониусу (цену деления шкалы или шаг дискретности цифрового устройства) и класс точности. Например: ШЦ-II-250-630-0,1-1 ГОСТ 166-89.

Периодическая поверка штангенциркулей по ГОСТ 8.113-85 содержит следующие операции [29]:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение длины вылета губок;
- определение отклонения от плоскостности и прямолинейности измерительных поверхностей;
- определение отклонения от параллельности плоских измерительных поверхностей губок;
- определение размера сдвинутых до соприкосновения губок и отклонения от параллельности образующих измерительных поверхностей губок для внутренних измерений штангенциркулей типов ШЦ-II и ШЦ-III;
- определение отклонения от параллельности измерительных поверхностей губок для внутренних измерений штангенциркулей типа ШЦ-I и определение расстояния между ними;
- определение погрешности штангенциркулей типов ШЦ-I и ШЦТ-1 при измерении глубины;
- определение погрешности штангенциркуля.

При внешнем осмотре проверяется комплектность, маркировка, качество шкал, отсутствие дефектов, ухудшающих эксплуатационные свойства. При опробовании проверяют плавность перемещения рамки вместе с микроподачей, значение мертвого хода микрометрической пары (не более  $\frac{1}{2}$  оборота), отсутствие перемещения рамки под действием собственной массы, возможность зажима рамки, возможность продольного регулирования нониуса для типов ШЦ-II и ШЦ-III, отсутствие царапин на штанге.

Погрешность при измерении глубины определяют по концевым мерам длиной 20 мм, гладкому кольцу или установочной мере из комплекта микрометрического глубиномера. Погрешность штангенциркулей определяют по концевым мерам длины при

отпущенном стопорном винте, а в одной из контрольных точек при зажатом стопорном винте. Проверку производят в трех точках равномерно расположенных по длине штанги и нониуса.

Штангенглубиномеры предназначены для измерения глубины и должны изготавливаться трех типов (ГОСТ 162-90) [5]:

ШГ – с отсчетом по нониусу (рис.35,а);

ШГК – с отсчетным устройством с круговой шкалой (рис.35,б);

ШГЦ – с электронным цифровым отсчетным устройством (рис.35,в).

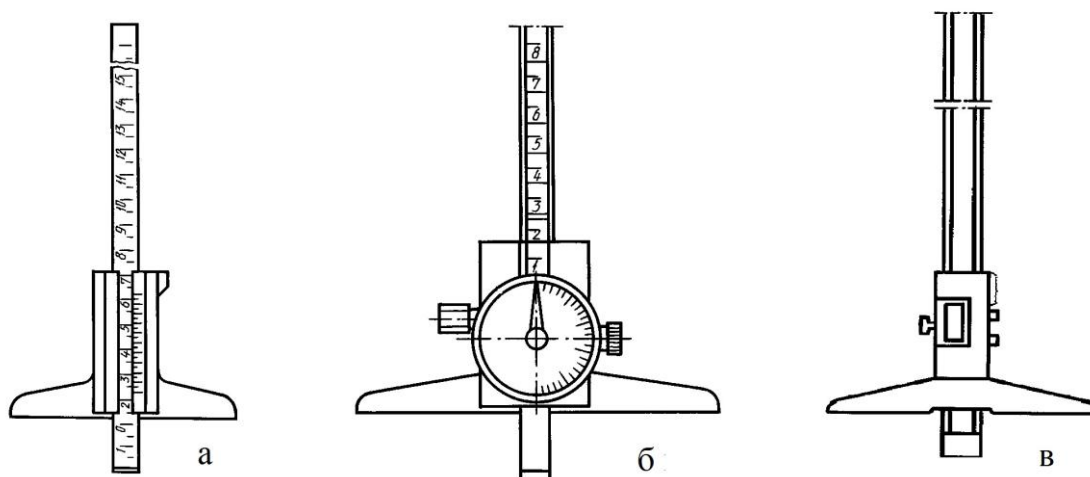


Рис. 35. Типы штангенглубиномеров (а – ШГ, б – ШГК, в – ШГЦ)

Штангенглубиномер состоит из штанги и рамки с нониусом или другим отсчетным устройством. Твердость штанги должна быть не менее 30HRC, а твердость закаленных измерительных поверхностей не менее 59HRC (для инструментальных и углеродистых сталей). Шероховатость измерительных поверхностей не грубее Ra0,08 для рамки и Ra0,16 для штанги.

ГОСТ 162-90 предусматривает штангенглубиномеры с диапазонами измерения от 0–160 мм до 0–1000 мм с величиной отсчета по нониусу 0,1 и 0,05 мм, по круговой шкале 0,02 и 0,05 мм или с шагом дискретности цифрового отсчетного устройства 0,01 мм. Предел

допускаемой погрешности в зависимости от диапазона измерения и точности отсчетного устройства варьируется от  $\pm 0,05$  до  $\pm 0,15$  мм.

Условное обозначение штангенглубиномера состоит из указания типа, верхнего предела измерения и величины отсчета по нониусу (цены деления круговой шкалы или шага дискретности цифрового устройства). Например: ШГ-630-0,05 ГОСТ 162-90.

Методика периодической поверки штангенглубиномеров по МИ 2196-92 включает внешний осмотр, опробование, определение отклонения от плоскостности измерительных поверхностей рамки и штанги, определение погрешности штангенглубиномера [55].

Штангенрейсмасы предназначены для измерения высотных размеров и разметочных работ. ГОСТ 164-90 предусматривает следующие типы штангенрейсмасов [6]:

ШР – с отсчетом по нониусу;

ШРК – с отсчетным устройством с круговой шкалой;

ШРЦ – с электронным цифровым отсчетным устройством;

Штангенрейсмас (рис.36) состоит из массивного основания 1 с запрессованной в него строго под  $90^\circ$  к опорной плоскости штангой 2, рамки с устройством микроподачи 3, держателя 4 и измерительной или разметочной ножки 5 (на рис.36 показан штангенрейсмас с разметочной ножкой).

Диапазон измерений штангенрейсмасов от 0–250 до 1500–2500 мм, величина отсчета по нониусу 0,1 и 0,05, цена деления круговой шкалы 0,05 и 0,02, дискретность цифрового отсчетного устройства 0,01. Предел допускаемой погрешности в зависимости от измеряемой длины точности отсчетного устройства от 0,05 до 0,20 мм. Пример условного обозначения: ШР-250-0,05 ГОСТ 164-90, где 250 верхний предел измерения, 0,05 величина отсчета по

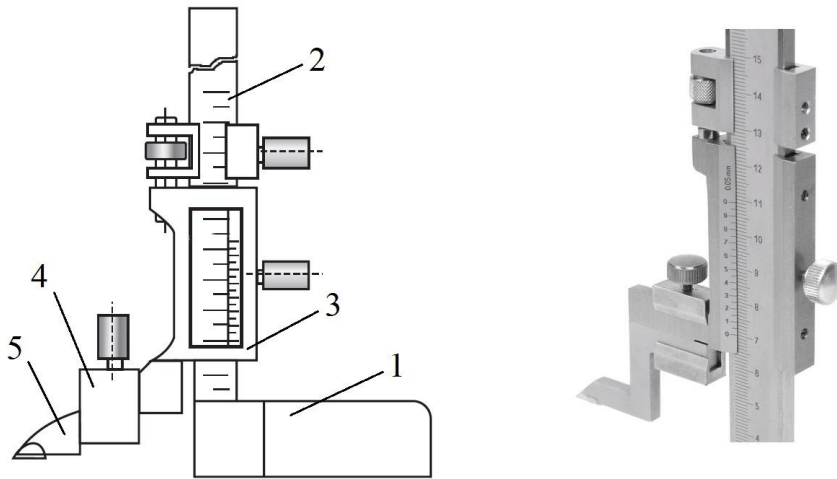


Рис. 36. Штангенрейсмас типа ШР

нониусу.

Поверка штангенрейсмасов производится в соответствии с методикой поверки МИ 2190-92 [51].

### Контрольные вопросы

17. Какие средства измерений входят в группу штангенинструментов?
18. Каково назначение шкалы нониуса у штангенинструментов?
19. Что положено в основу отсчета по нониусу?
20. Что характеризует модуль нониуса?
21. Как определяются основные параметры нониуса?
22. Какие основные типы штангенциркулей предусмотрены в ГОСТ 166-89?
23. Какой может быть величина отсчета по нониусу стандартных штангенциркулей?
24. Каков шаг дискретности у штангенциркулей с цифровым отсчетом?

25. Какие операции должны выполняться при периодической поверке штангенциркулей?
26. Какими отсчетными устройствами может оснащаться штангенглубиномер?
27. Для каких целей используются штангенрейсмасы?

### **Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1997. – 17 с.
2. ГОСТ 8.113-85. Государственная система обеспечения единства измерений. Штангенциркули. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 18 с.
3. ГОСТ 162-90. Штангенглубиномеры. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 2001. – 6 с.
4. МИ 2196-92.. Рекомендация. Штангенглубиномеры. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1992. – 10 с.
5. ГОСТ 164-90. Штангенрейсмасы. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
6. МИ 2190-92. Рекомендация. Штангенрейсмасы. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1992. – 13 с.

### **11. Микрометрические инструменты**

Основным конструктивным элементом микрометрических измерительных инструментов является микрометрическая винтовая пара. С ее помощью вращение отсчетного барабана преобразуется в поступательное перемещение измерительной поверхности, в качестве

которой выступает торец микрометрического винта. Один оборот барабана соответствует перемещению микрометрического винта на один шаг. Конструктивно микрометрическая пара в приборах оформлена в виде отдельного узла – микрометрической головки (рис.37).



Рис. 37. Микрометрическая головка с ценой деления 0,01  
(а – микрометрический винт; б – посадочная поверхность;

Микрометрическая головка входит в состав микрометров различного назначения, глубиномеров, нутромеров, а также используются в качестве измерительного устройства или устройства, задающего точные перемещения, в различных стационарных измерительных приборах (например, в горизонтальных оптиметрах, измерительных машинах и т.п.). Микрометрическая головка по ГОСТ 6507–90 «Микрометры. Технические условия» [22] (рис.37) состоит из микрометрического винта (1), соединенного с барабаном (4), который перемещается относительно стебля (3) с микрометрической гайкой. Соединение барабана с микрометрическим винтом выполнено регулируемым, что позволяет путем поворота (а в некоторых конструкциях головки и продольного смещения) барабана относительно винта производить установку нулевого положения шкал. Установка головки в измерительные инструменты или приборы производится по посадочной поверхности (2).

Микрометрические головки обычно имеют две шкалы: линейную и круговую. Линейная шкала и продольный штрих нанесены на

наружной поверхности стебля, а круговая на скосе барабана. Указателем для линейной шкалы служит торец барабана, а для круговой – продольный штрих на стебле. Линейная шкала состоит из двух шкал оцифрованной и не оцифрованной с одинаковой длиной деления 1 мм, расположенных выше и ниже продольного штриха. Причем не оцифрованная шкала смещена относительно оцифрованной на 0,5 мм. Общая длина линейной шкалы определяется диапазоном измерительного перемещения микрометрического винта. При шаге микрометрического винта 0,5 мм за один оборот его торец перемещается на 0,5 мм. Для получения цены деления круговой шкалы 0,01 мм она разбита на 50 делений ( $0,5/50=0,01$ ).

По оцифрованной линейной шкале определяется целое число миллиметров в отсчете, а по не оцифрованной шкале определяется к какой половине неполного миллиметра относится показание по круговой шкале. Если к первой половине, то окончательный отсчет образуется сложением показаний по линейной и круговой шкалам, а если ко второй половине то к сумме показаний по линейной и круговой шкалам необходимо прибавить 0,5 мм.

Для стабилизации измерительного усилия в микрометрической головке предусмотрено специальное устройство (трещотка или фрикцион), закрепленное на барабане (рис.37,д). С помощью этого устройства на измерительной поверхности микрометрического винта создается усилие, лежащее для большинства случаев применения микрометрических головок в пределах (5...10) Н.

Микрометры применяются для измерения наружных размеров. Согласно ГОСТ 6507–90 микрометры изготавливают следующих типов: МК – гладкие для измерения наружных размеров (рис.38,а); МЛ – листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент (рис.38,б);



МТ – трубные для измерения толщины стенок труб (рис.38,в);

МЗ – зубомерные для измерения длины общей нормали зубчатых колес с модулем от 1 мм (рис.38,г);

МП – микрометры для измерения толщины проволоки (рис.38,д).

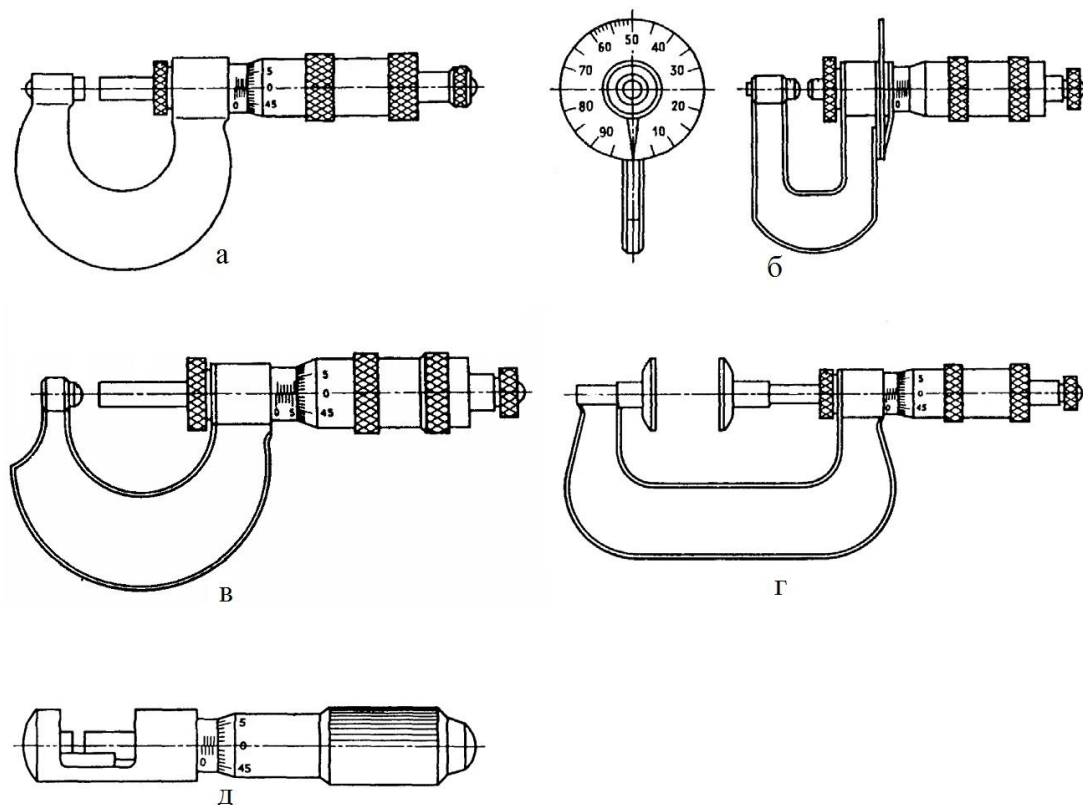


Рис. 38. Типы микрометров

(а – МК; б – МЛ; в – МТ; г – МЗ; д – МП)

Микрометры всех типов за исключением микрометра типа МП (рис.39) имеют скобу(1), в которую с одной стороны установлена микрометрическая головка (2), а с другой пятка (3). Для закрепления микрометрического винта в скобе предусмотрен стопор. Измерительными поверхностями у микрометров типа МК и МП являются параллельные плоскости торцов микрометрического винта и пятки, у микрометров типа МЗ плоские измерительные поверхности винта и пятки имеют больший диаметр, пятки микрометров типов МЛ и МТ выполнены сферическими. Для повышения износостойкости

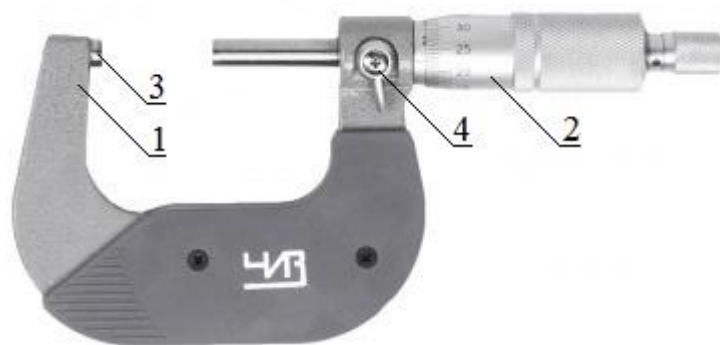


Рис. 39. Микрометр гладкий типа МК

(1 – скоба; 2 – микрометрическая головка; 3 – пятка; 4 – стопор)

измерительные поверхности микрометров типов МК, МЛ и МТ изготавливают из твердого сплава.

Для установки нулевого положения микрометры с нижним пределом измерений от 25 мм комплектуют установочными мерами.

Кроме погрешностей микрометрической головки на погрешность микрометра влияют отклонения от плоскостности и от параллельности плоских измерительных поверхностей винта и пятки (при различных углах поворота микрометрического винта и при его стопорении), деформации скобы микрометра под действием измерительного усилия, погрешности установочных мер. Существенной составляющей погрешности измерения микрометрами (особенно микрометрами больших размеров) является температурная погрешность, вызываемая как разностью температур измеряемой детали и микрометра, так и нагревом микрометра теплом рук контролера (для уменьшения последней погрешности в микрометрах для измерения размеров свыше 50 мм предусмотрены теплозащитные накладки).

Предел допускаемой погрешности гладких микрометров в зависимости от диапазона измеряемых размеров для 1 класса точности изменяется от  $\pm 2$  мкм до  $\pm 6$  мкм, а для 2 класса точности – от  $\pm 4$  мкм до  $\pm 10$  мкм.

Кроме микрометров с ценой деления 0,01 мм и отсчетом показаний по шкалам на стебле и барабане ГОСТ 6507–90 предусматривает микрометры с нониусом и значением отсчета по нониусу 0,001 мм (рис.40,а), а также микрометры с электронным отсчетным устройством и шагом дискретности 0,001 мм (рис.40,б).



Рис. 40. Микрометры с нониусом (а) и цифровым отсчетным устройством(б)

При эксплуатации микрометров следует периодически проверять правильность нулевой установки. Вместо установочных мер можно использовать ПКМД, причем если по ПКМД микрометр установить на размер, близкий к измеряемому, то погрешность микрометра, вызванная неточностью его микрометрической пары, уменьшится. Не следует пользоваться микрометром с застопоренным микрометрическим винтом как жесткой скобой, так как при этом может возникнуть большое усилие на измерительные поверхности, приводящее к деформации скоб микрометра, также не следует проверять размеры деталей во время их движения.

Шероховатость измерительных поверхностей не должна превышать  $Ra0,08$ , отклонение от плоскостности измерительных поверхностей 0,6 мкм для 1 класса точности и 0,9 мкм для 2 класса точности. Измерительные поверхности должны быть оснащены твердым сплавом.

Пример условного обозначения гладкого микрометра с диапазоном измерения 25-50 мм 1-го класса точности: *Микрометр МК50-1 ГОСТ 6507-90*.

Периодическая поверка гладких микрометров с ценой деления 0,01 мм согласно МИ 782–85 [57] включает следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение отклонения от плоскостности измерительных поверхностей;
- определение отклонения от параллельности измерительных поверхностей;
- определение погрешности.

Отклонение от плоскостности измерительных поверхностей определяют интерференционным методом при помощи плоской стеклянной пластины. Пластину накладывают на измерительную поверхность и добиваются такого контакта, чтобы количество наблюдаемых интерференционных полос было наименьшим. Допуску плоскостности 0,6 мкм соответствуют 2 полосы, а 0,9 мкм – 3 полосы. Можно проверять отклонение от плоскостности с помощью лекальной линейки, при этом просвет между линейкой и измерительной поверхностью не допускается.

Отклонение от параллельности измерительных поверхностей определяют по 4 стеклянным плоскопараллельным пластинам, размеры которых отличаются друг от друга на значение, соответствующее  $\frac{1}{4}$  оборота микрометрического винта. Поместив пластину между измерительными поверхностями, приводят их в соприкосновение с помощью трещетки или фрикциона. Перемещая пластину, добиваются наименьшей суммы полос на обеих поверхностях. Отклонение от параллельности соответствует наибольшей сумме полос, подсчитанной

для каждой из 4-х пластин.

Погрешность микрометра определяют в 5 точках, равномерно расположенных по шкале, с помощью плоскопараллельных мер длины. Например, для микрометра с диапазоном измерения 0 – 25 мм и ценой деления 0,01 мм рекомендуемые размеры концевых мер (блоков концевых мер): 5,12; 10,24; 15,36; 21,50; 25,00.

Микрометрические глубиномеры по ГОСТ 7470-92 [24], предназначенные для измерения глубины пазов и высоты уступов до 300 мм, изготавливают с отсчетом по шкалам на стебле и барабане тип ГМ и ценой деления 0,01 мм (рис.41,а) и с электронным цифровым

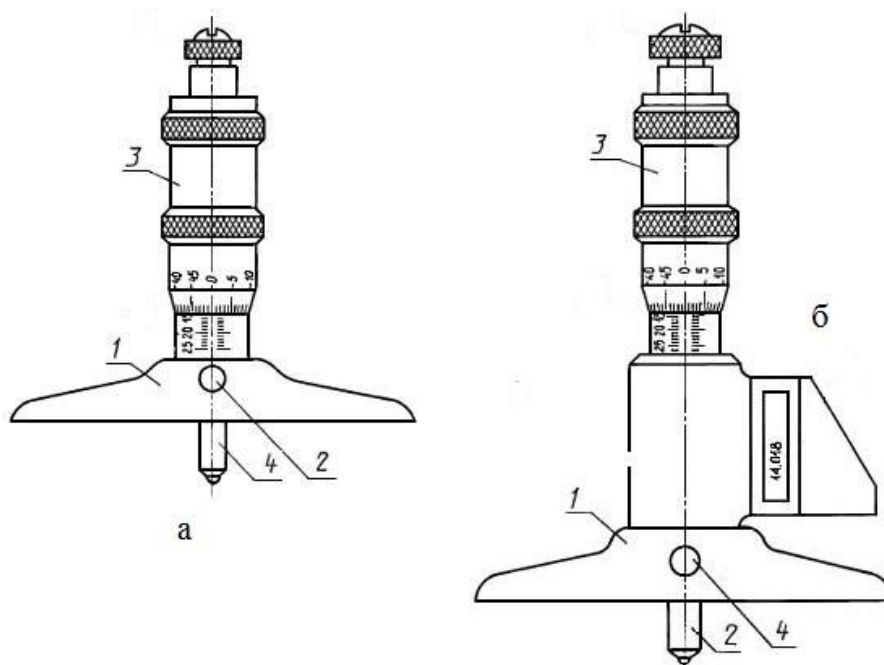


Рис. 41. Микрометрические глубиномеры по ГОСТ 7470-92

(а – с отсчетом по шкалам стебля и барабана; б – с цифровым отсчетным устройством)

отсчетным устройством с шагом дискретности 0,001 мм тип ГМЦ (рис.41,б). Микрометрический глубиномер состоит из основания (1) со стопорным винтом (2) и запрессованной в него микрометрической головки (3). В отверстие микровинта устанавливаются измерительные

стержни (4) диаметром не более 5 мм. Настройка глубиномеров должна проводиться с помощью установочных мер.

Глубиномеры с верхним пределом измерения до 150 мм изготавливают 1 и 2 класса точности, а свыше 150 мм 2 класса точности. Предел допускаемой погрешности в зависимости от диапазона измерения для 1 класса точности изменяется от  $\pm 2$  мкм до  $\pm 4$  мкм, а для 2 класса точности – от  $\pm 4$  мкм до  $\pm 10$  мкм. Допуск плоскостности измерительной поверхности основания составляет 0,9 мкм и 1,8 мкм соответственно для 1 и 2 классов точности. Измерительная поверхность стержня должна иметь сферическую форму радиусом 5 мм. Допускается изготовление глубиномеров 2 класса точности с плоской измерительной поверхностью стержня (допуск плоскостности 0,6 мкм). Шероховатость измерительных поверхностей не должна превышать  $Ra0,2$  для основания и  $Ra0,08$  для стержней с твердым сплавом, а шероховатость рабочих поверхностей установочных мер не должна превышать  $Ra0,04$ .

Пример условного обозначения: ГМ100–2 ГОСТ 7470-92.

Проверка микрометрических глубиномеров производится по МИ 2018–98 [46] и при периодической проверке содержит следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение длины сменных измерительных стержней;
- определение отклонения от плоскостности измерительной поверхности основания;
- определение расстояния от торца конической части барабана до ближайшего края начального штриха шкалы стебля;
- определение измерительного усилия и его колебания;

- определение отклонения длины от номинальной и отклонения от плоскопараллельности измерительных поверхностей установочных мер;
- определение основной погрешности.

Определение длины измерительных стержней производится с помощью гладких микрометров. Отклонение от плоскостности измерительной поверхности основания определяют при помощи плоской стеклянной пластины интерференционным методом по числу наблюдаемых полос либо при помощи лекальной линейки и образца просветов. Просвет между ребром лекальной линейки и измерительной поверхностью основания не должен превышать 2 мкм.

Расстояние от торца конической части барабана до ближайшего края начального штриха шкалы стебля определяют, установив глубиномер на нуль. Основание глубиномера устанавливают на плоскую стеклянную пластину или поверочную плиту и вращают микрометрический винт при помощи трещотки до контакта измерительного стержня с плоскостью плиты или стеклянной пластины. Если установка на нулевой отсчет окажется неудовлетворительной, то глубиномер регулируют. При установке глубиномера на нуль начальный штрих шкалы стебля должен быть виден целиком, но расстояние  $a$  от торца конической части барабана до ближайшего края начального штриха не должно превышать 0,15 мм, а также допускается перекрытие начального штриха шкалы стебля конической частью барабана, но не более чем на 0,07 мм. Для проверки указанных выше требований торец барабана совмещают с правым краем начального штриха и отсчитывают по шкале барабана. Указанную проверку проводят последовательно при установке всех измерительных стержней, входящих в комплект глубиномера.

Измерительное усилие глубиномера и его колебание определяют при помощи циферблатных весов на двух участках шкалы стебля. Отклонение длины от номинальной и отклонение от плоскопараллельности измерительных поверхностей установочных мер определяют на интерферометре с использованием сферических измерительных наконечников. Основную погрешность глубиномера определяют по концевым мерам длины с любым из измерительных стержней в пяти точках, равномерно расположенных по длине шкалы стебля, при зажатом и отпущенном стопоре. Рекомендуемые точки при проверке с измерительным стержнем 0—25 мм: 5,12; 10,24; 15,36; 21,50; 25,00 мм.

Микрометрические нутромеры с ценой деления 0,01 мм (ГОСТ 10–88) предназначены для измерения внутренних размеров от 50 до 6000 мм [2]. Особенно широкое применение они имеют для измерения диаметров отверстий свыше 1000 мм, которые не охватываются индикаторными нутромерами. Нутромеры изготавливают с пределами измерения 50–75; 75–175; 75–600; 150–1250; 600–2500; 1250–4000 и 2500–6000 мм. Нутромеры с верхним пределом измерения более 2500 мм оснащаются дополнительно индикатором часового типа.

Микрометрическая головка нутромера (рис. 42) состоит из корпуса 3, в который запрессован измерительный твердосплавный наконечник 4. В корпус ввинчивается микрометрический винт 7 с шагом 0,5 мм, соединенный с барабаном 8 конической гайкой 2 и контргайкой 1. Сквозь гайку 2 наружу выступает сферический измерительный наконечник микрометрического винта с вставкой из твердого сплава. Для фиксации установленного размера служит стопор 6. В резьбу муфты 5 ввинчиваются сменные удлинители 9, служащие для увеличения предела измерения или измерительный наконечник 10. Удлинитель состоит из стального стержня со сферическими



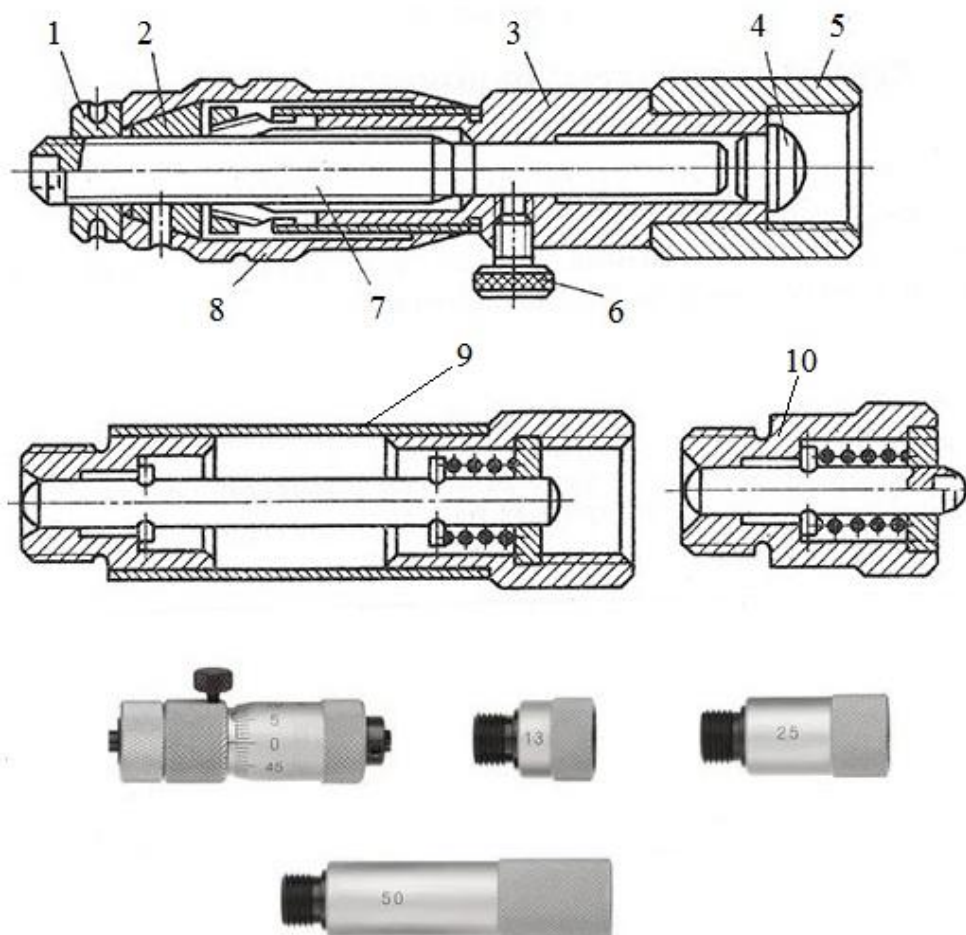


Рис. 42. Микрометрический нутромер

измерительными поверхностями, не выступающими за торцы муфты, что исключает возможность их повреждения. Наружная трубка увеличивает жесткость удлинителя и препятствует нагреву стержня руками контролера. При свинчивании удлинителя с микрометрической головкой их измерительные наконечники соприкасаются своими сферическими поверхностями под постоянным усилием, создаваемым пружиной удлинителя. На свободный конец удлинителя может быть навинчен другой удлинитель и т.д. до получения требуемого предела измерения. Удлинители следует соединять в порядке убывания размеров, располагая на конце измерительный наконечник, а микрометрическую головку присоединять к свободному концу самого большого удлинителя. При расположении малых удлинителей в

середине набора увеличивается искривление оси набора удлинителей, что приводит к увеличению погрешностей измерений. Обычно выпускают удлинители размером 50, 100, 200 и 300 мм.

Измерительные поверхности нутромера — сферические, оснащены твердым сплавом. Диапазон измерений нутромера обеспечивается набором сменных удлинителей. Удлинители от 300 мм и длиннее имеют теплоизоляционные накладки. Установочные меры выполнены в виде скобы.

Пример условного обозначения микрометрического нутромера с верхним пределом измерения 600 мм: *Нутромер НМ600 ГОСТ 10-88*.

Диапазон измерений по шкале головки составляет 13 мм для нутромеров с диапазоном измерения 50–75, 75–175 и 75–600, а для остальных – 25 мм. Пределы допускаемых погрешностей установлены стандартом для нутромеров и отдельно для их микрометрических головок. Для нутромеров в зависимости от измеряемого размера пределы допускаемых погрешностей изменяются от  $\pm 4$  (для размеров до 125 мм) до  $\pm 90$  мкм (для размеров от 5000 до 6000 мм). Для головок в зависимости от диапазона измерений пределы допускаемых погрешностей изменяются от  $\pm 3$  до  $\pm 10$  мкм.

На погрешность нутромера кроме погрешностей микрометрической головки влияют погрешности от свинчивания при установке удлинителей и деформации нутромеров от собственного веса (особенно для нутромеров больших размеров). Эти погрешности могут быть в значительной степени исключены при аттестации размера собранного нутромера. При измерении нутромером возникают значительные температурные погрешности и погрешности при нахождении диаметрального сечения, поскольку требуется нахождение экстремальных значений в двух плоскостях. Предельная погрешность измерения нутромером согласно РД-50-98-86 равна  $\pm 15$  мкм для

размеров 50–120 мм,  $\pm 20$  для размеров 120–250 и  $\pm 30$  мкм для размеров 250–500 мм. При аттестации размеров собранного нутромера эти погрешности уменьшаются на 5–7 мкм.

Периодическая поверка микрометрических нутромеров по ГОСТ 17215–71 включает следующие операции [8]:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение положения конического торца барабана относительно нулевого штриха;
- проверка радиуса кривизны измерительных поверхностей наконечника и микрометрической головки;
- определение погрешности измерительной головки;
- определение суммарного размера микрометрической головки с присоединенными к ней удлинителями;
- определение биения измерительных поверхностей нутромера;
- определение размера установочных мер.

Положение торца барабана относительно нулевого штриха проверяется аналогично глубиномеру. Радиус кривизны измерительных поверхностей проверяют с помощью радиусных шаблонов на просвет. Погрешность показаний микрометрической головки определяют на горизонтальном оптиметре в пяти точках (например, для головок с нижним пределом измерения 50 мм и 75 мм: 2,50; 5,12; 7,36; 10,24; 13,00). Погрешность показаний для головок с нижним пределом измерения 50 мм и 75 мм не должна превышать  $\pm 8$  мкм. Погрешность суммарного размера микрометрической головки с присоединенными к ней удлинителями определяют на горизонтальном оптиметре путем сравнения с концевыми мерами длины или на оптико-механической машине методом непосредственной оценки. Рабочий размер установочной меры проверяют в пяти точках её измерительной

поверхности (4 – по углами и 1 – в центре).

### **Контрольные вопросы**

1. Что составляет основу микрометрических инструментов?
2. Сколько шкал имеет стандартная микрометрическая головка?
3. Что является указателем для круговой и линейной шкал?
4. Какие устройства в конструкции микрометрической головки используются для стабилизации измерительного усилия?
5. Какие типы микрометров предусмотрены ГОСТ 6507–90?
6. Какова цена деления микрометра с нониусным отсчетом?
7. Каков шаг дискретности цифрового отсчетного устройства микрометра?
8. Какие операции необходимо выполнять при периодической поверке гладких микрометров?
9. Для чего предназначены микрометрические глубиномеры?
10. Какие операции необходимо выполнять при периодической поверке микрометрических глубиномеров?
11. Какой наибольший предел измерения могут иметь микрометрические нутромеры?
12. В каком порядке следует соединять удлинители к микрометрической головке?
13. Какие операции необходимо выполнять при периодической поверке микрометрических нутромеров?

### **Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ 6507–90. Микрометры. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 10 с.

2. МИ 782–85. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Микрометры с ценой деления 0,01 мм. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 21 с.
3. ГОСТ 7470-92. Глубиномеры микрометрические. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2003. – 14 с.
4. МИ 2018–98. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Глубиномеры микрометрические. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 13 с.
5. ГОСТ 10–88. Нутромеры микрометрические. Технические условия. – Москва: Стандартиформ, 2006. – 7 с.
6. ГОСТ 17215–71. Нутромеры микрометрические. Методы и средства поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1971. – 11 с.

## **12. Измерительные головки**

Измерительной головкой называют конструктивно обособленный узел СИ, состоящий из корпуса, в котором размещаются передаточный механизм, шкала с указателем и подвижный стержень с измерительным наконечником. Передаточный механизм преобразует малые перемещения измерительного наконечника в хорошо различимые перемещения указателя по шкале отсчетного устройства. Измерительные головки в качестве самостоятельного средства измерения не используются, а входят в состав различных измерительных устройств и приборов, устанавливаются в стойках или штативах. В большинстве случаев присоединение измерительных головок осуществляется по цилиндрической поверхности диаметром 8 мм или 28 мм.

Измерительные головки применяются для измерений относительным методом, то есть в процессе измерения определяется не

значение размера, а его отклонение от известного значения меры, благодаря чему существенно повышается точность результата измерения. В качестве передаточных механизмов в конструкции головок используются рычажные, зубчатые, рычажно-зубчатые и пружинные передачи.

По расположению несущего измерительный наконечник элемента (стержня или рычага) относительно линии измерения головки подразделяют на продольные и поперечные. В продольных головках геометрическая ось стержня совпадает с траекторией движения измерительного наконечника, то есть с линией измерения. В поперечных головках ось рычага пересекает траекторию движения измерительного наконечника. Большинство измерительных головок является продольными. Измерительное усилие в таких головках направлено в одну сторону. В поперечных головках, как правило, имеется переключатель направления измерительного усилия. Продольные головки часто называют осевыми, а поперечные — головками бокового действия.

Важным компоновочным признаком головки является расположение ее шкалы относительно оси измерительного стержня. В большинстве продольных головок плоскость шкалы параллельна оси стержня и такие головки не получили специального наименования. Головки, у которых плоскость шкалы перпендикулярна оси измерительного стержня, называют торцовыми головками.

Если диапазон показаний соответствует части или целому обороту указателя, то такие головки называют однооборотными, если двум и более оборотам – многооборотными. В многооборотных головках присутствует дополнительный указатель числа оборотов основной стрелки.

Первые измерительные головки использовали в своей конструкции простейший рычажный передаточный механизм и позволяли получать

результаты измерения с точностью до тысячных долей миллиметра при диапазоне показаний  $\pm 30$  мкм. Рычажные измерительные головки получили название миниметров. На рис.43 приведена схема и внешний вид миниметра. Измерительный стержень 1 через ножевую опору 2 соединен с рычагом 3, опирающимся на неподвижную опору 4. Пружина 7 создает измерительное усилие, пружина 8 обеспечивает постоянство контакта между рычагом, ножевой опорой и измерительным наконечником.

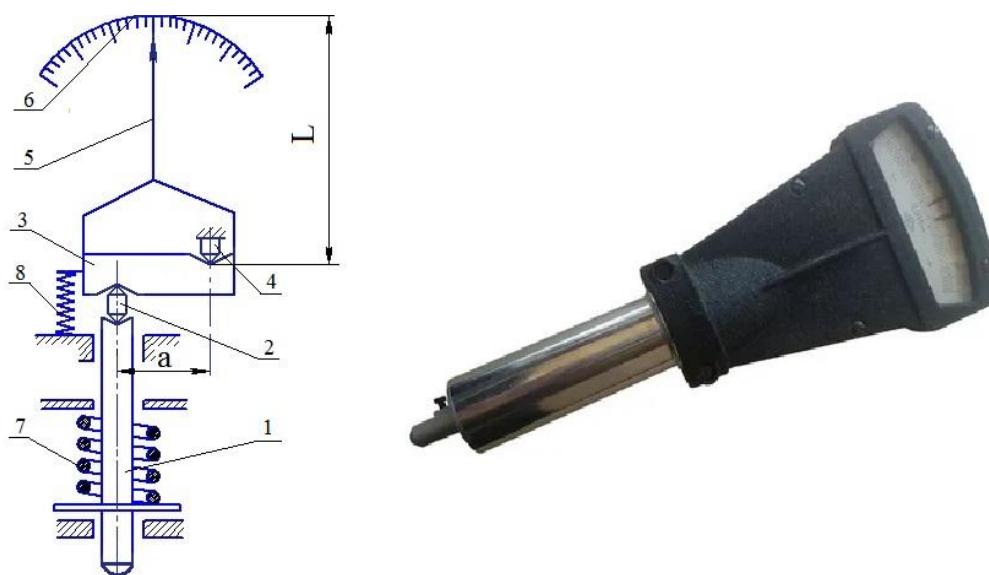


Рис. 43. Схема и внешний вид миниметра:

- 1 – измерительный стержень; 2 – опора измерительного стержня;  
3 – рычаг; 4 – неподвижная опора; 5 – стрелка; 6 – шкала; 7 и 8 – пружины

Расстояние  $a$  между точками контакта рычага с опорой измерительного стержня и с неподвижной опорой является малым плечом рычажной передачи. В качестве большого плеча выступает расстояние между точкой контакта рычага с неподвижной опорой и концом стрелки показывающего устройства  $L$ . Для реализации передаточного отношения 1:1000 при длине  $L=100$  мм расстояние  $a$  принимается равным 0,1 мм.

К достоинствам миниметров следует отнести простоту

конструкции и, как следствие, простоту изготовления и ремонта. Однако необходимость силового замыкания звеньев передачи приводит к быстрому износу точных элементов кинематических пар и росту погрешностей. Поэтому, несмотря на простоту схемы и исключительную неприхотливость в цеховых условиях, миниметры были полностью вытеснены другими типами измерительных головок.

Самыми распространенными измерительными головками являются индикаторы часового типа с зубчатым передаточным механизмом и ценой деления 0,01 мм. На рис.44 приведена схема и внешний вид индикатора часового типа. Измерительный стержень 1 с зубчатой рейкой 3 при перемещении поворачивает триб 10 с числом зубьев  $z=16$  (триб - это зубчатое колесо малого модуля с небольшим числом зубьев 6-16, чаще всего изготовленное заодно со своей осью-валом). Зубчатое колесо 9 ( $z=100$ ), установленное на одной оси с трибом 10, передает

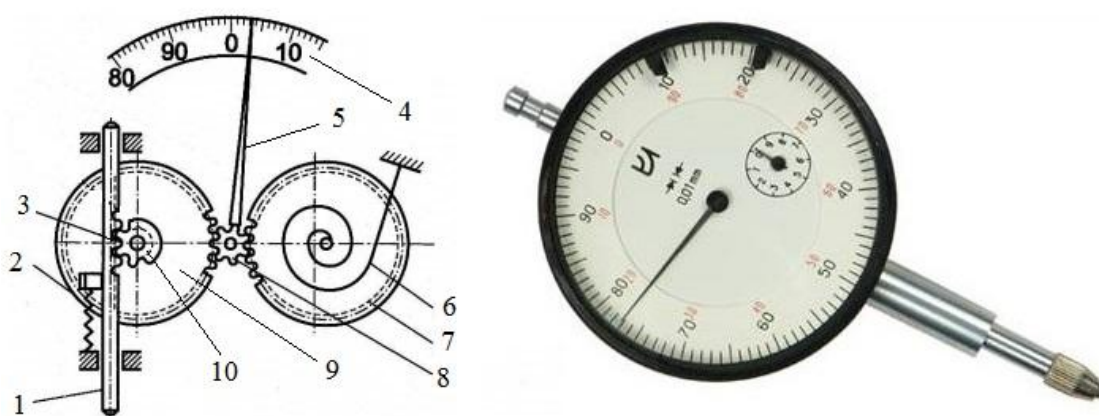


Рис. 44. Схема и внешний вид индикатора часового типа:

- 1 – измерительный стержень; 2 – пружина; 3 – зубчатая рейка; 4 – шкала;  
5 – стрелка; 6 – спиральная пружина; 7,8, 9,10 – зубчатые колеса

вращение трибу 8 ( $z=10$ ). На оси триба 8 закреплена стрелка 5, выполняющая функции указателя шкалы 4. В зацеплении с трибом 8 находится также зубчатое колесо 7 ( $z=100$ ), на оси которого закреплены указатель числа оборотов и плоская спиральная пружина 6. Колесо 7



под действием пружины обеспечивает работу всех передач одной стороной профиля зубьев, устраняя мертвый ход передачи. Пружина 2 создает измерительное усилие на стержне. На лицевой стороне имеются две круговые шкалы (большая имеет 100 делений с ценой 0,01 мм и малая (счетчик оборотов) с миллиметровыми делениями. Перемещение измерительного стержня на 1 мм вызывает поворот большой стрелки на  $360^\circ$  и малой на одно деление.

ГОСТ 577–68 «Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия» [21] предусматривает изготовление индикаторов с диапазонами измерений: 0 – 2; 0 – 5; 0 – 10; 0 – 25 мм. Индикаторы изготавливают классов точности 0 и 1. Точность измерений индикаторами часового типа нормируется следующими метрологическими характеристиками:

- наибольшая разность погрешностей индикатора на любом участке диапазона длиной 0,1 мм и 1,0 мм, а также на всем диапазоне измерения;
- размах показаний;
- вариация показаний.

Наибольшая разность погрешностей это разность между наибольшим и наименьшим значениями погрешностей индикатора на нормируемом участке либо всем диапазоне при прямом или обратном ходе измерительного стержня. Для индикатора ИЧ 10 метрологические характеристики не должны превышать значений, приведенных в таблице 5.

Наибольшее измерительное усилие для индикаторов ИЧ 10 составляет 1,5 Н, а его колебание не должно превышать 0,6 Н. Изменение показания индикатора ИЧ 10 при нажиме на измерительный стержень в направлении перпендикулярном его оси с усилием 2 – 2,5 Н не должно превышать 0,5 деления.

Таблица 5

Класс точности	Наибольшая разность погрешностей, мкм			Размах показаний, мкм	Вариация показаний, мкм
	на любом участке диапазона, мм		на всем диапазоне, мм		
	$\Delta 0,1$	$\Delta 1$	$\Delta 10$		
0	4	8	15	3	2
1	6	10	20	3	3

Пример условного обозначения индикатора часового типа класса точности 1 с диапазоном измерения 0 – 10: *Индикатор ИЧ 10 кл. 1 ГОСТ 577–68.*

Поверка индикаторов часового типа осуществляется по МИ 2192–92 [52]. При периодической поверке должны выполняться следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение измерительного усилия и его колебания;
- определение изменения показаний индикатора при нажиме на измерительный стержень в направлении перпендикулярном его оси;
- определение размаха показаний;
- определение вариации показаний;
- определение наибольшей разности погрешностей;

Определение измерительного усилия и его колебания производится на циферблатных весах. Изменение показаний при нажиме на измерительный стержень, размах, вариацию и наибольшую разность погрешностей определяют с помощью специальных приспособления с микрометрической головкой (рис.45,а) либо на специальном приборе ППИ-4 (рис.45,б).



Рис. 45. Средства поверки индикаторов часового типа  
(а – микрометрическое приспособление; прибор ППИ-4)

Зубчатая схема преобразования в измерительных головках эффективно используется при цене деления 0,01 мм, при меньших значениях цены деления (0,001 мм и 0,002 мм) её применение ограничивается влиянием на точность измерения ошибок изготовления зубчатой рейки и зубчатых колес. Для таких цен деления оказалась более пригодной смешанная рычажно-зубчатая схема преобразования. В таких преобразователях на входе имеются от одного до трех рычажных механизма, а на выходе одна или две зубчатые передачи. Рычажные звенья оснащаются кинематическими парами шар–плоскость или цилиндр–цилиндр, выполненными из износостойких материалов (сталь ШХ15, твердый сплав, корунд), что обеспечивает сохранение их формы в течение всего периода эксплуатации.

Рычажно-зубчатые однооборотные измерительные головки с ценой деления 0,001 мм и 0,002 мм выпускаются по ГОСТ 18833-73 следующих типов: 1ИГ, 2ИГ, 1ИГМ и 2 ИГМ [9]. Первая цифра в обозначении указывает на цену деления шкалы головки в микрометрах. Буква М в конце обозначения указывает, что измерительная головка

выполнена в малогабаритном формате. Если максимальный диаметр корпуса обычной головки равен 60 мм, то малогабаритной – 45 мм. Пределы измерения головок типов 1ИГ и 1ИГМ составляют  $\pm 0,05$  мм, а типов 2ИГ и 2ИГИ  $\pm 0,10$  мм.

Схема и внешний вид головки типа 1ИГ показан на рис.46. Механизм головки состоит из двух рычажных и одной зубчатой пары.



Рис. 46. Схема и внешний вид рычажно-зубчатой головки 1ИГ

Измерительный стержень 1 верхней плоской поверхностью контактирует со сферой на конце малого плеча 2, первой рычажной системой. Специальная конфигурация верхней части стержня позволяет получить механизм, разгруженный от удара, т.е. случайный удар по измерительному стержню не передается на весь механизм головки. Большое плечо 3 рычажной передачи контактирует со сферической опорой на зубчатом секторе 4, который находится в зацеплении с трибом 5. На оси триба установлена стрелка 6. На этой же оси закреплен один конец плоской спиральной пружины 7, а второй – за основание, на котором монтируется весь механизм. Пружина обеспечивает зацепление зубьев по одной стороне профиля, устраняя мертвый ход.

Арретирование измерительного наконечника производится с помощью рычага 8.

Пример условного обозначения головки рычажно-зубчатой с ценой деления 0,001 мм: *Головка измерительная 1ИГ* ГОСТ 18833-73.

Согласно МИ 2195-92 «Головки измерительные рычажно-зубчатые. Методика поверки» [54] при периодической поверке измерительных головок типов 1ИГ, 1ИГМ, 2ИГ и 2ИГМ необходимо выполнить следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение изменения показаний головки при нажиме на измерительный стержень в направлении перпендикулярном его оси;
- определение погрешности головки;
- определение размаха показаний головки;
- определение вариации показаний головки.

Для определения погрешности, размаха и вариации показаний измерительных головок с ценой деления 0,001 мм и 0,002 мм, а также для проверки частей измерительных головок следует применять специальные приборы для поверки типов ППГ-2, ППГ-2А, ППГ-3. На рис.47 показаны приборы ППГ-2А и ППГ-4. Прибор типа ППГ-4 комплектуется WEB-камерой для трансляции на экран монитора компьютера. Прибор типа ППГ-3 имеет цифровое отсчетное устройство и может комплектоваться цифровым измерительным линейным преобразователем с выходом на компьютер.

Многооборотные рычажно-зубчатые индикаторы с ценой деления 0,001 мм и 0,002 мм и диапазоном измерения 1,0 мм и 2 мм соответственно выпускаются по ГОСТ 9696-82 [34] 2-х типов: 1 МИГ и 2 МИГ. Увеличение диапазона измерения достигается введением на выходе



Рис. 47. Приборы для поверки измерительных головок  
(а – ППГ-2А; б – ППГ-4)

устройства преобразования дополнительной зубчатой передачи. На рис.48 приведена упрощенная схема и внешний вид такого индикатора.

Пример условного обозначения индикатора типа 1 МИГ класса точности 1 с ценой деления 0,001 мм: *Индикатор 1 МИГ-1 ГОСТ 9696—82.*

Поверка многооборотных индикаторов производится по МИ 1876-88 [41]. При периодической поверке должны выполняться следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- проверка измерительных наконечников;
- определение изменения показаний индикатора при нажиме на стержень в направлении перпендикулярном его оси;
- определение основной погрешности, размаха и вариации показаний.

Самыми точными механическими измерительными головками являются головки с пружинным передаточным механизмом. Такой

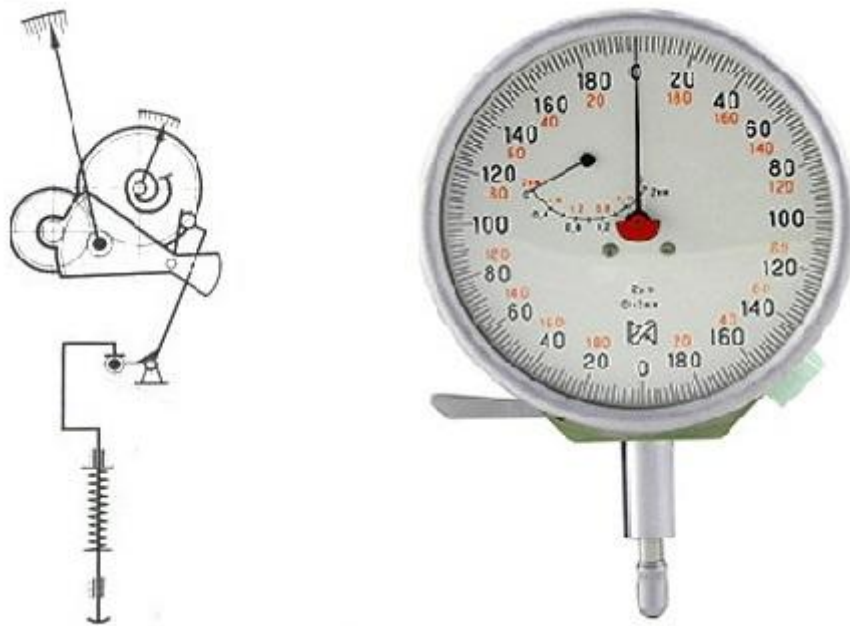


Рис. 48. Многооборотный рычажно-зубчатый индикатор 2МИГ

механизм (рис.49) основан на упругих свойствах бронзовой ленты 1, скрученной от середины в разные стороны и прикрепленной своими концами к плоским пружинам 2 и 3. Одна из пружин, выполненная в форме треугольника 3, соединена с измерительным стержнем 4, подвешенным на мембране 5. Перемещение стержня через треугольную пружинную опору передается на скрученную ленту, изменяя её длину. В результате изменения длины ленты, прикрепленный к её средней части указатель 6 в виде тонкой стрелки малой массы поворачивается и изменяет свое положение относительно отметок шкалы 7. Измерительное усилие обеспечивается пружиной 8. Такие приборы отличаются простотой конструкции передаточного механизма, отсутствием трения в звеньях механизма, что делает их достаточно долговечными. Для пружинных головок характерны:

- отсутствие кинематических пар внешнего трения;
- отсутствие мертвого хода;
- отсутствие погрешности обратного хода;

- высокая чувствительность;
- большое передаточное отношение;
- малое измерительное усилие.



Рис. 49. Схема и внешний вид пружинных измерительных головок  
(а – схема; б – микрокатор; в – микатор; г – оптикатор)

Измерительные пружинные головки осевого действия изготавливаются по ГОСТ 28798-90 следующих типов [15]:

ИГПВ - пружинные виброустойчивые;



ИГПВГ - пружинные виброустойчивые герметизированные (предназначены для работы в условиях 100%-ной влажности);  
ИПМ - пружинные малогабаритные;  
ИПМУ - пружинные малогабаритные с уменьшенным измерительным усилием (с регулируемым измерительным усилием);  
П - пружинно-оптические;  
ПР - пружинно-оптические с регулируемым измерительным усилием.

Головки типов ИГПВ и ИГПВГ называют микрокаторами (рис.49,б), типов ИПМ и ИПМУ – микаторами (рис.49,в) а типов П и ПР – оптикаторами (рис.49,г).

В оптикаторах на скрученной ленте вместо стрелки укреплено зеркальце, которое проецирует на шкалу изображение указательного штриха, полученное с помощью электрического осветителя и оптической системы.

Примеры условного обозначения:

головка пружинная виброустойчивая с ценой деления шкалы 0,5 мкм – *Головка 05ИГПВ* ГОСТ 28798-90;

головка пружинно-оптическая с ценой деления шкалы 0,2 мкм – *Головка 02П* ГОСТ 28798-90.

Присоединительный диаметр гильзы головок типов ИГПВ, ИГПВГ, П и ПР составляет 28h7, а для головок типов ИПМ и ИПМУ – 8h7. Цена деления шкалы варьируется от 0,1 мкм до 2 мкм при диапазоне измерения от  $\pm 4$  мкм до  $\pm 100$  мкм. Предел допускаемой погрешности в зависимости от цены деления шкалы и типа головки изменяется от  $\pm 0,08$  мкм до  $\pm 1,00$  мкм.

Проверка микрокаторов проводится по методике МИ 1813-87 [39], микаторов по методике МИ 1790-87 [38], оптикаторов по методике МИ

1863-88 [40]. Содержание поверочных операций принципиально ничем не отличается от вышеизложенных для других измерительных головок.

Головки бокового действия хорошо приспособлены для измерений в труднодоступных местах. Они имеют поворотный измерительный рычаг со сферическим контактным элементом. Измерение линейных размеров такими головками производится по дуге окружности, для которой измеряемый размер является хордой. Передаточное устройство содержит рычажную и зубчатые передачи. На рис.50,а приведена схема рычажно-зубчатого индикатора ИРБ.



Рис. 50. Измерительные головки бокового действия

Измерительный рычаг 1 установлен на одной оси с рычагом 2 и соединен с ним с помощью зубчатой муфты. На противоположном конце рычага 2 имеется зубчатый сектор 3, находящийся в зацеплении с трибом 4, жестко соединенным с торцовым зубчатым колесом 5. Торцовое колесо передает вращение удлиненному трибу 6 на оси которого установлена стрелка 7. Направление хода измерительного рычага может изменяться на противоположное с помощью переключателя 8. Конструкция индикатора благодаря зубчатой муфте обеспечивает возможность поворота измерительного рычага в пределах  $\pm 90^\circ$  от его среднего положения.

ГОСТ 5584-75 [20] предусматривает два типа рычажно-зубчатых индикаторов с ценой деления 0,01 мм : ИРБ со шкалой параллельной оси рычага в среднем положении (рис.50,б) и ИРТ со шкалой перпендикулярной к оси рычага в среднем положении и к плоскости его поворота (рис.50,в). Условное обозначение индикатора ИРБ – *Индикатор ИРБ ГОСТ 5584-75.*

Наибольшая разность погрешностей индикаторов не должна превышать 0,004 мм на любом участке шкалы в пределах 0,1 мм и 0,010 мм на любом участке шкалы более 0,1 мм. Размах показаний при 5 измерениях не должен превышать 0,003 мм.

Проверка индикаторов производится по рекомендациям МИ 1928-88 [44], согласно которым при периодической проверке производят внешний осмотр и опробование, определяют измерительное усилие и усилие поворота измерительного рычага, а также погрешность и размах показаний.

### **Контрольные вопросы**

1. Какой метод используется при измерении с помощью измерительных головок?
2. Приведите классификацию измерительных головок по разным признакам.
3. Какой передаточный механизм использовался в самых первых головках?
4. Почему в настоящее время не применяются миниметры?
5. Какие измерительные головки получили самое широкое распространение?
6. Какие операции следует выполнить при периодической проверке индикаторов часового типа?

7. Какая цена деления может быть у рычажно-зубчатых головок?
8. Какие измерительные головки самые точные?
9. Какие преимущества перед другими измерительными головками имеют пружинные головки?
10. Какие цены деления могут иметь пружинные измерительные головки?

### **Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ 577–68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2002. – 9 с.
2. МИ 2192–92. . Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1992. – 15 с.
3. ГОСТ 18833-73. Головки измерительные рычажно-зубчатые. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 7 с.
4. МИ 2195-92. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. .Головки измерительные рычажно-зубчатые. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1992. – 17 с.
5. ГОСТ 9696-82. Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 6 с.
6. МИ 1876-88. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Индикаторы многооборотные с

- ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1989. – 11 с.
7. ГОСТ 28798-90. Головки измерительные пружинные. Общие технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 6 с.
  8. МИ 1813-87. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Головки измерительные пружинные. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 18 с.
  9. МИ 1790-87. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Головки измерительные пружинные малогабаритные. Микаторы. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 20 с.
  10. МИ 1863-88. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Головки измерительные пружинно-оптические. Оптикаторы. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 13 с.
  11. ГОСТ 5584-75. Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 5 с.
  12. МИ 1928-88. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления 0,01 мм. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1989. – 13 с.

### **13. Рычажно-механические средства измерений**

В группу рычажно-механических средств измерения кроме рассмотренных выше измерительных головок входят рычажные скобы,

рычажные микрометры, индикаторные нутромеры. Эти средства измерений имеют в своей конструкции рычажные или рычажно-зубчатые передаточные устройства, преобразующие линейные перемещения измерительного наконечника в угловые перемещения указателя шкалы показывающего устройства.

Рычажные скобы и рычажные микрометры используются для измерения наружных линейных размеров с точностью до 0,001 мм. Рычажные скобы требуют предварительной настройки на ноль по концевым мерам, то есть используют относительный метод измерения, а рычажные микрометры позволяют производить измерения абсолютным методом.

На рис.51,а приведена схема рычажной скобы. При измерительном перемещении подвижная пятка рычажной скобы 1 передает движение рычагу 2, большое плечо которого заканчивается зубчатым сектором 3. Сектор, поворачиваясь, вращает триб 4, на оси которой укреплена стрелка 5. Настройку по концевым мерам производят, перемещая переставную пятку 6 до тех пор, пока стрелка не встанет на нулевой штрих шкалы. При установке измеряемой детали или блока концевых между измерительными поверхностями скобы следует пользоваться арретиром 7. Измерительное усилие обеспечивается пружиной 8.

ГОСТ 11098-75 [3] предусматривает три типа рычажных скоб, оснащенных отсчетными устройствами с ценой деления 0,001 мм, 0,002 мм и 0,010 мм:

СР – рычажная скоба со встроенным в корпус отсчетным устройством (рис.51,б);

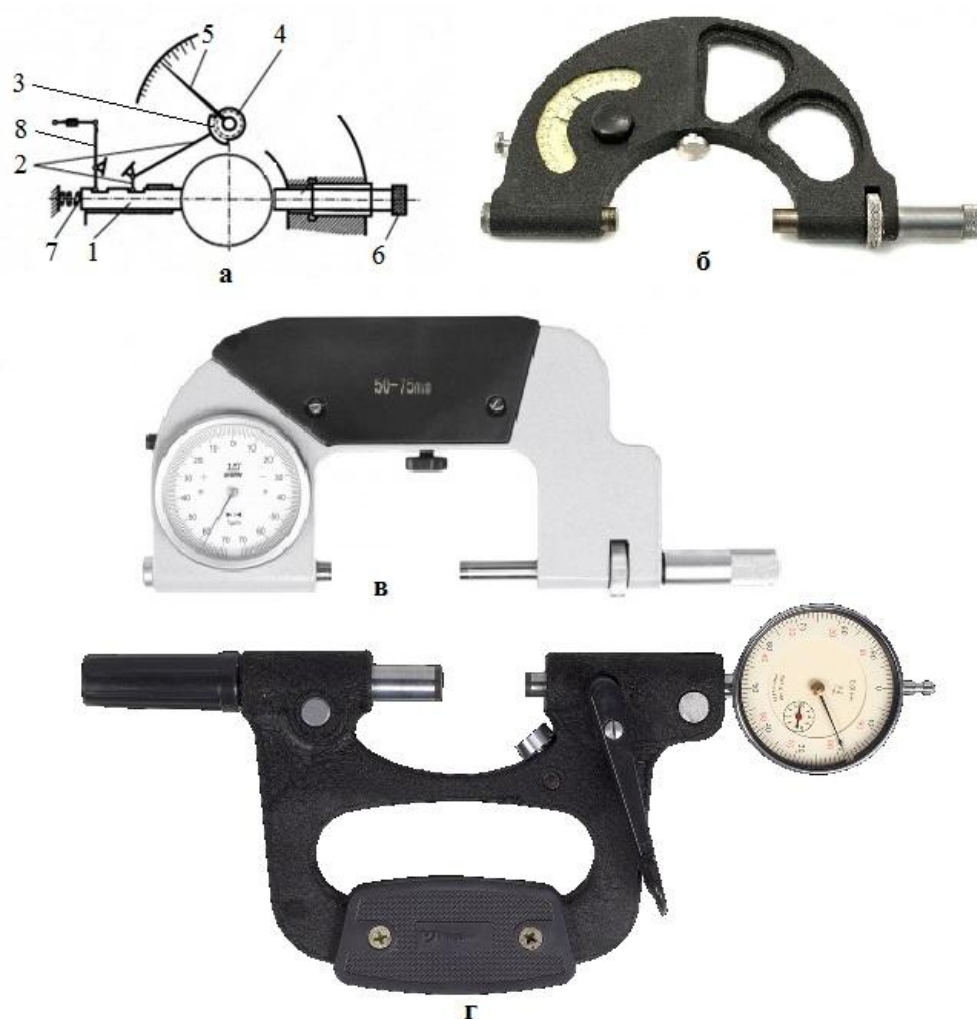


Рис. 51. Рычажная скоба

СРП – рычажная скоба со встроенным в корпус отсчетным устройством повышенной точности (рис.51,в);

СИ – индикаторная скоба (рис.51,г).

Цена деления рычажных скоб типа СР должна быть не более 0,002 мм, типа СРП не более 0,001 мм, типа СИ не более 0,010 мм. Предусмотренные ГОСТ типоразмеры скоб позволяют производить измерения размеров до 1000 мм. Диапазон перемещения переставной пятки 25 или 50 мм.

Пример условного обозначения рычажной скобы с диапазоном измерения 50—75: Скоба СР 75 ГОСТ 11098-75.

Поверка скоб с отсчетными устройствами выполняется по ГОСТ 8.359-79 [30]. При периодической поверке производится внешний осмотр и опробование, определение отклонения от плоскостности и параллельности измерительных поверхностей, определение размаха показаний и основной погрешности.

*Рычажные микрометры* (ГОСТ 4381-87) [19] аналогичны рычажным скобам и отличаются от них лишь наличием микрометрической головки для отсчета измеряемой величины в миллиметрах, десятых и сотых долях миллиметра. Для измерения наружных размеров до 100 мм выпускаются микрометры типа МР (рис.52,а) с отсчетным устройством, встроенным в корпус и с ценой деления 0,002 мм, а для измерения наружных размеров свыше 100 и до



Рис. 52. Рычажный микрометр



2 000 мм – микрометры типа МРИ (рис.52,б), оснащенные измерительной головкой с ценой деления 0,002 мм при диапазоне измерения от 100 мм до 500 мм и с ценой деления 0,01 мм при диапазоне измерения от 300 мм до 2000 мм.

Пример условного обозначения рычажного микрометра с диапазоном измерения 25 – 50 мм: *MP 50 ГОСТ 4381-87*.

При измерении рычажным микрометром барабан микрометрической головки вращают до тех пор, пока стрелка отсчетного устройства не встанет на ноль. Затем барабан продолжают вращать до совпадения ближайшего штриха шкалы барабана с продольным штрихом на стебле. К показанию, полученному по микрометру, прибавляют размер отклонения от нуля стрелки рычажного механизма со своим знаком. При измерении партии одинаковых деталей рычажным микрометром можно пользоваться как скобой. Для этого его настраивают на номинальный размер, а по шкале отсчитывают отклонения от данного размера.

Периодическая поверка рычажных микрометров по методике ГОСТ 8.411-81 [31] содержит следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- проверка нулевой установки микрометра;
- определение отклонения от плоскостности измерительных поверхностей микрометра и установочных мер;
- определение отклонения длины установочных мер от номинальных размеров и отклонений от параллельности измерительных поверхностей установочных мер;
- определение биения измерительных поверхностей установочных мер длиной более 275 мм;

- определение отклонений от параллельности измерительных поверхностей микрометра;
- определение основной погрешности и размаха показаний отсчетного устройства микрометров типа МР;
- определение основной погрешности микрометров.

При периодической поверке рычажных микрометров типа МРИ отдельно поверяется измерительная головка по соответствующей методике поверки.

Индикаторные нутромеры с ценой деления 0,01 мм по ГОСТ 868-82 [32] выпускаются для измерения размеров от 6 до 1000 мм, а с ценой деления 0,001-0,002 мм по ГОСТ 9244—75 для измерения размеров от 2 до 450 мм. Индикаторные нутромеры измеряют только методом сравнения и требуют предварительной установки на размер по аттестованному кольцу или блоку мер. Однако производительность и точность измерений индикаторным нутромером значительно выше, чем микрометрическим нутромером.

На рис.53 показана конструкция индикаторного нутромера с ценой деления 0,01 мм. В корпусе 1 нутромера закреплена втулка 2, в которую вкручен регулируемый неподвижный измерительный стержень (пятка) 3, зафиксированный после установки на размер контргайкой 4. В направляющей другого конца втулки помещен измерительный: стержень 5, перемещение которого через рычаг 6, вращающийся на оси, и стержень 7 передается индикатору 8. Измерительные контакты рычага образуются запрессованными в него шариками. Измерительное усилие создается совместным действием индикатора и пружины 9. Стержень 7 заключен в трубку 10, на которую надевается теплоизоляционная втулка 11. В отверстия корпуса нутромера вставлены направляющие стержни центрирующего мостика 12. Действием пружин 13 мостик в свободном состоянии выдвигается вперед до упора в винт-ограничитель.

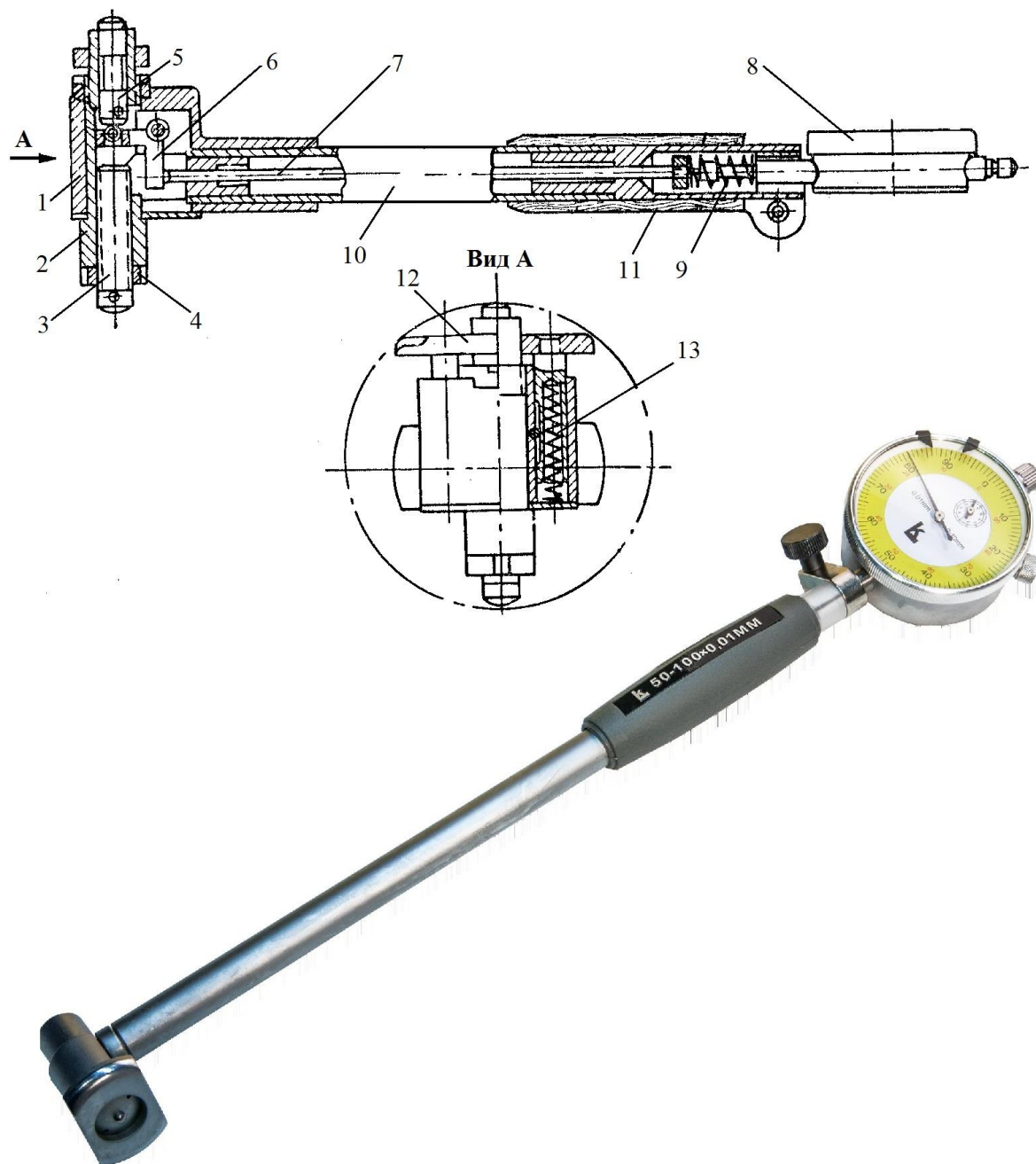


Рис. 53. Индикаторный нутромер с ценой деления 0,01 мм

При введении нутромера в проверяемое отверстие центрирующий мостик, прижимаемый пружинами к поверхности отверстия, устанавливает линию измерения в плоскости осевого сечения. Для определения отклонения диаметра достаточно покачать нутромер в плоскости осевого сечения отверстия: наибольшее показание

индикатора будет соответствовать диаметру отверстия. При установке на размер измерительная пятка вывинчивается настолько, чтобы кольцевая риска на измерительном стержне расположилась приблизительно в плоскости торца втулки. При этом условии плечи рычага располагаются перпендикулярно осям стержней 5 и 7, что обеспечивает минимальные погрешности передаточного отношения рычага.

При введении нутромера в проверяемое отверстие центрирующий мостик, прижимаемый пружинами к поверхности отверстия, устанавливает линию измерения в плоскости осевого сечения. Для определения отклонения диаметра достаточно покачать нутромер в плоскости осевого сечения отверстия: наибольшее показание индикатора будет соответствовать диаметру отверстия. При установке на размер измерительная пятка вывинчивается настолько, чтобы кольцевая риска на измерительном стержне расположилась приблизительно в плоскости торца втулки. При этом условии плечи рычага располагаются перпендикулярно осям стержней 14 и 7, что обеспечивает минимальные погрешности передаточного отношения рычага.

Измерительное усилие (2,5...4,5)Н и усилие центрирующего мостика (5,0...8,5) Н при пределах измерения до 50мм; (4,0...9,0) Н и (7,5...16,0) Н соответственно при пределах свыше 50мм. Индикаторные нутромеры выпускают 1 и 2 класса точности при диапазоне измерения до 250 мм, и 2 класса точности при диапазоне измерения свыше 250 мм. Предел допускаемой погрешности в зависимости класса точности, диапазона измерения и длины нормируемого участка варьируется от 0,005 мм до 0,022 мм. Погрешность нутромеров, вызванная неточным расположением центрирующего мостика, и размах показаний не должны превышать 1/3 цены деления шкалы индикатора.

Пример условного обозначения индикаторного нутромера с диапазоном измерения 10–18 мм 1 класса точности: *Нутромер НИ 10–18–1 ГОСТ 868-82.*

Основными источниками погрешностей при измерении индикаторными нутромерами являются погрешности центрирования и перекоса нутромера в отверстии, погрешности установки на размер и температурные погрешности (при измерении больших диаметров).

Периодическая поверка индикаторных нутромеров с ценой деления 0,01 мм согласно МИ 2194-92 [53] содержит операции внешнего осмотра, опробования, определения погрешности нутромера, вносимой неточным расположением центрирующего мостика, определения погрешности нутромера и размаха показаний.

Индикаторные нутромеры с ценой деления 0,001 мм по ГОСТ 9244-75 выпускаются для измерения размеров от 2 до 10 мм и с ценой деления 0,002 мм для измерения размеров от 10 до 450 мм. Их основное конструктивное отличие от рассмотренных выше индикаторных нутромеров с ценой деления 0,01 мм заключается в использовании вместо рычажной клиновой передачи. Измерительный наконечник с внутренней стороны имеет скос под 45°, с помощью которого через промежуточный шарик измерительное перемещение передается стержню и измерительной головке. Центрирующий мостик также имеет другое конструктивное исполнение. Условное обозначение нутромера с ценой деления отсчетного устройства 0,001 мм и диапазоном измерений от 6 до 10 мм: *Нутромер 6–10 ГОСТ 9244-75.*

Предел допускаемой погрешности составляет  $\pm 1,8$  мкм для диапазона измерений до 6 мм и возрастает до  $\pm 8,0$  мкм для диапазона измерений от 250 мм до 450 мм. Погрешность центрирования и размах показаний от 1 мкм до 3 мкм. Поверка выполняется по МИ 2193-92 и включает при периодической поверке внешний осмотр и опробование,

проверку отсчетного устройства, а также определение основной погрешности нутромера, размаха показаний и погрешности центрирования.

Погрешность центрирования определяют с помощью аттестованных колец и блоков плоскопараллельных мер длины с плоскопараллельными боковиками таких же размеров. Разность показаний нутромера представляет собой погрешность центрирования.

### **Контрольные вопросы**

1. Какой метод используется при измерении рычажными скобами?
2. Какой метод используется при измерении рычажными микрометрами?
3. С какой максимальной точностью можно определить размер с помощью рычажного микрометра?
4. Какой передаточный механизм используется в конструкции рычажной скобы?
5. Перечислите операции при периодической поверке рычажных скоб.
6. Приведите порядок действий при измерении рычажным микрометром.
7. Для чего в конструкции индикаторного нутромера предусмотрен центрирующий мостик?
8. Перечислите основные источники погрешности при измерении индикаторными нутромерами.

## Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 11098-75. Скобы с отсчетным устройством. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1999. – 9 с.
2. ГОСТ 8.359-79. Скобы с отсчетным устройством. Методы и средства поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1979. – 14 с.
3. ГОСТ 4381-87. Микрометры рычажные. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1997. – 13 с.
4. ГОСТ 8.411-81. Микрометры рычажные. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 13 с.
5. ГОСТ 868-82. Нутромеры индикаторные с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 6 с.
6. МИ 2194-92. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Нутромеры индикаторные с ценой деления 0,01 мм. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1992. – 14 с.

### 14. Оптико-механические измерительные приборы

К приборам этого типа относятся оптиметры, измерительные машины, интерферометры.

Оптиметры выпускают с ценой деления 0,2 и 1,0 мкм. В их конструкции используется принцип автоколлимации – свойство объектива превращать пучок расходящихся лучей, исходящих из точечного источника света, расположенного в фокусе объектива, в пучок параллельных лучей, который после отражения плоским зеркалом собирается в том же фокусе объектива.

Если источник света  $O$  расположить не в фокусе объектива, а в фокальной плоскости на расстоянии  $a$  от главной оптической оси (см. рис. 54, а), то один из лучей (центральный) пройдет по побочной оптической оси, а остальные, преломившись, пойдут параллельно побочной оптической оси. Встретившись с зеркальной плоскостью, перпендикулярной к главной оптической оси, лучи возвратятся параллельным пучком и, преломившись в объективе, соберутся в точке  $O_1$ , симметричной точке  $O$  и находящейся на расстоянии  $a$  по другую сторону от главной оптической оси (рис.54,а).

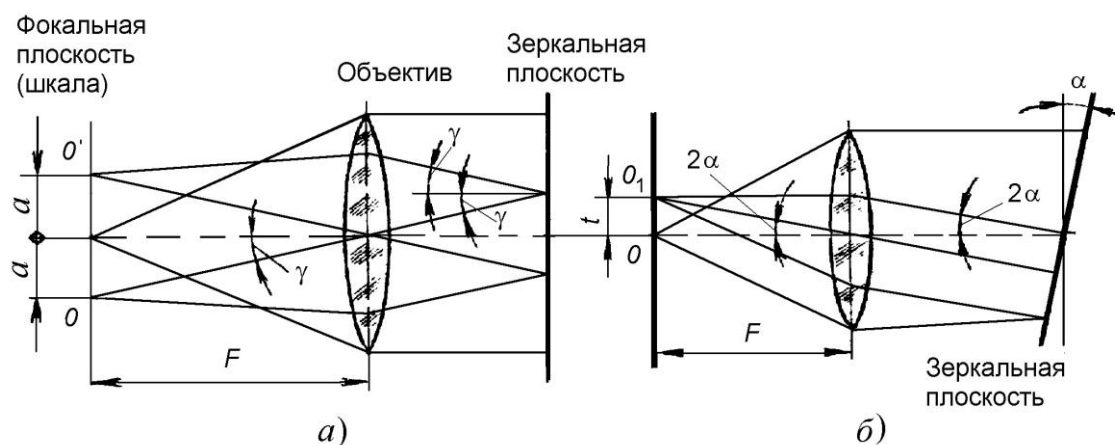


Рис. 54 Схемы автоколлимации и оптического рычага

Если же источник света расположен в фокусе объектива, а зеркальная плоскость находится под углом  $\gamma$  к главной оптической оси (рис.54, б), то лучи, отразившись от зеркала, пойдут под углом  $2\gamma$  к главной оптической оси и, преломившись в объективе, сойдутся в точке  $O_1$ , отстоящей от точки  $O$  на расстоянии  $t$  (рис.54,б).

Основу оптиметров составляет трубка оптиметра, в конструкции которой используются обе описанные выше схемы. Первая схема (рис.54,а) используется для проецирования нанесенной на стеклянную пластину шкалы в поля зрения окуляра, а вторая схема (рис.54,б) используется при измерении, смещая изображение шкалы



пропорционально углу наклона зеркала.

В трубке, показанной на рис. 55, от источника света лучи направляются зеркалом 3 и призмой 2 на шкалу, нанесенную на плоскость стеклянной пластинки 3, расположенной в общей фокальной плоскости объектива 5 и окуляра. Пройдя шкалу, луч попадает на призму 4 и, повернув на  $90^\circ$ , проходит через объектив 5. Выйдя из объектива, луч отразится от зеркала 6 и возвратится в фокальную плоскость объектива со смещением в горизонтальном направлении относительно главной оптической оси. Горизонтальное смещение используется для того, чтобы наблюдать изображение шкалы отдельно от самой шкалы. Изображение шкалы будет смещено и в

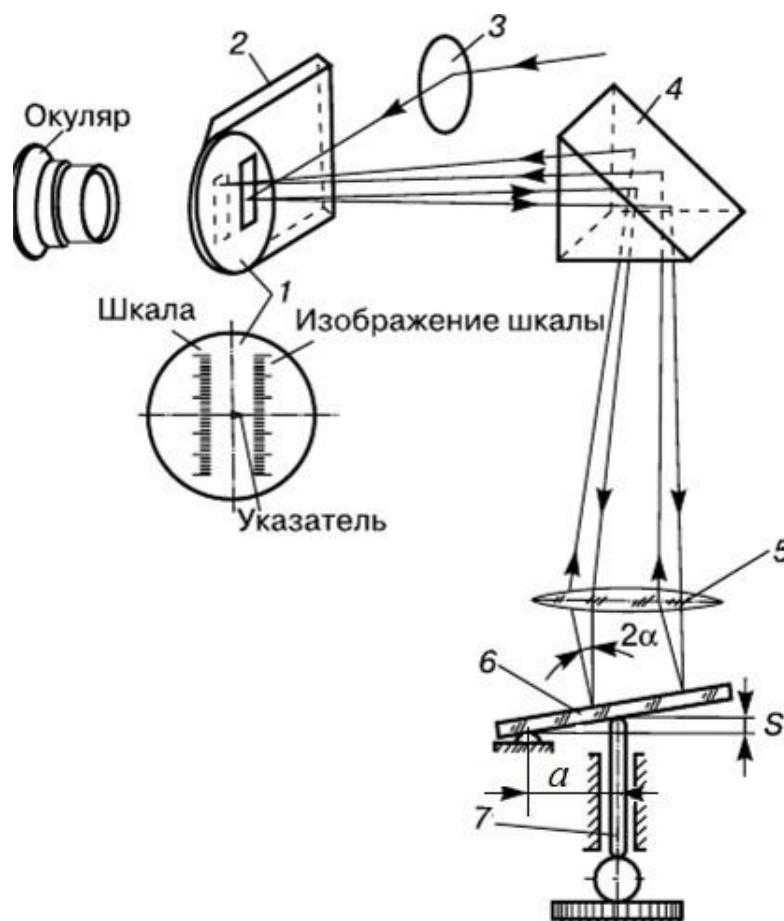


Рис. 55. Схема трубки оптиметра

вертикальном направлении по отношению к главной оптической оси, так как с перемещением измерительного стержня 7, опирающегося на измеряемую деталь, изменится положение зеркала 6 на угол  $\alpha$ , что вызовет отклонение отраженных от зеркала лучей на угол  $2\alpha$ . При этом изображение шкалы переместится в вертикальном направлении относительно неподвижного указателя в соответствии со схемой на рисунке 54,б.

В трубке оптиметра реализован принцип оптического рычага: малым плечом рычага является расстояние  $a$  от точки опоры качающегося зеркала 6 до оси измерительного стержня 7 (рис.55), большим — фокусное расстояние объектива  $F$  (рис.54,а,б). Передаточное отношение составляет  $\frac{2F}{a}$ .

Трубка оптиметра устанавливается на вертикальной стойке (вертикальный оптиметр) или в измерительную бабку (горизонтальный оптиметр). Вертикальный оптиметр типа ИКВ (рис.56,а) служит для измерения только наружных размеров, а горизонтальный оптиметр типа ИКГ (рис.56,б) — для измерения наружных и внутренних размеров.

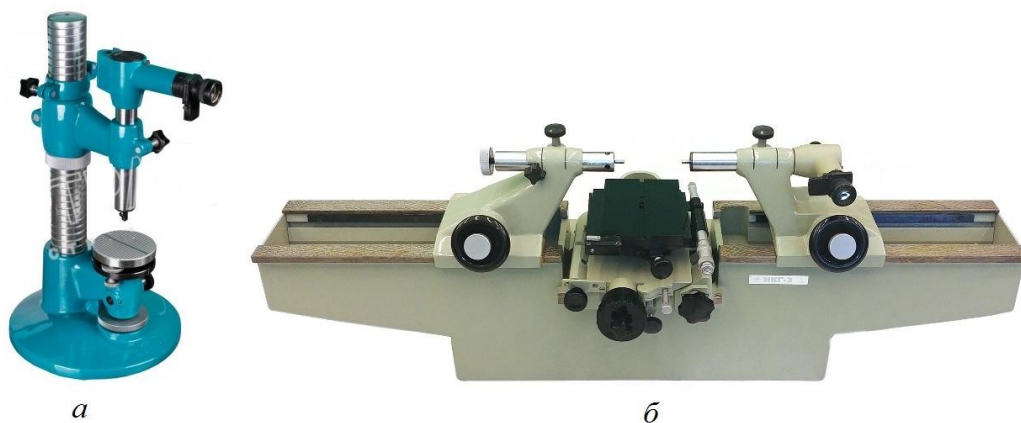


Рис. 56. Вертикальный и горизонтальный оптиметр

Вертикальный оптиметр ИКВ состоит из стойки с кронштейном, трубки оптиметра и набора сменных предметных столиков. Стойка

представляет собой массивное чугунное основание с жестко связанной с ним колонкой, по которой может перемещаться кронштейн с измерительной головкой. На основании установлен основной ребристый столик, угловое положение которого регулируется двумя винтами. Настройка трубки оптиметра на ноль производится вертикальным перемещением столика с помощью маховика. Для измерения плоскопараллельных концевых мер длины оптиметры комплектуются специальными державками.

Горизонтальный оптиметр типа ИКГ состоит из станины с двумя направляющими, на которых установлены пинольная и измерительная бабки и предметный стол. В измерительной бабке крепится трубка оптиметра, а в пинольной бабке – трубка пиноли. Пинольная и измерительная бабки перемещаются вдоль станины с помощью маховиков и фиксируются стопорными винтами.

Между бабками расположен предметный стол, на котором с помощью струбцин закрепляют объект измерения. Для правильной ориентации объекта измерения относительно измерительных наконечников стол снабжен механизмами линейных и угловых перемещений. Стол перемещается в вертикальной плоскости с помощью маховиков, а в горизонтальной плоскости с помощью микрометрической головки. Стол также можно повернуть на ограниченный угол вокруг вертикальной и горизонтальной осей. При перемещениях стола соответствующие стопорные винты должны быть отпущены.

Для внутренних измерений на горизонтальном оптиметре используют специальные приспособления – измерительные дуги, устанавливаемые на трубку пиноли и трубку оптиметра.

Пределы измерения по шкале трубки оптиметра равны  $\pm 0,1$  мм, а всего прибора (при измерении длины деталей): 0–200 мм у вер-

тикального и 0–500 мм у горизонтального оптиметра. Измерительное усилие не более 2 Н. Предельные погрешности показаний составляют на участке от 0 до  $\pm 0,06$  мм –  $\pm 0,2$  мкм, а на участке свыше  $\pm 0,06$  мм –  $\pm 0,3$  мкм. Предел допускаемой основной погрешности при измерении плоскопараллельных концевых мер  $\pm(0,4 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot L)$  мкм, а при измерении внутренних размеров стальных изделий  $\pm(1 + 5 \cdot 10^{-3} \cdot L)$  мкм, где  $L$  — измеряемая длина в миллиметрах. Цена деления шкалы может быть уменьшена до 0,2 мкм за счет включения в оптическую схему дополнительного зеркала. Оптиметры с ценой деления 0,2 мкм иногда называют ультраоптиметрами.

Через окуляр трубки оптиметра приходится производить отсчеты по шкале, пользуясь одним глазом, что неудобно и утомительно для контролера. Для облегчения отсчета на окуляр может быть установлена проекционная насадка, на экране которой можно наблюдать изображение шкалы оптиметра двумя глазами. Переход от окулярных систем отсчета к экранным характерен для большинства оптических измерительных приборов. Оптическая схема экранных приборов значительно сложнее, чем окулярных, и стоимость их намного выше. Однако повышение стоимости прибора окупается большим удобством работы, меньшей утомляемостью и ростом производительности труда контролеров.

Поверку оптиметров с ценой деления шкалы 0,001 мм производят по методике МИ 1958-89 [45]. При периодической поверке должны выполняться следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- проверка параллакса указателя относительно штрихов шкалы;
- проверка измерительных наконечников;
- проверка отклонения от плоскостности рабочих поверхностей

- измерительных столов;
- определение изменения показаний прибора при закреплении измерительного стола, стержня пиноли зажимными винтами;
  - определение изменения показаний прибора при нажатии на измерительный стержень измерительного устройства и пиноли в направлении перпендикулярном к оси стержня;
  - определение разности между максимальным и минимальным отсчетами при повторных регулировках взаимного положения измерительных наконечников пиноли и измерительного устройства;
  - определение превышения среднего ребра круглого ребристого стола над остальными ребрами и сферической вставки круглого стола над его рабочей поверхностью;
  - определение размаха показаний при наружных измерениях;
  - определение погрешности прибора;
  - определение размаха показаний при внутренних измерениях.

Оптиметры имеют небольшие пределы измерения по шкале ( $\pm 100$  мкм), поэтому их применяют только для относительных измерений. Необходимость настройки таких приборов на заданный размер по концевым мерам создает неудобства при измерениях, что особенно заметно при проверке малых партий деталей, которые требуют частой перенастройки приборов. Этому недостатка лишены оптико-механические машины для измерения длин типа ИЗМ. Такие машины предназначены для измерения наружных и внутренних размеров по точным линейным шкалам машины методом непосредственной оценки или путем сличения с концевыми мерами (относительным методом). Для измерения внутренних размеров используют дуги, аналогичные применяемым на горизонтальном оптиметре.

Измерительная машина типа ИЗМ (рис.57, а, б, д) имеет жесткую станину 9, по направляющим которой могут перемещаться пинольная 1

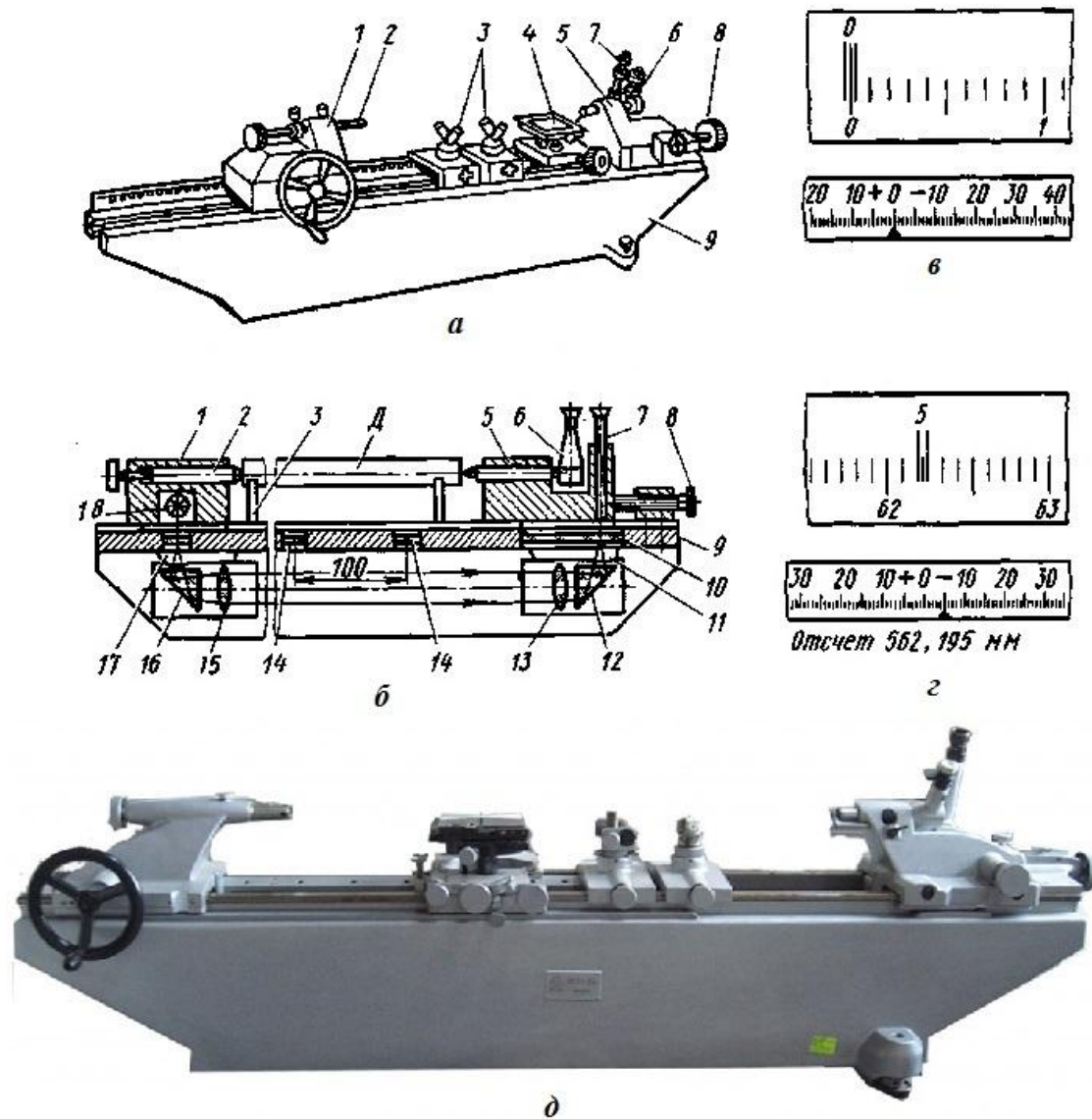


Рис. 57. Оптико-механическая машина для измерения длин типа ИЗМ:  
 а – конструкция; б – схема, в – нулевой отсчет при настройке;  
 г – отсчет при измерении; д – общий вид

и измерительная 5 бабки. Пинольная бабка 1 с установленной в ней пинольной трубкой 2 (аналогичной применяемой на горизонтальном оптиметре) может перемещаться в пределах всей длины направляющих станины 9, а измерительная бабка 5 с трубкой оптиметра 6 и отсчетным микроскопом 7 — только в пределах 100 мм. Предварительно измерительную бабку устанавливают при помощи ременной передачи, а точно — микрометрическим винтом 8. К обеим бабкам на кронштейнах

126

11 и 17 присоединены две одинаковые оптические системы, состоящие из призм 12 и 16 и объективов 13 и 15, которые перемещаются вместе с бабками. Для установки измеряемых объектов на машине служат регулируемые люнеты 3 (для длинных деталей) и предметный стол 4 (для коротких деталей), аналогичный столу горизонтального оптиметра.

В станине смонтирована дециметровая шкала, представляющая собой набор стеклянных пластин с нанесенным двойным штрихом и цифрой, расположенных через каждые 100 мм (т. е. через каждый дециметр). Количество таких пластин на единицу меньше верхнего предела измерения машины, выраженного в дециметрах. Например, у машины с диапазоном измерения 0–2000 мм (верхний предел измерений в дециметрах равен 20), в станине установлено 19 стеклянных пластинок. Недостающий дециметр заменяет установленная в станине стеклянная шкала 10 длиной 100 мм с ценой деления 0,1 мм. В пинольной бабке расположена лампа накаливания 18, предназначенная для освещения стеклянной пластины, над которой устанавливается пинольная бабка. Лучи света, освещающие пластину со штрихами, отражаются в призме 16 в горизонтальном направлении и, пройдя через объектив 13, идут параллельным пучком. Объектив 13 собирает параллельный пучок лучей, который, отразившись в призме 12, дает в плоскости стеклянной шкалы 10 изображение двойного штриха и номера стеклянной пластины, которые вместе с делениями шкалы 10 наблюдаются в поле зрения микроскопа 7.

Измерения на машине относительным методом производят так же, как на горизонтальном оптиметре. Дециметровую шкалу 14, микроскоп 7 и шкалу 10 при этом не используют.

При абсолютных измерениях машину предварительно устанавливают на ноль. Для этого пинольную бабку помещают над крайней правой стеклянной пластиной с цифрой 0, а измерительную бабку 5

устанавливают при помощи микрометрического винта 8 так, чтобы изображение двойного штриха стеклянной пластины с цифрой 0, наблюдаемое в микроскоп 7, расположилось симметрично относительно нулевого штриха шкалы 10; при этом измерительные наконечники доводятся до соприкосновения один с другим. После чего, вращая винт микроподачи пинольной трубки 2, устанавливают оптиметр 6 на ноль. Отсчет по микроскопу и оптиметру при установке машины на нуль показан на рис. 57,в.

Перед измерением пинольную бабку помещают над той стеклянной пластиной, которая соответствует числу целых сотен миллиметров, содержащихся в измеряемом размере. Для этого бабка должна быть установлена так, чтобы штрих, нанесенный на корпусе бабки, совпал с соответствующим делением вспомогательной металлической шкалы, закрепленной на станине машины. Измерительную бабку отодвигают вправо и на люнетах или универсальном столике помещают измеряемый объект. После этого измерительную бабку придвигают до контакта наконечника оптиметра с измеряемым объектом и выравнивают объект относительно линии измерения теми же движениями стола, как и при измерении на горизонтальном оптиметре. После выравнивания объекта измерительную бабку перемещают микрометрическим винтом 8 до совмещения изображения двойного штриха с ближайшим штрихом шкалы 10. Измеренный размер определяется суммой отсчетов сотен миллиметров по двойному штриху, десятков, единиц и десятых долей миллиметра – по стомиллиметровой шкале 10, сотых и тысячных долей миллиметра — по шкале трубки оптиметра (с учетом знака). На рис. 57,г отсчет равен 562,195 мм.

В современных измерительных машинах стеклянные шкалы и трубка оптиметра заменяются оптоэлектронными преобразователями линейных перемещений. На рис.58 показана электронная измерительная





*Рис. 58.* Электронная измерительная машина ИЗМ–10э

машина типа ИЗМ–10э.

Контактные интерферометры с регулируемой ценой деления от 0,05 до 0,2 мкм относятся к весьма точным оптико-механическим приборам. Схема измерительного узла интерферометра – интерференционной трубки показана на рисунке 59,а. Свет от лампы 1 направляется конденсором 2 через диафрагму 3 на полупрозрачную разделительную пластину 4. Часть лучей, пройдя через пластину 4 и компенсатор 5, отразится от зеркала 6, закрепленного на верхнем конце измерительного стержня 7, и через компенсатор 5 вновь вернется к пластине 4. Другая часть пучка света, отразившись от рабочей поверхности разделительной пластины 4, попадет на зеркало 8 и после отражения также возвратится к пластине 4. Таким образом, на рабочей поверхности пластины 4 обе части пучка света интерферируют при небольшой разности хода.

Объектив 9 проектирует интерференционную картину полос равной толщины в плоскость сетки 10. Интерференционные полосы и нанесенная на сетку шкала наблюдаются через окуляр 11. Последний

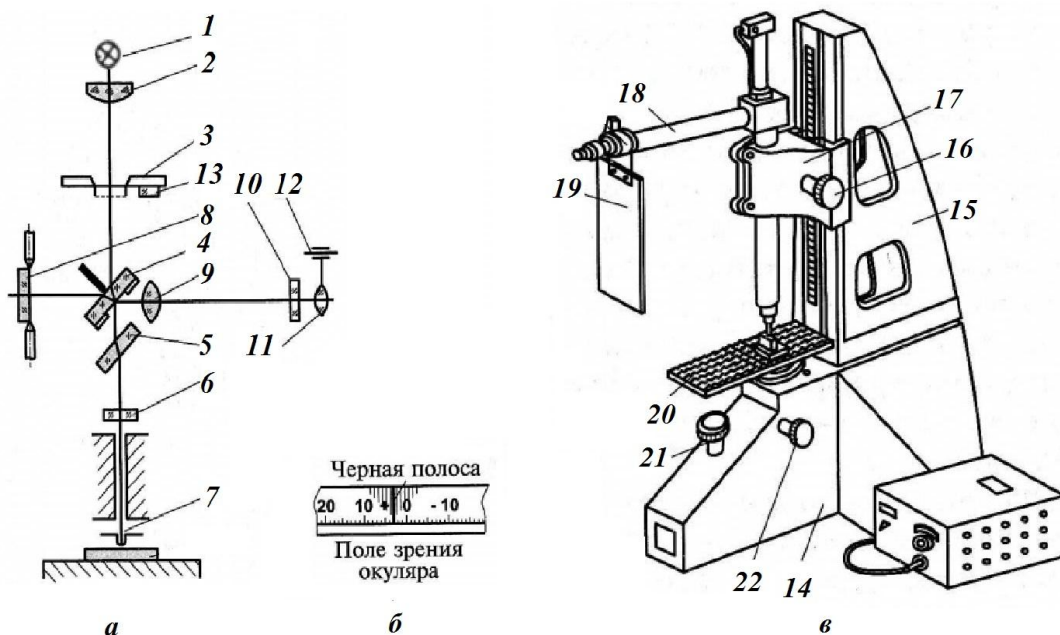


Рис. 59. Контактный интерферометр:

- а – схема интерференционной трубки; б – пример отсчета по шкале прибора;  
в – конструкция вертикального интерферометра типа ИКПВ

может поворачиваться на оси 12, обеспечивая возможность наблюдения необходимого участка шкалы через середину окуляра при минимальных оптических искажениях.

Интерференционные полосы равной толщины образуются в результате поворота зеркала 8 на небольшой угол относительно поверхности зеркала 6. При освещении белым светом на фоне шкалы видна одна черная (ахроматическая) полоса и по обе стороны от нее несколько окрашенных полос убывающей интенсивности (рис. 59, б).

При включении светофильтра 13 наблюдается интерференционная картина при монохроматическом освещении. При этом все поле зрения окуляра заполняют полосы одинаковой интенсивности. Расстояние между отдельными полосами соответствует половине длины световой волны, пропускаемой светофильтром. По монохроматическим полосам калибруется шкала интерферометра. Черная интерференционная полоса служит указателем при отсчетах по шкале, имеющей по 50 делений в обе

стороны от нуля, который смещается пропорционально перемещению измерительного стержня 7. Конструкция трубки интерферометра позволяет регулировать измерительное усилие в пределах: в вертикальном положении – от 0,75 до 2,75 Н, в горизонтальном – от 0,10 до 2,10 Н.

Вертикальный контактный интерферометр типа ИКПВ (рис.59,б) имеет жесткие литые основания 14 и стойку 15. По направляющей стойки может перемещаться при помощи кремальеры 16 кронштейн 17, несущий трубку 18 интерферометра. На трубке закреплен теплозащитный экран 19. Измерительный стол 20 может перемещаться в вертикальном направлении винтом микроподачи 21 и стопориться в установленном положении винтом 22. Диапазон измерения вертикального интерферометра — от 0 до 150 мм.

Основное назначение контактных интерферометров — поверка концевых мер длины разрядов 2; 3 и 4 классов 0; 1 и 2. На них контролируют также размеры и форму особо точных изделий, например, шариков степеней точности 01 и 02 по ГОСТ 3722—60.

В настоящее время выпускаются компьютеризированные контактные интерферометры с аппаратной оцифровкой и обработкой программно-математическим обеспечением.

Оптические длиномеры, предназначены для абсолютных и относительных измерений в больших пределах с высокой точностью. Оптические длиномеры типа ИЗВ–1 имеют цену деления 1 мкм, а у современных длиномеров дискретность отсчета доходит до 0,05 мкм. Конструкция длиномеров обеспечивает выполнение измерений в соответствии с принципом Аббе. На рис.60,а показана схема оптического длинномера типа ИЗВ–1 с отсчетным микроскопом со спиральным нониусом.

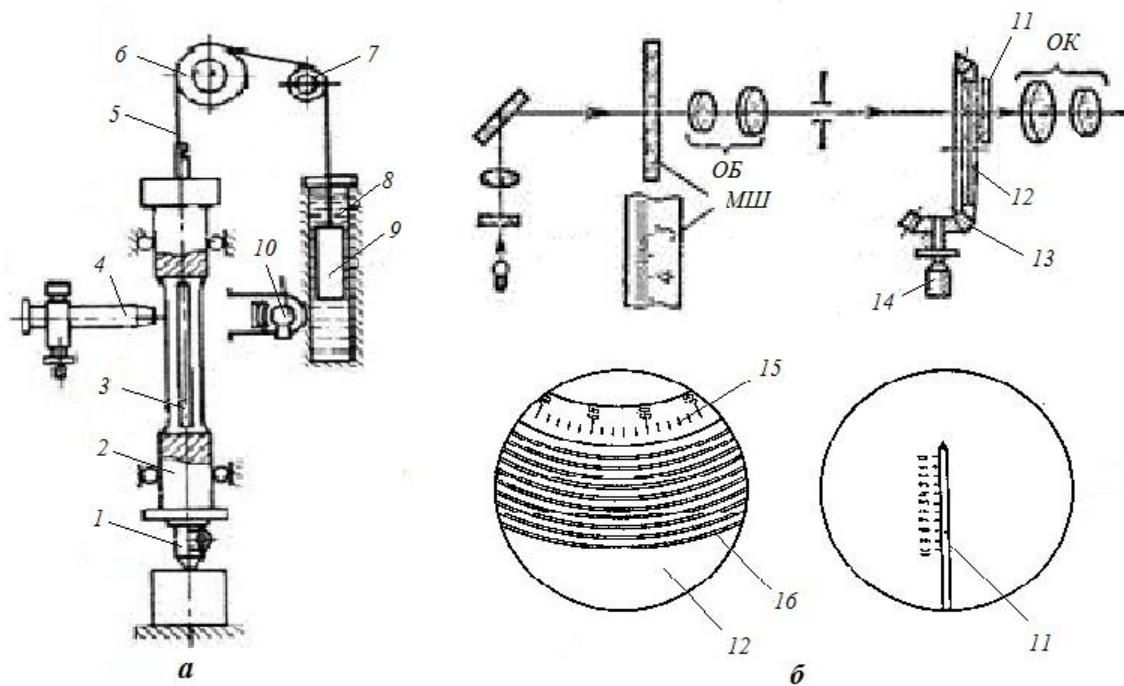


Рис. 60. Оптический дилномер типа ИЗВ-1:

*а* — принципиальная схема, *б* — схема микроскопа со спиральным нониусом

Основная миллиметровая шкала 3, в соответствии с принципом Аббе является продолжением измеряемого размера детали. Шкала 3 имеет деления от 0 до 100 мм. В пиноли 2 закреплен измерительный наконечник 1. Отсчеты по шкале 3, освещаемой источником света 10, производятся при помощи отсчетного микроскопа 4 со спиральным нониусом. Сила тяжести пиноли уравновешена противовесом 9, перемещающимся внутри масляного демпфера 8. Противовес соединен с пинолью гибкой стальной лентой 5, перекинутой через блоки 6 и 7. Измерительная сила прибора определяется разностью масс пиноли и противовеса и остается постоянной на всем пределе измерения 0 – 100 мм. Измерительная сила регулируется в пределах 0,075—0,250 Н при помощи грузовых шайб, устанавливаемых на пиноль

Схема микроскопа со спиральным нониусом показана на рис.60,б. Спиральный нониус состоит из окуляра ОК и двух стеклянных пластинок, установленных одна над другой. На неподвижной пластинке

11 нанесена шкала 17, имеющая десять штрихов с ценой деления 0,1 мм. На поворотной пластинке 12 нанесена двумя эквидистантными линиями спираль Архимеда 16 и круговая шкала 15, разделенная на 100 делений. Шаг архимедовой спирали равен интервалу деления (0,1 мм) шкалы 17. Одному обороту пластинки 12, т. е. 100 делениям ее круговой шкалы, соответствует поступательное перемещение точки спирали вдоль радиальной прямой, равное одному шагу спирали. Таким образом, цена деления круговой шкалы равна  $\frac{0,1\text{мм}}{100} = 0,001\text{мм}$ .

В поле зрения микроскопа (рис.61) видны штрихи миллиметровой шкалы (45,46,47), один из которых находится в зоне линейной шкалы 2, часть круговой шкалы 4 и дуги витков двойной архимедовой спирали 3. Для производства отсчета поворачивают пластинку с круговой шкалой до тех пор, пока дуги ближайшего витка двойной спирали не расположатся симметрично относительно штриха миллиметровой шкалы, который находится в пределах линейной шкалы 2 (46 мм). Отсчет, показанный на рис.61, равен 46,363 мм. Целые миллиметры отсчитывают по штрихам, обозначенным на миллиметровой шкале, десятые доли миллиметра – по линейной шкале (0,3 мм), сотые и тысячные доли –

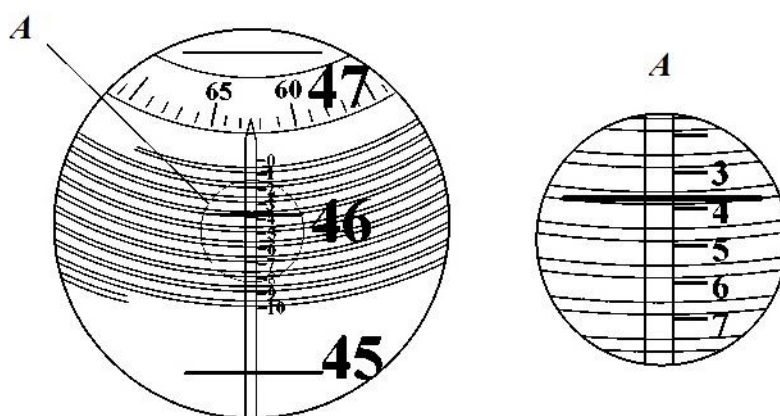


Рис. 61. Пример отсчета показания длинномера типа ИЗВ-1

по круговой шкале (0,063 мм). На рис. 62 показан длинномер ИЗВ-3 с проекционной системой.

В настоящее время вместо устаревших длинномеров типа ИЗВ-1 выпускают современные длинномеры, в которых в качестве отсчетной системы используется преобразователь линейных перемещений на дифракционных решетках. Преобразователь работает совместно с микро-ЭВМ, встроенной в прибор. Вся информация о ходе и результатах измерений выводится на экран дисплея, и может быть распечатана на принтере.



*Рис. 62.* Оптический длинномер типа ИЗВ-3

## Контрольные вопросы

1. Какие средства измерений относятся к группе оптико-механических приборов?
2. С какой ценой деления выпускаются оптиметры?
3. В чем заключается принцип автоколлимации?
4. Какие схемы автоколлимации реализованы в конструкции трубки оптиметра?
5. В чем заключается принцип оптического рычага?
6. Какие пределы измерения имеет шкала трубки оптиметра?
7. Какие операции должны выполняться при периодической поверке оптиметров?
8. Какое основное преимущество имеют оптико-механические измерительные машины по сравнению с оптиметрами?
9. Какие шкалы используются при отсчете показания на оптико-механических измерительных машинах?
10. В каких пределах можно регулировать цену деления контактных интерферометрах?
11. За счет чего изменяется ширина интерференционных полос при настройке цены деления?
12. Какое основное назначение контактных интерферометров?
13. Какую цену деления имеют оптические длинномеры?
14. Какая длина у основной шкалы оптического длинномера?
15. Опишите конструкцию спирального нониуса.

## Рекомендуемая литература

1. МИ 1958-89. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Оптиметры. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1989. – 11 с.

### 15. Оптические измерительные приборы

Оптические или визирные измерительные приборы используются в измерительных лабораториях для бесконтактных измерений линейных и угловых размеров. Оптическая часть таких приборов позволяет получить в окуляре или на экране увеличенное изображение измеряемого объекта, а механическая часть позволяет перемещать объект относительно оптической части с точным отсчетом перемещений. В соответствии с таким принципом построения компоновочной схемы используют два основных метода работы: измерение изображения детали и измерение перемещением детали с визированием по ее изображению. При первом методе можно сравнивать изображение с образцовым чертежом, выполненным в нужном масштабе, иногда с нанесением границ поля допуска, или с образцовым профилем (дуговым, резьбовым и т. п.), нанесенным на пластинку окулярной головки. Разновидность первого метода — вычерчивание на экране действительного изображения детали и последующее прямое измерение этого чертежа. При втором методе перекрестие окуляра или экрана используют как аналог наконечника контактного прибора, последовательно наводя это перекрестие на выбранные точки детали ее перемещением относительно проекционной системы и отсчитывая эти перемещения. К оптическим средствам измерений относятся инструментальные и универсальные микроскопы,



а также проекторы.

Инструментальные микроскопы выпускают по ГОСТ 8074-82 [28] для измерения в проходящем и отраженном свете наружных линейных размеров до 150 мм в продольном направлении и до 50 мм в поперечном направлении, а также угловых размеров до  $360^\circ$  по угломерной головке и столу. Линейные размеры определяют по шкалам микрометрических головок либо на индикаторном табло, если микроскоп оснащен цифровым отсчетом. Цена деления шкал барабанов микрометрических головок составляет 0,005 мм, а дискретность цифрового отсчета 0,001; 0,0005 или 0,0002 мм в зависимости от типа микроскопа. Цена деления угломерной головки 1', а при наличии цифрового отсчета дискретность составляет по ГОСТ 15".

Несмотря на конструктивные различия инструментальных микроскопов, принципиальная схема измерения у них является общей: осуществляется визирование различных точек детали, перемещаемой для этого по взаимно перпендикулярным направлениям, с измерением этих перемещений с помощью отсчетных устройств. Для обеспечения лучшего визирования микроскопы снабжены сменными объективами различной степени увеличения. Для измерения углов в инструментальных микроскопах используют угломерную окулярную головку. Дополнительно микроскопы могут комплектоваться окулярными головками с набором профилей резьб и дугами разной кривизны, а также головкой двойного изображения для быстрого приведения проверяемого отверстия контролируемой детали в положение, при котором его ось будет совмещена с осью микроскопа. Для всех инструментальных микроскопов предусмотрены проекционные приспособления, приспособления для фотографирования и приспособления для установки и закрепления измеряемых деталей.

Рассмотрим устройство инструментального микроскопа на

примере микроскопа модели БМИ (тип ИМ 150х50, Б, ГОСТ 8074-82). На массивном основании 15 микроскопа (рис.63,а) в шариковых направляющих расположен координатный стол 2 с предметным стеклянным столиком 3 и колонка 14 с тубусом визирного микроскопа 6, в нижней части которого установлен объектив визирного микроскопа 5. В комплекте микроскопа входят объективы с увеличениями 1х, 1,5х, 3х и 5х. В верхней части тубуса установлена окулярная головка 11 с увеличением 10х. Кронштейн, соединяющий тубус с колонной, имеет паз в виде ласточкиного хвоста, скользящий по направляющим колонки. Он перемещается с помощью маховика 12 с последующим зажимом винтом 13.

Координатный стол 2 перемещается с помощью микрометрических головок 1 и 16 с ценой деления 0,005 мм на расстояние до 25 мм в продольном и поперечном направлениях. Стол может быть отведен от микрометрических винтов, к которым он прижат пружинами, а между винтами на выдвижных опорах могут быть установлены концевые меры длины. Наибольший размер плитки для продольного смещения стола 125, а для поперечного 25 мм. Таким образом, предел измерения линейных размеров в продольном направлении достигает 150 и в поперечном 50 мм. Замедление движения стола осуществляется амортизаторами в виде часовых зубчатых механизмов.

Предметный столик 3 микроскопа выполнен поворотным и может быть установлен на любой угол с помощью маховика 4 с последующим зажимом винтом 17. Для отсчета угла поворота столика служит градусная шкала с 360 делениями, нанесенными на его обод, и шкала нониуса с величиной отсчета 3'.

Окулярная угломерная головка 11 имеет окуляр 10 – для измерения линейных перемещений и окуляр 8 – для определения

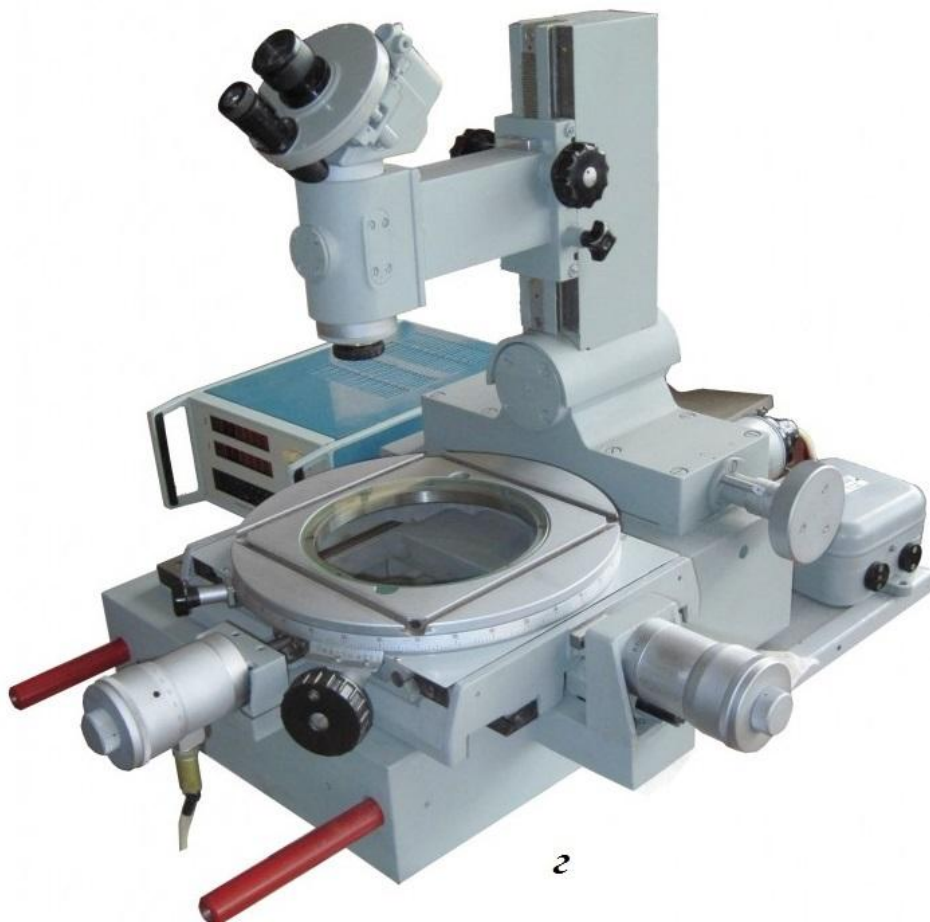
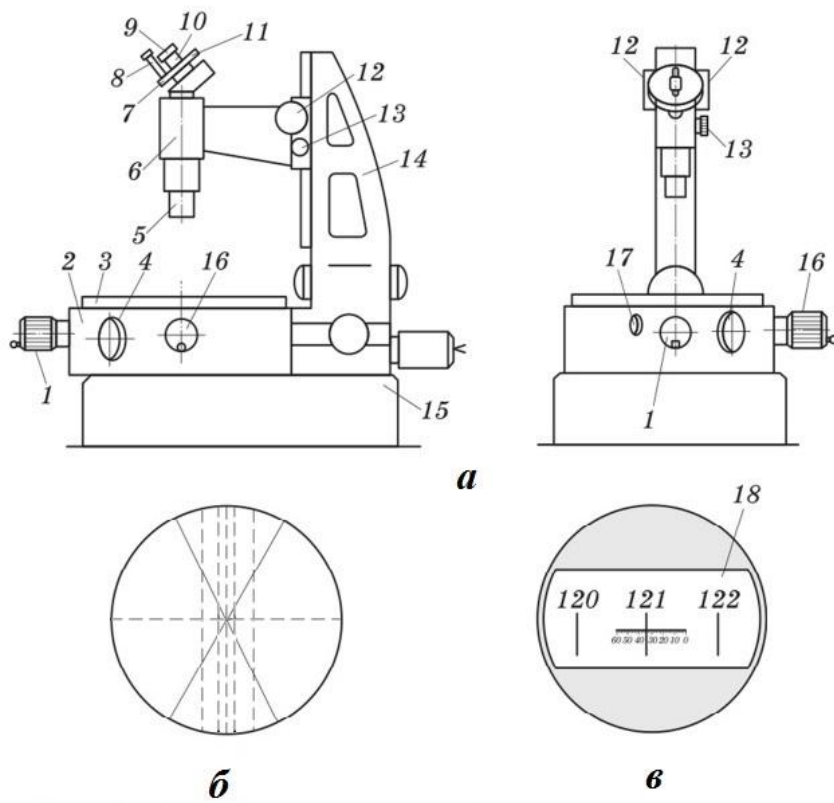


Рис. 63. Большой инструментальный микроскоп

угловых перемещений. Оптическая схема микроскопа обеспечивает наблюдение в штриховой сетке с крестом (рис.63,б), предназначенной для фиксирования линий или точек на измеряемой детали. В окуляре 8 наблюдается градусная шкала 18 и минутная шкала с ценой деления 1' (рис.63, в).

При работе на микроскопе БМИ деталь устанавливают непосредственно на предметном столике или в центрах. При измерении линейных величин перекрестие окулярной сетки устанавливают в начальную точку отсчета и фиксируют начальное показание по шкале микрометрической головки. Вращая барабан микрометрической головки, перекрестие окулярной сетки перемещают в конечную точку отсчета и фиксируют конечное показание по шкале микрометрической головки. Измеряемый размер определяют как разность начального и конечного показаний.

При необходимости угломерная головка может быть заменена на окулярную головку с набором профилей резьб (дуг различной кривизны) или головку двойного изображения. На рис.64 показана окулярная головка и сетка с различными профилями метрической резьбы, видимая в окуляр 1 головки. Такая головка применяется для контроля

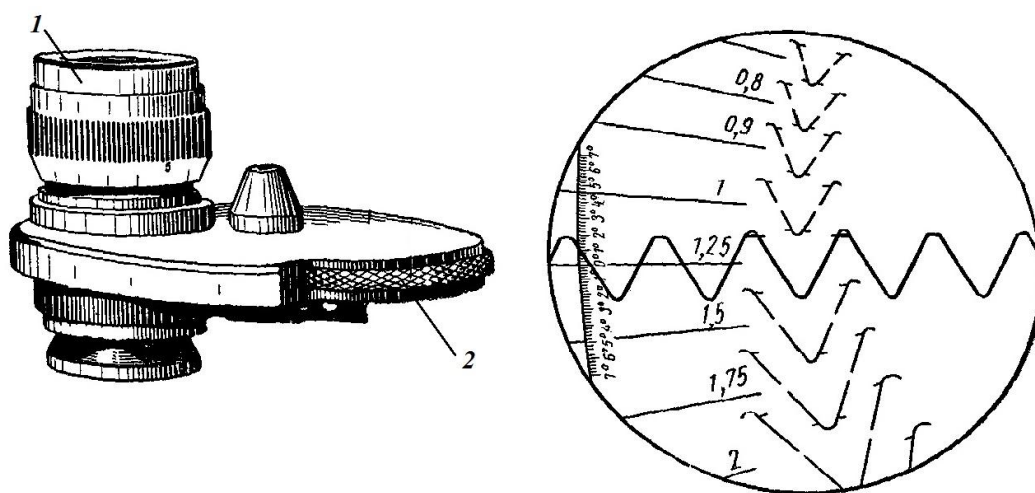
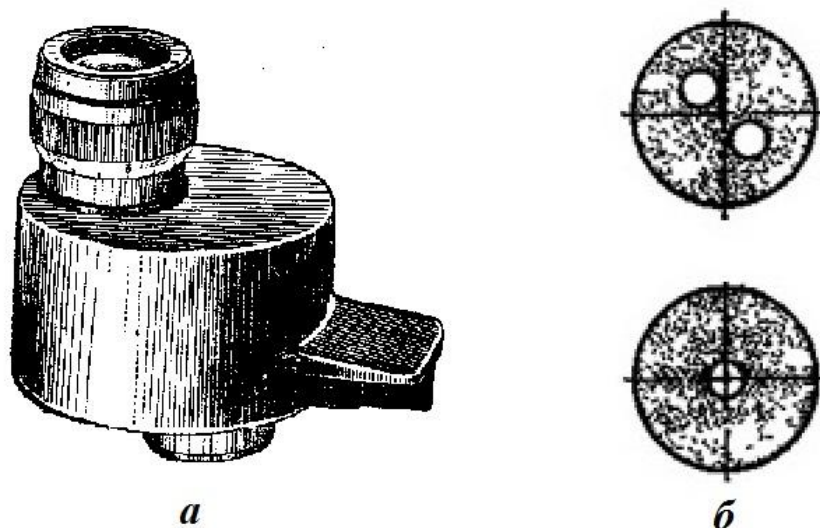


Рис. 64. Окулярная головка с профилями метрической резьбы

профиля резьбы путем сравнения с профилями, нанесенными на сетке головки. Поворотом накатанного обода 2 профили резьб, нанесенных на сетке, смещаются в поле зрения. Проведенные против каждого профиля линии 1; 1,25; 1,5... соответствуют средним диаметрам резьб. При совмещении такой линии с нулевым значением неподвижной шкалы 3 соответствующий профиль займет номинальное положение для проверяемой резьбы. Отклонение профиля на сетке от номинального положения при совмещении его с проверяемым профилем может быть отсчитано по шкале 3.

Головку двойного изображения (рис.65,а) предназначена для измерения расстояний между центрами отверстий. Оптическая схема



*Рис. 65. Головка двойного изображения*

головки дает два изображения отверстия, одно из которых действительное (прямое), а другое обратное. То есть в окуляре наблюдаются два изображения развернутые относительно друг друга на 180°. Перемещение координатного стола с деталью при помощи микрометрических головок приводит к взаимному перемещению изображений отверстия. При приведении отверстия в положение, соосное с оптической осью микроскопа, оба изображения сливаются в одно (рис.65,б). При измерении расстояния между осями отверстий приводят в

соосное положение с осью микроскопа одно из отверстий и снимают первый отсчет по шкалам микрометрических головок. Затем выполняют аналогичные действия с другим отверстием и снимают второй отсчет. Обработывая результаты отсчетов определяют искомое расстояние.

Поверка инструментальных микроскопов осуществляется по ГОСТ 8.003–83 «Микроскопы инструментальные. Методы и средства поверки» [26]. При периодической поверке инструментальных микроскопов выполняют следующие операции:

- проверка совпадения центра перекрестия штриховой сетки угломерной окулярной головки с осью вращения лимба;
- определение основной погрешности при измерении плоских углов угломерной головкой;
- проверка перпендикулярности направлений продольного и поперечного перемещений координатного стола;
- проверка прямолинейности движения координатного стола в продольном и поперечном направлениях;
- проверка параллельности горизонтальной линии перекрестия штриховой сетки окулярной угломерной головки продольному перемещению координатного стола;
- проверка параллельности рабочей поверхности плиты координатного стола и поверхности предметного стекла относительно плоскости движения координатного стола в продольном и поперечном направлениях;
- определение измерительного усилия кареток координатного стола, прикладываемого к микрометрическим головкам;
- определение основной погрешности микроскопа при измерении линейных размеров и вариации показаний отсчетных устройств;
- проверка прямолинейности движения тубуса микроскопа и перпендикулярности его перемещения относительно поверхности

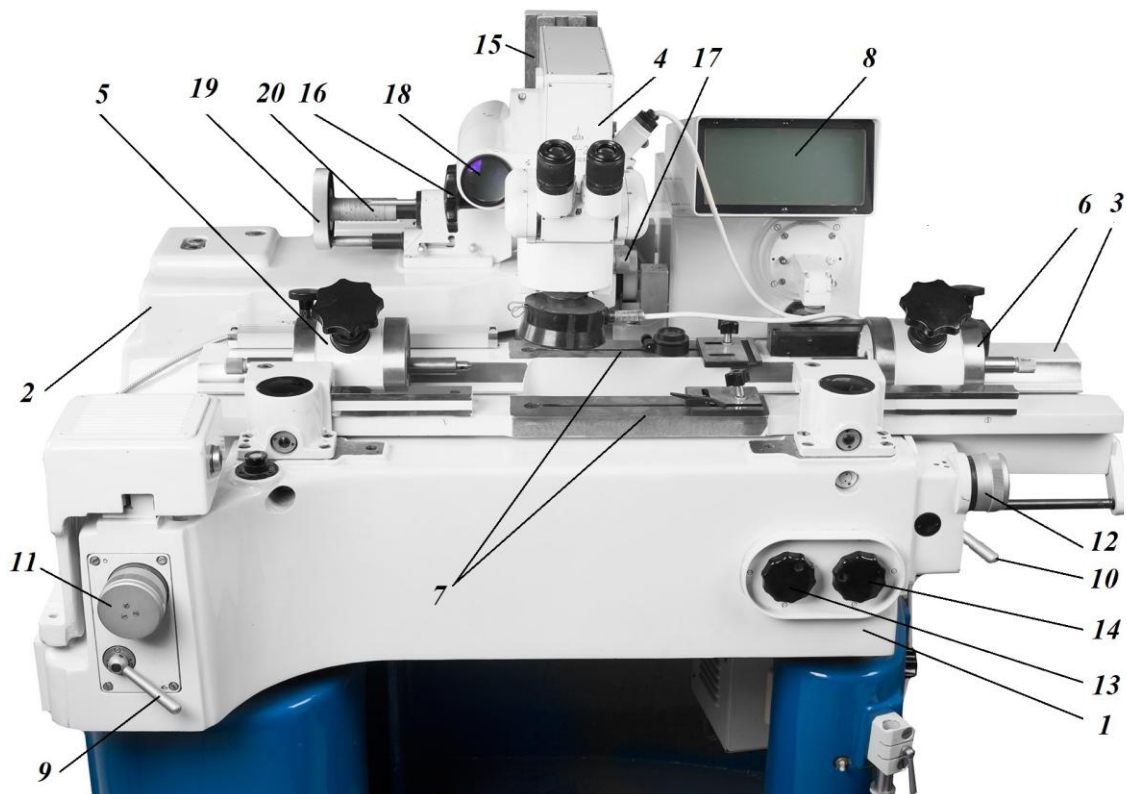
предметного стекла;

- проверка смещения точки наводки микроскопа при его наклоне относительно оси колонки на предельный угол;
- проверка допуска соосности внутренних и наружных центров в горизонтальной плоскости.

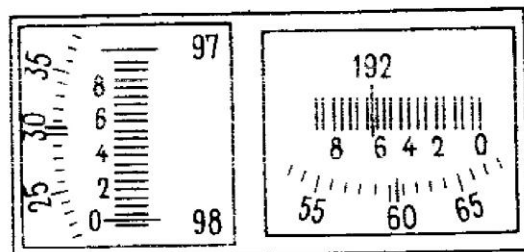
Универсальные измерительные микроскопы имеют большие, чем инструментальные, пределы и точность измерений. Они предназначены для измерения линейных и угловых размеров деталей в прямоугольных и полярных координатах (в частности, резьбовых соединений, режущего инструмента, профильных шаблонов, кулачков, метчиков, резьбонарезных гребенок, диаметров отверстий, а также диаметры малых отверстий, радиусы закруглений и расстояния между осями отверстий).

Измерения на микроскопе осуществляют методом теневой проекции или методом осевого сечения (с применением или без применения измерительных ножей) как в проходящем, так и в отраженном свете. В процессе измерения изображение измеряемого изделия наблюдается на проекционном экране или в поле зрения главного микроскопа. Совмещение изображения изделия с изображением штриховых линий сетки визирной системы осуществляется соответствующими перемещениями кареток. Перемещение кареток в продольном и поперечном направлениях определяют при помощи отсчетных микроскопов по штриховым шкалам; цена наименьшего деления шкалы отсчетного устройства для измерения линейных координат составляет 1 мкм, а углов – 1'.

На рис.66,а показано устройство универсальный измерительный микроскоп УИМ-23. Микроскоп оснащен двумя визирными устройствами (бинокулярной насадкой и проекционной системой с экраном) и отсчетными системами проекционного типа. На массивном



*а*



*б*

*Рис. 6б.* Универсальный измерительный микроскоп УИМ-23:  
 а – внешний вид; б – изображение шкал при отсчете показаний

основании *1* смонтированы две измерительные каретки *2* и *3*, перемещающиеся в продольном и поперечном направлениях. На продольную каретку устанавливается контролируемое изделие. На поперечной каретке смонтированы визирная и осветительная системы (в комплектации на рисунке показана бинокулярная насадка *4*). Каретка



продольного перемещения 2 имеет цилиндрические направляющие, по которым перемещаются центровые бабки 5 и 6. Опорные плоскости 7 предназначены для установки на микроскоп плоского или круглого предметного стола (на рисунке не показаны).

Для закрепления кареток в требуемом положении служат тормозные рукоятки 9 и 10. При отжатых рукоятках каретки можно легко передвигать вручную. Точная установка кареток производится вращением микрометрическими винтами 11 и 12 при закрепленных тормозных рукоятках. Перемещения кареток определяют по двум стеклянным миллиметровым шкалам, установленным на каждой из кареток. Изображения шкал наблюдают на двух отсчетных проекционных экранах 8 (рис.66,б). Для отсчета долей миллиметра устанавливают с помощью маховиков 13 или 14 изображение миллиметрового штриха точно посередине ближайшего младшего биссектора шкалы десятых долей миллиметра при этом перемещается и шкала сотых и тысячных долей миллиметра. Отсчеты по шкалам на рисунке составляют: для поперечной каретки – 93,030 мм, а для продольной каретки – 192,661 мм.

Кронштейн с визирной системой перемещается в вертикальном направлении вдоль направляющих 15 колонны вращением маховика 16. Для точной установки кронштейна по высоте используется винт 17. Кронштейн может быть закреплен в любом положении стопорным винтом (на рисунке не показан).

В верхней части тубуса визирной системы расположена угломерная головка, в которую помещен стеклянный диск со штриховыми линиями. По этим линиям, находящимся в поле зрения визирной системы, осуществляется наводка на контур измеряемого изделия. Диск можно поворачивать на любой угол маховиком (на рисунке не показан). Вместе с диском со штриховыми линиями

вращается градусный лимб. Изображение штрихов лимба наблюдается на отсчетном экране 18 одновременно с изображением минутной шкалы.

Колонна может быть наклонена вместе с визирной системой относительно вертикального положения на угол  $\pm 12^{\circ}30'$  с помощью маховика 19. Угол наклона колонны устанавливают по шкале 20.

В визирную систему прибора встроено оптическое устройство с призмой двойного изображения (перффлектометр), предназначенное для измерения внутренних сквозных размеров деталей бесконтактным методом. В процессе измерения на экране наблюдают два цветных изображения перекрестия сетки и такие же цветные изображения образующей измеряемого отверстия, принимающие его форму. Цветное изображение достигается с помощью соответствующих фильтров, встроенных в оптическую систему после разделения светового пучка призмой двойного изображения.

Поверка универсальных микроскопов производится по МИ 236-81 «Микроскопы измерительные универсальные. Методы и средств поверки» [56]. Операции периодической поверки включают внешний осмотр, опробование, определение отклонения от прямолинейности движения кареток, определение отклонения от параллельности опорной поверхности кареток направлению движения и отклонения от параллельности опорных поверхностей между собой, определение отклонения от перпендикулярности направлений движения кареток продольного и поперечного перемещений. Кроме этого проверяются характеристику колонки визирной системы, визирной системы и бинокулярной насадки, отсчетные устройства для угловых измерений и отсчетные устройства для измерения перемещений кареток, центровые бабки, предметный стол, перффлектометр, а также контрольный цилиндрический калибр для поверки измерительных ножей.

Далее определяют погрешности микроскопа при измерении проекционным методом:

- длины участков шкалы;
- диаметров гладкого цилиндрического калибра;
- среднего диаметра резьбового калибра;
- плоского угла.

Также определяют погрешность измерения среднего диаметра резьбового калибра методом осевого сечения и погрешность измерения диаметра сквозного отверстия с применением перффлектометра.

Измерительные проекторы (ГОСТ 19795-82) предназначены для измерения и контроля линейных и угловых размеров изделий в проходящем и отраженном свете, спроецированных на экран с той или иной степенью увеличения [10]. Их используют для контроля деталей со сложными поверхностями и мелких деталей, например мелко модульных зубчатых колес, мелких резьб, шаблонов и лекал и т. п. Принцип действия проекторов заключается в том, что контролируемая деталь или часть ее проецируется в увеличенном виде на экран. На светлом фоне экрана получается теневое изображение детали. На экран можно помещать чертеж, выполненный на стекле или кальке, с одним или двумя предельными контурами детали в масштабе, равном увеличению проектора. Такой чертеж называют проекторным. Деталь считают годной, если действительный контур ее изображения на экране расположен между предельными контурами проекторного чертежа. Размеры на проекторах определяют непосредственным измерением увеличенного изображения детали на экране или по показаниям отсчетных устройств, фиксирующих перемещение стола с измеряемой деталью. Многие современные измерительные проекторы имеют фотоэлектрические или магнитные датчики, позволяющие регистрировать перемещения стола на табло цифрового индикатора с точностью до 0,005 мм.

Технические характеристики проекторов: линейное увеличение –  $10^x$ ,  $20^x$ ,  $50^x$ ,  $100^x$ ,  $200^x$ ; цена деления шкалы нониусов отсчетных устройств для линейных (0,001; 0,002; 0,005; 0,01 мм) и угловых (2'; 3'; 5') измерений. Дискретность цифрового отсчета при линейных измерениях 0,0005; 0,001 мм.

На рис.67 показан измерительный проектор ПИ-300ЦВ.



Рис. 67. Измерительный проектор ПИ-300ЦВ

### Контрольные вопросы

1. Какие измерительные приборы относятся к оптическим средствам измерения?
2. Какую цену деления имеют шкалы микрометрических головок?

3. Какую дискретность цифрового отсчета могут иметь инструментальные микроскопы?
4. Какое увеличение имеют сменные объективы инструментальных микроскопов?
5. Какое увеличение имеет окулярная головка инструментальных микроскопов?
6. Чем отличаются малый и большой инструментальный микроскоп?
7. Какие пределы измерений в продольном и поперечном направлениях имеет большой инструментальный микроскоп?
8. Для каких целей предназначена головка двойного изображения?
9. Для каких измерений предназначены универсальные измерительные микроскопы?
10. Какую цену деления имеют отсчетные устройства универсальных измерительных микроскопов?
11. Какими методами могут производиться измерения на универсальных измерительных микроскопах?
12. Для каких измерений используются измерительные проекторы?
13. Что такое проекторный чертеж?
14. С какой точностью можно производить измерения на проекторах линейных и угловых размеров?

### **Рекомендуемая литература**

1. МИ 1958-89. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Оптиметры. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1989. – 11 с.
2. ГОСТ 8074-82. Микроскопы инструментальные. Типы, основные параметры и размеры. Технические требования. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 21 с.

3. ГОСТ 8.003–83. Микроскопы инструментальные. Методы и средства поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 24 с.
4. МИ 236-81. Микроскопы измерительные универсальные УИМ-21, УИМ-23, УИМ-29. Методы и средств поверки. – Ленинград: Тип. ЛОМО, 1982. – 10 с.
5. ГОСТ 19795-82. Проекторы измерительные. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 8 с.

## 16. Средства контроля и измерения резьбы

Одним из самых распространенных типов соединения деталей машин являются резьбовые соединения. Качество резьбовых соединений в первую очередь определяется соответствием геометрических параметров резьбы предъявляемым к ним требованиям. На рис.68 показан профиль метрической резьбы и её геометрические

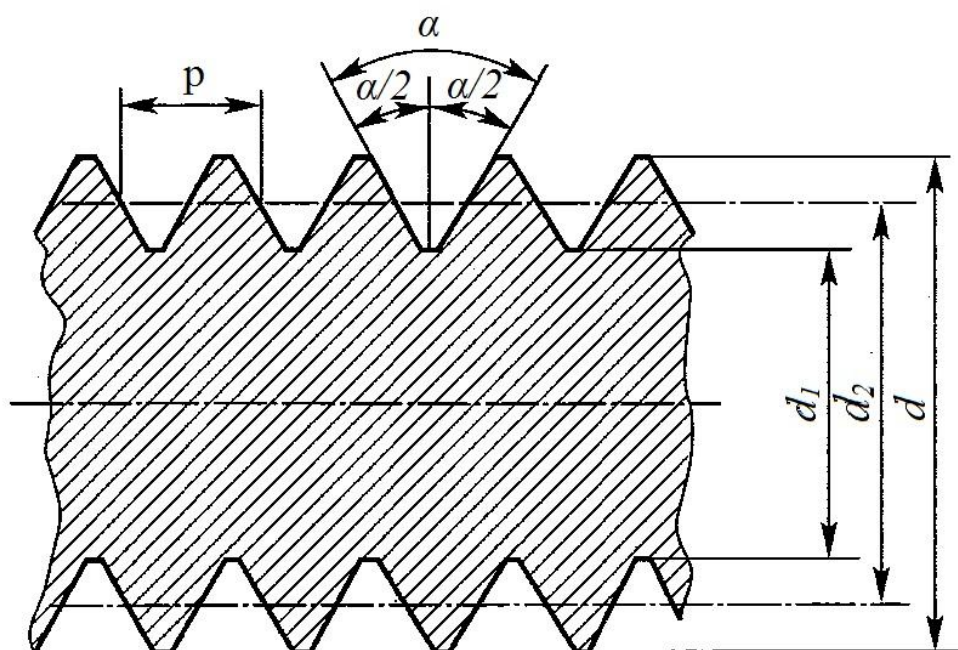


Рис. 68. Геометрические параметры резьбы

параметры: наружный  $d$ , внутренний  $d_1$  и средний  $d_2$  диаметры; шаг резьбы  $p$ ; угол профиля  $\alpha$  и половина угла профиля  $\alpha/2$ . В резьбовых соединениях посадка чаще всего осуществляется по боковым сторонам профиля резьбы, поэтому основные требования предъявляются к среднему диаметру, шагу и половине угла профиля. К наружному и внутреннему диаметрам предъявляется требование по обеспечению гарантированного зазора по выступам и впадинам профиля резьбы.

Для проверки соответствия резьбы предъявляемым требованиям применяются комплексный и дифференциальный (поэлементный) методы. Комплексный метод предполагает одновременный контроль сразу нескольких параметров резьбы: среднего диаметра, шага и половины угла профиля, т.е. приведенный средний диаметр, а также наружный и внутренний диаметры. Для комплексного контроля используют резьбовые калибры. Для дифференциального контроля резьбы используют универсальные и специальные средства измерений (штангенциркули, гладкие и резьбовые микрометры, резьбомеры и т.д.).

Чаще всего для контроля точных резьб применяют предельные резьбовые калибры пробки и кольца. В большей степени это относится к контролю внутренней резьбы, особенно небольших размеров, где применение универсальных и даже специальных средств измерений затруднено.

Для контроля внутренней резьбы применяют проходные (ПР) и непроходные (НЕ) резьбовые пробки (рис.69,а). Кроме того, для проверки внутреннего диаметра могут применяться гладкие калибры пробки. Аналогично для контроля наружной резьбы применяют резьбовые проходные (ПР) и непроходные (НЕ) резьбовые кольца (рис.69,б). Для проверки наружного диаметра могут применяться гладкие скобы.

При контроле калибрами резьба считается годной, если

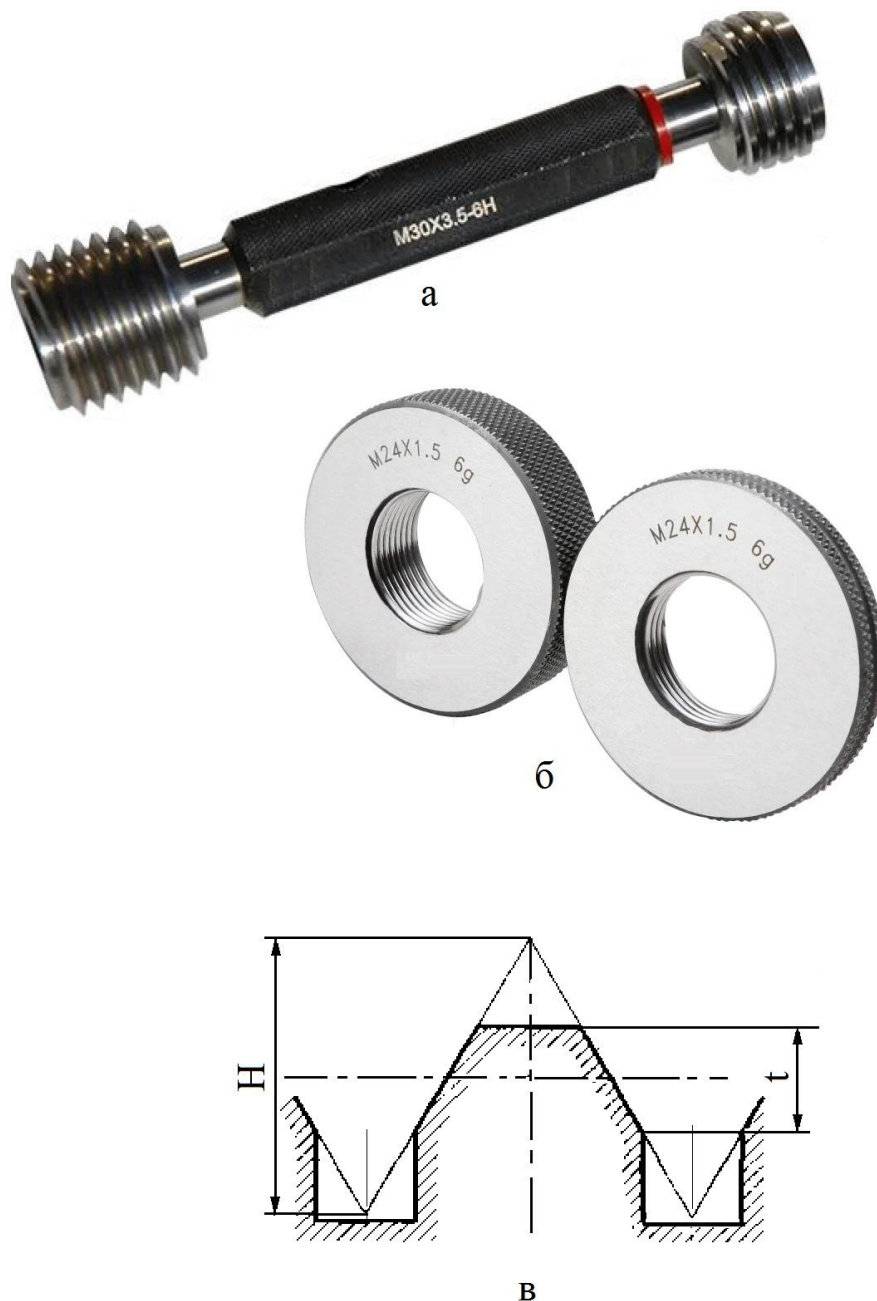


Рис. 69. Резьбовые калибры

проходной калибр свинчивается с изделием по всей длине резьбы без усилия, а непроходной калибр не свинчивается с изделием (допускается свинчивание не более чем на 2 оборота). Калибр ПР комплексно контролирует  $d_2$ ,  $p$  и  $\frac{\alpha}{2}$  (т.е. приведенный средний диаметр), а также  $d$  или  $d_1$ . Он имеет полный профиль и достаточно большое число витков. Калибр НЕ контролирует только собственно средний диаметр,



он имеет укороченный профиль высотой  $t \approx 0,5\sqrt{T}$  (рис.68,в), а длина резьбовой части непроходного калибра составляет всего 2–3,5 витка. Укороченный профиль резьбы уменьшает влияние погрешности половины угла профиля резьбы на результаты контроля непроходным калибром. Другим отличительным признаком непроходных калибров является гладкая цилиндрическая направляющая. Непроходные кольца имеют отличительную проточку посередине наружной цилиндрической поверхности кольца.

Контркалибры-пробки для резьбовых колец имеют гораздо большее значение, чем контркалибры для гладких скоб. Особенно для малых и средних размеров резьбовой контркалибр – практически единственное средство для измерения и установки размеров регулируемых резьбовых колец. Поэтому контркалибры обязательно используются при настройке и поверке рабочих калибров как при изготовлении, так и в эксплуатации.

ГОСТ 24939-81 «Калибры для цилиндрических резьб. Виды» [14] предусматривает следующие виды контрольных и установочных калибров:

*КПР-ПР (КПР-НЕ)* – калибр-пробка резьбовой контрольный проходной (непроходной) для проходного резьбового калибра–кольца;

- *КНЕ-ПР (КНЕ-НЕ)* – калибр-пробка резьбовой контрольный проходной (непроходной) для непроходного резьбового калибра–кольца;
- *К-И (КИ-НЕ)* – калибр-пробка резьбовой контрольный для контроля износа проходного (непроходного) резьбового калибра–кольца;
- *У-ПР (У-НЕ)* – калибр-пробка резьбовой установочный для регулируемого проходного (непроходного) резьбового калибра–кольца.

КПР-ПР (КПР-НЕ) и КНЕ-ПР (КНЕ-НЕ) применяются при изготовлении резьбовых калибров и не поставляются потребителям. Контркалибры износа являются непроходными, т.е. они не должны ввинчиваться в контролируемый калибр-кольцо (допускается ввинчивание до 2 оборотов). Установочные калибры являются проходными, т.е. должны ввинчиваться в правильно отрегулированный калибр-кольцо без ощутимого зазора.

Кроме резьбовых калибров-колец ГОСТ 24939-81 предусматривает резьбовые калибры-скобы. Проходной калибр-скоба должен скользить по контролируемой резьбе под действием собственного веса или определенной силы не менее чем в трех точках, расположенных на равном расстоянии по всей окружности резьбы. Непроходной калибр-скоба не должен проходить по контролируемой резьбе под действием собственного веса или определенной силы ни в одной из трех точек (не менее), расположенных на равном расстоянии по всей окружности резьбы.

Изготовление резьбовых калибров осуществляется согласно ГОСТ 2016-86 «Калибры резьбовые. Технические условия» [11], а контроль по МИ 1904-88 «Калибры резьбовые цилиндрические. Методика контроля» [42].

Резьбы, для которых установлены нормы точности на отдельные геометрические параметры, контролируются поэлементно. Такой контроль характерен для точных резьбовых деталей, таких как, резьбовые калибры, резьбонарезной инструмент, ходовые и микрометрические винты. В большинстве случаев удастся измерять параметры только наружных резьбы. При измерении каждого параметра необходимо исключить влияние на результат других элементов резьбы. Особенностью измерения резьбы является то, что контролируемая поверхность имеет сложную форму, поэтому

приходится применять специальные измерительные наконечники (сферические, конические, призматические) или же устанавливать в резьбу специальные промежуточные детали (проволочки, шарики). Для измерения наружного диаметра резьбы используют штангенциркули или гладкие микрометры, а для определения шага резьбы – резьбовые шаблоны.

Резьбовые шаблоны (рис.70) выпускаются в виде сдвоенной обоймы металлических пластин с эталонным профилем метрической или дюймовой резьбы различных шагов. Конструкция обоймы набора обеспечивает возможность свободной замены любого шаблона, а также регулирование плавности вращения их на оси. Они применяются для определения номинального шага путем подбора шаблона, плотно прилегающего к профилю резьбы с неизвестным шагом.

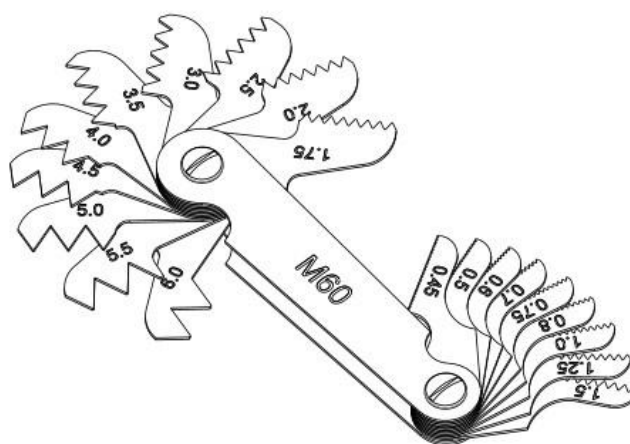


Рис. 70. Резьбовой шаблон

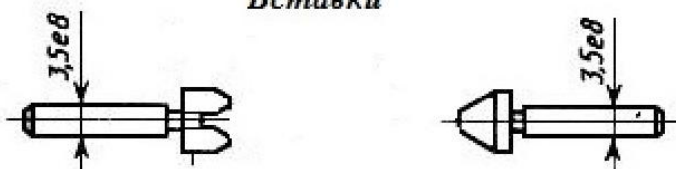
Набор резьбовых шаблонов М60° для метрической резьбы содержит 20 шаблонов с шагом резьбы от 0,4 до 6 мм. Набор резьбовых шаблонов Д55° для дюймовой резьбы содержит 17 шаблонов для резьбы с числом ниток на дюйм от 28 до 4. Материалом для изготовления шаблонов служит сталь 50. Проверку шаблонов по элементам профиля

производят на инструментальном микроскопе с помощью профильной головки.

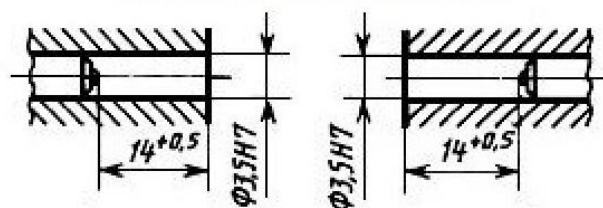
Микрометры со вставками типа МВМ (рис.71) для измерения среднего диаметра метрических, дюймовых и трубных резьб выпускаются по ГОСТ 4380-93 [18]. Они отличаются от гладких микрометров наличием в пятке и конце микровинта глухих отверстий диаметром 3,5, на дне которых закреплены опорные шарики. Чтобы вставки не выпадали из отверстий, хвостовую часть их разрезают и слегка разводят для образования натяга в посадке порядка 0,01—0,06 мм. Разрез выполняют с опорного торца вставки смещенным относительно ее оси, чтобы не нарушать нормального контакта плоскости торца и опорного шарика. Коническую вставку устанавливают в отверстие микровинта, а призматическую – в



*Вставки*



*Отверстия под вставки*



отверстие пятки. Вставки объединяют в наборы парами (одна вставка призматическая, другая коническая). ГОСТ 4380-93 предусматривает пары вставок для следующих шагов или диапазонов шагов метрической резьбы: 0,4-0,45; 0,5-0,6; 0,7-0,8; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6. В зависимости от диапазона измерения резьбовые микрометры комплектуются различным числом пар вставок. Например, Микрометр для измерения среднего диаметра метрической резьбы с диапазоном 0–25 комплектуется 10 парами вставок (0,4-0,45; 0,5-0,6; 0,7-0,8; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3).

Для того чтобы при установке на микрометре любой пары вставок обеспечить правильное положение края скоса барабана относительно нулевого штриха шкалы, барабан выполняют раздвижным, состоящим из двух частей, соединяемых цанговым зажимом при затягивании гайки. В некоторых конструкциях микрометров вместо раздвижного барабана применяют переставную пятку, перемещение которой позволяет компенсировать отклонение длины пары вставок. К микрометрам с резьбовыми вставками с пределом измерения свыше 25 мм прилагаются плоские установочные меры с соответствующим углом профиля.

Пример условного обозначения микрометров со вставками для измерения среднего диаметра метрических, дюймовых и трубных резьб с диапазоном измерения 0-25 мм: *МВМ 0-25* ГОСТ 4380-93.

Проверка микрометров со вставками состоит из проверки микрометров, проверки вставок и проверки установочных мер. При периодической проверке микрометров со вставками по МИ 2077-90 должны выполняться следующие операции [48]:

- внешний осмотр;
- опробование;
- проверка диаметра отверстия под вставки в микрометрическом винте и пятке;

- определение диаметра хвостовой части вставок;
- определение измерительного усилия и его колебания;
- определение расстояния между опорными поверхностями двух спаренных вставок;
- определение погрешности микрометров с плоскими вставками;
- определение погрешности микрометров со вставками;
- определение размера установочных мер.

Проверку соосности отверстий в микровинте и пятке производят путем введения специального цилиндрического калибра с диаметром рабочих поверхностей  $3,49_{-0,003}$  мм. Определение погрешности микрометров с плоскими вставками производят по концевым мерам аналогично проверке гладких микрометров. Погрешность микрометров со вставками определяют либо по двум установочным мерам, соответствующим нижнему и верхнему пределам измерения, либо по установочной мере, соответствующей нижнему пределу измерения, и по резьбовым калибрам, соответствующим по номинальному среднему диаметру верхнему пределу измерения и по номинальным значениям шага резьбы – каждой паре входящих в комплект микрометра вставок.

Погрешности измерения среднего диаметра резьбы микрометром со вставками в основном вызываются погрешностями половин угла профиля резьбы и самих вставок, а также погрешностями шага измеряемой резьбы. Погрешность измерения среднего диаметра с помощью микрометра составляет до  $\pm 0,015$  мм при диаметрах до 50 мм.

Для получения более точного значения среднего диаметра резьбы применяют косвенный метод измерения с промежуточными деталями (проволочками или роликами), закладываемыми во впадины резьбы, при этом используют такие средства измерений, как микрометры, оптиметры, длинномеры или иные контактные средства измерения.

ГОСТ 2475-88 предусматривает три типа проволочек и роликов [12]:

I – проволочки гладкие (рис.72,а);

II – проволочки ступенчатые (рис.72,б);

III – ролики (рис.72,в).

Тип проволочки определяется её диаметром:

от 0,045 мм до 0,346 мм – тип I;

от 0,115 мм до 4,980 мм – тип II;

от 5,176 мм до 35,00 мм – тип III;

Проволочки и ролики следует изготавливать из углеродистой стали У10А, У12А; из хромистой стали Х; из подшипниковой стали ШХ15. Допускается изготавливать проволочки и ролики из быстрорежущей

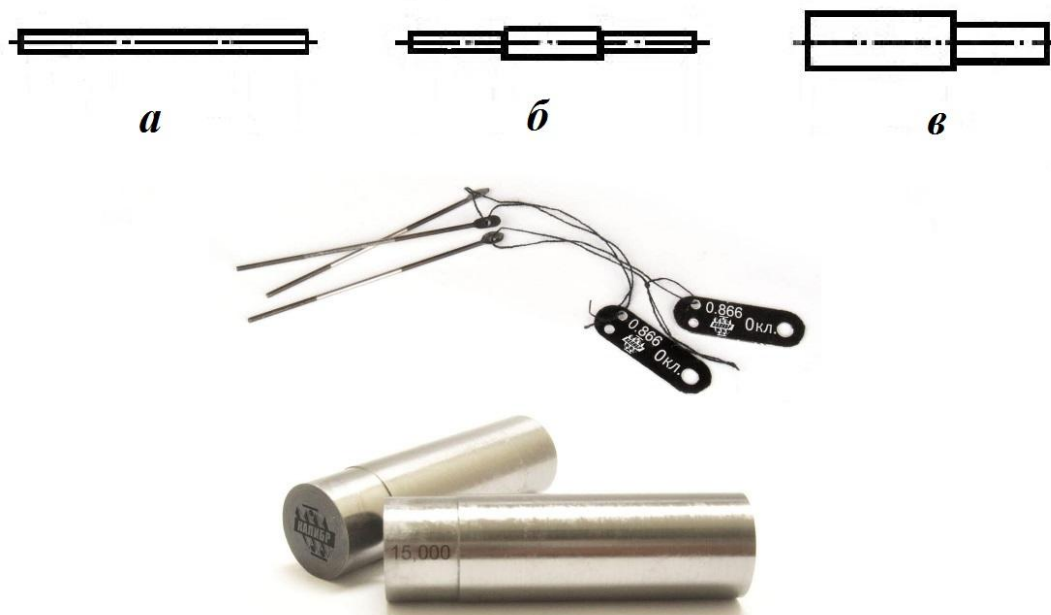


Рис. 72. Проволочки и ролики для измерения среднего диаметра резьбы

стали. Твердость рабочих поверхностей проволочек и роликов из углеродистой и хромистой сталей должна быть не ниже 58 HRC; из быстрорежущей стали – не ниже 62,1 HRC. Шероховатость рабочих поверхностей не более  $Ra0,04$ . Конструкция проволочек должна предусматривать возможность их применения в приспособлениях для подвешивания.

Пример условного обозначения гладких проволочек диаметром 0,101 мм класса точности 0: *Проволочки I-0,101 кл.0 ГОСТ 2475-88.*

Проволочки и ролики изготавливают 2 классов точности: 0 и 1. Для примера предельное отклонение номинального диаметра проволочек для диаметров до 4,980 мм для класса точности 0 составляет  $\pm 0,3$  мкм, а для класса точности 1 –  $\pm 0,5$  мкм.

Проволочки применяют с колодками для их крепления. В комплекте из трех проволочек две проволочки подвешиваются к одной бирке, а третья проволочка — к другой. Расстояние от центра большого отверстия бирки (точки подвеса бирки при измерении проволочками) до середины проволочки равно 80 мм.

Методика МИ 2078-90 [49] предусматривает при периодической проверке кроме внешнего осмотра, определение рабочего диаметра, огранки и отклонения формы. Определение рабочего диаметра производят в трех сечениях: среднем и двух крайних, расположенных на расстоянии  $1/3$  длины рабочей части от её границы, а в каждом сечении – в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Огранку определяют на контактных измерительных приборах (интерферометрах, оптиметрах и пружинных или пружинно-оптических измерительных головках) в призматической канавке, используя при этом специальные призматические вставки. За величину огранки принимают разность между наибольшими и наименьшими показаниями при повороте проволочки в призме на  $360^\circ$ .

При измерении среднего диаметра с помощью проволочек их закладывают в витки резьбы, и производят измерение наружного размера по внешним поверхностям проволочек. Схемы измерения с помощью проволочек показаны на рис.73. При изменении выбираемого диаметра  $d_{np}$  проволочки, положение её во впадине меняется и при этом в значительной мере сказываются погрешности угла профиля. Для уменьшения влияния этой погрешности выбирают проволочки



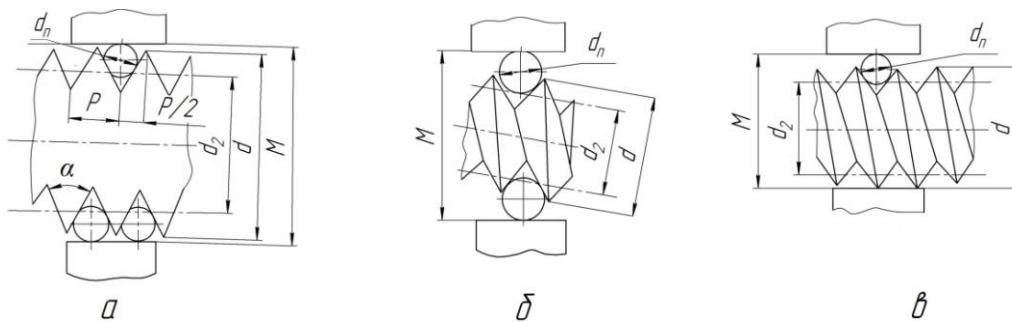


Рис. 73. Измерение среднего диаметра:

*a* - с помощью трех проволок; *б* - с помощью двух проволок;  
*в* - с помощью одной проволоки

наивыгоднейшего диаметра  $d_{ннв}$ , который обеспечивает их касание с впадиной резьбы по линии среднего диаметра  $d_2$ .

Наивыгоднейший диаметр определяют по формуле

$$d_{ннв} = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (4)$$

Для метрической резьбы  $d_{ннв} = 0,577P$ .

Наиболее часто измерение производят с помощью трех проволок: две проволоки закладывают в витки резьбы с одной стороны, при этом они предназначаются для базирования одной плоской измерительной поверхности СИ, третью проволоку устанавливают с противоположной стороны резьбы симметрично двум другим проволокам, эта проволока контактирует со второй измерительной поверхностью СИ. Средний диаметр для метрической резьбы ( $\alpha = 60^\circ$ ) рассчитывают по формуле

$$d_2 = M - 3d_{ннв} + 0,866P, \quad (5)$$

Метод двух проволок используют при измерении резьб с малым числом витков, например, у резьбовых непроходных калибров. В этом случае измерение происходит не в плоскости, перпендикулярной к оси резьбы, а в наклонной плоскости, и требуется введение соответствующей поправки. Последовательность выполнения

измерений в этом случае такая же, как и при методе трех проволок. Значение среднего диаметра измеряемой резьбы методом двух проволок определяется для метрической резьбы по формуле

$$d_2 = M - 3d_{ннв} + 0.866P - P^2/[8(M - d_{ннв})] \quad (6)$$

Для резьбы большего диаметра и шага, а также при измерении среднего диаметра с большим углом подъема, применяется метод измерения среднего диаметра резьбы с помощью одной проволоки. Базирование измеряемой резьбы по отношению к прибору происходит по наружному диаметру, при этом возникает погрешность от биения наружного диаметра относительно среднего. Для её исключения измерение производят дважды при повороте измеряемой детали вокруг оси на  $180^\circ$ , а при расчете используют среднее значение двух измерений  $M_{cp}$ . Определение среднего диаметра резьбы, измеряемого одной проволокой, производится для метрической резьбы по формуле

$$d_2 = 2M_{cp} - d - 3d_{ннв} + 0.866P \quad (7)$$

Погрешность измерения среднего диаметра резьбы на горизонтальном оптиметре методом трех проволок (с учетом поправок) составляет от  $\pm 1,5$  до  $\pm 3,5$  мкм в зависимости от диаметра резьбы, классов точности концевых мер и проволок.

Инструментальный и универсальный микроскопы позволяют измерять все основные параметры наружной резьбы: средний диаметр, наружный и внутренний диаметры, шаг, угол профиля, прямолинейность и закругления профиля. На микроскопах проверяют резьбовые калибры, метчики, резьбовые фрезы и разные изделия с точной резьбой. Измерения резьбы могут производиться проекционным методом в проходящем свете или по методу осевого сечения при помощи измерительных ножей.

При измерении диаметров и шага резьбы проекционным методом

производят визирование линий окулярной сетки угломерной головки на необходимый элемент контура резьбы с отсчетом показания по шкалам микрометрической головки.

При измерении среднего диаметра совмещают центральную пунктирную линию окулярной сетки с левой или правой стороной профиля резьбы и производят первый отсчет по шкалам микрометрической головки поперечной подачи столика, после чего смещают резьбовую деталь в поперечном направлении до появления в поле зрения противоположного контура резьбы и совпадения центральной пунктирной линии сетки со стороной профиля и производят второй отсчет. Разность двух отсчетов дает значение среднего диаметра (рис.74,а).

При измерении шага совмещают центральную пунктирную линию окулярной сетки с левой или правой стороной профиля резьбы и производят первый отсчет по шкалам микрометрической головки продольной подачи столика, после чего смещают резьбовую деталь в продольном направлении до совпадения центральной пунктирной линии сетки со стороной соседнего профиля и производят второй отсчет. Разность двух отсчетов дает значение шага резьбы (рис.74,б).

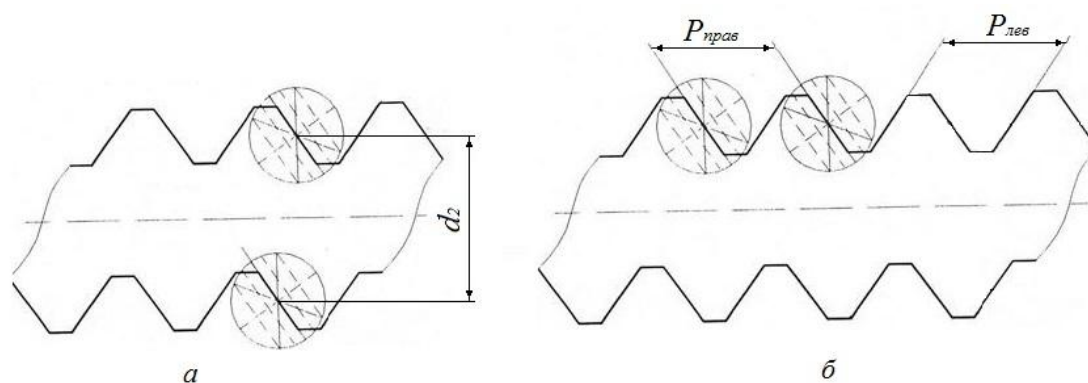


Рис. 74. Измерение резьбы на микроскопе

Измерение половины угла профиля производят по шкале угломерной окулярной головки после совмещения центральной

пунктирной линии сетки с левой и правой стороной профиля.

Измерения с ножами обеспечивают более высокую точность, так как позволяют исключить искажение изображения профиля резьбы, вызываемые влиянием угла подъема и дифракцией. Для измерений с ножами обычно используются универсальные микроскопы.

Резьбовые измерительные ножи по ГОСТ 7013-67 [23] должны изготавливаться следующих типов:

РПБ – резьбовые правые большие;

РЛБ – резьбовые левые большие;

РПМ – резьбовые правые малые;

РЛМ – резьбовые левые малые.

Ножи имеют доведенные строго прямолинейные измерительные поверхности, параллельно которым на верхних плоскостях ножей нанесен тонкий штрих (рис.75). Расстояние  $l$  от измерительной поверхности до штриха для больших ножей составляет  $0,9 \pm 0,0005$  мм, а для малых –  $0,3 \pm 0,0005$  мм. Малые резьбовые ножи применяются для измерения резьбы с шагом от 0,5 до 1,5 мм, а большие для измерения резьбы с шагом свыше 1,5 мм. Измерительные ножи устанавливают на каретке универсального микроскопа в специальных приспособлениях с пружинными прижимами. При этом лезвие ножа оказывается на уровне

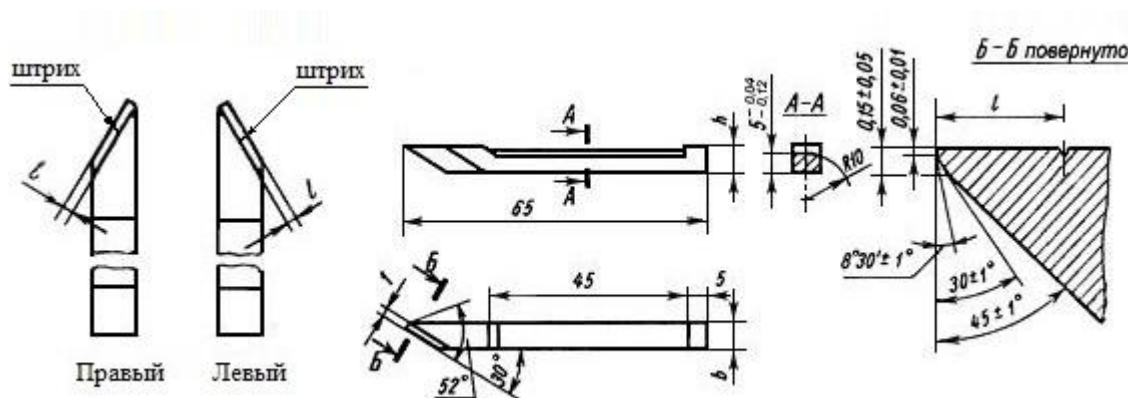


Рис. 75. Резьбовые измерительные ножи

осевого сечения изделия, установленного в центрах. Измерительные ножи придвигают лезвиями вплотную к изделию без просвета. Соответствующую боковую пунктирную линию окулярной сетки совмещают с изображением штриха ножа; при этом центральная пунктирная линия должна располагаться над лезвием ножа (расстояние боковых пунктирных линий окулярной головки соответствует рабочим размерам ножа, т. е. 0,3 и 0,9 мм). Таким образом, совмещение центральной пунктирной линии непосредственно с контуром изделия заменяется совмещением соответствующей боковой линии окулярной головки со штрихом ножа, что обеспечивает точное положение центральной линии над контуром изделия. Перекрестье нитей должно приходиться на середине стороны профиля резьбы. В остальном измерения с помощью ножей аналогичны измерениям проекционным методом.

При измерении параметров резьбы по правым сторонам профиля резьбы пользуются правыми ножами, а по левым сторонам профиля — левыми ножами. При измерении среднего диаметра резьбы пользуются двумя одинаковыми ножами, устанавливаемыми к диаметрально противоположным профилям резьбы, или одним ножом, переставляемым с одного места на другое. При измерении шага следует пользоваться одним ножом, переставляемым с одного профиля к другому, так как в этом случае на результат измерения не влияет погрешность рабочего размера ножа.

С помощью ножей можно измерять только чисто шлифованные и доведенные изделия. Повреждение и износ лезвия ножа могут быть причиной существенных погрешностей измерения. Поэтому нож следует подводить к изделию в направлении, перпендикулярном к лезвию ножа. Перемещать придвинутый к изделию нож без его отвода, а также поворачивать или перемещать изделие при придвинутых ножах

не допускается.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем заключаются дифференциальный и комплексный метод контроля резьбы?
2. Какое средство измерений применяется для комплексного контроля резьбы?
3. Какие резьбовые калибры имеют укороченный профиль резьбы?
4. Для чего используются установочные резьбовые калибры?
5. Для определения какого параметра резьбы используются резьбовые шаблоны?
6. Для определения какого параметра резьбы используются резьбовые микрометры со вставками?
7. С какой целью на хвостовой части вставок выполняется разрез?
8. Какие операции предусмотрены при периодической поверке резьбовых микрометров?
9. Какие типы проволочек предусмотрены в ГОСТ 2475-88?
10. Какие схемы и в каких случаях используются при измерениях с помощью проволочек?
11. Что такое проволочка наивыгоднейшего диаметра?
12. Какие параметры резьбы можно измерять на инструментальных и универсальных микроскопах?
13. В чем заключается преимущество метода измерения параметров резьбы с помощью измерительных ножей?

### **Рекомендуемая литература**

1. ГОСТ 24939-81. Калибры для цилиндрических резьб. Виды. – Москва: Издательство стандартов, 1981. – 16 с.

2. ГОСТ 2016-86. Калибры резьбовые. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 6 с.
3. МИ 1904-88. Рекомендация. Калибры резьбовые цилиндрические. Методика контроля. – Москва: Издательство стандартов, 1989 . – 58 с.
4. ГОСТ 4380-93. Микрометры со вставками. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1989 . – 88 с.
5. МИ 2077-90. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Микрометры со вставками. Методика контроля. – Москва: Издательство стандартов, 1991 . – 29 с.
6. ГОСТ 2475-88. Проволочки и ролики. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2003 . – 10 с.
7. МИ 2078-90. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Проволочки и ролики. Методика контроля. – Москва: Издательство стандартов, 1991 . – 20 с.
8. ГОСТ 7013-67. Ножи измерительные. – Москва: Издательство стандартов, 1986 . – 5 с.

## Заключение

Важность технических измерений в машиностроении определяется необходимостью обеспечения качества, надежности и взаимозаменяемости изготавливаемых деталей и узлов. Большинство контрольно-измерительных операций выполняется с помощью универсальных стандартизованных средств линейных и угловых измерений. Для выбора правильного средства измерений, обеспечивающего получение результатов с требуемой точностью, эффективного применения выбранных средств измерений необходимы всеобъемлющие знания о назначении, устройстве, особенностях использования средств измерений.

В учебном пособии рассмотрены практически все виды средств линейных измерений, используемые на машиностроительных предприятиях. Технические и метрологические характеристики рассмотренных средств измерений даны в полном соответствии с действующими государственными стандартами. Приведена информация по операциям периодической поверки средств измерений.



## Библиографический список

1. Геометрия и геодезия в античный период, их разделение. – Текст: электронный // «Хелпикс.орг»: [сайт].–2021.–URL: <https://helpiks.org/4-35043.html>.– Дата обращения 01.06.2021).
2. ГОСТ 10–88. Нутромеры микрометрические. Технические условия. – Москва: Стандартиформ, 2006. – 7 с.
3. ГОСТ 11098-75. Скобы с отсчетным устройством. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1999. – 9 с.
4. ГОСТ 12069-90. Меры длины штриховые брусковые. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 12 с.
5. ГОСТ 162-90. Штангенглубиномеры. Технические условия. Москва: Издательство стандартов, 2001. – 6 с.
6. ГОСТ 164-90. Штангенрейсмасы. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
7. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1997. – 17 с.
8. ГОСТ 17215–71. Нутромеры микрометрические. Методы и средства поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1971. – 11 с.
9. ГОСТ 18833-73. Головки измерительные рычажно-зубчатые. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 7 с.
- 10.ГОСТ 19795-82. Проекторы измерительные. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 8 с.
- 11.ГОСТ 2016-86. Калибры резьбовые. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 6 с.
- 12.ГОСТ 2475-88. Проволочки и ролики. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов,2003 . – 10 с.

- 13.ГОСТ 24853-81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм.  
Допуски. Москва: Издательство стандартов, 2003. – 8 с.
- 14.ГОСТ 24939-81. Калибры для цилиндрических резьб. Виды. –  
Москва: Издательство стандартов, 1981. – 16 с.
- 15.ГОСТ 28798-90. Головки измерительные пружинные. Общие  
технические условия. – Москва: Стандартиформ, 2005. – 6 с.
- 16.ГОСТ 4119-76 Наборы принадлежностей к плоскопараллельным  
концевым мерам длины. Технические условия. . – Москва: ИПК  
Издательство стандартов, 2004, – 12 с.
- 17.ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические.  
Технические условия. – Москва: Стандартиформ, 2007. – 5 с.
- 18.ГОСТ 4380-93. Микрометры со вставками. Технические условия.  
– Москва: Издательство стандартов,1989 . – 88 с.
- 19.ГОСТ 4381-87. Микрометры рычажные. Общие технические  
условия. – Москва: Издательство стандартов, 1997. – 13 с.
- 20.ГОСТ 5584-75. Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления  
0,01 мм. Технические условия. – Москва: Издательство  
стандартов, 2004. – 5 с.
- 21.ГОСТ 577–68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01  
мм. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов,  
2002. – 9 с.
- 22.ГОСТ 6507–90. Микрометры. Технические условия. – Москва:  
Издательство стандартов, 2004. – 10 с.
- 23.ГОСТ 7013-67. Ножи измерительные. – Москва: Издательство  
стандартов, 1986 . – 5 с.
- 24.ГОСТ 7470-92. Глубиномеры микрометрические. Технические  
условия. – Москва: Издательство стандартов, 2003. – 14 с.
- 25.ГОСТ 7502-98. Рулетки измерительные металлические.  
Технические условия. – Москва: Стандартиформ, 2006. – 8 с.

- 26.**ГОСТ 8.003–83. Микроскопы инструментальные. Методы и средства поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 24 с.
- 27.**ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 27 с.
- 28.**ГОСТ 8074-82. Микроскопы инструментальные. Типы, основные параметры и размеры. Технические требования. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 21 с.
- 29.**ГОСТ 8.113-85. Государственная система обеспечения единства измерений. Штангенциркули. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 18 с.
- 30.**ГОСТ 8.359-79. Скобы с отсчетным устройством. Методы и средства поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1979. – 14 с.
- 31.**ГОСТ 8.411-81. Микрометры рычажные. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 13 с.
- 32.**ГОСТ 868-82. Нутромеры индикаторные с ценой деления 0,01 мм. . Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 6 с.
- 33.**ГОСТ 9038-90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 11 с.
- 34.**ГОСТ 9696-82. Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 6 с.
- 35.**Иезекииль, гл 40. – Текст: электронный // «Библия онлайн»: [сайт].–2021.–URL: [https://azbyka.ru/otechnik/Lopuhin/tolkovaja\\_biblija\\_77/21](https://azbyka.ru/otechnik/Lopuhin/tolkovaja_biblija_77/21) .– Дата обращения 01.06.2021).

- 36.** Лопухин А.В. Толковая библия. – Текст: электронный // «Азбука веры»: [сайт]. – 2009. – URL: [https://azbyka.ru/otechnik/Lopuhin/tolkovaja\\_biblija\\_77/21](https://azbyka.ru/otechnik/Lopuhin/tolkovaja_biblija_77/21) . – Дата обращения 01.06.2021).
- 37.** МИ 1780-87. Методические указания. ГСИ. Ленты образцовые и рулетки металлические измерительные. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 10 с.
- 38.** МИ 1790-87. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Головки измерительные пружинные малогабаритные. Микаторы. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 20 с.
- 39.** МИ 1813-87. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Головки измерительные пружинные. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 18 с.
- 40.** МИ 1863-88. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Головки измерительные пружинно-оптические. Оптикаторы. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 13 с.
- 41.** МИ 1876-88. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1989. – 11 с.
- 42.** МИ 1904-88. Рекомендация. Калибры резьбовые цилиндрические. Методика контроля. – Москва: Издательство стандартов, 1989. – 58 с.
- 43.** МИ 1927–88. Рекомендация. Калибры гладкие для цилиндрических валов и отверстий. Методика контроля. – Москва: Издательство стандартов, 1989. – 15 с.

- 44.**МИ 1928-88. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления 0,01 мм. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1989. – 13 с.
- 45.**МИ 1958-89. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Оптиметры. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1989. – 11 с.
- 46.**МИ 2018–98. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Глубиномеры микрометрические. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 13 с.
- 47.**МИ 2024-75. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Линейки измерительные металлические. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 5 с.
- 48.**МИ 2077-90. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Микрометры со вставками. Методика контроля. – Москва: Издательство стандартов, 1991 . – 29 с.
- 49.**МИ 2078-90. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Проволочки и ролики. Методика контроля. – Москва: Издательство стандартов, 1991 . – 20 с.
- 50.**МИ 2079-90. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Меры длины концевые плоскопараллельные образцовые 3 и 4-го разрядов и рабочие классов точности 1 - 5 длиной до 100 мм. Методика поверки. – Москва: ВНИИИзмерения, 1991. – 9 с.
- 51.**МИ 2190-92. Рекомендация. Штангенрейсмасы. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1992. – 13 с.

- 52.**МИ 2192–92. . Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1992. – 15 с.
- 53.**МИ 2194-92. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1989. – 11 с.
- 54.**МИ 2195-92. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. .Головки измерительные рычажно-зубчатые. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1992. – 17 с.
- 55.**МИ 2196-92.. Рекомендация. Штангенглубиномеры. Методика поверки. – Москва: Госстандарт, 1992. – 10 с.
- 56.**МИ 236-81. Микроскопы измерительные универсальные УИМ-21, УИМ-23, УИМ-29. Методы и средств поверки. – Ленинград: Тип. ЛОМО, 1982. – 10 с.
- 57.**МИ 782–85. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Микрометры с ценой деления 0,01 мм. Методика поверки. – Москва: Издательство стандартов, 1990. – 21 с.
- 58.**РД 50-98-86. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм. (По применению ГОСТ 8.051-81) – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 83 с.
- 59.**РМГ 29–2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации ГСИ. «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения». – Москва: Изд-во стандартов, 2013. – 45 с.

**60.** Эволюция в измерении расстояний. – Текст: электронный // Телеканал «Наука»: [сайт]. – 2019. – URL: <https://naukatv.ru/articles/604> . – Дата публикации 29.08.2019).