МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Е.И. Несмиян, А.А. Елакова, С.Ю. Юрасов, В.Б. Ступко,
А.Г. Схиртладзе, О.И. Юрасова**

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ
(теория и практика)

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
2014

Содержание:

1. Введение
2. Международная система (СИ)
3. Объекты, средства и методы контроля
4. Понятие метрологического обеспечения машиностроительных производств
5. Автоматизированные системы контроля и управления
6. Погрешности измерения, источники их проявления
7. Погрешности в передаточных отношениях рычажных передач контрольных приспособлений
8. Допускаемые погрешности измерения в машиностроительном производстве
9. Международная концепция представления результатов измерений
10. Оценка экономической эффективности метрологического обеспечения технологических процессов и производств
11. Аудит технической документации и метрологического обеспечения производства
12. Эталоны единиц физической величины
13. Плоскопараллельные меры длины
14. Средства допускового контроля
15. Калибры гладкие
16. Калибры для метрической резьбы
17. Средства и методы измерения угловых величин
18. Методы контроля метрической резьбы, резьбовых калибров и метчиков
19. Методы контроля погрешности формы и расположения погрешностей
20. Штангенинструмент
21. Измерительный инструмент на базе рычажно-зубчатых и пружинных головок
22. Микрометрические средства измерений Редактированный
23. Стойки, штативы, призмы, центра контроля биения

24. Оптико-механические приборы для линейно-угловых измерений
25. Контроль шероховатости поверхностей
26. Измерение деталей сложной конфигурации, станочных приспособлений и аттестация контрольных приспособлений
27. Прогрессивные средства измерений
28. Статистическое управление технологическими процессами

Введение

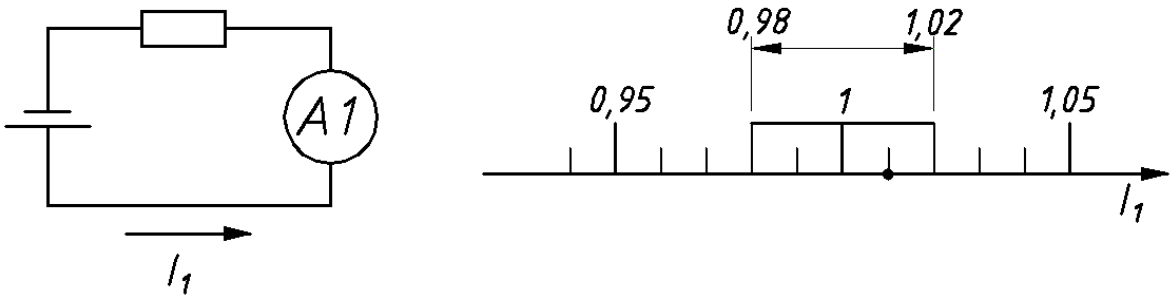
В 1 Понятие об измерениях

Для изготовления изделий требуемого качества необходимо располагать количественной информацией о том или ином показателе качества этих изделий. Основным способом получения такой информации являются измерения, при выполнении которых получают результат измерения, с большей или меньшей точностью отражающий интересующее свойство изделия.

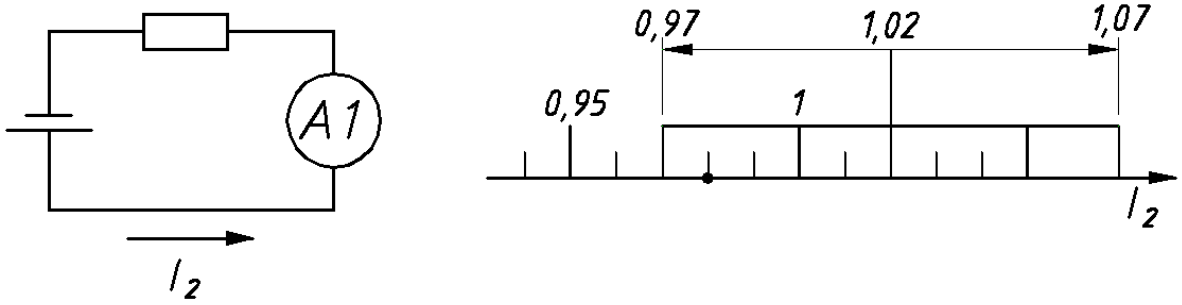
Измерения – один из самых древних видов человеческой деятельности, имеющий многовековую историю и развивающийся одновременно с человеческим обществом как язык общения и необходимое условие экономических связей в торгово-промышленной практике и быту.

Из опыта известно, что ни одно измерение, как бы тщательно оно ни проводилось, не может дать абсолютно точный результат, вследствие чего часто говорят о наличии ошибок и погрешностей при проведении измерительного эксперимента. Всегда существует множество факторов, в том числе и случайных, приводящих к искажениям получаемой измерительной информации.

Пусть определяется сила электрического тока в первой и второй цепях (рис. В1). При этом показание амперметра А1 составило I_1 = 1 А, а показание амперметра А2–I_2=1,02 А. Можем ли мы утверждать, что сила электрического тока во второй цепи больше? Идеальных измерительных приборов не бывает, и их точность всегда ограничена, к тому же разные типы приборов имеют разную точность. Из технической документации на первый и второй амперметры экспериментатор может узнать, что в первом случае значение силы тока находится в пределах от 0,98 до 1,02 А, а во втором случае – в пределах от 0,97 до 1,07 А. В отличие от показаний приборов – измеренных значений – истинные значения силы тока находятся в неизвестной точке внутри некоторых интервалов, поэтому



Первая цепь



Вторая цепь

Рис. В 1. – Сравнение показаний двух измерительных приборов

сила тока в первой цепи может быть больше, чем во второй (отмечены точками на рис. В1).

Рассмотрим другой пример, приведенный Дж. Тейлором в книге «Введение в теорию ошибок». Плотнику для того, чтобы установить дверь, необходимо измерить высоту дверного проема. Производя измерения «на глаз», он мог бы определить, что высота проема находиться в пределах от 205 до 215 см. Для того чтобы повысить точность измерений, плотник может использовать рулетку и определить, что высота находится в пределах от 211,2 до 211,3 см. Применяя более точную рулетку, улучшив освещение, можно сократить пределы до долей миллиметра. Если решить провести измерения с наилучшей точностью, допускаемой современным техническим уровнем, можно использовать лазерный интерферометр и сократить интервал до долей микрометра, но определить высоту дверного проема точно по-прежнему окажется невозможным. Более того, стремясь достичь все более высокой точности, плотник столкнется с важной и принципиальной проблемой. Выяснится, что высота в разных местах различна. Но даже в одном и том, же месте высота будет меняться в зависимости от температуры, влажности, от того, что стерт слой пыли. Плотник обнаружит, что такой величины, как высота дверного проема (как она понималась в начале эксперимента), нет. Подобного рода проблема связана с проблемой определения порогового несоответствия и играет важную роль во многих научных измерениях.

Результаты измерений используются при принятии решений. Выводы и заключения, сделанные на их основе, во многом зависят от того, насколько правильно оценивается точность результатов измерений. Рассмотрим еще один пример, приведенный Д. Ф. Тартаковским в работе «Измерительная информация в системе доказательств». Измерениями, проведенными в рамках судебно-медицинской экспертизы (СМЭ), установлено, что содержание алкоголя в крови потерпевшего составляет 2,9 ‰ (‰ – промилле – тысячная доля). При этом в экспертном заключении оценка точности результата измерений экспертом указана не была. По данным этого измерения суду необходимо определить степень опьянения потерпевшего. В руководстве по СМЭ приведены следующие справочные данные о степени опьянения человека в зависимости от содержания алкоголя в крови:

– 1,5–2,5 ‰ – опьянение средней тяжести;
– 2,5–3,0 ‰ – сильное опьянение;
– 3,0–5,0 ‰ – тяжелое отравление.

Ориентируясь на результат измерения 2,9 ‰, можно было бы сделать вывод, что в момент взятия пробы крови на анализ потерпевший находился в состоянии сильного опьянения. Вывод однозначен, но он получен на основании измерения, не заслуживающего доверия, поскольку не оценена его точность. Допустим, что, согласно технической документации на измерительный прибор, возможны отклонения ±20 % от полученного результата, то есть истинное значение измеряемой величины находится в интервале от 2,32 до 3,48 ‰ (что часто соответствует истине). Согласно справочным данным, значение 2,32 ‰ соответствует опьянению средней тяжести, а содержание алкоголя 3,48 ‰ попадает в интервал, соответствующий тяжелому отравлению. Таким образом, возможны все три вывода о состоянии потерпевшего. Каждый из выводов основан на результате измерения с учетом оценки его точности и может быть признан правильным с некоторой вероятностью. Как видим, анализ ситуации с учетом неопределенности результата измерения порождает серьезные сомнения в правильности первоначального вывода, и в данном случае требуется дополнительная, более точная количественная оценка.

Можно привести еще много примеров, подтверждающих необходимость правильной оценки точности проводимых измерений, метрологически грамотной аргументации относительно необходимой и достаточной точности результатов измерений, а также знания специфических факторов, ограничивающих точность измерений, правил обработки результатов измерений и соблюдения условий, повышающих точность.

В более же общем виде можно сказать, что измерения являются одним из важнейших путей познания природы. Они дают количественную информацию об интересующих нас объектах и явлениях, а также позволяют устанавливать действующие в природе закономерности. Физику и другие естественные науки называют точными потому, что благодаря измерениям они имеют возможность устанавливать точные количественные соотношения между физическими величинами, выражающие, в конечном счете, фундаментальные физические законы и соотношения. В этом смысле можно отметить, что измерения являются критерием истинности научных открытий.

В 2 Историческое развитие, предмет и основные понятия метрологии

Первые измерения заключались в сопоставлении наблюдаемых человеком предметов с размерами собственного тела и его частей. Основой использования таких мер являлась древняя философия. «Человек есть мера всех вещей», – утверждал древнегреческий философ Протагор. В результате возникли такие единицы измерения, как: дюйм, равный ширине большого пальца (дюйм – большой палец в переводе с голландского); фут, равный

длине ступни ноги, аршин (арш – локоть в переводе с персидского) и др. Достоинствами этих мер являлись их наглядность и наличие «под рукой».

Европейские и русские меры имеют своим источником меры известных древних цивилизаций (Индии, Китая, Вавилона, Египта). В Вавилоне во II в. до н.э. время измерялось в минах. Мина (примерно два астрономических часа) равнялась промежутку времени, за который из принятых в Вавилоне водяных часов вытекала мина (около 500 г) воды. Затем мина трансформировалась и превратилась в более удобный отсчёт времени – сутки, которые были разделены на 24 часа, 1 час – 60 мин, минута – 60 с. Такое определение времени удовлетворяет человечество и в настоящее время.

В 3 Рождение исчисления времени. Календарь

Одним из древнейших способов определения времени для измерения небольших обрезков являлась стадия – две минуты. Время, когда солнце проходит свой поперечник при заходе. И вообще, практически все единицы времени издавна определялись в связи с небесными явлениями. Хотя достаточно очевидных единиц времени всего две – это сутки и год. В системе СИ подход несколько изменился: время было решено определять по числу колебаний световой волны определенной частоты.

Наблюдения за суточным движением солнца позволили создать солнечные часы. С их помощью сутки удалось разбить на двадцать четыре часа. Произошло это в Древнем Вавилоне, где господствовали двенадцатеричная и основанная на ней шестидесятеричная системы. Средние по продолжительности день и ночь поделили на дюжину часов. Час поделили на 60 минут, минуту – на 60 секунд, секунду – на 60 терций. Эти названия дошли до нас благодаря римлянам, хотя факт именно вавилонского происхождения дробления суток на часы подтвержден находками археологов.

Долгое время в древнем исчислении времени исходили из ошибочного представления, что в каждом дне и в каждой ночи содержатся по двенадцать часов. В лежащем на юге Азии Вавилоне это не давало заметной на глаз ошибки потому, что там и зимой и летом солнце в течение суток движется по почти перпендикулярной горизонту траектории. Поэтому длительность дня и ночи там примерно одинакова. А вот в более северном Риме солнце в течение суток ходит очень полого. Зимой оно ниже, и день заметно короче ночи, а летом наоборот. Получалось, что зимой дневной час был заметно короче ночного, а летом длиннее: ведь любые день и ночь делили на двенадцать часов!

Прошло много времени, прежде чем люди поняли, что за час надо брать некую постоянную длительность, а не просто часть любого дня или ночи. Впервые час точно отмерили песочными часами, выбрав для этого день равноденствия (21 марта или 21 сентября) по солнечным часам. Песочные часы позднее позволили судам уходить в открытое море, так как их показания не зависели от местонахождения в отличие от солнечных часов.

Первыми с их помощью вышли за пределы видимости берегов финикийские моряки – представители древнего семитского народа, жившего на побережье Средиземного моря в первом тысячелетии до нашей эры. С помощью песочных часов (позднее моряки прозвали их склянкой) они научились измерять скорость и пройденное расстояние. Это был огромный шаг на пути к эпохе великих путешествий, изменившей человеческую цивилизацию спустя две тысячи лет после изобретения песочных часов.

Нынешнему календарю мы обязаны консулу Рима Гай Юлию Цезарю. В 57 г. до н.э. он произвёл реформу исчисления времени. За основу взят вавилонский год из 360 дней и прибавил к нему 5 запасных суток.

Год разделили на декады, уложив декады в 12 месяцев, по 3 в каждой.

Новогодним объявили первый день января месяца, посвятив его двуликому Янусу, покровителю мира и градостроительства. Остальные месяцы также получили имена в честь богов – покровителей и героев. Седьмой месяц назван в честь консула Юлия и назвали июлем. [15]

В России средних веков тоже использовался час. Но наш старинный счет времени имел свои особенности. Там, где стоит Москва, самый длинный летний день в июне состоял из 17 часов, как и самая длинная зимняя ночь в декабре. На циферблаты уже появившихся к XVII веку механических часов наносились числа от одного до семнадцати включительно (цифрами служили буквы старославянского алфавита, как раньше это было у греков или у арабов).

В момент восхода солнца начинался ход часов... с единицы: нуль в те времена еще не знали. Читаем в одной бумаге 1679 года: «Июня 20-го в 15 часов дня государь пошел в село Воробьево». Чтобы перевести тогдашние 15 часов дня на сегодняшний счет времени, надо ко времени восхода солнца 20 июня прибавить 14 часов... Ночной счет времени русские начинали с заходом солнца... Потому и появилась у нас привычка говорить «два часа ночи» или же «три часа дня». На Западе время начинают отмерять в полдень, поэтому там говорят «три часа после полудня», «два часа до полудня» и так далее...

Более крупные единицы времени отмеряют календари. В их составлении, то есть в измерении больших отрезков времени, творчество народов и отдельных исторических личностей проявилось в полной мере: за свою историю человечество создало очень много вариантов календарей! Изучение календарей вообще очень интересное дело, но здесь мы не будем рассказывать о них и лишь порекомендуем интересующимся прочесть замечательную книгу В.В. Цыбульского «Календари и хронология стран мира» (М., 1982).

Откуда же взялся 366^{й} день в году, повторяющийся раз в четыре года?

Наблюдениями астрономов было замечено, что сутки не имеют ровно 24 часа. Они колеблются от 24 ч 3 мин 36 сек до 24 ч 4 мин 27 сек. Это явление вызвало колебанием оси Земли в процессе вращения и прохождения по орбите.

Вот эта разница, принятая между установленной протяжённостью суток и фактическим временем и даёт нам 366^{й} день один раз в четыре года.

Булгаро-татарский календарь

Булгаро-татарский календарь имеет многовековую историю, на протяжении которой он претерпел ряд существенных изменений.

Из летописи древних булгар в Волжской Булгарии первоначально бытовал лунно-солнечный календарь (лунный – арабской системы летоисчисления, солнечный – персидской). Широкое распространение они получили в XI-XIII веках.

Продолжительность лунного года составляет примерно 354 суток. За отправную дату взято 16 июля 622 года юлианского календаря, т.е. бегство Мухаммеда из Мекки в Медину.

За начальную дату солнечного календаря также взят 622 год, однако здесь дальнейший подсчёт времени ведётся по солнечному календарю. При этом первым днём первого месяца первого года было не 16 июля, как принято в лунном календаре, а 21 марта, т.е. день весеннего равноденствия, ибо для сельскохозяйственных работ удобен именно такой порядок. Продолжительность солнечного года по этому календарю составляет примерно 365 суток и 6 часов, т.е. простой год имел 365 суток, високосный – 366.

В народном быту с давних времён широко применялся лунно-солнечный календарь. Сущность этого календаря, состоит в том, что он должен быть согласован со сменой лунных фаз, и с началом солнечного (астрономического) года, т.е. равноденствием. Иначе говоря, первое число каждого месяца, как и начало суток, должно совпадать с новолунием, или с первым появлением лунного диска на западе, а начало календарного года – с одним из равноденствий.

Период чередования лунных фаз равен приблизительно 29,5 суток. Так лунный месяц с древних времён играл роль более крупной единицы измерений времени, чем сутки. Понятие года распадалось на отдельные сезоны, связанные с лунным календарём.

Для того, чтобы привести лунный год в некоторое соответствие с солнечным годом был введён так называемый вставной (тринадцатый) месяц. Такая система произвольных вставок практиковалась с древних времён.

Летоисчисление по 12 летнему животному календарю

Волжские булгары традиционно пользовались и так называемым 12 летним животным циклом, в котором каждый год носил название определённого животного. При этом месяцы не имеют названий, а лишь указывался порядковый номер дня и месяца.

Календарь с 12 летним животным циклом зародился среди кочевых народов Центральной Азии, широко применялся тюркоязычными народами.

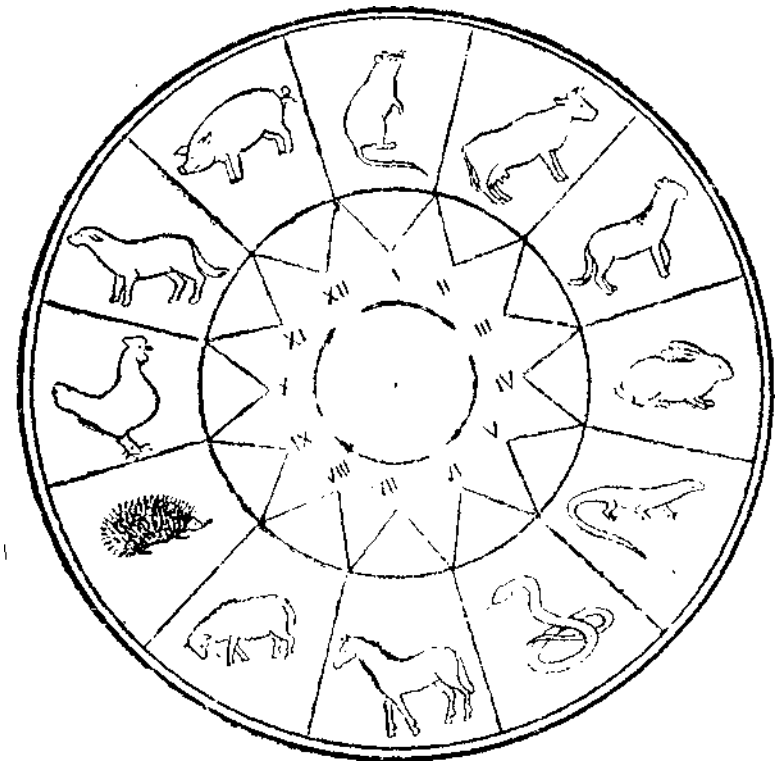


Рис. В2 – Животный календарь

О том, почему годы были обозначены названиями животных и начальным годом оказался «год мыши», и почему верблюд не попал в этот цикл, у татар существует следующая притча.

«Однажды тринадцати животным (включая верблюда) стало известно, что с появлением «начального года» они должны будут установить очередность годов цикла. Все животные собрались встретить этот год, и каждый, желая увидеть его первым, старался занять лучшее место. Хитроумная мышь предложила отдать первое место в цикле тому животному, которое первым увидит восходящее солнце. Только один верблюд остался самонадеянным: он полагался на свой высокий рост и был уверен, что первым увидит восход солнца. Но в тот момент, когда должно было показаться солнце, мышь незаметно забралась на горб верблюду, а затем на его уши, и, будучи выше всех, первой увидела восходящее солнце. Тогда верблюд, заметив, как его обвели и, разозлившись, погнался за мышью. В это время и все животные один за другим обозрели солнце, а самонадеянный верблюд так и не успел увидеть «начало года» и поэтому вовсе не попал в число животных, имена которых носят года. Отсюда сложилась поговорка: «Верблюд, понадеявшись на свой рост, остался без доли». [18]

Месяцы солнечного календаря носили названия созвездий зодиака! Новый год начинался с момента вступления солнца в созвездие Овна (в день равноденствия).

Таблица 1.Календарь созвездий Зодиака

Порядковый номер месяца	Название созвездий Зодиака	Татарское название созвездий Зодиака (название месяца)	Дни месяца	Соответствие европейскому календарю
I	Овен	Ягнёнок	1-31	Март
II	Телец	Бык	1-30	Апрель
III	Близнецы	Близнецы	1-31	Май
IV	Рак	Рак	1-30	Июнь
V	Лев	Лев	1-31	Июль
VI	Дева	Девушка с колосистыми волосами	1-31	Август
VII	Весы	Весы (бизмен)	1-30	Сентябрь
VIII	Скорпион	Скорпион	1-31	Октябрь
IX	Стрелец	Лук	1-30	Ноябрь
X	Козерог	Козлёнок	1-31	Декабрь
XI	Водолей	Ведро	1-31	Январь
XII	Рыбы	Рыбы	1-28 (29)	Февраль

Письменный календарь с названиями созвездий Зодиака просуществовал вплоть до второй половины XIX века. Ныне он встречается в форме украшений циферблатов башенных часов. В частности, часы с такими циферблатами установлены в Москве на Казанском вокзале.

В народно-Татарском обиходе использовались следующий календарь.

Таблица 2. Народный Татарский календарь

Порядковый номер месяца	Татарские названия месяца	Месяцы по современному календарю
I	Месяц больших морозов	Декабрь
II	Месяц малых морозов	Январь
III	Пустой, свободный месяц	Февраль
IV	Месяц нового года	Март
V	Весенний месяц (сабан ае)	Апрель
VI	Месяц весенне-полевых работ	Май
VII	Летний месяц	Июнь
VIII, IX	Месяц жары и суховея	Июль, Август
X	Месяц молотьбы (ашлык сугу ае)	Сентябрь
XI	Месяц молений	Октябрь
XII	Зимний месяц	Ноябрь

Из двенадцати названий три указывают на земледельческие работы и переработкой урожая (сабан-плуг, весенне-полевые работы, ашлык сугу – месяц молотьбы). Некоторые носили культовый характер, другие характеризовали состояние погоды или сезона года и лишь одно название означает порядок месяца в году – начало года.

Таким образом, происхождение большинства татарских названий месяцев обусловлено хозяйственными потребностями и, в основном, носит

аграрный характер.

Подобный лунно-солнечный календарь отражал также потребности булгар, издревне занимающихся земледелием.

И только в конце XIX столетия в быт татар проник христианский солнечный календарь, введенный в России ещё Петром I, как общегосударственный [18].

На Руси год также состоял из 12 месяцев. Январь-просинец, февраль-сечень (рубка леса), март - сухой (земля сохнет на солнышке) и т.д.

До конца XV века год начинался в марте. Указом Петра I в 1700 г. 101 год начинался с 1 января. В истории России 1699 год был самым коротким.

Измерение длин, веса, объёма, времени

Метрология зародилась еще в первобытном обществе на подсознательном уровне: оценки расстояния до добычи, оценки климатических условий, оценки добычи по весу, количеству.

По мере развития общества и объектов труда оценка жизнедеятельности начала осуществляться в определенных единицах – в каждом обществе, а затем в странах, и даже в отдельных городах – в разных единицах (веса, длины, времени).

Характерным примером может служить спор, возникший на рынке в Константинополе в XIII веке. Русский купец утверждал, что у них в Твери самая высокая колокольня в мире – 60 сажень. Француз возразил – самая высокая колокольня в Париже – 52 туаза. Английский моряк утверждал – самая высокая колокольня в Лондоне – 90 ярдов. Никто не мог разрешить этот спор. Только с рождением метрической системы после 1792 года можно было решить этот спор:

сажень – 2,1336 м; 60×2,1336=128 м;

туаз – 1,94904 м; 52×1,94904=101,35 м;

ярд – 0,9144 м; 90×0,9144=82,26 м.

Необходимость измерять, взвешивать зародилась у человечества с началом обработки земли, зарождением торговли. Но у каждого народа, города были свои меры.

Рассмотрим некоторые из них. У Волжских Булгар первые сведения о единицах измерения длины, протяжённости восходят к X веку. К этому времени на берегах Волги и Камы, а также малых притоков всё более интенсивной становилась хозяйственная деятельность живущих здесь народов и племён.

Способ определения расстояния путём сопоставления отрезков пространства с отрезками времени, необходимыми для их преодоления, является очень древним.

У булгар существовал способ определения расстояний "днями пути" и "месяцами пути". От Хорезмского города Джорджана (Ургенджа) до Булгара было семьдесят дней пути (около 2500 верст) [21]. Отсюда следует, что день пути примерно равнялся 35 верстам (37 км).

У донских казаков, кроме дневного перехода на лошади, употреблялся еще "тустук", обозначавший полудневной путь на лошади.

Использовались меры расстояния по слуховому восприятию:

- лай собаки – 2-3 версты;
- мычание коровы – 0,5 версты.

Как видно эти меры расстояния не имели точного значения и воспринимались как приблизительное определение величины, но широко бытовали у разных народов.

Для измерения малых отрезков длины повсеместно употреблялись меры измерения, связанные с размерами частей человеческого тела.

На Руси существовали меры длины "под рукой", которые в определённой мере повторялись как в Средней Азии, так и в Западной Европе.

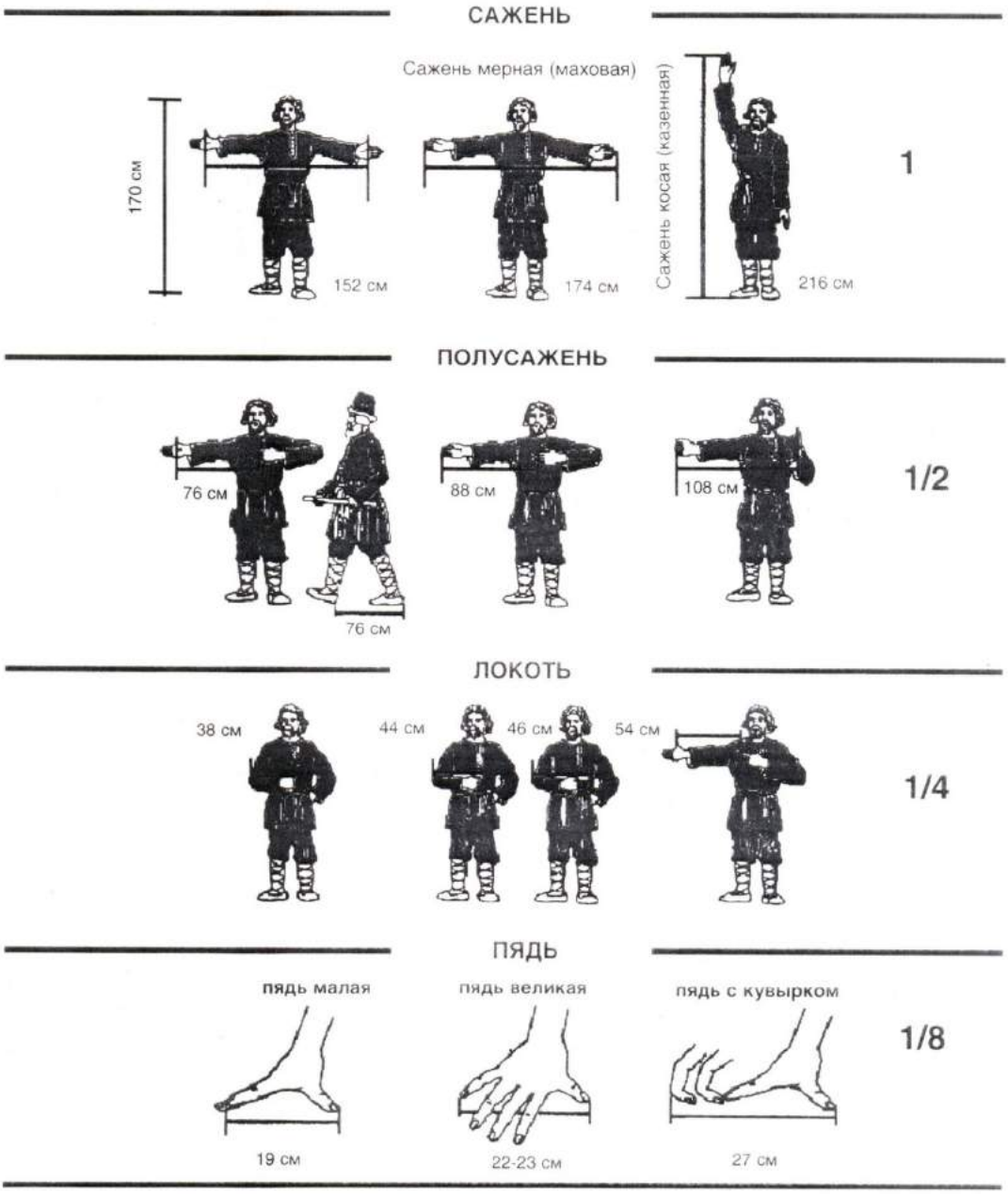


Рис. В 3. – Русские народные меры протяженности (По Рыбакову, 1949)

По свидетельству ряда путешественников в XVI-XVIII в., у народов Поволжья (мордвы, удмуртов и др.) с глубокой древности бытовала особая мера, именуемая "чумкас". Она содержала в себе 5 верст, по 800 шагов каждая. Чумкассами обозначали расстояния между отдельными населёнными пунктами.

Меры длины, связанные с размерами частей тела или возникшие на основе движений конечностей, были приняты для измерения поверхностей и объектов. В частности, для измерения поверхностей брали квадраты этих мер, а объёмов – кубы этих величин.

Меры веса и развитие метрологии в России

Одна из основных мер длины в России являлся аршин. Он проник в Россию через торговые связи с Востоком. Аршин, как предполагают историки происходит от фарсидского "арандж" – локоть.

1 аршин=16 вершкам=28 дюймам=0,7112 м;

1 сажень=3 аршина=7 футов=2,1336 м;

1 верста=500 сажень≈1,0668 м.

В России Иван Грозный повелел пользоваться только государственными мерами. Царь Фёдор Алексеевич впервые ввел регулярную проверку правильности существующих мер, проведя их клеймение "орлёной печатью".

Для осуществления более тесных контактов с зарубежными странами Пётр I провёл реформу в 1700 году систему мер, приближая её к английской. При этом дюйм и фут удачно вписались в русскую систему мер. Аршин (0,71 м) удлинили до 28 дюймов. Сажень (2,13 м) делилась на 3 аршина, либо на 7 футов. Поэтому после проведения реформы традиционные меры ничуть не утратили своего значения в торговле мерами по-прежнему аршинами, а в промышленности и ремеслах – дюймами.

В 1736 году был изготовлен эталон аршина. В 1746 году был изготовлен бронзовый золочёный фунт (мера веса), который считался главным эталоном до 1935 года, когда его заменил платиновый. Масса платинового фунта в 0,40951241 килограмма теперь фигурирует во всех таблицах эквивалентов старинных русских мер и весов.

По решению Сената в России в 1736 г. была образована Комиссия весов и мер, в состав которой входил Леонард Эйлер. В качестве исходных мер Комиссия изготовила медный аршин и деревянную сажень, за меру веществ было принято ведро московского Каменномостского Литейного двора.

В дальнейшем для унификации единиц физических величин (ФВ) и исключения случайностей при их определении во Франции была разработана метрическая система мер, которая с 1840 г. была введена во Франции законодательно, а в последующие 30 лет распространилась по всей Европе. Основой этой системы стал метр, равный одной десятимиллионной части четверти меридиана, проходящего через Париж.

В 1841 г. в Петропавловской крепости организуется первый центр

метрологии – Депо образцовых мер и весов, а после подписания метрической конвенции в 1875 г. Россия получила платиноиридиевые эталоны единицы массы (№ 12 и 26) и эталоны единицы длины – метра (№ 11 и 28). Законодательно метрологическая система в России была введена в 1918 г. Декретом Совета Народных Комиссаров «О введении Международной метрической системы мер и весов».

Значительную роль в развитии метрологии в России сыграла Главная палата мер и весов, созданная Д.И. Менделеевым, – один из первых в мире научно-исследовательских институтов метрологического профиля.

Основоположник отечественной метрологии как науки Д. И. Менделеев выразил значение измерений следующим образом: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры».

Все отрасли науки и техники не могли бы существовать без измерений. Метрология способствует развитию всех областей естественных наук. В то же время можно отметить и обратное: успехи в естественных науках, в технике, в развитии технологий способствуют прогрессу в метрологии. С развитием науки и техники совершенствуются средства измерений, а это означает, что повышается точность измерений, расширяется их диапазон, и это, в свою очередь, создает условия для развития технологий, совершенствования средств производства, получения новых, более точных научных знаний и т.д. Таким образом, метрология и другие естественные науки и техника взаимосвязаны.

Точные измерения преследуют очень важную цель. Они позволяют проверить наши теоретические представления о веществах и явлениях, и возникновение расхождений приводит к созданию новых теорий и к новым открытиям. В истории есть немало тому примеров.

Так, например, был открыт инертный газ аргон, который содержится в атмосфере, как теперь, известно, в количестве около 1%. Это открытие было сделано в 1895 г. Рэлеем и Рамсеем после измерений плотности атмосферного воздуха, которая отличалась от нормальной плотности смеси кислорода и азота. Еще одним примером служит открытие дейтерия, которое было сделано на основании результатов измерений средней массы естественного водорода.

На мысль о постоянстве скорости света в пустоте для всех наблюдателей, движущихся равномерно один относительно другого, физиков-теоретиков впервые натолкнули опыты Майкельсона и Морли, проведенные в период 1881-1888-х гг.

Очень тщательные наблюдения интерференции света, распространяющегося в двух взаимно перпендикулярных направлениях, не обнаружили сколько-нибудь значимой разницы в значении скорости света в этих направлениях, в какое бы время дня и года измерения ни проводились. Эти и подобные им измерения привели Эйнштейна к созданию специальной теории относительности.

Итак, метрология. В переводе с греческого метрон означает мера, а

логос – учение или наука. Таким образом, дословно метрология – это наука о мерах, что и было справедливо на заре становления единиц измерения и соответствующих им мер, хранящих в себе размер этих единиц измерения.

А в современном понимании, которое отражено в РМГ (Рекомендации по межгосударственной стандартизации) 29-99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения», метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

В это определение входит понятие единства измерений, которое там же определяется как состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимым первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

В приведенном определении единства измерений следует отметить два принципиальных момента. Во-первых, результаты измерений должны быть выражены в узаконенных единицах, то есть тех единицах, размер которых принят в установленном порядке. Так, в большинстве стран мира законодательно принята к применению система единиц СИ (система интернациональная), в которой единицей длины является метр, массы – килограмм, силы тока – ампер и т. д., либо кратные или дольные от этих единиц.

Международную систему единиц физических величин – систему СИ, которая узаконена теперь более чем в 124 странах мира, приняла XI Международная конференция по мерам и весам в 1960 г.

В настоящее время государственные метрологические службы России, имеющие достаточно сложную структуру, проводят работы в области стандартизации и метрологии в стране непосредственно через созданные Госстандартом СССР научно-исследовательские институты, центры метрологии и стандартизации (областные, краевые и республиканские) и территориальные лаборатории государственного надзора за стандартизацией и измерительной техникой (см. рис. В 4).

На базе главной палаты мер и весов создано высшее научное учреждение страны – Всероссийский научно-исследовательский, институт метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ). В его лабораториях разрабатываются и хранятся государственные эталоны, единиц измерений, определяются физические константы и свойства веществ и материалов. Тематика работ института охватывает линейные, угловые, оптические и фотометрические, акустические, электрические и магнитные измерения, измерения массы, плотности, силы, давления, вязкости, твердости, скорости, ускорения и ряда других величин.

Вторым по значимости метрологическим центром страны является Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ). Он разрабатывает эталоны и средства точных измерений в радиоэлектронике, службе времени и частот,

акустике, атомной физике, физике низких температур и высоких давлений.

Координация и научно-методическое руководство метрологической службой страны возложено на Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС) – главную организацию в области прикладной и законодательной метрологии.

Система основных понятий метрологии приведена в рекомендациях по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 «ГСИ Метрология. Основные термины и определения», разработанных ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Согласно этим рекомендациям, метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Греческое слово **метрология** образовано от слов «метрон» — мера и «логос» – учение.

Предметом метрологии выступает извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью. Средства метрологии – это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное применение.

Основными задачами метрологии являются:

- обеспечение единства измерений;
- разработка и совершенствование теории измерений, методов и средств воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров;
- установление системы единиц ФВ, государственных эталонов и образцовых и эталонных средств измерений;
- разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерений и контроля;
- практическое применение теории, методов, а также средств измерений и контроля.

Метрология делится на три самостоятельные и взаимодополняющие части: теоретическая метрология, законодательная и практическая (прикладная). Теоретическая метрология занимается разработкой фундаментальных основ метрологии. Законодательная метрология предусматривает установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц ФВ, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимой точности измерений в интересах общества.

Практическая (прикладная) метрология решает вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Одной из основных задач метрологии является обеспечение единства измерений. **Единство измерений** определяется как состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности измерений известны и не выходят за установленные пределы с заданной вероятностью.

Результат любого измерения заслуживает внимания лишь при условии, что он сопровождается оценкой погрешности измерения. В то же время важно не только уметь выполнить измерение и оценить погрешность результата, но и так спланировать и осуществить процедуру измерения, чтобы обеспечить требуемую точность или снести погрешность к минимуму.

Точность измерений – это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественная оценка точности осуществляется с помощью погрешности измерений.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Уровень точности, к которому необходимо стремиться при выполнении измерений, должен определяться критериями технической и экономической целесообразности. Известно, что увеличение точности измерения вдвое удорожает само измерение в несколько раз. В то же время снижение точности измерения в производстве ниже необходимой приводит к появлению брака продукции.

С развитием науки, техники и новых технологий измерения охватывают новые ФВ, существенно расширяются диапазоны измерений в сторону измерения как сверхмалых, так и очень больших значений ФВ. Непрерывно повышаются требования к точности измерений. Например, развитие нанотехнологий (бесконтактная притирка, электронная литография и др.) позволяет получить размеры деталей с точностью до нескольких нанометров, что предъявляет соответствующие требования к качеству измерительной информации. Качество измерительной информации определяется уровнем метрологического обеспечения технологических процессов.

Метрологическое обеспечение – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. Метрологическое обеспечение осуществляется в соответствии с требованиями, установленными стандартами и другими обязательными к применению нормативно-техническими документами.

В 4 Государственная система обеспечения единства измерений

В России работы по обеспечению единства измерений регулируются Государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ). Назначение ГСИ состоит в обеспечении единства измерений в стране, т.е. управлении субъектами, нормами, средствами и видами деятельности в целях установления и применения научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения требуемого уровня единства измерений.

Основные положения ГСИ представлены в государственном нормативном документе ГОСТ Р 8.000-2000 «Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения». Там же сформулированы цель и задачи ГСИ.

Цель ГСИ заключается в создании общегосударственных правовых, нормативных, организационных, технических и экологических условий для решения задач по обеспечению единства измерений и представлении возможности всем субъектам деятельности оценивать правильность выполненных измерений и уровень их влияния на результаты деятельности, основанной на результатах измерений.

Для достижения поставленной цели ГСИ решает следующие задачи:

– разработка оптимальных принципов управления деятельностью по обеспечению единства измерений;

– организация и проведение фундаментальных научных исследований с целью создания более совершенных и точных методов и средств воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров;

– определение системы единиц ФВ и шкал измерений, допускаемых к применению;

– установление основных понятий метрологии, унификация их терминов и определений;

– введение экономически рациональной системы государственных эталонов;

– создание, утверждение, применение и совершенствование государственных эталонов;

– установление систем (по видам измерений) передачи размеров единиц ФВ от государственных эталонов средств измерений, применяемых в стране;

– создание и совершенствование вторичных и рабочих эталонов, комплектных поверочных установок и лабораторий;

– установление общих метрологических требований к эталонам, средствам измерений, методикам выполнения измерений, методикам поверки (калибровки) средств измерений и других требований, соблюдение которых является необходимым для обеспечения единства измерений;

– разработка и экспертиза разделов метрологического обеспечения федеральных и иных государственных программ, в том числе программ создания и развития производства оборонной техники;

– осуществление государственного метрологического контроля, в том числе поверка средств измерений; испытания с целью утверждения типа средства измерений; лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;

– осуществление государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений; эталонами единиц ФВ; аттестованным методиками выполнения измерений; соблюдением метрологических правил и норм, количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций; количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;

– разработка принципов оптимизации материально-технической и

кадровой базы органов Государственной метрологической службы (ГМС);

– аттестация методик выполнения измерений;

– калибровка и сертификация средств измерений, не входящих в сферы государственного метрологического контроля и надзора;

– аккредитация метрологических служб и иных юридических или физических лиц по различным видам метрологической деятельности;

– аккредитация поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий, лабораторий неразрушающего и радиационного контроля в составе действующих в Российской Федерации систем аккредитации;

– участие в работе международных организаций, деятельность которых связана с обеспечением единства измерений и обеспечение работ России во Всемирной торговой организации (ВТО);

– организация подготовки и подготовка персонала метрологов;

– информационное обеспечение по вопросам обеспечения Единства измерений;

– совершенствование и развитие ГСИ.

Государственная система обеспечения единства измерений состоит из трех подсистем: правовой, организационной и технической (рис. В 4).

Правовая подсистема ГСИ – это комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов, объединяемых общей целевой направленностью. Этот комплекс регламентирует:

– совокупность узаконенных единиц и шкал измерений;

– терминологию в области метрологии;

– воспроизведение и передачу размеров единиц величин и шкал измерений;

– способы и формы представления результатов измерений и характеристик их погрешности;

– методы оценивания погрешности и неопределенности измерений;

– порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений;



Рис. В 4 – Структура государственной системы обеспечения единства измерений

– комплексы нормируемых метрологических характеристик средств измерений;

– методы установления и корректировки межповерочных (рекомендуемых межкалибровочных) интервалов;

– порядок проведения испытаний в целях утверждения типа и сертификации средств измерений;

– порядок проведения поверки и калибровки средств измерений;

– порядок осуществления метрологического контроля и надзора;

– порядок лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;

– типовые задачи, права и обязанности метрологических служб федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц;

– порядок аккредитации метрологических служб по различным направлениям метрологической деятельности;

– порядок аккредитации поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий и лабораторий неразрушающего и радиационного контроля;

– термины и определения по видам измерений;

– государственные поверочные схемы;

– методики поверки (калибровки) средств измерений;

– методики выполнения измерений.

В соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г № 184-ФЗ «О техническом регулировании» нормативными документами в области обеспечения единства измерений являются технические регламенты, национальные стандарты и стандарты организаций (предприятий) (см. рис. В 4).

Технические регламенты устанавливают обязательные требования к продукции, процессам производства и другим, измерительные процедуры которых подлежат государственному метрологическому контролю и надзору.

Национальные стандарты должны содержать рекомендации по обеспечению единства измерений, направленные на получение продукции, соответствующей современному международному уровню.

Стандарты организации – это правила по обеспечению единства измерений, утвержденные самой организацией.

Цели, задачи и функции метрологических служб, составляющих организационную подсистему ГСИ, представлены в подраздел В 4.

Техническая подсистема ГСИ представляет собой комплекс средств материально-технического обеспечения ГСИ, включающий и себя эталонную базу страны, совокупности стандартных образцов состава и средств веществ стандартных справочных веществ и материалов, средства измерений и испытательное оборудование, необходимое для осуществления метрологического контроля и надзора и др. (см. рис. В 4).

В 5 Метрологические службы Российской Федерации

Многие годы управление деятельностью по обеспечению единства измерений в России осуществлял Комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Госстандарт). Он был преобразован в Федеральную службу по техническому регулированию и метрологии в 2004 г., а затем – в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование). При этом функции Госстандарта по принятию нормативных правовых актов в установленной сфере деятельности

были переданы Министерству Российской Федерации по промышленности (Минпромторг России). В настоящее время оно решает следующие вопросы:

– выработка государственной политики и нормативно-правовое регулирование в сфере технического регулирования и обеспечения единства измерений;

– координация и контроль деятельности находящегося в его ведении Ростехрегулирования;

– представление Правительству РФ проектов федеральных: законов, нормативно-правовых актов Президента РФ и Правительства РФ, а также других документов, по которым требуется решение Правительства РФ, по вопросам обеспечения единства измерений;

– принятие нормативных правовых актов, регламентирующих: правила создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц ФВ; метрологические правила и нормы; порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений; перечни групп средств измерений, подлежащих поверке; порядок представления средств измерений на поверку и испытания, а также установления интервалов между поверками; порядок аккредитации на право выполнений калибровочных работ и выдачу сертификата о калибровке или нанесения калибровочного знака, требования к выполнению калибровочных работ;

– определение порядка проведения государственного метрологического надзора и другие вопросы в установленной сфере деятельности Минпромторг России и Ростехрегулирования.

Минпромторг России не вправе осуществлять в закрепленной за ним сфере деятельности функции по контролю и надзору, а также по управлению государственным имуществом, если последние не предоставлены специальным указом Президента РФ или постановлением Правительства РФ.

Ростсхрегулирование действует на основании Положения «О Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии», утвержденного постановлением Правительства РФ от 17 июня 2004 г. № 294. К задачам Ростехрегулирования относятся:

а) реализация функций национального органа по стандартизации;

б) обеспечение единства измерений;

в) выполнение работ по аккредитации органов сертификации и испытательных лабораторий (центров);

г) осуществление государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов и обязательных требований стандартов;

д) создание и ведение федерального информационного фонда технических регламентов и стандартов и единой информационной системы по техническому регулированию;

е) осуществление организационно-методического руководства по ведению федеральной системы каталогизации продукции для федеральных государственных нужд;

ж) организация проведения работ по учету случаев причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов;

з) организационно-методическое обеспечение проведения конкурса на соискание премий Правительства РФ в области качества и других конкурсов в области качества;

и) оказание государственных услуг в сфере стандартизации, технического регулирования и метрологии.

Кроме того, Ростехрегулированию предоставлены полномочия, связанные с лицензированием деятельности по изготовлению и ремонту средств измерений, государственным метрологическим контролем и надзором, контролем и надзором за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и технических регламентов.

Ростехрегулирование осуществляет деятельность через свои территориальные органы и подведомственные организации совокупность которых образует ГМС. Совокупность работ выполняемых государственной метрологической службой осуществляет Росстандарт России.

Центральный орган Росстандарта состоит из 7 управлений ростехрегулирования.

Научные исследования в области метрологии хранение национальных и первичных эталонов, передачу единиц физической величины вторичным эталоном, разработку нормативной документации в области метрологии.

Госстандарт России руководит Государственной службой времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ), Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО) и Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ (ГСССД) и координируем их деятельность.

Государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), которые одновременно являются научно-исследовательскими институтами Госстандарта России, несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов единиц величин, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений. К функциям ГНМЦ относятся также создание и внедрение вторичных и рабочих эталонов; передача размера единиц величин от государственного вторичным эталонам и далее рабочим эталонам, хранящимся в органах Государственной метрологической службы; выполнение международных работ; руководство фундаментальными исследованиями в области метрологии; проведение испытаний средств измерений в областях и видах измерений, закрепленных за конкретным центром или институтом Госстандарта.

Старейшим метрологическим центром России является Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им Д.И. Менделеева (ВНИИМ), находящийся в Санкт-Петербурге и ведущий свою историю с момента создания в 1842 г. на территории Петропавловской крепости Депо образцовых мер и весов. В нем хранились основные меры и разрабатывались

их копии для передачи в другие города, проводились сличения российских мер с иностранными. В 1893 г. на базе Депо образцовых мер и весов была утверждена Главная палата мер и весов, бессменным управляющим которой до последних дней жизни был Д.И. Менделеев. Она стала одним из первых в мире метрологическим научно-исследовательским центром.

В настоящее время во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева находится около половины из 118 государственных эталонов Российской Федерации. В институте ведутся работы в области обеспечения единства измерений длины, массы, угловых измерений, измерений электрических и магнитных величин, параметров ионизирующих излучений, измерений давления, температуры, физико-химических измерений, а также работы по квантовой метрологии и по уточнению фундаментальных физических констант. ВНИИМ является базой Метрологической академии, учрежденной в 1992 г

В 1955 г. под Москвой в пос. Менделеево был образован второй метрологический центр страны – ныне это Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ). Институт был создан как центр обеспечения единства измерений времени и частоты. Поскольку в настоящее время единицы времени и частоты имеют наивысшую точность воспроизведения среди всех единиц физических величин, то работы ВНИИФТРИ имеют огромное значение для фундаментальной метрологии. Кроме того, институт разрабатывает эталоны и средства точных измерений в ряде других областей науки и техники: радиоэлектронике, акустике, атомной физике, физике низких температур и высоких давлений.

Третьим метрологическим центром России является Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), г. Москва. ВНИИМС – головная организация в области прикладной и законодательной метрологии. На него возложены координация и научно-методическое руководство метрологической службой страны. Здесь распределяются обязанности между предприятиями Госстандарта России, проводится экспертиза нормативных документов, утверждаемых Госстандартом России, ведется Государственный реестр средств измерений. Наряду с координацией и выполнением распределяющих функций ВНИИМС ведет работы в областях обеспечения единства измерений геометрических величин, давления, электрических величин, характеристик электромагнитной совместимости и др.

В России функционируют также два научно-исследовательских института, специализирующихся в основном к области измерений времени и частоты. Это Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВС НИИФТРИ), г. Иркутск, и Научно-исследовательский институт физико-технических измерений (ВНИИФТИ), г. Хабаровск. Основная специализация этих институтов определяется масштабами нашей страны и необходимостью иметь региональные эталоны времени и частоты.

Для обеспечения единства измерений оптических величин в нашей

стране создан ВНИИ оптико-физических измерений (ВНИИОФИ), г. Москва. Метрология оптических величин приобрела особую актуальность и получила толчок для развития в связи с появлением в 60-х гг. прошлого века лазеров и с их широким внедрением в технику и практику метрологии. ВНИИОФИ занимается обеспечением единства измерений оптических величин, оптико-акустическими измерениями, измерениями в медицине, метрологией лазерного излучения.

Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ), г. Екатеринбург, является метрологическим центром по оснащению потребителей стандартными образцами. Здесь ведутся реестры стандартных образцов, создаваемых на территории РФ. Кроме того, в институте проводятся научно-исследовательские работы и хранятся эталоны в области электрических, магнитных и радиотехнических измерений.

Сибирский научно-исследовательский институт метрологии (СНИИМ), г. Новосибирск, хранит государственные эталоны и проводит работы в области измерений некоторых радиотехнических, электрических и магнитных величин.

ВНИИ расходометрии. г. Казань, хранит эталоны и проводит работы в области метрологического обеспечения расходометрии, значение которой постоянно возрастает в связи с переходом к рыночным отношениям и необходимостью производить взаимные расчеты между покупателем и продавцом.

Итак, государственные научные метрологические центры проводят научно-исследовательские работы по метрологии в соответствии со своей областью специализации и несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение эталонов единиц величин, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений. В отличие от них органы Государственной метрологической службы осуществляют государственный метрологический контроль и надзор (ГМКиН) на территориях субъектов Российской Федерации. Органы Государственной метрологической службы или территориальные органы Госстандарта России имеются в каждом субъекте РФ. В их функции входят контроль и надзор за правильностью применения средств измерений и метрологических правил и норм на предприятиях и в организациях любых форм собственности, расположенных на вверенной им территории.

Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ) осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по обеспечению единства измерений времени, частоты и определения параметров вращения Земли. ГСВЧ обеспечивает воспроизведение, хранение и передачу размера единиц времени и частоты, шкал атомного, всемирного времени, координированного времени, измеряет координаты полюсов Земли. Поскольку сейчас время определяется по продолжительности стабильных процессов в атомах, то ГСВЧ следит за соответствием временных интервалов, определенных с помощью атомных стандартов частоты, и интервалов, определенных как часть суток или как

часть года при движении Земли вокруг собственной оси, вокруг Солнца и относительно «неподвижных» звезд.

В ведении ГСВЧ находятся такие известные процедуры, как передача сигналов точного времени.

Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО) осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов в стране в целях обеспечения единства измерений на основе их применения. Эти образцы используются при измерениях химического состава, физических, физико-химических, эксплуатационных и других свойств веществ и материалов.

Стандартные образцы широко используются для градуировки, поверки и калибровки средств измерений, проверки правильности методов измерений, а также для контроля качества продукции методом непосредственного сличения. Они применяются для контроля качества сырья по химическому составу, механическим, теплофизическим, оптическим, электрическим, магнитным, радиоактивным и другим свойствам. Различают стандартные образцы состава и стандартные образцы свойств. Возможна одновременная аттестация стандартных образцов по свойствам и составу. Применяют стандартные образцы химически чистых веществ, сплавов, нефтепродуктов, медицинских препаратов, образцов почв, газов, газовых смесей. Аттестация стандартных образцов производится в авторитетных аналитических центрах. При аттестации в зависимости от назначения стандартному образцу присваивается класс точности или устанавливаются допускаемые погрешности. Каждый образец, положительно аттестованный в качестве стандартного образца состава или свойств веществ и материалов, регистрируется в Государственном реестре стандартных образцов, который ведется в УНИИМ и является составной частью Государственного реестра средств измерений.

Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД) осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов в науке и технике в целях обеспечения единства измерений на основе их применения. ГСССД обеспечивает определение, сбор, анализ и публикацию данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

В современной науке и технике используется огромное количество разнообразных веществ и материалов, которые обладают различными свойствами, часто зависящими от внешних условий (давления, температуры, частоты, влажности и т.п.). ГСССД обеспечивает оперативное и исчерпывающее информирование работников науки и производства о свойствах и характеристиках веществ и материалов. Это могут быть сведения об уточненных значениях фундаментальных физических констант, физико-химических и спектральных свойствах веществ, атомных и молекулярных

константах, свойствах новых стандартных образцов.

Стандартные справочные данные могут составляться по заказам промышленности – например, сведения о свойствах новых конструкционных материалов.

Новые данные публикуются в специальной литературе и периодически обновляются с появлением уточненных данных по константам, утвержденным международными организациями по метрологии и стандартизации.

Территориальные органы

Центральное межрегиональное территориальное управление г. Москва включает 18 региональных центров стандартизации и метрологии.

Северо-Западное межрегиональное территориальное управление – 10 ЦСМ.

Южное межрегиональное территориальное управление – 16 ЦСМ.

Приволжское межрегиональное территориальное управление – 15 ЦСМ.

Уральское межрегиональное территориальное управление – 6 ЦСМ.

Сибирское межрегиональное территориальное управление – 10 ЦСМ.

Дальневосточное межрегиональное территориальное управление – 10 ЦСМ.

В Росстандарт входят 9 НИЦ, СКБ, заводов "Эталон".

Межрегиональные территориальные управления Ростехрегулирования выполняют следующие функции:

- государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм;
- государственный метрологический надзор за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;
- государственный метрологический надзор за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;
- государственный метрологический надзор на территории соответствующего федерального округа;
- контроль за соблюдением соискателями лицензий и лицензиатами лицензионных требований и условий, определенных Положением о лицензировании деятельности по изготовлению и ремонту средств измерений;
- государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов в пределах компетенции;
- до вступления в силу соответствующих технических регламентов государственный контроль (надзор) за соблюдением юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями обязательных требований

государственных стандартов в части, соответствующей целям защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений, предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей;

– в соответствии с законодательством Российской Федерации производство по делам об административных правонарушениях;

– применение предусмотренных законодательством Российской Федерации мер воздействия к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям за нарушение установленных требований;

– сбор и обработку информации о случаях причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов, а также информирование приобретателей, изготовителей и продавцов по вопросам государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов;

– рассмотрение жалоб и обращений юридических лиц и граждан и принятие решений по вопросам, входящим в их компетенцию;

– информирование заинтересованных лиц по вопросам, связанным с осуществлением государственного контроля и надзора в области обеспечения единства измерений и технического регулирования;

– иные функции, предусмотренные законодательством Российской Федерации и относящиеся к их компетенции.

Кроме названных метрологических служб в организационную подсистему ГСИ входят метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц, созданные и создаваемые в соответствии с ПР 50-732-93 «Правила по метрологии. Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления Российской Федерации и юридических лиц», утвержденными постановлением Госстандарта России от 30 декабря 1993 г № 295. Эти метрологические службы могут создаваться в министерствах, организациях, на предприятиях и в учреждениях, являющихся юридическими лицами.

Метрологическая служба юридического лица (МСЮЛ) представляет собой, как правило, обособленное структурное подразделение, руководимое главным метрологом и действующее на основе положения о нем. В положении должны содержаться информационные данные о юридическом лице, его структуре, задачах, обязанностях и правах. Структура и штаты МСЮЛ определяются руководителем юридического лица с учетом того, что работы по обеспечению единства измерений относятся к основным видам работ.

Основы деятельности МСЮЛ сформулированы в Законе РФ от 26.06.2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (далее – Закон об обеспечении единства измерений) и других нормативных правовых актах. Главными задачами МСЮЛ являются:

– обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение уровня и развитие техники измерений;

– определение основных направлений деятельности и выполнение работ по метрологическому обеспечению исследований, разработки, производства, испытаний и эксплуатации продукции;

– внедрение современных методов и средств измерений, автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, эталонов, развитие системы калибровки и т.п.;

– проведение постоянного метрологического контроля путем калибровки средств измерений и своевременного представления их на поверку;

– надзор за соблюдением метрологических правил и норм, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и т.д.

Для решения указанных задач МСЮЛ должны обладать определенными правами. К важнейшим из них следует отнести права:

– выдавать структурным подразделениям юридического лица обязательные предписания, направленные на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;

– вносить предложения руководителю юридического лица об отмене нормативных документов, приказов, распоряжений и указаний в области метрологического обеспечения, противоречащих федеральным метрологическим правилам и нормам;

– вносить предложения руководителю юридического лица по совершенствованию и обеспечению качества работ в области метрологического обеспечения;

– получать от других структурных подразделений юридического лица материалы, необходимые для проведения проверок в рамках метрологического контроля и надзора;

– другие права, соответствующие характеру выполняемых работ.

В обязанности МСЮЛ входит:

– анализ состояния измерений, контроля и испытаний;

– разработка планов совершенствования метрологического обеспечения;

– изучение потребности в средствах и методиках измерений, эталонах и подготовка предложений по их приобретению;

– участие в разработке и изготовлении средств измерений, методик выполнения измерений и т.д.;

– обеспечение соответствия применяемых средств измерений требуемым параметрам измерительного контроля;

– постоянное проведение метрологического контроля и надзора;

– подготовка и аттестация персонала;

– участие в проведении анализа претензий к качеству продукции и услуг с точки зрения метрологического обеспечения;

– взаимодействие с организациями Ростехрегулирования;

– другие обязанности, вытекающие из задач по обеспечению единства и требуемой точности измерений в рамках конкретного юридического лица.

Метрологические службы юридических лиц могут быть аккредитованы

на право поверки и (или) калибровки средств измерений и техническую компетентность в осуществлении конкретных видов деятельности в области обеспечения единства и требуемой точности измерений.

В 6 Международные метрологические организации и обеспечение единства измерений в зарубежных странах

Роль и значение единства измерений в международных торгово-экономических и научно-технических связях являлись существенными всегда, а при современном уровне международного сотрудничества становятся еще более важными. История создания и развития международных метрологических организаций насчитывает более двух столетий.

Крупнейшая и старейшая международная метрологическая организация – **Международная организация мер и весов (МОМВ)** – была создана в 1875 г. в связи с принятием Метрической конвенции, которая имела целью всемирное внедрение и совершенствование унифицированной системы единиц на основе метра и килограмма. В настоящее время главная задача МОМВ – обеспечение единства измерений на основе применения системы СИ. Структуру МОМВ образуют Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ), Международный комитет по мерам и весам (МКМВ) и Международное бюро мер и весов (МБМВ).

Генеральная конференция по мерам и весам является высшим в мире органом по вопросам установления единиц величин и их определений, методов воспроизведения и эталонов. Конференция созывается не реже одного раза в четыре года в целях утверждения программ научно-практической деятельности МБМВ и выборов МКМВ. Место проведения генеральных конференций – Париж.

Международный комитет по мерам и весам руководит работой МОМВ в промежутках между созывами Генеральных Конференций. В состав МКМВ избираются 18 членов из числа крупнейших ученых-метрологов. В свое время в состав МКМВ избирался Д.И. Менделеев. Основные задачи МКМВ состоят в реализации решений ГКМВ, проведении текущих исследований в области метрологии и подготовке материалов и решений к предстоящей Генеральной Конференции. Для этих целей в составе МКМВ действуют 10 консультативных комитетов: по системам единиц; определению метра, секунды, массы и сопутствующих величин; термометрии; электричеству и магнетизму; фотометрии и радиометрии; ионизирующим излучениям; количеству вещества и акустике. Работа в комитетах проводится учеными из крупнейших метрологических организаций различных стран. От России в работе комитетов принимают участие ВНИИМ и ВНИИФТИ. Основное направление деятельности МКМВ – расширение практики сличений национальных эталонов с целью установления их эквивалентности.

Международное бюро мер и весов – одна из старейших международных организаций, созданная в 1879 г. В то время МБМВ

представляло собой первую международную метрологическую лабораторию, обеспечивавшую сохранность и эксплуатацию первых международных эталонов – килограмма и метра. Сегодня это многопрофильный научно-исследовательский институт, в котором на постоянной основе работают несколько десятков ученых из различных стран. Международное бюро мер и весов располагается в г. Севр неподалеку от Парижа. Руководит работой Бюро МКМВ. Основными задачами МБМВ являются координация деятельности метрологических организаций более 100 стран в области совершенствования систем единиц и эталонов, обеспечение их унификации и эквивалентности.

В связи с очевидной необходимостью разработки международной нормативно-правовой базы единства измерений 24 государства (включая СССР) в 1955 г. подписали межгосударственную Конвенцию, в соответствии с которой была создана межправительственная организация – **Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ)**. В настоящее время к Конвенции присоединились более 100 государств. Цель МОЗМ – унификация национальных метрологических правил и тем самым содействие глобализации экономики за счет устранения технических барьеров при реализации внешнеторговых, промышленных и научно-технических связей.

Международная организация законодательной метрологии имеет статус наблюдателя при Комитете по техническим барьерам в торговле ВТО. Основное направление в деятельности МОЗМ – обеспечение взаимного доверия к результатам измерений при контроле характеристик сырья, полуфабрикатов и готовых изделий путей установления единых требований законодательной метрологии к метрологическим характеристикам средств измерений, методикам выполнения измерений, единицам величин, показателям точности и др. методам контроля и надзора за состоянием измерений; организации метрологических работ и т.д.

Высшим органом МОЗМ является Международная конференция законодательной метрологии, созываемая один раз в четыре года. В работе Конференции могут принимать участие представители не только стран – участниц Конвенции, но также неприсоединившихся стран и международных организаций, связанных с решением метрологических задач. Решения МОЗМ не являются обязательными, а носят характер рекомендаций. В частности, документ МД 1 «Элементы закона по метрологии», принятый в октябре 2004 г., рекомендует основные унифицированные положения для разработки и принятия соответствующих национальных законов, в их числе семь видов государственного метрологического надзора.

Рекомендации МОЗМ принимаются в виде международных документов, предназначенных для рабочих органов МОЗМ, и международных рекомендаций, предназначенных для стран – членов Конвенции. Россию в МОЗМ представляет, в частности, Ростехрегулирование. Между конференциями руководство МОЗМ осуществляет ее исполнительный орган – **Международный комитет**

законодательной метрологии (МКЗМ).

Из других международных метрологических организаций необходимо отметить **Международную конференцию по измерительной технике и приборостроению (ИМЕКО)** – неправительственную организацию, объединяющую научные и инженерные общества, занимающиеся вопросами измерений, более чем из 30 стран мира. Цель ИМЕКО заключается в содействии международному сотрудничеству и обмену научной и технической информацией. Высшим органом ИМЕКО является Генеральный совет, а исполнительным органом – секретариат (Будапешт). По отдельным направлениям метрологии ИМЕКО проводит работы в 17 технических комитетах.

В Центральной и Восточной Европе до 2000 г. действовала Организация сотрудничества государственных метрологических организаций стран Центральной и Восточной Европы **(КООМЕТ).** Эта организация (штаб-квартира – Братислава) была образована в 1991 г. на базе Секции по метрологии СЭВ и в 2000 г. переименована в **Евро-Азиатское сотрудничество государственных метрологических учреждений**. В настоящее время КООМЕТ насчитывает 14 стран-участниц и осуществляет их сотрудничество по всем вопросам метрологии под эгидой МБМВ. Цель сотрудничества – содействие развитию национальных экономик и устранению технических барьеров в международной торговле путем гармонизации национальных метрологических правил и норм, взаимного признания национальных эталонов и результатов испытаний, поверки и калибровки средств измерений и др. Основные направления работ реализуются в четырех структурных органах: Объединенном комитете по эталонам (руководство – Россия); Техническом комитете по законодательной метрологии (руководство – Германия); Форуме качества (руководство – Словакия) и Техническом комитете по информации и обучению (руководство – Беларусь).

В странах Западной Европы в 1987 г. создана **Европейская метрологическая организация (ЕВРОМЕТ)**, которая объединяет страны – члены Европейского Союза (ЕС). Основная задача ЕВРОМЕТ – организация сотрудничества и объединение усилий стран-участниц по созданию, совершенствованию и обеспечению эквивалентности эталонной базы.

Западно-Европейское объединение по законодательной метрологии (ВЕЛМЕТ) создано с целью координации деятельности национальных метрологических служб в области законодательной метрологии для устранения препятствий в торговле в рамках ЕС в 1989 г. и объединяет 15 стран.

Между странами – членами Содружества Независимых государств (СНГ) действует Межправительственное соглашение о проведении взаимосогласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации, в соответствии с которым единство измерений обеспечивается на основе эталонной базы бывшего СССР. Соглашение обеспечивает взаимное признание результатов испытаний средств

измерений, поверки и калибровки. Координация работ в рамках Соглашения осуществляется Межгосударственной научно-технической комиссией.

Задачи обеспечения единства измерений решают также и некоторые другие международные метрологические организации.

В национальных рамках единство измерений, как правило, регулируется статьями конституций (Германия, США) или специальными законами (Великобритания, Франция). В целом задача обеспечения единства измерений практически во всех странах рассматривается в качестве государственной функции, для чего создаются государственные научные институты и лаборатории.

В 7 Метрологическая служба в Вооруженных силах РФ

Приказом Реввоенсовета в 1925 г. в Красной Армии была введена метрическая система мер длины, массы, объема с соответствующими требованиями к поддержанию их единства и исправности. В период Великой Отечественной войны была образована инспекция по надзору за весоизмерительными приборами (при этом имелся в виду весь спектр существовавших средств измерении). С усложнением современной военной техники возрастали объем работы и ответственность метрологических органов Вооруженных сил страны.

В 1975 г. была образована метрологическая служба ВС СССР во главе с центральным руководящим аппаратом – Метрологическим центром Министерства обороны (ныне Государственный научно-исследовательский институт Министерства обороны). Современная метрологическая служба ВС РФ организована и должна функционировать как в мирное, так и в условиях военного времени. В настоящее время метрологическая служба оснащена необходимым количеством мобильных военных эталонов с требуемыми метрологическими характеристиками (по метрологическому статусу они относятся к вторичным эталонам). В необходимых случаях отдельные военные эталоны решением Госстандарта России могут быть использованы как государственные.

В8 Национальные метрологические службы зарубежных стран

Метрология как наука и деятельность, связанная с измерениями, на государственном уровне в большинстве стран сформировалось лишь в середине XIX – начале XX веков. В результате процесса интеграции с учётом экономических потребностей общества в странах образовались национальные метрологические институты и центры как важнейший элемент их метрологической инфраструктуры.

Во многих промышленно развитых странах толчком к созданию или реорганизации таких центров явилось подписание в 1875 г. Метрологической конвенции.

Например, в Германии такой центр PTB был создан в 1887 г., Главная Палата мер и весов в России – 1893 г., Национальная Физическая Лаборатория (NPL - Великобритания) – в 1900 г., Национальное Бюро

Стандартов NBS (теперь NIST) в США – в 1901 г. и т.д.

Как результат дальнейшего развития промышленности и торговли национальные метрологические институты (НМИ) и центры в настоящее время созданы и успешно работают в большинстве стран мира.

Сферы деятельности, которые нашли отражение в ряде международных документов.

Так согласно международного документа МОЗМ МД1 "Элементы Закона по метрологии" НМИ может иметь различные структурные варианты:

– государственные институты, в составе которых имеются соответствующие лаборатории;

– частные институты с собственными лабораториями, находящиеся под влиянием государства;

– государственное агентство, координирующее деятельность государственных или частных институтов.

В этом документе рекомендуется сочетать механизмы научной и законодательной деятельности в области метрологии, при формировании технических требований, подлежащих включению в новые правила, а также требования к испытаниям и утверждению типа.

Такое сочетание достигается путями:

– объединения научной и законодательной метрологии в одном институте;

– установление тесного сотрудничества между институтами, отвечающими за эти две области метрологии.

В таблице В8.1 приведено распределение работ по законодательной метрологии между метрологическими и другими организациями в разных странах.

Таблица В 8.1

Международная метрология

Страна	Испытания и утверждение типа	Поверка СИ
США	Утверждение типа и поверка – задачи Федеральных Штатов	
Германия	PTB	Земельные поверочные управления
Великобритания	Национальная лаборатория по мерам и весам (NWML)	Местные органы
Франция	Национальная лаборатория испытаний и измерений (LNE)	На региональном уровне
Япония	Национальный институт метрологии (NMIJ), другие лаборатории AIST	Лабораториями AIST, органами префектур, Японской корпорацией по инспекции электросчётчиков, уполномоченными органами по сертификации.

К числу важнейших сфер деятельности НМИ следует отнести:

– фундаментальные научные исследования по изысканию и применению новых физических эффектов и технологий для разработки новых точных измерений:

– поддержание национальной системы эталонов единиц величин и обеспечение прослеживаемости измерений к единицам СИ и их сопоставимости для потребителей;

– обеспечение функций законодательной метрологии, начиная с применяемых единиц;

– проведение работ по прикладной метрологии и оказание помощи промышленности;

– повышение квалификации специалистов и информационное обслуживание;

– международная деятельность.

Ниже приводится обзор метрологических центров упомянутых стран.

В 8.1 Соединенные Штаты Америки. Национальный институт эталонов и технологий (NIST)

3 марта 1901 г. является датой основания Национального Бюро стандартов (НБС, теперь NIST) созданного по решению конгресса США.

Деятельность и исследования NIST всегда были направлены на решение проблем промышленного развития страны.

Во время второй мировой войны NIST подключился, в частности, к реализации секретного проекта "Манхэттен".

Специалисты NIST занимались выполнением работ по военным заказам: калибровкой концевых мер, испытаниями кварцевых кристаллов для радиооборудования, разработкой новых эффективных покрытий военных изделий, новых сплавов и материалов и т.д.

В послевоенный период NIST дал большой импульс в развитии электроники, разработке резисторов, печатных схем. NIST становится естественным лидером в науке и приборостроении, а также автором многих разработок (подводный эталонный измеритель скорости звука в океане, физиологический монитор для определения характеристик давления крови, сердца и дыхания, электронный счётчик денег и т.д.).

Наиболее важной из разработок, в которых участвовал NIST, являлось создание компьютера, выпуск которых институт начал в 1947 г.

Измерительные лаборатории NIST обеспечивают метрологическую поддержку промышленности в реализации критических технологий.

В конце 20 века в США насчитывалось уже более 700 федеральных лабораторий в прямом или функциональном подчинений NIST.

Ниже приводится перечень основных лабораторий NIST осуществляющих разработки в области технологий, исследований в области нанотехнологий, нанометрии и в области прикладной метрологии, калибровки, создания эталонной базы страны:

- лаборатория физики;
- лаборатория химической науки и технологии;
- лаборатория производственных технологий;
- лаборатория электроники и электротехники;

– лаборатория материаловедения;
– лаборатория информационной технологии;
– лаборатория исследования строительства и пожаротушения;
– технологические услуги – NIST выполняет много работ и услуг для американской промышленности и общества, NIST ведёт широкомасштабную работу с властями штатов и частным сектором в области калибровки, эталонных стандартных образцов, координацию работ в области стандартизации, измерительные услуги, информационные услуги и другие работы.

В 8.2 Федеративная Республика Германия. Федеральный физико-технический институт (PTR)

В 1887 г. в Берлине был создан Физико-Технический Имперский институт (PTB). Цель института – надзор и руководство калибровками, а также создание метрологических эталонов.

PTR был первым научно-естественным и научно-инженерным государственным институтом в мире и во многом послужил примером при создании аналогичных учреждений в других государствах (Россия, Англия, США и др.).

В 1923 г. после присоединения к PTR института мер и весов, на него был возложен надзор за поверочными и испытательными учреждениями, а также ответственность за установление и гарантию применения единиц величин.

В 1948 г. был создан в Брауншвейге физико-технический институт. На его основе в 1950 г. был образован PTB. Оставшаяся часть лабораторий PTR вошла в состав PTB в качестве его Берлинского филиала в 1953 г.

Сферы направления деятельности

Механика и акустика: масса, пространственная механика, кинематика, расход газа, расход жидкостей, звук, прикладная акустика.

Электричество: постоянный ток и низкая частота, высокая частота и электрические поля, методы измерений электрической энергии, квантовая электроника, полупроводниковая физика и магнетизм, электрическая квантовая метрология.

Физико-химия и взрывозащита: метрология в химии, методы аналитических измерений и давление, физико-химические свойства материалов, основы защиты от взрывов, процессы распространения огня, внутренняя безопасность и безопасность систем, предотвращение причин (источников) возгорания.

Оптика: фотометрия и прикладная радиометрия, визуальная и волновая оптика, квантовая оптика и единицы длин, время, частота, оптические технологии.

Прецизионные разработки: нано-и микрометрология, градуировка длины и угла, координатная метрология, меры длины и измерительное

оборудование, научное приборостроение.

Ионизирующие излучения: радиоактивность, дозиметрия и радиотерапия, дозиметрия при защите от радиации, ионные ускорители и эталонные радиационные поля, нейтронная радиация, основы дозиметрии, оперативная защита от радиации. Температура и синхронная радиация: фотонная радиометрия, детекторная радиометрия, физика высокой температуры и вакуума, температура, низкотемпературная термодинамика, тепло.

Медицинская физика и информационные технологии в метрологии.

Смешанные научно-технические задачи: законодательная метрология и передача технологий, информационная технология и консультации в области ИТ.

В 8.3 Великобритания. Национальная лаборатория мер и весов (NWML/НЛМВ). Национальная физическая лаборатория (NPL/НФЛ)

Метрологическая деятельность в Великобритании имеет давние исторические корни.

Из Великой Хартии Вольностей (1215 г.) известна выдержка "Должна быть только одна мера во всём государстве".

В те далёкие времена были созданы и постоянно поддерживались национальные эталоны длины, веса, вместимость. Теперь многие из этих эталонов (ярда, фунта, фута, бушеля и других) можно увидеть в музеях Лондона и других городов страны.

Несмотря на принятие ряда актов по единству измерений, в торговле в разных частях страны имела место специфика в измерительном деле.

В 1824 г. в целях защиты от этих недостатков надзор за состоянием национальных эталонов был возложен на "Клерка" (секретаря) Палаты общин.

Актом о весах и мерах от 1866 г. эталоны были помещены под надзор созданному Департаменту эталонов Совета торговли.

В 1904 г. был принят Акт по мерам и весам, который обязал Департамент проверять и сертифицировать образцы торгового весового и измерительного оборудования.

В 1987 г. Департамент переименован в Национальную лабораторию по мерам и весам (NWML), которая была размещена в Теддингтоне.

С развитием промышленности и науки, потребность в метрологии возрастала. Это потребовало новых эталонов. С учётом этого обстоятельства в 1902 г. была создана Национальная физическая лаборатория (НФЛ/NPL).

Инфраструктура Национальной системы измерений Великобритании

Современную инфраструктуру Национальной системы измерений (NMS) Великобритании можно представить следующим образом.

На правительственном уровне – это Министерство торговли и

предпринимательства и его Департамент инноваций и науки (DIUS).

NMS – это комплекс лабораторий, который представляет английскую измерительную науку и технологии мирового класса, обеспечивая высокоточные и прослеживаемые эталоны для измерений в торговле, промышленности, науке и государстве.

В состав NMS входят:

– NWML, которая является исполнительным агентством DIUS и отвечает за законодательную метрологию, осуществляет надзор за применением эталонов, проводит испытания и утверждение типа средств измерений, инспекцию исходных эталонов местных органов, разрабатывает нормативные документы, проводит аккредитацию поверочных лабораторий, проводит калибровку СИ массы, длины, объёма.

На NWML также возложена ответственность за согласование системы законодательной метрологии Великобритании с международной гармонизацией технических требований и процедур измерений в международной торговле.

– NPL выполняет функции национальной лаборатории по научной и прикладной метрологии.

NPL поддерживает национальную инфраструктуру эталонов и метрологии в области материалов и веществ.

Сферы и направления деятельности NPL:

– акустика, ультразвук;
– единицы электрических величин;
– дозиметрия, радиоактивность, нейтронная метрология;
– единицы длины, эталоны длины волны, координатные измерения, форма, нано- и микрометрология, измерения длины, угла, анализ изображения, количественная микроскопия;
– единицы массы, силы, крутящего момента, давления, вакуума, плотности, твёрдости;
– единица Моль, органический, неорганический анализ, электрохимия, газовый анализ, электрохимия, газовый анализ, микро- и наноанализ, клиническая химия;
– фотометрия и радиометрические единицы, калометрия;
– термометрия температурных шкал, влажность газа;
– единицы времени, распространение узаконенного времени, стабилизированный по частоте лазер, эталоны фазовых шумов;
– эталоны частоты, фундаментальные константы и связь с единицами СИ;
– международное сотрудничество НМИ.

В 8.4 Франция. Национальная лаборатория по метрологии и испытаниям (LNE)



была создана в 1901 г. для удовлетворения потребностей промышленности в испытаниях и измерениях, особенно в областях, связанных с материалами, машиностроением и физикой.

LNE начала заниматься безопасностью потребительской продукции. А в 1978 г. правовой статус LNE был изменён. По новому закону LNE стала государственным предприятием, подчинённым Французскому Министерству Промышленности. Сфера деятельности LNE была расширена и в задачи включена сертификация.

В 1985, 2001 и 2003 гг. были открыты новые центры-филиалы LNE в разных городах Франции.

В 2005 г. французское Правительство возложило на LNE все функции французской метрологии. LNE была переименована в Национальную лабораторию по метрологии и испытаниями приняла на себя функции Национального Бюро по метрологии (BNM) и в настоящее время курирует работу других национальных метрологических институтов и лабораторий Франции (INM, LNHB, SYRTE – обсерваторию Парижа).

Сферы и направления деятельности:

- законодательная метрология;
- фундаментальная метрология;
- промышленная метрология;
- калибровка;
- повышение квалификации.

LNE – центр научной и промышленной метрологии.

В сферу метрологической деятельности LNE входят различные измерения электричества, магнетизма, массы, размерных величин, радиометрические и фотометрические величины, количество вещества, температура и тепловые величины, необходимые для:

- обеспечения реализации и совершенствования национальных эталонов в области электричества и магнетизма;
- реализации передачи гирь кратных массе 1 кг, а также большинства величин, связанных с массой: давление, сила, крутящий момент, вязкость, акселеметрия, объём, плотность;
- прослеживаемости до высшего национального уровня размерных эталонов длины;
- прослеживаемости пользователей национальных эталонов радиометрии и фотометрии;
- реализации средств передачи национальных эталонов температуры пользователями и для тепловых величин, материализации эталонов и калибровочных схем;

– разработки современных метрологических методов и приборов для электрохимии и химического анализа органических, неорганических и газовых веществ, а также обеспечение передачи их пользователям.

LNE-INM/CNAM – национальный метрологический институт

Метрологическая деятельность в LNE-INM структурирована на основе 4 областей, соответствующих 4 основным единицам Международной системы единиц (СИ) – килограмма, метр, кандела и кельвин.

LNE-LNHB/CEA – национальная лаборатория Генри Беккереля.

LNE-LNHB ответственна за область ионизирующего излучения.

LNE-SYRTE/OP – пространственно-временные системы частоты.

LNE-SYRTE среди национальных метрологических лабораторий ответственна за реализацию и совершенствование национальных и вторичных эталонов величин в области измерения времени и частоты, а также распространение национальных эталонов.

В состав LNE входит 7 ассоциированных лабораторий реализующие различные национальные эталоны:

- LNE-CETIAT;
- LNE-ENSAM;
- LNE-IRSN;
- LNE-LADG;
- LNE-FEMTO-ST;
- LNE-OB;
- LNE-TRAPIL.

Региональные центры LNE расположены в городах Ним, Пойтьере, Тулузе, Сент-Этьене, а также в Азии (Гонк-Конг, Шанхай и США (Вашингтон).

В 8.5 Япония.

NMIJ – Национальный институт перспективной промышленной науки и технологий (AIST)

Более 100 лет со времени формирования в Японии метрологической деятельности на государственном уровне. Новейшая история метрологического института Японии началась с проведением в апреле 2001 г. крупной правительственной реформы. В составе Министерства экономики, торговли и промышленности (METI) создан Национальный институт перспективной промышленной науки и технологий (AIST). Он состоит из более 20 исследовательских центров и 7 специализированных лабораторий.

Сферы деятельности AIST:

- метрология и измерительные технологии;
- информационные технологии;

- наука о жизни и технология;
- нанотехнология. Материалы и производство;
- окружающая среда и энергия;
- геологические исследования и прикладная геонаука.

В число входящих в состав AIST институтов – **Национальный метрологический институт Японии (NMIJ).**

В настоящее время в состав NMIJ входят две основные организации: собственно Институт метрологии (MIJ) и Центр управления метрологической деятельностью. Структура MIJ построена с учётом действующих в МКМВ Консультативных комитетов.

Работы по испытаниям и утверждению типа: СИ проводится в центре Цукуба и Центре Кансаи Огимачи.

Поверка средств измерений в Японии осуществляется подразделениями AIST, органами префектур, Японской корпорацией по инспекции электрических счётчиков.

Поверенные средства измерений, которые используются при учётно-расчётных операциях или для целей сертификации, должны иметь знак поверки и указания о межповерочном интервале.

К числу средств измерений с установленным периодом поверки относятся: счетчики воды, нефти, газа, электрической энергии, уровня, шума и т.д.

Краткий обзор образования, деятельности и развития метрологических центров промышленно развитых стран позволяет сделать следующие выводы и обобщения:

- история метрологии во многих странах мира восходит из глубин столетий, подтверждая тот факт, что метрология является старейшей из наук;
- как правило, на протяжении всех лет деятельности центров заботу об их развитии осуществляет государство;
- центры метрологии являются крупными научными центрами;
- деятельность центров теснейшим образом связана с решением важнейших государственных проблем, с развитием и конкурентоспособностью национальной промышленности, науки и экономики в целом;
- в современной структуре сфер деятельности и направлений работ метрологических центров всё большей степени делается акцент на разработку современных технологий и материалов, что находит отражение в том числе в названиях таких центров (США, Япония).

Все международные национальные метрологические организации работают в тесном сотрудничестве с международными организациями по стандартизации, в том числе МЭК и ИСО, структура и функции метрологических организаций рассмотрены в подразделе В 6.

В 9 Обеспечение единства измерений в условиях рыночной экономики

Россия подписала в 1975 году Международную Конвенцию в Париже, сделала первый широкомасштабный шаг к обеспечению единства измерений в рыночных условиях.

В рамках СЭВ с 1975 г. интенсивно занимались метрологией, возглавляя эти работы в интересах экономической интеграции. А в 1988 г. все страны СЭВ и СФРЮ подписали конвенцию о системе оценки качества и сертификации взаимопоставляемой продукции, подчеркнув, что в условиях международного разделения труда товарооборот между ними постоянно возрастает.

Ликвидация СЭВ, трансформация СССР в СНГ, создание в Европе новой организации из бывших стран – членов СЭВ-КООМЕТ повлекли за собой поиски новых форм сотрудничества с прежними партнёрами, а переход России к рыночным отношениям определил новые принципы, позицию и политику, как в международном, так и двустороннем сотрудничестве.

Такими принципами сотрудничества в области метрологии является:

1. Обеспечение преемственности положительного метрологического опыта СССР и СЭВ в рамках СНГ и КООМЕТ.
2. Поддержка приоритета международных договоров, обязательств, в том числе по внедрению международных документов в интересах РФ.
3. Содействие процессам присоединения России к ГАТТ/ВТО и вхождение в Европейский Союз.
4. Сохранение позиции и авторитета российской метрологии в международных организациях.
5. Ориентация в двухстороннем сотрудничестве на обеспечение взаимного признания результатов испытаний, калибровок и поверок в целях ликвидации технических барьеров в экономических отношениях.

Сформулированные принципы являются в настоящее время основой для последовательной реализации научно-технической политики России в области метрологии. Методологическое обеспечение этой политики базируется на имеющихся нормативно-правовых документах, а также практическом опыте сотрудничества.

Опыт зарубежных стран как федерального, так и унитарного устройства показывает, что обеспечение единства измерений является государственной функцией, и работы в этом направлении организуются и проводятся от имени правительства.

Исходя из сущности практической метрологии, её значения в деле защиты имущественных и личных интересов, основополагающие правовые положения метрологии устанавливаются законом высшего ранга.

Именно поэтому в соответствии со статьёй 71, пунктом "р" Конституции РФ к исключительному федеральному ведению отнесены эталоны метрической системы мер и исчисления времени.

Закон № 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений" поставил

задачи:

– сохранение достигнутого уровня обеспечения единства измерений в том числе и в СНГ;

– обеспечение преемственного перехода от административного принципа управления метрологической деятельностью к законодательному;

– адаптация Российской системы измерений к мировой системе;

– сохранение государственности измерительного дела в России.

Три обязательства, по крайней мере, поставили на повестку дня создание Российской системы измерений, которая не прописана Законом "Об обеспечении единства измерений".

1 Применение неправильных мер (неверных приборов) или методов измерений (методик выполнения измерений) ведёт к нарушению технологий, потерям топливно-энергетических ресурсов, аварийным ситуациям, браку продукции, хищениям, снижению боеготовности техники и т.д.

2 Масштабы затрат на получение достоверных результатов измерений весьма значительны. В развитых странах около 6% ВНП сегодня тратится на измерения. 0,1% тратится на финансирование разработок, хранение и поддержание и применение национальных эталонов единиц ФВ.

Изменение экономических отношений в России, децентрализация управления и приближение к рыночным структурам других стран обусловливает необходимость структурных изменений в том числе в системе измерений.

Российская система измерений хотя и не прописана законом ориентирована на гармоничное взаимодействие с национальными системами измерений других стран. В первую очередь признание результатов измерений и испытаний, в том числе и сертификационных. Участие России в международных организациях позволяет использовать мировой опыт и учитывать появляющиеся тенденции в современной метрологии.

Кратко изложим структуру и концептуальные особенности Российской системы измерений (РСИ), которая должна охватывать органы и службы, обеспечивающие единство измерений в России, вместе с разработчиками, производителями (поставщиками) и пользователями средств измерений, действующими в соответствии с российским законодательством.

Эта структура условна, но есть общие принципы, которым подчиняется система в целом.

Кратко изложим структурные и концептуальные особенности Российской системы измерений (РСИ), которая должна охватывать органы и службы, обеспечивающие единство измерений в России, вместе с разработчиками, производителями (поставщиками) и пользователями средств измерений, действующими в соответствии с российским законодательством. И хотя структура такой системы достаточно условна и каждый элемент системы имеет свои функции, права и обязанности, есть некие общие принципы, которым подчиняется вся система в целом. На рис. В5

представлена идея построения системы измерений, которая охватывает три элемента (условно) – измерительную технику *1*, метрологию *2* и потребителя

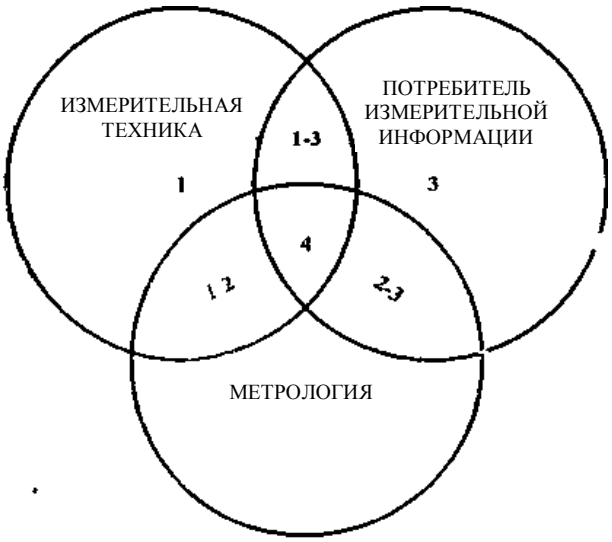


Рис. В5 – Система измерений

измерительной информации *3*. Существует некая общая зона пересечения этих трех элементов *4,* которая являет собой ныне существующую ГСИ – Государственную систему обеспечения единства измерений. Учет взаимопересечений элементов между собой (попарно) позволяет определить конкретные виды работ. Например, в *1–2*– для целей утверждения типа испытания средств измерений, в *2–3*– поверку и калибровку, *1–3*– ремонт, калибровку, обслуживание и т.д. Внимательное рассмотрение особенностей «взаимопроникновений» позволяет определить структуру НТД по метрологии, «ядро» НТД в рамках ГСС (Государственной системы стандартизации).

Предложенная концептуальная основа РСИ представлена на рис. В5. Целью ее является содействие экономическому и социальному развитию общества на основе конституционных норм, законов РФ и постановлений правительства РФ. В соответствии с этим задачей РСИ является реализация единой технической политики по защите общества от неверных результатов измерений, влияющих на уровень жизни и благосостояния граждан и охрану

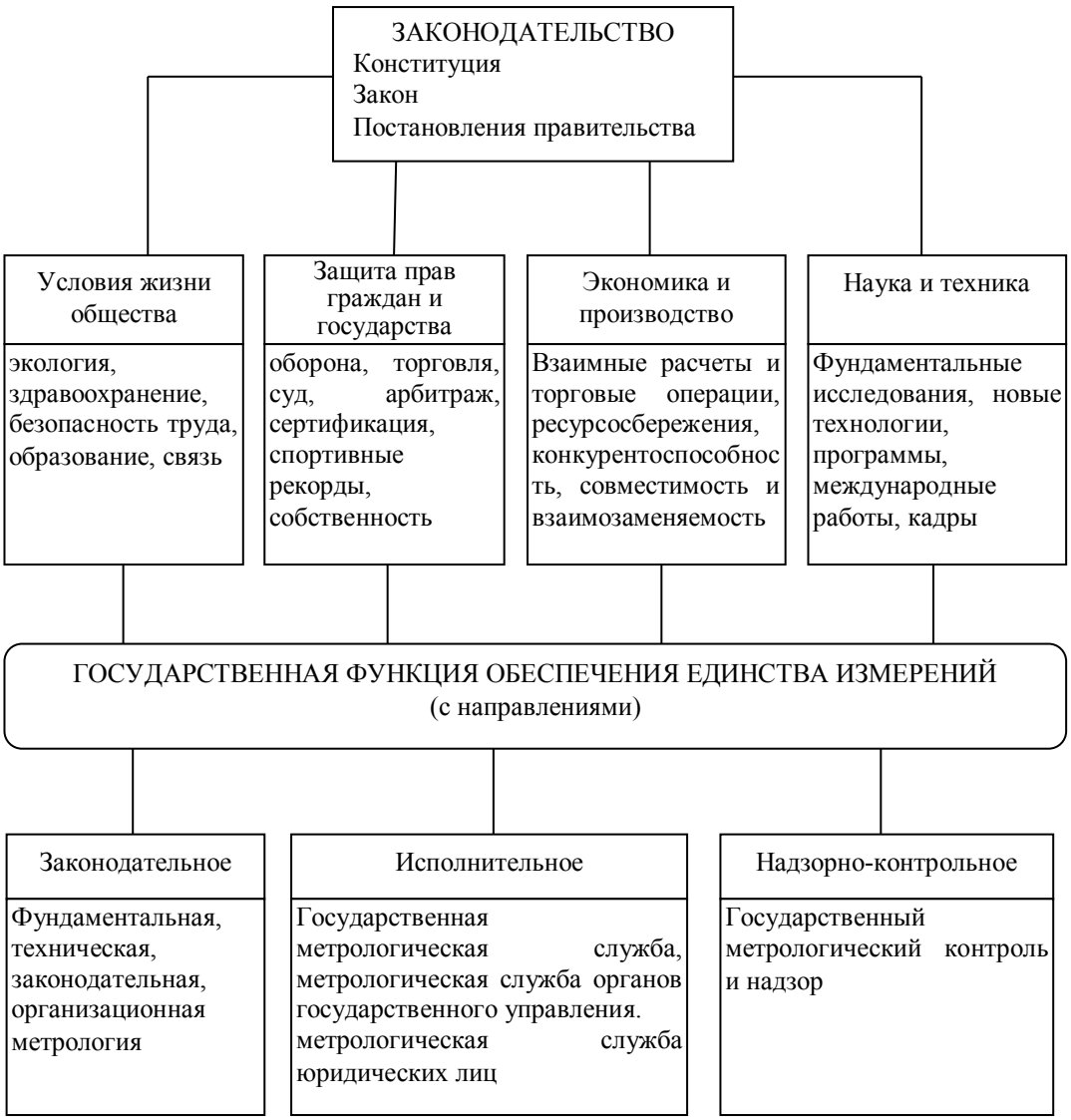


Рис. В5 – Концептуальная основа Российской системы измерений

правопорядка в стране, экономику и производство, науку и технику. Стратегия функционирования РСИ заключается в «привязке» всех измерений соответствующим образом к государственным эталонам единиц измерений (системе шкал), чтобы любое средство измерения несло в себе масштабированный размер единицы, полученной по поверочной схеме от соответствующего эталона.

Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» содержит все три направления метрологии – законодательное, исполнительное и надзорное, как это задумывалось при разработке проекта. При этом впервые было раскрыто понятие «метрологической службы» как «совокупности субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений».

Однако принятием Закона, столь необходимого для создания основ технического законодательства в России, проблемы обеспечения единства измерений, перевода метрологии на новый уровень развития, организации управления метрологической деятельностью в стране не полностью

решаются. Нужны также соответствующие подзаконные акты (постановления правительства, решения Госстандарта России, НТД).

Введение Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» привело к изменению привычных отношений между органами Государственной метрологической службы и метрологическими службами государственных органов управления и юридических лиц, отказу от ряда устаревших понятий и терминов и введению новых терминов, введению новых форм метрологической деятельности, переходу на договорные хозяйственные отношения между субъектами метрологической деятельности.

Законом (статья 13) определены сферы интересов государства, на которые распространяется государственный метрологический контроль и надзор, и определены формы метрологической деятельности вне этих сфер.

Существенно трансформируется система поверки средств измерений. Вместо государственной и ведомственной поверки органами Государственной метрологической службы и аккредитованными метрологическими службами юридических лиц производится единая поверка средств измерений Создана система аккредитации метрологических служб на право поверки средств измерений. Требования к аккредитованным метрологическим службам и порядок аккредитации выстроены таким образом, чтобы и в новых условиях хозяйствования обеспечить единство измерений.

В сферах, неконтролируемых государственными органами, создается Российская система калибровки (РСК), которая призвана обеспечить единство измерений в этих сферах. Деятельность РСК направлена на повышение степени доверия торговых партнеров к результатам измерений и конкурентоспособности продукции и услуг. В основу деятельности РСК заложены принципы добровольности принятия метрологическими службами обязательств по соблюдению принятых в РСК правил и норм, обязательность передачи размеров единиц от государственных эталонов до рабочих средств измерений, техническая компетентность и профессионализм, самоокупаемость системы.

В целях обеспечения единства измерений средствами измерений, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования осуществляется поверка в соответствии с правилами ПР 50.2.006-94 "ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений". Остальные средства измерений на добровольной основе, проходят поверку по правилам ПР 50.2.006-94 или калибровку согласно ПР 50.2.017-95 "Положение о российской системе калибровки". Правила распространяются на метрологические службы юридических лиц, аккредитованных в РСК. Калибровка средств измерений производится метрологическими службами с использованием эталонов, соподчинённых государственным эталонам единиц величин. Эталоны, используемые для калибровки подлежат государственному метрологическому контролю и надзору, так как используются в сферах его распространения.

В целях защиты прав потребителей введен институт лицензирования

метрологической деятельности. Лицензированию подлежат изготовление, ремонт, продажа и прокат средств измерений, которые применяются в сферах, подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору. Выдавать лицензию имеют право только органы Государственной метрологической службы.

В области государственного метрологического надзора введены новые виды надзора – надзор за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, и надзор за количеством товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже. Главным во внедрении этих видов надзора является создание таких правовых механизмов на местах, при которых соответствие средств измерений, применяемых, в частности, в торговле, предъявляемым требованиям было бы гарантированным, а нарушение метрологических норм и правил являлось бы только результатом злоупотреблений или некомпетентности торговых работников.

Кроме указанных новаций, в метрологическом законодательстве расширены сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора на банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции, на обязательную сертификацию продукции и услуг и др.

Согласно Закону РФ «Об обеспечении единства измерений», испытаниям и утверждению типа подлежат средства измерений, в том числе измерительные системы (комплексы), которые применяют в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, установленных в указанном Законе.

Проблемы сохранения единства измерений в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору, повышения эффективности работ по формированию измерительного парка страны, а также защита интересов потребителей средств измерений не только при выпуске измерительных приборов, но и при их эксплуатации поставили задачу создания добровольной Системы сертификации средств измерений на соответствие метрологическим нормам и правилам и Российской системы калибровки средств измерений.

Средства измерений применяются во всех отраслях народного хозяйства, в научно-исследовательской и производственной практике Качество выпускаемой продукции во многом зависит от достоверности поступающей от средств измерений измерительной информации. Однако с принятием Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» большая группа средств измерений, применяемых вне сфер государственного метрологического контроля и надзора, не подпадает под его действие. В то же время Госстандарт России и промышленность накопили богатый опыт по организации и проведению испытаний таких средств измерений, создана разветвленная и квалифицированная сеть испытательных подразделений на базе организаций Госстандарта России, разработано метрологическое обеспечение эксплуатации этих средств измерений. Было бы большой ошибкой не воспользоваться этим потенциалом и не сохранить единство измерений вне сфер государственного метрологического контроля и надзора

с использованием сертификации средств измерений.

На основании полномочий, предоставленных Законом РФ «О сертификации продукции и услуг», Госстандарт России зарегистрировал в Государственном реестре под № РОСС RU. 0001.04СЕОО Систему добровольной сертификации средств измерений.

Особо следует отметить, что все нормативные документы, разработанные с 1992 г. в России, соответствуют международным требованиям, а по вопросам калибровки, сертификации, аккредитации лабораторий и органов по сертификации полностью соответствуют требованиям европейских стандартов и документам Европейской Аккредитации Лабораторий, что важно для вхождения России в; Европейский рынок. [19]

Вопросы к разделу

1 Что такое измерения?
2 Какие меры длины существовали на Руси и Западной Европе?
3 Что вы знаете о развитии метрологии на Руси?
4 Какие задачи стоят перед институтами Росстандарта.
5 Кто осуществляет государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в Российской Федерации?
6 Что относится к компетенции Госстандарта России?
7 На каком принципе управления строится современная российская система измерений?
8 Какие основные метрологические учреждения существуют в нашей стране? Какова их сфера деятельности?
9 Какие функции выполняют международные организации в обеспечении единства измерений?
10 Какие особенности российской системы измерений в условиях рыночной экономики?

Глава 1 Общие понятия метрологии

1.1 Основные термины и определения метрологии

Основные термины и определения в метрологии сформулированы в ряде действующих нормативно-технических документов: закон РФ №4871-93 «Об обеспечении единства измерений», РМГ 29-99 «Метрология. Основные термины и определения». В связи с этим все термины и определения жестко узаконены и не могут толковаться иначе, чем в соответствующих документах*.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

К основным проблемам метрологии относятся:

- общая теория измерений;
- единицы физических величин и их системы;
- методы и средства измерений;
- основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений;
- методы определения точности измерений;
- эталоны;
- методы передачи размеров единиц от эталонов или рабочих эталонов рабочим средствам измерений.

Теоретическая метрология (фундаментальная метрология) – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

В связи с динамичностью развития науки и техники могут применяться термины неоговоренные нормативными документами. Например, автоматизированные рабочие эталоны и т.д.

Законодательная метрология – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требовании по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и точности измерений в интересах общества

Законодательная метрология включает четыре главных вида деятельности:

- установление законодательных требований;

---

*Термины, установленные этими документами, рекомендуется применять во всех видах документации, научно-технической, учебной и справочной литературе по метрологии, входящих в сферу работ по стандартизации и/или использующих результаты этих работ. Между тем следует отметить, что в ранее существовавших документах некоторые термины трактовались по-иному или «изгонялись» и вновь «возвращались», при этом не всегда согласуясь со смежными областями науки и техники. В новом законе РФ «О техническом регулировании» указывается на добровольность применения стандартов и обязательном использовании технических регламентов. В связи с этим в некоторых случаях будут параллельно приводиться и ранее существовавшие термины. В применении терминов приоритет отдается закону, а потом всем остальным документам: техническим регламентам, стандартам, рекомендациям и т.п.

– контроль/оценка соответствия товаров и видов деятельности, подвергаемых регулированию;

– надзор за товарами и видами деятельности, подвергаемыми регулированию;

– создание инфраструктуры, необходимой для обеспечения прослеживаемости результатов измерений и средств измерений в регулируемой области.

Практическая (прикладная) метрология – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии*.

Обеспечение единства измерений – деятельность метрологических служб, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с законодательными актами, а также правилами и нормами, установленными государственными стандартами и другими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

Измерение – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение отношения (в явном или не явном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Единство измерений позволяет сопоставить результаты измерений, выполненных с использованием различных методов, средств в различных местах и в разное время. Следует отметить, что установление истинного значения физической величины может быть произведено с помощью измерений со сколь угодно малой погрешностью, определяемой уровнем методологии и технических средств, но при этом не может быть получено само истинное значение.

В теории измерений, таким образом, приняты два постулата:

первый – о существовании истинного значения,

второй – о неизбежности погрешностей.

Нормативные документы ** **по обеспечению единства измерений** – государственные стандарты, применяемые в установленном порядке международные (региональные) стандарты, правила, положения, инструкции и рекомендации.

Метрологическая служба – совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.

---

*Такое разделение метрологии в некоторой мере является условным, так как разделение метрологии на отдельные части во многих случаях не представляется возможным, особенно в связи с ее современным бурным развитием.

**Терминология, вводимая ГОСТом РИСО 5725, отличается от общепринятой до сих пор в отечественной метрологической литературе, поэтому знакомство с ней будет происходить по мере изучения курса.

Метрологический контроль и надзор – деятельность, осуществляемая органом государственной метрологической службы (государственный метрологический контроль и надзор) или метрологической службой юридического лица в целях проверки соблюдения установленных метрологических правил и норм.

Результат измерения – значение величины, найденное путем её измерения.

Для измерения необходимо:

- воспроизвести единицу физической величины;
- сравнить с ней измеряемое значение;
- зафиксировать результаты сравнения;
- оценить точность (погрешность) измерения.

1.2 Основные элементы процесса измерения

Измерения играют важную роль в познании окружающего мира, явлений и объектов, с которыми приходится иметь дело в практической деятельности.

К основным элементам процесса измерения относятся;

- объект измерения;
- средство измерений;
- условия измерений;
- принцип измерений;
- метод измерений;
- субъект измерений (человек-оператор, выполняющий измерение).

Объект измерения – это физическая величина, которая подлежит измерению, например, напряжение электрической сети, ток нагрузки, активная мощность, потребляемая нагрузкой. На основе априорных данных оценивается объект измерения и отождествляется с одной из моделей, идеализирующей этот объект. В соответствии с принятой моделью объекта измерения выбирается измерительный прибор.

Средство измерения (СИ) – это техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированную точность. Средства измерений образуют основу измерительной техники.

Принцип измерений составляет совокупность физических явлений, на которых основаны измерения. Например, тепловой принцип измерения мощности.

Метод измерений представляет собой совокупность приемов использования принципов и средств измерений, обеспечивающую сравнение измеряемой величины с единицей. Например, метод замещения при измерении параметров цепей.

Условия измерений характеризуются наличием влияющих величин. Влияющими величинами являются температура, вибрация, давление, электрические и магнитные поля и т.д. Влияние этих величин на средства измерения должно быть учтено или исключено.

Человек-оператор с его психофизиологическими свойствами должен рассматриваться с позиции преобразования измерительной информации, получаемой им от средства измерений*.

1.3 Физические величины

Физическая величина – одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них (длина, масса, температура и т. д.).

Измеряемая физическая величина – физическая величина, подлежащая измерению, измеряемая или измеренная в соответствии с основной целью измерительной задачи.

Размер физической величины - количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Значение физической величины – выражение физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Отвлеченное число, входящее в значение физической величины, называется числовым значением. Например, диаметр отверстия Ø10 мм.

Так как значения физических величин находят опытным путем, они содержат погрешности измерений. В связи с этим различают истинное и действительное значения физических величин.

Истинное значение физической величины – значение физической величины, которое идеальным образом характеризовало бы в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

Истинное значение физической величины может быть соотнесено с понятием абсолютной истины. Оно может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений.

Действительное значение физической величины – значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. При технических измерениях значение физической величины, найденное с допустимой по техническим требованиям погрешностью, принимается за действительное значение.

Влияющая физическая величина – физическая величина, оказывающая влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерения.

Система физических величин – совокупность физических величин,

---

*Всегда следует учитывать субъективный фактор, стрессовую ситуацию, горе и т.п. ибо от этого зависит точность и объективность полученных экспериментальных данных. Надо также учитывать привычки человека, производящего измерения, например, профессиональный метролог, занимающийся поверкой приборов, не всегда готов к производству точных измерений (резкая перемена от быстроты цели «годен – не годен» и «давай – давай» к кропотливому измерительному процессу требует некоторого времени для адаптации к новым требованиям).

образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

Основная физическая величина – физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

Производная физическая величина – физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

Размерность физической величины – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

Линейный размер (размер) – числовое значение линейной величины в метрах или его частях.

Угловой размер – угол между двумя поверхностями или осями в радианах, градусах, минутах или секундах. Частный случай – отклонение от прямого угла или точность расположения зубьев зубчатого колеса в мкм.

Истинный размер – размер, полученный в результате обработки, изготовления, значение которого нам не известно, хотя оно и существует.

Действительный размер – размер, установленный в результате измерений с допустимой погрешностью.

1.4 Единицы физических величин

Практически все решаемые в рамках метрологии задачи направлены на обеспечение единства измерений при необходимой для рассматриваемой задачи точности. С этой целью разрабатываются и утверждаются единые единицы физических величин, в соответствии с которыми градуируются измерительные приборы.

Единица измерения физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

Система единиц физических величин – совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин.

Основная единица системы единиц физических величин – единица основной физической величины в данной системе единиц.

Производная единица – единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или с основными и уже определенными производными. Например, единица скорости м/с образована из основных единиц системы СИ – метра и секунды.

Системная единица физической величины – единица физической величины, входящая в принятую систему единиц.

В СССР и потом в Российской Федерации с 1960 года действует международная система единиц СИ (система интернациональная).

В международной системе СИ приняты следующие основные единицы измерения:

единица длины	1 метр (м);
единица угла	1 радиан (рад);
единица телесного угла	1 стерадиан (ср);
единица времени	1 секунда (с);
единица массы	1 килограмм (кг);
единица температуры	1 Кельвин (К);
единица силы тока	1 Ампер (А);
единица количества вещества	1 моль (моль);
единица силы света	1 кандела (кд).

Линейные размеры в системе СИ измеряются в метрах. Вместе с метром принято использование кратных десятичных единиц длины: 1 метр = 10 дм = 100 см = 1 000 мм = 1 000 000 мкм = 1 000 000 000 нм; 1 000 метров = 1 км.

Углы в системе СИ измеряются в радианах. 1 радиан – это угол между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу окружности. Эта единица, удобная в физических расчетах, практически не применяется в технике, так как не существует приборов, проградуированных в радианах

В технике обычно углы измеряют в градусах, минутах и секундах. Эта система была разработана в мореплавании и получила широкое распространение во всех областях техники.

1 рад ≈ 57°17'44,8";

1 окружность = 360° (градусов);

1 градус = 60'(минут),

1 минута = 60" (секунд).

Кратная единица физической величины – единица физической величины, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы

Например, единица длины 1 км = 1000 м, то есть кратная метру

Дольная единица физической величины – единица физической величины, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы

Например, единица длины 1 мкм = 0,000001 м, то есть дольная метру.

Размер единицы физической величины – количественная определенность единицы физической величины, воспроизводимой или хранимой средством измерения.

1.5 Шкалы измерений

Шкалой физической величины называется последовательность значений, присвоенная в соответствии с правилами, принятыми по согласованию, одноимённых физических величин различного размера.

Все виды шкал разделяются на 6 групп:

1. **Шкалы наименований (шкалы классификаций)**, которые характеризуются только отношением эквивалентности различных качественных проявлений свойства. У них нет нуля, единицы измерений, "больше – меньше". Примерами шкал, наименований могут служить атласы цветов для идентификации оттенков цвета, экспертные оттенки запахов, списки студентов.

Шкалы цвета колометрия (цветовые измерения), опираются на стандартизованную МКО трёхмерную шкалу, трёхмерную модель абстрактного (офинного) цветового пространства, в которой цвет характеризуется тремя координатами цвета X, Y, Z [20]. Координаты цвета определяются интегралами по длине волны от производной функции спектральной плотности потока излучения $ФД_{\ell\lambda}$ (λ) и соответствующих стандартизованных функций сложения цветов x(λ), y(λ), z(λ). Изменение интенсивности света (без изменения относительного спектрального разделения излучения – умножение $ФД_{\ell\lambda}$ (λ) на число n) производит к пропорциональному n изменению всех координат цвета. Отличающиеся на такой множитель n цвета называют цветами одной цветности, поэтому координаты цвета, делённые на сумму, называют координатами цветности. Координаты цвета и цветности измеряют трёхканальными колориметрами или спектрорадиометрами, градуировка которых осуществляется фотометрическими методами.

Кроме описанного инструментального метода в колометрии широко применяется метод измерения цвета в шкале наименований путём визуального сравнения с цветами образцов из систематизированного наборами таблиц – атласа цветов. Стандартизованный в нашей стране атлас цветов содержит 1000 цветовых образцов. Для решения чайных цветоизмерительных задач применяют наборы из ограниченного (небольшого) числа образцов, иногда называют цветовыми шкалами.

2. **Шкалы порядка** свойства величины (шкалы рангов), которые описываются отношением эквивалентности, так и отношением порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления свойства. У них нет единицы измерения.

Шкалы твердости материалов

Твердостью называют особое свойство материалов, которое проявляется в их способности оказывать сопротивление всяким попыткам упруго или пластично деформировать участок поверхности тела или оторвать частицы материала с этого участка. Реальные тела обладают твердостью в различной степени. Если данное тело оставляет след на поверхности другого тела при царапаний, то его материал считается тверже. Твердость – сложная характеристика, она связана с такими свойствами материала, как прочность, способность сопротивляться срезу, упругость, пластичность. Современное состояние науки о твердости не позволяет оценить твердость материала какой-то одной физической константой. Поэтому твердость характеризуют

величиной (баллом, классом, числом твердости), которая измерена одним из известных методов в определенных условиях.

Твердость как свойство материала (объекта измерений) является неархимедовой величиной. Числа (баллы) твердости, измеренные различными методами, описываются шкалами порядка. Напомним, что эти шкалы не имеют единиц измерений. Поэтому применение термина «единица твердости» некорректно.

Основоположником технических измерений твердости считается французский физик Р. Ремюр. Он предложил (1772) классификацию приборов для измерения твердости, которая сохранила свое значение до наших дней. Методы и шкалы измерения твердости условно можно разделить на не связанные с применением специальных технических средств и связанные с ними.

Первую группу составляют шкалы относительной твердости минералов – **дискретные шкалы порядка** (показатели твердости по Моосу, по Брейтгаупту, по Хрущову). В этих шкалах образцовыми мерами (реперными точками) служат сами обозначенные в спецификациях минералы. Процедура определения твердости в баллах сводится к нахождению пары соседних по таблице минералов, один из которых царапает исследуемый минерал, а другой им царапается. Несмотря на невысокую точность, эти шкалы удобны для быстрой предварительной оценки твердости минералов непосредственно в полевых условиях, в геологоразведке.

Первая минералогическая шкала твердости была разработана немецким ученым Ф. Моосом в 1811 г. Эта шкала содержит десять реперных точек (баллов), соответствующим известным минералам (табл. 5.1). Из них наименьшей твердостью обладает тальк (1 балл), наибольшей – алмаз (10 баллов).

В середине XX в. под руководством М.М. Хрущова проводилось изучение шкалы Мооса с помощью специальной аппаратуры. Была обнаружена примерно линейная зависимость баллов Мооса и чисел твердости, полученных приборными методами, вплоть до 9-го балла; далее выявилось резкое отклонение от линейности. Чтобы сохранить общий вид зависимости в области твердых минералов, для алмаза был установлен более высокий показатель (класс) твердости. Шкала Хрущева (1966 г.), дающая более объективную оценку твердости минералов, нашла широкое практическое применение.

Ко второй группе относят все применяемые в технике шкалы измерения твердости металлов (Бринелля, Виккерса, Роквелла, Шора) и других материалов. Определение чисел твердости основано либо на внедрении в поверхность исследуемого материала стандартного индентора (статические методы), либо на использовании упругих свойств материала (динамические методы). Индентором называют малодеформирующийся наконечник прибора. Он может быть изготовлен из разных материалов (сталь, твердый сплав, алмаз) и иметь различную форму (сфера, конус, пирамида и др.).

Одна из первых шкал измерения твердости металлов была разработана шведским инженером Ю.Л. Бринеллем (1900). Индентор (шарик диаметром D из закаленной стали или твердого сплава) вдавливается в исследуемую поверхность под действием известного усилия в течение определенного времени. За меру твердости по Бринеллю (НВ) принимают величину отношения усилия P (в ньютонах) к площади поверхности (в мм^2) сферического отпечатка диаметром d:

$$HB = \frac{0{,}204 \times P}{\pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Крупным недостатком метода Бринелля является зависимость числа твердости от нагрузки P. Эта зависимость наиболее ярко проявляется для твердых материалов. Поэтому результат измерения твердости по методу Бринелля должен содержать информацию об условиях проведения испытания. Например, запись *HB* 10/750/30–140 означает, что твердость исследуемого материала составила 140 чисел твердости по Бринеллю и была получена при вдавливании шарика диаметра D = 10 мм под нагрузкой P = 750 кгс (1 кгс = 9,81 Н) в течение 30 секунд.

Таблица 1.1 Минералогические шкалы твердости

Минерал	Балл по шкале Мооса	Класс по шкале Хрущева
Тальк	1	0,9
Гипс	2	2,3
Известковый шпат (кальцит)	3	3,3
Плавиковый шпат (флюорит)	4	4,0
Апатит	5	5,7
Роговая обманка (ортоклаз)	6	6,5
Кварц	7	7,3
Карбид вольфрама	–	7,8
Топаз	8	7,9
Корунд	9	8,9
Карбид титана	–	10,0
Карбид кремния	–	10,1
Алмаз	10	15,1

Другой метод измерения твердости своим названием обязан английскому концерну «Виккерс – Армстронг Лимитед». В качестве индентора здесь использован алмазный наконечник в форме правильной четырехгранной пирамиды. Если индентор имеет форму конуса или пирамиды, число твердости от нагрузки практически не зависит. Число твердости по Виккерсу (*HV*) инвариантно к нагрузке во всем ее рабочем диапазоне (от 50 до 10^3 Н) и рассчитывается через отношение нагрузки P (в ньютонах) к квадрату среднего значения диагонали отпечатка (в мм^2) d = $0{,}5(d_1 + d_2)$, мм:

$$HV = 0{,}189\frac{P}{d^2}$$

В остальном метод Виккерса очень похож на метод Бринелля. Числа твердости *HB* и *HV* практически совпадают до значений 300 – 320. Для твердых материалов (*HB* > 450) метод Бринелля дает менее надежные результаты из-за деформации поверхности шарика. Общим недостатком обоих методов является необходимость проведения испытания в два этапа: приложение нагрузки и измерение размера отпечатка.

Этого недостатка лишен следующий метод измерения твердости, предложенный американским металлургом С.П. Роквеллом (1919 г) В методе Роквелла используется 15 независимых шкал (*A, B, C, D... S, V*) для широкого спектра материалов Позднее появились шкалы *N* и *T* для определения твердости тонких слоев и образцов малой толщины (метод Супер–Роквелла); здесь применяется уменьшенная нагрузка. В обоих методах индентором служит алмазный конус или стальной шарик.

Нагружение индентора производится в два приема. Сначала прикладывается предварительная нагрузка и фиксируется глубина вдавливания, которая служит началом отсчета остаточной глубины Δh. Затем прикладывается основная нагрузка, выдерживается несколько секунд (до окончания пластической деформации) и плавно снимается (предварительная нагрузка при этом остается); по шкале прибора измеряется остаточная глубина. Число твердости по Роквеллу (Супер–Роквеллу) *HR* рассчитывается по формуле:

$$HR = A - \Delta h/c$$

Здесь: *A* – некоторая константа, выбираемая в зависимости от применяемой шкалы, с – цена деления шкалы прибора.

Приборы для измерения твердости по методу Роквелла позволяют отсчитывать числа твердости прямо по шкале, без дополнительных измерений и расчетов.

Твердость закаленных сталей и других материалов с высокой упругостью измеряют методом упругого отскока бойка от исследуемой поверхности. Соответствующую шкалу разработал в 1906 г. А. Шор (шкала *D*). Число твердости по Шору (*HSD*) может быть определено по высоте h_2 отскока бойка, падающего с высоты h_1. Чем больше отношение h_2/ h_1, тем меньше работа пластической деформации, поглощенная материалом, и тем больше его твердость. При постоянном значении h_1 твердость материала считается пропорциональной высоте отскока:

$$HSD = 140{\times}h_2/h_1,$$

Шкала прибора проградуирована в числах твердости. Прямое измерение высоты отскока не позволяет обеспечить требуемую точность, поэтому в конструкции эталонного прибора (ГЭТ 161–2001) значение h_2 определяется по интервалу времени *T* между первым и вторым (после отскока и повторного падения) ударами бойка:

$$h_2 = g \times T^2/8 .$$

где g = 9,80665м·с$^{-2}$ – ускорение силы тяжести.

Метод микротвердости предназначен для измерения твердости микроскопических объемов материала (тонкая проволока или лента, покрытия), оценки твердости отдельных фаз или структурных составляющих сплавов. Метод микротвердости – это фактически метод Виккерса, но с использованием малых нагрузок.

Метод царапания в качестве инструмента использует алмазный наконечник. Твердость оценивается по отношению нагрузки P в ньютонах к проекции площади (в мм^2) контактной площадки:

$$H_H = k \times p/b^2,$$

где b – ширина царапины, k – числовой коэффициент, зависящий от геометрии наконечника.

В настоящее время измеряют твердость самых разных материалов – металлов, пластмасс, минералов, резины, древесных плит, лакокрасочных покрытий и т. д. Для статических измерений твердости резины и пластмасс используют методы вдавливания иглы (метод Шора, шкала *A*) или шарика (методы ТШ и ТМ).

Степень твердость материала количественно определяется числом твердости: *HB* 230, *HV* 1280, *HRC* 56, *HSD* 88 (здесь *H* от англ. hardness – твердость). Для каждой шкалы большее число твердости соответствует более твердому материалу. В связи с особенностями твердости как свойства материала невозможна точная методика определения эквивалентности чисел твердости, определенных по разным шкалам. Однако для некоторых материалов и шкал твердости существуют таблицы пересчета, составленные по эмпирическим зависимостям.

Некоторые шкалы измерения твердости и соответствующие поверочные схемы возглавляются государственными специальными эталонами: ГЭТ 30-94 (шкалы Роквелла и Супер-Роквелла); ГЭТ 31-79 (шкалы Виккерса); ГЭТ 33-85 (шкалы Бринелля); ГЭТ 161-2001 (шкала Шора *D*).

Остальные шкалы твердости реализуются без эталонов или установок высшей точности. Поверка приборов для измерения твердости осуществляется по аттестованным наборам мер твердости.

Несмотря на то, что вес шкалы твердости являются шкалами порядка (т.е. неметрическими) и разработаны сравнительно давно, измерение твердости по этим шкалам остается весьма распространенной операцией. По мере разработки новых конструкционных материалов можно ожидать появления новых методов и шкал измерения твердости.

К шкалам порядка относятся **шкалы землетрясений** и **шкалы силы ветра.**

Шкалы землетрясений. Силу землетрясений измеряют в шкалах порядка путем оценки по бальной шкале. Наиболее распространена

сейсмическая 12 бальная шкала (табл. 1.2), основанная на наблюдаемых разрушениях и других признаках.

Шкала интенсивности (магнитуд) землетрясений основана на определении энергии, излучаемой очагом упругих волн, по наблюдению сейсмических станций. Магнитуда пропорциональна логарифму энергии. Для установления соотношения между бальностью и интенсивностью землетрясения необходимо знать глубину очага.

Таблица 1.2 Шкалы землетрясений

Балл	Название землетрясения	Краткая характеристика
1	Незаметное	Отмечается только сейсмическими приборами.
2	Очень слабое	Ощущается отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя.
3	Слабое	Ощущается лишь небольшой частью населения.
4	Умеренное	Распознается по легкому дребезжанию и колебаниям предметов, посуды и оконных стекол, скрипу дверей и стен.
5	Довольно сильное	Общее сотрясение зданий, колебание мебели. Трещины в оконных стеклах и штукатурке. Пробуждение спящих.
6	Сильное	Ощущается всеми. Картины падают со стен. Откалываются куски штукатурки, легкое повреждение зданий.
7	Очень сильное	Трещины в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные постройки остаются невредимыми.
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются.
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов.
10	Уничтожающее	Крупные трещины в почве. Оползни и обвалы. Разрушение каменных построек. Искривление железнодорожных рельсов.
11	Катастрофа	Широкие трещины в земле. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома разрушаются до основания.
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подпруд на озерах, отклонения течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает.

Шкалы силы ветра относятся к шкалам порядка. Одна из них – **шкала Бофорта** – приведена в табл. 1.3 (сила ветра у земной поверхности по шкале Бофорта – на стандартной высоте над открытой ровной поверхностью)

Таблица 1.3 Шкала силы ветра

Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Скорость ветра, м/с	Действие ветра	
			на суше	на море
0	Штиль	0–0,2	Штиль. Дым поднимается вертикально.	Зеркально-гладкое море.
1	Тихий	0,3–1,5	Направление ветра заметно по относу дыма, но не по флюгеру.	Рябь, пены на гребнях нет.
2	Легкий	1,6–3,3	Движение ветра ощущается лицом шелестят листья, приводится в движение флюгер.	Короткие волны, гребни не опрокидываются и кажутся стекловидными.
3	Слабый	3,4–5,4	Листья и тонкие ветки деревьев все время колышатся, ветер развевает флаги на мачтах	Короткие, хорошо выраженные волны. Гребни, опрокидываясь, образуют стекловидную пену, изредка образуются маленькие белые барашки.
4	Умеренный	5,5–7,9	Ветер поднимает пыль и бумажки, приводит в движение тонкие ветви деревьев.	Волны удлиненные, белые барашки видны во многих местах.
5	Свежий	8,0–10,7	Качаются тонкие стволы деревьев, на воде появляются волны с гребнями.	Хорошо развитые в длину, но не очень крупные волны, повсюду видны белые барашки (в отдельных случаях образуются брызги).
6	Сильный	10,8–13,8	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода	Начинают образовываться крупные волны. Белые, пенистые гребни занимают значительные площади (вероятны брызги).

Продолжение таблицы 1.3

7	Крепкий	13,9–17,1	Качаются стволы деревьев, идти против ветра трудно	Волны громоздятся, гребни срываются, пена ложится полосами по ветру.
8	Очень крепкий	17,2–20,7	Ветер ломает сучья деревьев, идти против ветра очень трудно	Умеренно высокие длинные волны, по краям гребней начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра.
9	Шторм	20,8–24,4	Небольшие повреждения, ветер срывает дымовые колпаки и черепицу	Высокие волны. Пена широкими плотными полосами ложится по ветру. Гребни волн начинают опрокидываться и рассыпаться в брызги, которые ухудшают видимость.
10	Сильный шторм	24,5–28,4	Значительные разрушения строений, деревья вырываются с корнем (на суше бывает редко).	Очень высокие волны с длинными, загибающимися вниз гребнями. Образующаяся пена выдувается ветром большими хлопьями в виде густых белых полос. Поверхность моря белая от пены. Сильный грохот волн подобен ударам. Видимость плохая.
11	Жестокий шторм	28,5–32,6	Большие разрушения на значительном пространстве (на суше наблюдается очень редко)	Исключительно высокие волны. Суда небольшого и среднего размера временами скрываются из вида. Море все покрыто длинными, белыми хлопьями пены, располагающимися по ветру. Края волн повсюду сдуваются в пену. Видимость плохая.
12	Ураган	32,7 и более	То же	Воздух наполнен пеной и брызгами Море все покрыто полосами пены. Очень плохая видимость

27 января 2012 года на Черноморском побережье России пронёсся ураган, силой ветра 40 м/сек. Наблюдались разрушения крыш зданий, перевернутые автомобили.

Шкала pH водных растворов. Водородный показатель – pH – десятичный логарифм концентрации $c_н$ (точнее, активности) ионов водорода в растворе, взятый с обратным знаком: $pH = -\lg c_{н+}$, где $c_{н+}$ выражено в грамм-ионах на литр.

При температуре 22°C водородный показатель чистой воды (нейтральных растворов) pH = 7.

Водородный показатель количественно характеризует кислотность или щелочность водных растворов, которые существенно влияют на направление и скорость химических и биохимических процессов. Для кислых растворов ($x_{н+} > c_{он}$-)pH<7; для щелочных растворов pH>7. При повышении температуры диссоциация воды усиливается, концентрация ионов увеличивается, а pH уменьшается, поэтому чистая вода при температуре 100 °C имеет pH=6, при температурах менее 22 °C в чистой воде pH>7.

Для обеспечения точного измерения водородного показателя шкала pH стандартизована на международном (Рекомендация МР54, МОЗМ, 1981 г.) и государственном уровнях: стандартизованная шкала pH реализована в виде государственного эталона и поверочной схемы. Для pH-метрии имеются стандарт-титры для приготовления образцовых буферных растворов (ГОСТ 8.135-74).

3. **Шкалы интервалов (шкалы разностей)**, которые описывают свойства величин не только с помощью отношений эквивалентности и порядка, но также с применением суммирования и пропорциональности интервалов (разностей) между количественным проявлением свойства. Шкала интервалов и, как следствие, линейка имеет единицу измерения. Ноль такой шкалы принят по соглашению и поэтому является условным.

К шкалам интервалов относятся следующие шкалы.

Шкалы измерения времени

С точки зрения философии время – одна из основных форм существования материи. В физике пространство и время определяются как фундаментальные структуры координации объектов и их состояний. Система отношений, отображающая координацию сосуществующих объектов (расстояние, ориентация и т. д.) образуют пространство. Само время определяется системой отношений, отображающих координацию сменяющих друг друга состояний или явлений (последовательность, длительность и т.д.).

В макросистемах, где скорости движения тел на порядки меньше скорости света, в соответствии с законами классической механики время «без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью» (И. Ньютон). Бесконечность (неограниченность в прошлое и будущее), однонаправленность («стрела времени»), равномерность, непрерывность – вот главные характеристики времени, этого весьма своеобразного и в определенной степени загадочного свойства, которым обладает каждый объект нашего мира.

В мире элементарных частиц (в микросистемах) течение времени рассматривается с позиций теории относительности, построенной А. Эйнштейном: темп течения времени зависит от скорости движения системы. Здесь время обладает только свойствами порядка, всякое различие между прошлым, настоящим и будущим отсутствует (не учитывается «стрела времени»). В данном пособии рассматривается измерение времени только в макроскопических системах.

Термины в области измерения времени, обязательные для применения во всех видах документации и рекомендуемые для применения в учебниках, учебных пособиях, технической и справочной литературе, установлены межгосударственным стандартом ГОСТ 8.567-99 «ГСИ. Измерения времени и частоты. Термины и определения». Приведем некоторые из них:

– момент события – положение события во времени;

– интервал времени – время, истекшее между моментами двух событий;

– начальный момент – условное начало отсчета времени или условный нуль времени;

– шкала времени – непрерывная последовательность интервалов времени определенной длительности, отсчитываемая от начального момента. Для шкалы времени устанавливают условный нуль, единицу величины и порядок корректировки;

– календарь – система исчисления продолжительности длительных интервалов времени, основанная на периодичности явлений природы и связанная с движением небесных светил;

– дата – форма записи во всех документах, фиксирующая числовое выражение момента события (эпохи) в соответствии с установленными для данного календаря правилами. Запись состоит из порядкового номера текущего года от начала летоисчисления, порядкового номера (или названия)

текущего месяца и порядкового номера текущих от начала месяца суток. Наиболее распространенные формы записи дат: 2004.06.21, 21.06.2004, 21 июня 2004 г.;

– всемирное время – общее обозначение шкал времени, основанных на вращении Земли вокруг своей оси;

– Международная шкала атомного времени *TAI* – шкала атомного времени, рассчитываемая Международным бюро мер и весов;

– измерение длительных интервалов времени (от суток до тысяч лет); методы измерения связаны с использованием различных календарей;

– измерение малых промежутков времени (от часов до долей секунды); методы измерения основаны на точных (эталонных) измерениях интервалов времени.

Точное измерение весьма больших периодов времени интересует прежде всего геологов и археологов. Здесь используется целая группа методов измерений, совместное применение которых обеспечивает большую достоверность определения возраста исследуемых объектов. «Радиоактивные часы» для измерения времени впервые появились около 100 лет назад. Отсчет по таким часам основывается на знании периодов полураспада $t_{\text{п}}/p$ радиоактивных изотопов. Напомним, что периодом полураспада изотопа называют промежуток времени, в течение которого количество изотопа в веществе уменьшается ровно вдвое. В результате распада радиоактивный изотоп превращается в стабильный изотоп другого элемента. О возрасте какого-либо объекта можно судить по количественному соотношению в нем масс различных изотопов.

Изменение количественного содержания радиоактивного изотопа в веществе в идеализированном виде представлено на рис. 5.2. Измеряемая активность изотопа пропорциональна его массе. Таким образом, измерение периодов времени выполняется косвенным методом путем измерения активности изотопа и расчета интервала времени по формуле:

$$\Delta t = t - t_0 = t_{n/p} \times log_2(I_0/I_t) - t_0.$$

При реальных измерениях в эту зависимость вносят необходимые поправки.

Для определения возраста объектов органического происхождения используют «радиоуглеродные часы». Их «циферблат» начинается от нуля (т.е. от момента проведения измерения) и простирается до 100 тысяч лет назад. В результате распада ядро радиоактивного изотопа углерода ^{14}C превращается в ядро стабильного изотопа азота ^{14}N.

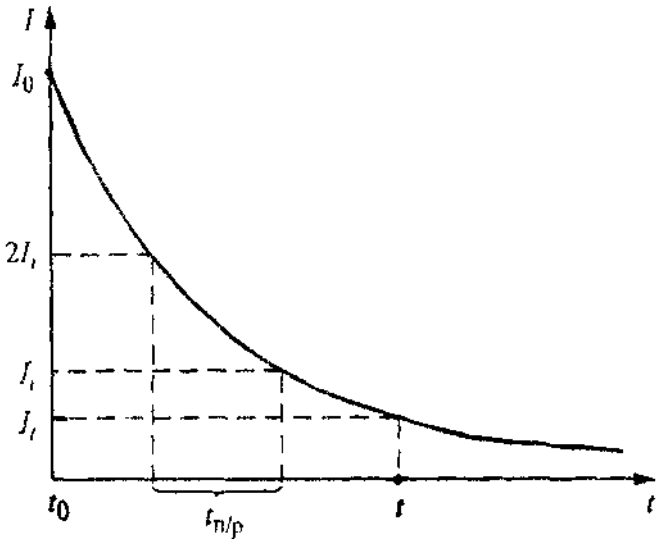


Рис.1.1 – Зависимость интенсивности радиоактивности *I* изотопа от времени *t*

При измерениях более длительных периодов времени используют другие радиоактивные методы (и другие шкалы измерений) уран – свинцовые ($^{238}U \rightarrow ^{206}Pb$ и $^{235}U \rightarrow ^{207}Pb$), калий – аргоновый ($^{40}К \rightarrow ^{40}Ar$), рубидий – стронциевый ($^{87}Rb \rightarrow ^{87}Sr$) и др. Так, в результате измерений различными радиоактивными методами был уточнен возраст земной коры 4,55 ± 0,07 миллиарда лет.

Измерять время человек научился довольно давно, с появлением первых государств. Самым ранним общедоступным средством измерения времени (естественными часами) стало звездное небо. Многолетние наблюдения за сменой фаз Луны и положением ярких звезд на небосклоне позволили разработать первые шкалы измерения времени в форме календарей. Календарем назвали систему счета длительных интервалов времени, в которой установлен порядок отсчета дней в году и указана эпоха, от которой ведется счет лет.

Исторически первым стал (примерно 4 тысячи лет назад) лунный календарь, в котором 12 месяцев по 29 и 30 дней попеременно и который содержит 354 дня. Год лунного календаря короче среднего земного года (365,24219 дня). Для того чтобы месяцы лунного календаря приходились на одно и то же время года, пришлось искусственно удлинить некоторые годы из каждых восьми лет лунного календаря три года содержат по 13 месяцев. Лунным календарем издревле пользовались в Вавилоне, Иудее, Египте, Китае, Греции. В государствах, где господствующей религией является ислам, лунный календарь (несколько модифицированный) используется и в настоящее время.

Позднее во многих странах перешли на более сложный, но и более точный лунно-солнечный календарь. Примерно 2050 лет назад римский император Юлий Цезарь ввел солнечный календарь, который впоследствии назвали юлианским, а счет времени по нему – старым стилем. В этом календаре 12 месяцев по 28…31 дню, три года содержат по 365 дней, а

каждый четвертый год (високосный) – 366 дней, средняя продолжительность юлианского года – 365,25 суток. Юлианский календарь был утвержден в качестве единого христианского календаря и получил распространение в странах с христианской религией. Его до сих пор использует русская православная церковь.

В дальнейшем, когда стала очевидной погрешность счета времени по юлианскому календарю (она составляет одни сутки за 128 лет) была проведена реформа календаря. Если в юлианском календаре из каждых 400 лет високосными являются 100 лет, то в новом – григорианском – только 97. Не являются високосными те три года из 400, которые кратны сотням и в которых число сотен не делится на 4. Так, за последние 800 лет не были високосными годы 1300-й, 1400-й, 1500-й, 1700-й, 1800-й и 1900-й. Зато погрешность в сутки накапливается за 3236 лет. Счет времени по григорианскому календарю назвали новым стилем, на него перешли почти все страны мира. Поскольку в среднем юлианский год несколько длиннее григорианского, счет дней по старому стилю постепенно отстает от нового стиля до 28 февраля 2100 г. отставание будет составлять 13 дней, последующие 100 лет – 14 дней.

Каждый календарь имеет собственное начало года. Земледельческие народы начинали год от жатвы, индейцы Америки – от появления снега, аборигены Австралии – с наступлением периода дождей. У славян-язычников год начинался 1 марта, позднее на Руси праздновали Новый год 1 сентября. Петр Первый указал начать новый, 1700-й год, с 1 января.

Выбор начала отсчета лет (эпохи) достаточно произволен. Этот выбор, как правило, связан с важными мифологическими или историческими событиями. Одних только систем счета времени (они называются эрами) «от сотворения мира» насчитываются многие десятки. Большая часть современных календарей (в том числе тот, которым пользуемся мы с вами) началом отсчета имеют Рождество Христово. Эта, по существу христианская, эра получила название нашей эры (н.э.). Система летоисчисления от даты рождения Иисуса Христа была предложена примерно 1480 лет тому назад и к настоящему времени получила наибольшее распространение. А в мусульманских странах принята своя эра, в которой началом (эпохой) считается хиджра – год бегства пророка Мухаммеда из Мекки в Медину (622 г. н.э.). По-видимому, самую молодую эру используют в Северной Корее: она начинается от даты рождения Ким Ир Сена (1912 г. н.э.).

Современный мир характеризуется все более тесными и многосторонним связями между народами средства связи охватывают все страны мира. Между тем до сих пор разные страны пользуются различными календарями, и это в немалой степени затрудняет контакты между ними Вполне назрело введение единого всемирного календаря. Однако разработать простую и удобную систему счета дней в месяце и в году оказалось нелегко. Дело в том, что число дней в месяце оказалось некратным числу дней в году. Средняя продолжительность лунного месяца составляет 29,5306 дня, средний год содержит 365,24219 дня. В 19 годах укладываются 235 месяцев (с

погрешностью – 0,1 суток). На сегодня разработано несколько проектов всемирного календаря, каждый из которых удобнее действующих календарей. Однако прийти к общему согласию на введение всемирного календаря пока не удалось.

Примерно 2100 лет тому назад было предложено нанести на рисунках, изображающих поверхность Земли (т.е. на картах), сетку состоящую из меридианов (исходящих из полюсов дуг) и перпендикулярных им окружностей – параллелей. Самую большую окружность назвали экватором и присвоили ей нулевой номер. По 90 окружностей к северу и к югу от экватора образовали градусы северной и южной широты. Много позднее (в 1844 г.) было решено принять за нулевой тот меридиан, который проходит через астрономическую обсерваторию в г. Гринвиче, близ Лондона. По 180 меридианов, расположенных к востоку и к западу от гринвичского, назвали градусами восточной и западной долготы. Сетка параллелей и меридианов оказалась удобной не только для ориентации на поверхности нашей планеты, но и для счета малых промежутков времени.

В настоящее время используются целая группа «астрономических» шкал измерения времени, связанных с положением Земли в межзвездном пространстве. Все эти шкалы неравномерны ввиду нестабильности вращения Земли, которая может достигать 1 мс за сутки. Отмечены периодические и нерегулярные изменения продолжительности суток из-за перемещений больших масс внутри планеты и на ее поверхности (например, при землетрясениях), сезонных изменений в атмосфере и других причин. Кроме того, лунные и солнечные приливы вызывают торможение Земли и монотонное удлинение суток (так называемые вековые изменения). Дополнительную погрешность измерения времени создают полигармонические колебания положения полюсов Земли. Суммарное отклонение «астрономического» времени от равномерно текущего времени доходит до 0,05 с.

Шкала всемирного времени *UT* (или *UTO*) ведет начало счета времени (начало суток) от момента нижней кульминации «среднего Солнца» на меридиане Гринвича. Соответственно верхняя кульминация Солнца (наивысшее положение над горизонтом) приходится на полдень (12 часов). «Среднее Солнце» – это идеализированное положение центра солнечного диска, которое наблюдалось бы с Земли при ее равномерном движении по круговой орбите. Длительность секунды по шкале *UT* равна средней солнечной секунде, т.е. 1/31556926 тропического года (среднего года обращения Земли вокруг Солнца).

Другая школа всемирного времени – *UT*1 – отличается от шкалы *UT* поправкой $\Delta\lambda$, на колебания положения полюсов Земли, которое изменяет положение земных меридианов $UT1 = UT + \Delta\lambda$. Еще одна школа всемирного времени – *UT*2 – учитывает поправкой ΔTs периодические изменения скорости вращения Земли $UT2 = UT + \Delta\lambda + \Delta Ts$. Время на шкале *UT*2 получило название предварительного равномерного его можно считать равномерным на протяжении нескольких лет.

С позиций десятилетий и столетий равномерным является эфемеридное время *TE,* при определении которого учитываются медленные (вековые и нерегулярные) изменения скорости вращения Земли. Эфемеридное время используется в качестве аргумента дифференциальных уравнений движения небесных тел.

Для любого пункта на Земле астрономическое время отсчитывается по школе местного времени. Местное время *Тм* связано со всемирным временем зависимостью $Тм=UT + \Delta^h$. Здесь Δ^h – географическая долгота данного пункта, выраженная в часовой мере ($l^h = 15^o$) и считаемая положительной к востоку.

Следующая шкала измерения времени связана с условным разделением поверхности Земли на 24 часовых пояса. Границы часовых поясов большей частью проходят по естественным или административным границам, а в малонаселенных местах и в океанах совпадают с соответствующими меридианами. Примерно посередине каждого часового пояса, но строго через 15^o от Гринвича проходят основные меридианы поясов. Поясным временем *Tn* называется местное время основного меридиана, которое является общим для всех пунктов данного часового пояса $Tn = UT + N^h$. Здесь N^h – номер часового пояса; нумерация поясов идет от нулевого (гринвичского) меридиана к востоку. Местное время может отличаться от поясного до 30 минут в ту или иную сторону. Наши часы показывают поясное время. При пересечении границы между часовыми поясами стрелки часов передвигаются ровно на один час.

Среди граничных часовых линий есть одна такая, при переходе которой, наряду с изменением времени на один час, производится и изменение даты. По соглашению эта линия проходит вблизи меридиана 180^o. При пересечении линии изменения даты с запада на восток одна и та же дата присваивается двум последовательным дням, а в обратном направлении – один день из счета выбрасывается

Среди многочисленных шкал измерения времени линейной является только шкала равномерного атомного времени *TA*. Национальную шкалу атомного времени *TA*(*SU*) генерирует и хранит государственный эталон ГЭТ 1-98, размер ее единицы соответствует определению секунды в Международной системе единиц (*SI*).

В 12 часов всемирного времени 1 января 1964 г. шкала *TA* была совмещена со шкалой *UT*2. Однако полностью связать атомную и астрономическую шкалы времени не удается. Главная причина – вековое замедление скорости вращения Земли вокруг своей оси. Разница между размерами секунды в этих шкалах близка к 2×10^{-8} с и меняется от месяца к месяцу, от года к году. Поэтому шкалы *UT*2 и *TA* постепенно расходятся, но скорость этого расхождения не остается постоянной. Например, за период 2000-2002 гг. расхождение практически не изменилось. Чтобы в максимальной степени устранить последствия этого расхождения, введена школа координированного времени *UTC*. Секунда *UTC* равна секунде *TA*, а начало отсчета по шкале *UTC* время от времени сдвигается ровно на 1

секунду (обычно это делается с 0 часов 1 января). Шкала *UTC* (точнее, ее национальная версия *UTC*(*SU*)) также поддерживается государственным эталоном России. Именно по шкале *UTC*(*SU*) ведутся передачи сигналов точного времени по радио- и телевизионным каналам.

Установленное на территории Российской Федерации время является декретным (принятым на основании декрета – постановления исполнительного органа власти); оно смещено относительно шкалы *UTC* на один час вперед. Декретное время нашей столицы, находящейся во втором часовом поясе, называется московским временем. В тот момент, когда в Гринвиче полночь, в Москве уже 3 часа ночи. Ежегодно вводимое (с конца марта по конец октября) летнее время смещает шкалу декретного времени на 1 час вперед.

Самым древним и в то же время современным средством измерения времени являются «ночные часы» – звездное небо. Каждое созвездие или яркая звезда появляется над горизонтом в определенное время. При визуальных (без каких-либо приспособлений) наблюдениях точность таких часов невелика – порядка нескольких минут.

В наши дни астрономические шкалы точного времени базируются на определении моментов прохождения определенных звезд через меридиан места наблюдения с помощью специальных телескопов – пассажных инструментов. Точность таких шкал достаточно высока. Первыми рукотворными дневными часами стали солнечные часы, упоминание о которых встречается уже в Библии. Указателем в солнечных часах служит тень от любого длинного предмета (чем он длиннее, тем выше точность часов). Известны солнечные часы с указателем вертикальным, горизонтальным и наклонным (в соответствии с широтой места расположения часов). Циферблат имеет деления, соответствующие целым часам и долям часа.

Водяные часы могут функционировать круглосуточно и таким образом хранить шкалу текущего времени. Отсчет времени ведется по уровню воды, которая наполняет сосуд через калиброванное отверстие. Как только сосуд наполняется доверху его быстро опорожняют, и начинается новый цикл. Самые известные водяные часы созданы за 100 лет до нашей эры.

Несколько особняком стоят песочные часы (VIII в. н.э.). Они пригодны лишь для измерения фиксированных интервалов времени (до получаса), поэтому, по существу, являются не часами, а таймерами.

Следующий этап совершенствования средств измерения времени связан с механическими часами – башенными (XII в.), маятниковыми (XVII в.), пружинными (XVIII в.). Наилучшая конструкция механических маятниковых часов с анкерным спуском и изохронным подвесом (1965) имела погрешность (вариацию суточного хода) порядка 2×10^{-9} с.

Но уже с 40-х гг. XX в. началась эпоха кварцевых часов – радиотехнических генераторов с кварцевой стабилизацией частоты. Время и частота являются как бы двумя сторонами одной медали: 1 секунда равна длительности периода колебаний с частотой 1 герц.

Развитие радиосвязи, которая обеспечила возможность передачи сигналов точного времени на любые расстояния, сняло проблему «перевозки времени» Лучшие конструкции кварцевых генераторов имеют погрешность 3×10^{-12}.

Позднее появилась потребность в устройствах, которые генерируют стабильные и заранее известные значения частот и сами могут служить более точными часами. Такими устройствами стали «молекулярные (квантовые) часы», обладающие колоссальной стабильностью, которая в миллионы раз выше стабильности макроскопических устройств и невиданной долговечностью (атомы и молекулы «не стареют»). Здесь стоит назвать молекулярный генератор на аммиаке (нестабильность 1×10^{-12}с) и рубидиевый генератор (1×10^{-11}с). Но наиболее перспективным оказался квантовый генератор на атомарном цезии.

Современное определение единицы времени – секунды – связано именно с цезиевым репером частоты, который является «сердцем» Государственного

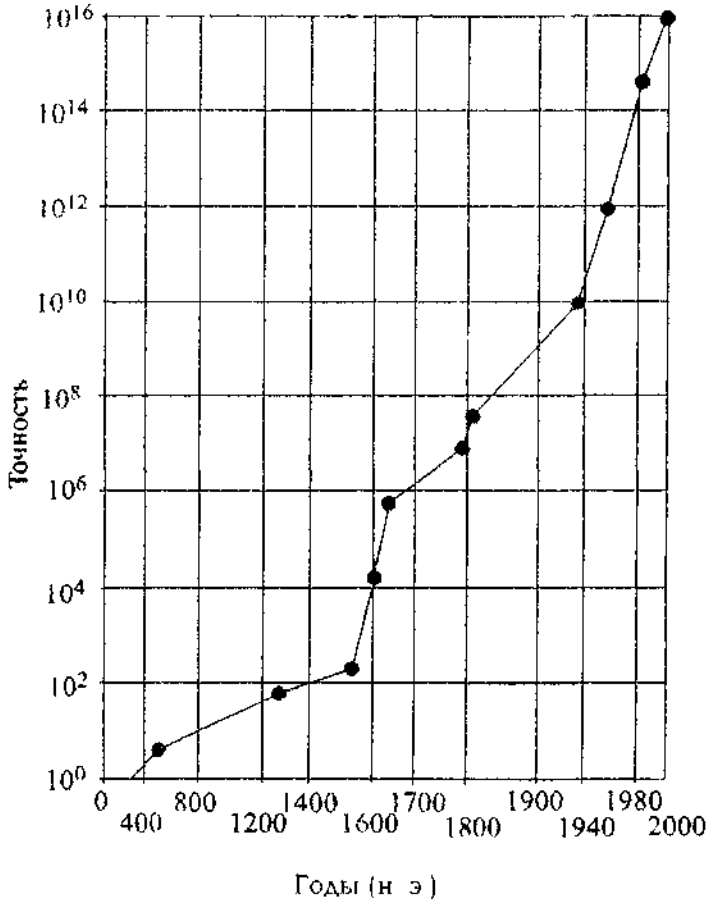


Рис. 1.2. – Диаграмма роста точности измерения интервалов времени

эталона времени и частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-98.

На рис. 1.2 представлена диаграмма роста точности измерения интервалов времени на протяжении нашей эры. Количественно мера точности оценивается величиной, обратной модулю относительной

погрешности измерения.

Температурные шкалы

Температура в современном представлении – это величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы. Ставить вопрос о температуре микроскопических объектов (например, элементарных частиц) – некорректно.

В отличие от многих других величин (масса, длина, время и др.) температура – величина неаддитивная, поэтому ее невозможно измерить непосредственно, прямым методом, без использования температурной шкалы. Измерять температуру приходится косвенным методом, используя уравнения состояния, связывающие ее с другими величинами, прямое измерение которых возможно (объем, давление, электрическое сопротивление). Для этой цели разрабатывается практическая температурная шкала, устанавливающая функциональную связь температуры с измеряемой величиной. Число возможных температурных шкал может быть неограниченно велико.

Проблемами измерений температуры, создания температурных шкал занимались многие ученые. Изобретателем воздушного термометра (1592) считается Г. Галилей, он же ввел в практику само понятие «температура». Однако серьезных попыток создания температурной шкалы Галилей не предпринимал. Одну из первых температурных шкал (1664) создал англичанин Р. Гук, а его термометр был, по-видимому, первым в истории национальным эталоном единицы температуры. Известны также температурные шкалы И. Ньютона (1701), Г. –Д. Фаренгейта (1724), Р. Реомюра (1730), М.В. Ломоносова (1740), А. Цельсия (1742).

Все эти практические температурные шкалы опираются на две произвольно выбранные опорные (реперные) точки и являются шкалами разностей (интервалов). Для многих из этих шкал в качестве опорных были выбраны точки таяния льда и кипения воды. Разность между температурами реперных точек назвали основным интервалом шкалы, по которому определена величина единицы измерения температуры по данной шкале. Соотношения для пересчета значений температуры между наиболее часто применяемыми в быту шкалами Цельсия, Реомюра и Фаренгейта имеет вид:

$$t°\mathrm{C} = 1.25t\ {}^{o}R = 5\,(t°\mathrm{F} - 32)/9$$

Графически эти соотношения можно проследить на рис. 1.3. Основные интервалы шкал выделены двойной линией, реперные точки шкал оцифрованы и выделены жирными точками.

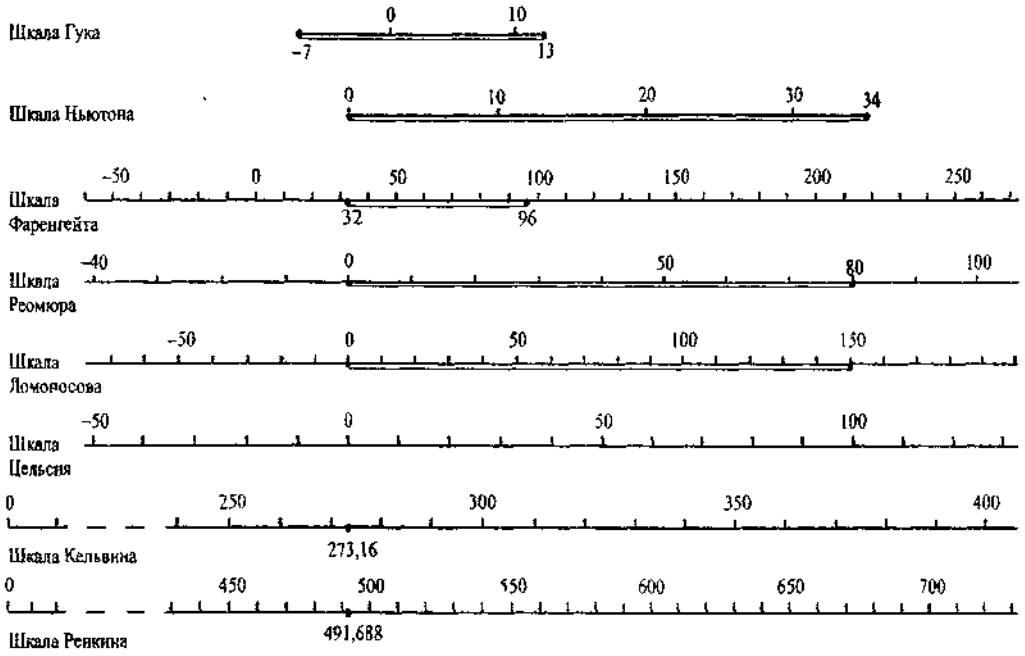


Рис. 1.3 – Температурные шкалы

Практические температурные шкалы обычно реализуются с помощью жидкостных термометров, в которых термометрическим телом может служить ртуть, спирт, толуол, смеси некоторых жидкостей. Один из основных недостатков таких термометров – нелинейная зависимость коэффициента объемного расширения рабочей жидкости от температуры. Даже совпадая в общих реперных точках эти шкалы расходятся в остальных точках, точность измерения температуры относительно невысока.

Основное требование, которое предъявляет наука к температурной шкале, состоит в том, что измеренные по ней значения температуры должны возможно точнее совпадать с температурами, которые входят в формулы термодинамики и статистической физики и служат основой теплофизических расчетов. В термодинамике температура определяется как производная энергии всего тела по его энтропии. Такая температура всегда положительна и называется абсолютной или температурой по термодинамической шкале (кратко – термодинамической температурой). Шкала термодинамической температуры начинается от абсолютного нуля и является пропорциональной шкалой отношений. При абсолютном нуле (наинизшей возможной температуре) прекращается всякое движение, давление газа на стенки сосуда исчезает.

Родоначальник этого направления развития термометрии, французский физик Г. Амонтон, не только предсказал существование абсолютного нуля температуры (1702), но и сумел приблизительно рассчитать его положение на шкале. Современная термодинамическая шкала, предложенная в 1848 г. У. Томсоном (лордом Кельвиным), в качестве единственной реперной точки имеет тройную точку воды. Тройная точка характеризует термодинамическое

равновесие трех фаз химически однородного вещества Температура тройной точки воды соответствует температуре равновесия трех ее фаз – твердой (лед), жидкой (собственно вода) и газообразной (водяной пар) при давлении p = 609 Па.

Единица температуры по термодинамической шкале была определена как 1/273,16 часть термодинамической температуры тройной точки воды (273,16 K = 0,01 ºС) и получила название кельвин (K). Это определение, связавшее кельвин с одной реперной точкой (вместо двух), оказалось удачным и устойчивым. Дело в том, что в 1976 г. в результате уточненных измерений было показано, что температура кипения воды (вторая реперная точка по шкале Цельсия, определенная ранее как t = 100 ºС) на самом деле равна 99,975 ºС. Тогда же единица температуры по шкале Цельсия была строго приравнена к кельвину (1 ºС = 1 K). Кельвин является основной единицей Международной системы единиц. В США часто пользуются термодинамической шкалой Ренкина, для которой размер единицы температуры выбран таким же, как по шкале Фаренгейта (1 ºRa = 1 ºF).

Здесь имеет смысл дать некоторые пояснения к рис. 1.3. Первые практические температурные шкалы Гука и Ньютона имеют ограниченные диапазоны, поскольку для измерения температуры по ним были использованы термометры вполне определенных конструкций. Пределы измерений этих термометров и задали границы для данных шкал, совпадающие с реперными точками. Поэтому диапазон измерений по каждой из этих шкал равен основному интервалу. Практические температурные шкалы Фаренгейта, Реомюра, Ломоносова, Цельсия принципиально не ограничены их основными диапазонами. Современная шкала Цельсия не имеет основного диапазона.

Таблица 1.4 Температуры реперных точек шкалы МТШ-90

Состояние фазового равновесия	Принятое значение	
	К	ºС
Давление насыщенных паров изотопов гелия 3He и 4He	0,65…5,0	
Тройная точка равновесного волорола	13,8033	
Давление насыщенных паров равновесного водорода	17,0 20,3	
Тройная точка неона	24,5561	
Тройная точка кислорода	54,3584	
Тройная точка аргона	83,8058	
Тройная точка ртути	234,3156	
Тройная точка воды	273,16	0,01
Точка плавления галлия	302,9146	29,7646
Точка затвердевания индия	429,7485	156,5985
Точка затвердевания олова	505,078	231,927
Точка затвердевания цинка	692,677	419,527
Точка затвердевания алюминия	933,473	660,323
Точка затвердевания серебра	1234,93	961,78
Точка затвердевания золота	1337,33	1064,18
Точка затвердевания меди	1357,77	1084,62

После того как градус Цельсия был приравнен к кельвину у этой шкалы осталась только одна реперная точка – температурная таяния льда (0 ºС = 273,15 *К*). Также по одной реперной точке имеют термодинамические шкалы Кельвина и Ренкина – температуру тройной точки воды (273,16 *К* = 491,688 ºRa).

Для обеспечения единства измерений температуры в международном масштабе и максимального сближения единой практической температурной шкалы со шкалой термодинамической была установлена. Международная температурная шкала (*ITS*-90-МТШ-90), введенная в действие с начала 1990 г. Эта шкала определена в диапазоне от 0,65 К до наибольших температур, которые можно измерить по закону Планка при использовании монохроматического излучения (наивысшая температура плазмы оценивается в 15000 К). Шкала МТШ-90 построена таким образом, что бы по всему ее диапазону числовое значение температуры T_{90} было максимально приближено к значению термодинамической температуры *Т* в соответствии с лучшими оценками на период принятия шкалы (расхождение не превышает 1...3 мК). Для производства элементов электронной техники, в гидрофизике, океанологии, биологии подчас требуется прецизионные измерения температуры с погрешностью не более 5...10 мК.

Международная температурная шкала опирается на целый ряд значений температуры, приписанных реперным точкам, соответствующим определенным фазовым переходам. Для определения промежуточных значений температуры используются интерполяционные приборы. Для различных участков шкалы установлены стандартные интерполяционные функции. Совокупность реперных точек МТШ-90 представлена в табл. 1.4.

4. **Абсолютные шкалы**, в которых кроме всех признаков шкал отношений, естественно однозначно присутствует определённые безразмерные единицы измерения.

Это относительные величины, такие как коэффициент усиления, ослабления, плотности КПД. Введение таких величин объясняется удобством выражения некоторых физических процессов или явлений, их математического описания и практической реализации.

5. **Условные шкалы** – шкалы величин, в которых не определена единица измерения. Их иногда называют не метрическими величинами.

К условным шкалам физической величины можно так же отнести из шкал порядка шкалы твёрдости Шора, Бринеля, Роквелла, Викерса.

Акустические шкалы. Шкалы определения громкости звуков опираются на стандартизованные (рекомендации ИСО R226) нормальные кривые равной громкости (изофоны) и кривую нормального порога слышимости числовых тонов в условиях свободного поля.

Акустическая шкала измерения порога слышимости (остроты слуха). При этом пороги слышимости выражаются в децибелах, по отношению к стандартизованным эквивалентным пороговым уровням звукового давления.

В музыке существует специальная шкала громкости исполнения (шкала

порядка) со следующими градациями:

- *ρρρ* – пиано-пианиссимо (самое тихое);
- *ρρ* – пианиссимо (очень тихо);
- *ρ* – пиано (тихое);
- *mρ* – меццо-пиано (умеренное тихое);
- *mf* – меццо-форте (умеренно громкое);
- *f* – форте (громкое);
- *ff* – фортиссимо (очень громкое);
- *fff* – форте-фортиссимо (самое громкое)

Шкалы измерения ионизирующих излучений. Неблагоприятное биологическое последствие хронического облучения человека малыми дозами ионизирующих излучений.[20, 25]

Контрольные вопросы

1. Какие основные термины и определения в метрологии (по РМГ 29-99)?
2. Какие основные элементы в процессе измерения?
3. Что такое физическая величина?
4. Что из себя представляет размер и значение физической величины?
5. Что такое истинное и действительное значение физической величины?
6. Понятие размерности физической величины.
7. Какие бывают единицы физической величины?
8. Что такое шкалы измерений?
9. На какие группы делятся шкалы измерений.

Глава 2 Международная система единиц (СИ)

Решение о международной системы единиц было принято в 1948 г. на IX Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ). В 1960 г. проект международной системы единиц, основанной на 6 основных единицах, был утверждён в 1960 г., а в 1971 г. к единицам СИ была добавлена седьмая основная единица – количество вещества – моль. Международная организация по стандартизации (ИСО) издала международные стандарты ISO 31:1992 "Величины и единицы" в 14 частях и ISO 1000:1992 "единицы СИ и рекомендации по использованию их кратных и дольных единиц".

Несмотря на то, что названия единиц в различных языках различны, их обозначения являются международными и по рекомендации ISO 31-0:1992 никаких других обозначений единиц, кроме международных использовать не следует. Тем не менее, ГОСТ 8.417 установил два буквенных обозначения величины: международные (с использование букв латинского или греческого алфавита) и русского (с использованием букв русского алфавита). Но при договорно-правовых отношениях сотрудничество с зарубежными странами, при участии в их деятельности и поставке товаров за границу – применять международное обозначение.

2.1 Рождение метрической системы

Метрическая система мер является прародительницей международной системы единиц (СИ).

Она зародилась во времена Французской революции. Требования унификации мер и весов на всей территории Франции отвечали желаниям всего народа.

К 1790 году накопилось огромное количество разнообразных вариантов систем мер и единиц. За создание удобной системы мер и единиц говорил и знаменитый американский политик Беджамин Франклин. Подготовлены были предложения такого рода и в Англии. Однако социальная база для эффективного внедрения новой системы мер сложилась только во Франции, в ходе Великой революции.

За единицу длины решено было принять метр, равный одной десятимиллионной части четверти земного меридиана, проходящего через Париж.

Парижский меридиан выбран не случайно. От города Дюнкерк на берегу Балтийского моря, до города Барселона на берегу Средиземного моря примерно 1000 км сравнительно равнинной территории. Методом триангуляции это расстояние было измерено в течение 7 лет (1792-1799 гг.) Даламбером и Мешеном. Определение **метр** дал польский учёный Тит Буратини в 1675 году в своей книге, изданной в Вильно. Это длина секундного маятника маятниковых часов.

В течение 1799 года механиком Ленуаром был изготовлен платиновый эталон метра в виде линейки шириной 25 мм, толщиной около 4 миллиметров и длиной соответствующей одному метру.

Примерно в то же время было проведено взвешивание 0,001 кубического метра дистиллированной воды при температуре её наибольшей плотности (четыре градуса по Цельсию), и на их основе также был изготовлен платиновый прототип килограмма. Он представлял собой платиновую гирю цилиндрической формы высотой и в диаметре 39 мм.

Эталон метра и килограмма сданы были в архив в г. Севр в пригороде Парижа и получили названия "метр Архива" и "килограмм Архива".

Более тщательные измерения показали отклонения, как метра, так и килограмма. В 1872 году, по предложению Петербуржской академии международная организация мер и весов решила отказаться от "естественных" эталонов метра и килограмма и принять "метр Архива" и "килограмма Архива" в качестве исходных мер.

Саму систему назвали метрической. В 1873 году была созвана дипломатическая Конференция метра, собравшая 17 государств. Итоговый документ принятый Конференцией получил название Метрической конвенции, объявил о создании "для обеспечения международного единства и усовершенствования метрической системы". Это произошло 20 мая 1875 года, что дало повод празднования Всемирного дня метролога.

В этом же году было принято решение о создании прототипов метра и килограмма.

Прототип метра и представлял собой штриховую меру Х-образной формы, изготовленную из 90% платины и 10% иридия, на полке которой были нанесены по 3 штриха. Расстояние между средними штрихами – 1 метр.

По решению 1 Генеральной конференции по мерам и весам, состоявшейся в 1889 г. в Париже, Россия получила 2 прототипа метра (№ 11 и 28) и два прототипа килограмма (№12 и 26).

Всего изготовлено было 34 носителя эталонно метра и 43 эталона килограмма. При переходе на световой стандарт метра длина эталона оказалась на 0,22 микрометра больше.

Метрическая система носит название десятичная метрическая система. К исходным единицам физических величин присоединяются кратные или дольные десяти приставки.

2.2 Предпосылки установления единой международной системы единиц

В разделе 2.1 рассмотрено создание метрической системы единиц. Метрическую систему мер создавали в то время, когда отдельные отрасли науки, такие как учение о теплоте, учение об электричестве и др. только зарождались. Поэтому метрическая система, исходя из потребностей практики, включала в себя лишь единицы длины, массы, площади, объёма, вместимости.

Развитие науки и техники вызвало необходимость установления единиц для ряда других физических величин, в первую очередь электрических и магнитных.

В связи с этим в 1881 г. на 1 Международном конгрессе электриков была принята система единиц СГС, основанная на метрической системе: в системе СГС основными единицами являются сантиметр как единица длины, грамм как единица массы и секунда как единица времени. Производные единицы были установлены для измерения как механических, так и электрических и магнитных величин. Система СГС в дальнейшем получила значительное развитие, связанное с ее широким применением в физике, и в настоящее время для области электрических и магнитных величин существует семь различных видов системы СГС.

В конце XIX века в технике сложилась система, основанная на метре, килограмм-силе и секунде. Благодаря удобству применения ее для технических расчетов, особенно в механике, сопротивлении материалов и др., система единиц МКГСС (иногда называемая техническая системой единиц) получила широкое распространение.

В 1918 г. во Франции, а затем в 1927 г. в СССР и в некоторых других странах была принята система единиц МТС – основанная на трех единицах: метре, тонне, секунде.

В 1950 г. Международная электротехническая комиссия приняла систему единиц МКСА с основными единицами метр – килограмм – секунда – ампер. Она является составной частью международной системы единиц СИ.

Одновременно с установлением ряда систем единиц физических величин, в которых независимо выбираемыми являются только основные единицы, а единицы остальных величин выводятся из основных как производные, в ряде отраслей науки и техники появилось большое число внесистемных единиц, главным образом в силу удобства выражения в них тех или иных физических величин. Так, в области измерения длины для малых длин (длины световых волн в оптике, размеры и расстояния в атомной и ядерной физике) появились единицы: ангстрем (10^{-10} м) и икс-единица (10^{-13} м); для больших расстояний в астрономии – астрономическая единица длины ($1{,}495 \cdot 10^{11}$ м), световой год ($9{,}46\ 10^{15}$ м), парсек ($3{,}086 \cdot 10^{16}$ м). В тепловых измерениях широко применяют внесистемную единицу – калорию и единицы, на ней основанные. Для измерения ионизирующих излучений были установлены и широко используются в практике такие внесистемные единицы, как рентген, рад, кюри. Подобных внесистемных (иногда называемых специальными) единиц – значительное число в отдельных отраслях знания и в технике.

Таким образом, к середине XX века создалось положение, при котором физические величины выражают единицами ряда разных систем и большим числом внесистемных единиц.

Существенные неудобства на практике, а также при преподавании создавало наличие единиц разных систем и внесистемных для одной и той же величины (например: для силы существует свыше 10 разных единиц, для работы и энергии – свыше 30 и т.д.). Возникала потребность перевода единиц

из одной системы в другую, введения переходных множителей, усложнялись расчеты и вычисления.

Непрерывно усиливающееся взаимодействие различных отраслей науки, техники, производства, расширение международных научных и экономических связей требовало единообразия в выражении результатов измерений физических величин, унификации единиц. Настоятельно возникла необходимость в установлении единой международной системы единиц, основанной на метрической системе мер, которая могла бы быть применена во всех отраслях науки, техники, производстве и в практическом обиходе, заменив различные системные и внесистемные единицы.

2.3 Подготовка, утверждение и развитие Международной системы единиц – СИ.

Вопрос о международной унификации единиц физических величин был подготовлен и решен межправительственной организацией, действующей на основе Метрической конвенции.

В 1875 г. семнадцать государств мира, в том числе и Россия, «для обеспечения международного единства и усовершенствования метрической системы» подписали Метрическую конвенцию в соответствии, с которой была создана международная организация мер и весов (не имеющая официально такого наименования) со своими органами: Генеральной конференцией по мерам и весам, Международным комитетом мер и весов, Международным бюро мер и весов. В настоящее время Метрическую конвенцию подписали 44 страны мира, в том числе почти все крупные государства.

В 1948 г. на IX Генеральную конференцию по мерам и весам было представлено обращение Международного союза чистой и прикладной физики с просьбой принять для международных сношений практическую международную систему единиц. Генеральная конференция по мерам и весам поручила Международному комитету мер и весов провести необходимую работу, чтобы на основе опроса мнений научных, технических и педагогических кругов всех стран дать рекомендации, касающиеся установления единой практической системы единиц, которая могла бы быть принята всеми странами, подписавшими Метрическую конвенцию.

В 1954 г. X Генеральная конференция по мерам и весам решила принять в качестве основных единиц практической системы единиц для международных сношений следующие: длины – метр, массы – килограмм, времени – секунду, силы тока – ампер, температуры термодинамической – градус Кельвина, силы света – канделу (свечу).

В том же году Международный комитет мер и весов выделил из своего состава комиссию по системе единиц, в которую вошли семь членов Международного комитета и директор Международного бюро мер и весов. Комиссия существовала 10 лет (1954 – 1964 гг.) и выполнила следующую работу:

а) в 1956 г. разработала проект единой системы единиц, дав ей наименование «Международная система единиц»;

б) в 1958 г. решила ряд вопросов, относящихся к Международной системе единиц (сокращенное обозначение наименования системы двумя буквами SI, образование кратных и дольных единиц и др.);

в) в 1960 г. представила доклад на XI Генеральную конференцию по мерам и весам с проектом единой международной системы единиц, одобренный Международным комитетом мер и весов;

г) в 1964 г. представила на XII Генеральную конференцию ряд предложений по единицам: о приравнивании 1 литра 1 $дм^3$ (точно), о единице интервала температуры и др., принятых конференцией.

В октябре 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам утвердила представленный ей проект единой системы единиц с наименованием «Международная система единиц», сокращенным обозначением «SI» (от начальных букв Systeme International).

В 1964 г. Международный комитет мер и весов создал Консультативный комитет по единицам, заменивший комиссию по системе единиц.

Международная система единиц

Международная система единиц (международное сокращенное наименование SI, а в русской транскрипции СИ) построена на основе системы величин LMTIΘJN. Решение о создании практической международной системы единиц было принято в 1948 г. на IX Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ). В 1960 г. проект Международной системы единиц, основанной на шести основных единицах, был утвержден. В 1971 г. к единицам СИ была добавлена седьмая основная единица – количество вещества – моль. Международная организация по стандартизации (ISO) издала международные стандарты ISO 31: 1992 «Величины и единицы» в 14 частях и ISO 1000: 1992 «Единицы СИ и рекомендации по использованию их кратных и некоторых других единиц». В России действует ГОСТ 8.417-2002. Единицы величин.

Принципы построения СИ:

1. СИ базируется на семи основных единицах, размеры которых устанавливаются независимо друг от друга.
2. Производные единицы образуются с помощью простейших уравнений связи между величинами – определяющих уравнений, в которых размеры величин приняты равными единицам СИ. Для величины каждого вида имеется только одна единица СИ.
3. Производные единицы вместе с основными единицами формируют когерентную систему.
4. Наряду с единицами СИ к применению допущено ограниченное число внесистемных единиц (вне СИ – внесистемных) из-за их практической важности и повсеместного применения в различных областях деятельности.

5. Единицы СИ или внесистемные единицы могут применяться с приставкой), что означает умножение единицы на десять, возведенное в определенную степень. Единицы, содержащие приставку, называются десятичными кратными или дольными в зависимости от того, является показатель степени положительным или отрицательным.

Основными единицами Международной системы являются:

- **метр** (международное обозначение m; русское – м; размерность *L*) – единица длины, равная пути, пройденному в вакууме светом за интервал времени 1/299 792 458 с (одобрено на XVII ГКМВ, 1983 г., резолюция 1);
- **килограмм** (международное обозначение kg; русское – кг; размерность *M*) – единица массы, равная массе международного прототипа килограмма (одобрено на III ГКМВ, 1901 г., резолюция 3);
- **секунда** (международное обозначение s; русское – с; размерность *T*) – единица времени, равная 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 (одобрено на XIII ГКМВ, 1967 г., резолюция 1);
- **ампер** (международное обозначение A; русское – А; размерность *I*) – единица силы электрического тока. Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н (одобрено на IX ГКМВ, 1948 г.);
- **кельвин** (международное обозначение K; русское – К; размерность Θ) – единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды (одобрено на XIII ГКМВ, 1967 г., резолюция 4);
- **кандела** (международное обозначение cd, русское – кд; размерность *N*) – единица силы света. Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540{,}10^{12}$ Гц, электрическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср (одобрено на XVI ГКМВ, 1979 г., резолюция 3);
- **моль** (международное обозначение mol; русское – моль; размерность *N*) – единица количества вещества. Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц (одобрено на XIV ГКМВ, 1971 г., резолюция 3).

Несмотря на то, что названия единиц в разных языках различны, их обозначения являются международными, и по рекомендациям ISO 31-0:1992 никакие другие обозначения единиц, кроме международных, использовать не следует. Тем не менее, ГОСТ 8.417 установил два вида буквенных обозначений величин: международное (с использованием букв латинского или греческого алфавита) и русское (с использованием букв русского алфавита). Но при договорно-правовых отношениях сотрудничества с зарубежными странами, при участии в деятельности международных организаций, а также в поставляемой за границу вместе с экспортной продукцией технической и другой документации применяют международные обозначения единиц.

В систему СИ были введены две дополнительные единицы – радиан и стерадиан.

- **радиан** (обозначение международное rad, русское – рад) – единица измерения плоского угла, равная внутреннему углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу;
- **стерадиан** (обозначение международное sr, русское – ср) – единица телесного угла. Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности этой сферы площадь, равной площади квадрата со стороной, равной радиусу.

Во всех системах единиц плоский ф и телесный О. углы вводятся посредством уравнений

$$\varphi = l/R;\ \Omega = S/R^2,$$

где l – длина дуги, вырезаемой центральным плоским углом на окружности с радиусом R; S – площадь, вырезаемая центральным телесным углом на шаре с радиусом R. В соответствии с этими определениями у обоих углов нет размерности в любой системе единиц:

$$dim\,\varphi = \frac{dim l}{dim R} = L \cdot L^{-1} = 1;\ dim\,\Omega = \frac{dim S}{dim R^2} = L^2 \cdot L^{-2} = 1,$$

то есть их единицы не связаны с основными единицами. Поэтому они и были выделены в отдельную группу, но решением XX ГКМВ в 1995 г. радиан и стерадиан перестали быть дополнительными единицами СИ (этот класс ликвидировали) и включены в число безразмерных производных единиц. Дальнейшее развитие метрологии уточнит судьбу радиана и стерадиана.

Наряду с основными и дополнительными единицами в системе СИ имеется 17 производных единиц, имеющих собственное наименование (Приложение 2.1).

Приложение 2.1

Производные единицы СИ, имеющие собственное наименование

Величина	Единица		Выражение	
	Наименование	Обозначение	Через единицы СИ	Через основные единицы СИ
Частота	герц	Гц		с-1
Сила	ньютон	Н		м.кг.с-2
Давление	паскаль	Па	Н/м	м-1..кг.с-2
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж	Н.м	м-2..кг.с-2
Мощность, поток энергии	ватт	Вт	Дж/с	м-2..кг.с-3
Количества электричества, электрический заряд	кулон	Кл	А.с	с.А
Электрическое напряжение, электрический потенциал	вольт	В	Вт/А	м-2..кг.с-3.А-1
Электрическая емкость	фарада	Ф	Кл/В	м-2..кг-1.с-4.А-2
Электрическое сопротивление	ом	Ом	В/А	м-2..кг..с-3.А-2
Электрическая проводимость	сименс	См	А/В	м-2..кг-4..с-3.А-2
Поток магнитной индукции	вебер	Вб	В.с	м-2..кг.с-2.А-1
Магнитная индукция	тесла	Т	Вб/м2	кс.с-2.А-1
Индуктивность	генри	Г	Вб/А	м-2..кг.с-2.А-2
Световой поток	люмен	лм		kg.ср.м-2.kg.ср
Освещенность	люкс	лк		
Активность нуиклида	Беккерель	Бк	Bg	с-1
Доза излучения	грэй	Гй	Су	м-2.с-2

2.4.2 Единицы измерений, применяемые наравне с единицами СИ

Установившиеся мировые традиции применения единиц измерения не исключают применение других единиц измерений наравне с единицами СИ. Более того некоторые идут со времени Древнего Востока (время). Попытки перевести время в метрическую систему не привели к успеху.

Эти единицы можно разделить на 5 групп: (Приложение 2.3):

а) специальные собственные наименования кратных и долевых единиц, применение которых определено многолетней практикой. К их числу относятся:

– тонна=1000 кг=1 Мг;

– гектар=10^4 $м^2$;

– литр=10^{-3} $м^3$.

б) единицы времени, которые по установившейся многолетней практике имеют не десятичную кратность (минута=60 с, час=60 мин, сутки=24 ч, а также неделя, месяц, год). Один год=31536000 с. Сутки фактически равны 24 ч 3 мин 36 с – 24 ч 4 мин 27 с.

Увеличенные сутки во времени дают нам 29 февраля через каждые четыре года.

В XIX веке во Франции, в 1960 году Международной конвенцией мер и весов делались попытки перевести время в десятичную метрическую систему (сутки 10 ч, час – 100 мин, минута – 100 с). Однако это предложение не нашло поддержки и не реализовано.

В московской Оружейной палате хранятся курьёзные карманные золотые часы, показывающие "метрическое время". Изготовлены они во Франции в конце XVIII века. Часы показывают неделю 10 суток длительностью, сутки длительностью 10 часов, час длиной 100 минут и минуту 10 секунд.

в) единицы плоского угла, выражаются в градусной мере (градус, минута, секунда).

г) температура Цельсия, выражается в градусах Цельсия с отсчетом от точки таяния льда. В США и ряде других стран – градус Фаренгейта. $100^{o}C=212^{o}Ф$, $0^{\circ}C=32^{o}Ф$, $t=5/9\ (F-32)$.

д) единицы относительных логарифмических величин, а также частотного и интервала – октава, декада, относительное удлинение, относительная плотность, относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость, %, бел, децибел.

Приложение 2.3

Единицы, допускаемые наравне с единицами СИ

Величина	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицами СИ или определение	Примечание
		русское	международное		
1	2	3	4	5	6
Масса	тонна	Т	t	10^3 кг	1Т=1 Мг
Время	минута	мин	min	60 с	Допускается применять также единицы: неделя, месяц, год
	час	ч	h	3600 с	
	сутки	сут	d	86400 с	
Плоский угол	градус	….^{o}	…^{o}	$\pi/180$ pag = $1{,}745329\text{-}10^{-2}$ pag	
	минута	…^{1}	…^{1}	$\pi/10800$ pag = $2{,}908882\text{-}10^{-4}$ pag	
	секунда	…^{11}	…^{11}	$\pi/648$ pag = $4{,}848137*10^{-6}$ pag	
Площадь	гектар	га	ha	10^4 м^2	Для заземления участков
Объем, вместимость	литр	Л	l	10^{-3} м^3	

Температура, разность температур	Градус Цельсия	ºС	ºС	Температура Цельсия, символ t определяется выражением $t = T - T_O$. где T-температура Кельвина $T_O = 273{,}15$ К По размеру градус Цельсия равен Кельвину.	
Частотный интервал	октава	окт		1 октава $= l_{Og}\ (F_2 / F_1)$	F_2 и F_1 - частоты L_{og} - знак логарифма при основ.2
	декада	дек		1дек = дп $(A_2 \,.\, A_1)$ при $A_2 . A_1 = 10$	
Относительная величина (безмерное отношение физической величины к одноименной физической величине, применяемую за исходную): - относительное удлинение; - относительная плотность; - относительная диэлектрическая и магнитная проницаемость; -массовая доля; - молярная доля; - миллионная доля	Единица (число 1)			1	
	процент	%	%	10^{-2}	
	промилле	‰	‰	10^{-3}	
	миллионная доля	мли$^{-1}$	pp^m	10^{-6}	
Логарифмическая величина (логарифмы безмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемую за исходную): - уровень звукового давления; - усиление; - ослабление и т.д.	δ ел	Б	В	1 Б= Lg (P_2/P_1) при $P_2 = 10\ P_1$	P_1 и P_2 одноименные энергетические величины (мощность, энергия, плотность энергии и т.д)
	децибел	g Б	d В	1 Б= 2 Lg (F_2 / F_1) при $F_2 = 10\ F_1$	F_1 и F_2 одноименные, "силовые" величины (напряжение, сила тока давление, напряженности поля и т. д)

2.4.3 Специфические единицы измерения, применяемые на практике (Приложение 2.3)

Икс-единица, равная $1{,}00206^{-13}$ м, применяется в атомной и ядерной физике.

Световой год – расстояние, проходимое светом за 1 год.

Кабельтов – одна десятая морской мили.

Ар – 100 м^2.

Гамма – одна миллионная грамма, применяемая в химии.

Техническая атмосфера (атмосфера) – давление, производимое силой 1 кгс на площадь 1 $см^2$, применяется для измерения давления в технике. В тех случаях, когда атмосферу, равную 98066,5 Па нужно отличать от физической атмосферы, равной 101325 Па – нормальное давление воздуха, к ее наименованию добавляют «техническая».

Миллиметр ртутного столба – гидростатическое давление столба ртути высотой 1 мм. Эта единица применяется для измерения давления барометрами, ртутными манометрами.

Миллиметр водяного столба – гидростатическое давление столба воды высотой 1 мм. Эта единица применяется для измерения тяги в устройствах с помощью напоромеров.

Торр – давление в 1 мм рт. ст.

Бар – равен 10^5 Па. В метеорологии широко применяется для измерения атмосферного давления единица миллибар, равная 10^{-3} бар.

Лошадиная сила – единица мощности, равная 75 кгс·м/с.

Калория – количество теплоты, необходимое для нагрева 1 г воды на 1˚С. С 1956 г 1 кал=4,1868 Дж.

Рентген – единица дозы излучения.

Кюри – единица распада радиоактивного изотопа.

Бит – количество информации.

Румб – единица угла в морском деле, равный 1/32 полного угла, т. е. – 11,25º. В единицах СИ равен ~ 0,19653 рад.

2.4.4 Внесистемные единицы в повседневной жизни

Штихмассовая система

До настоящего времени в обиходе бытует система определения размера обуви – штихмассовая.

Размер обуви "сорок два". Это обозначение в штихмассовой системе. Один штихмасс равен 2/3 сантиметра. Сорок второй размер стопы в сантиметрах равен 28. В настоящее время от штихмассовой системы перешли к системе СИ – измерение номеров обуви в сантиметрах.

Измерение шрифта в полиграфии

Читатель визуально определяет какой шрифт у напечатанной книги. Полиграфист размер букв определяет в кеглях. **Кегль** – это размер типографского шрифта, включающий высоту буквы (очка) и так называемые заплечики – свободные пространства под и над очком, задающие промежутки между строками. Кегель измеряется **типографскими пунктами** размером по 0,376 миллиметра. Существуют общепринятые в типографии обозначения шрифтов: 5-6 – **нонпарель,** 7-8 – **петит,** 12 – **цицеро** (или пика) и т. далее... Кроме того, раньше в типографиях применялись даже специальные единицы длины: **текст** – 20 пунктов (т.е. 7,518 миллиметра) и **цицеро** – 12 пунктов (т.е. 4,2175 миллиметра).

Плотность вязки.

Плотность вязки чулочно-носочных изделий обозначают с помощью **денье (ден)** – массы в граммах 9 километров волокна пошедшего на вязание. Например, колготки в 20 денье – тонкие, колготки в 140 денье – предельно плотные. Вообще же денье – это старинная единица массы, равная 0,05 грамма (т.е. равная метрическому грану или парижскому грану равному 51,3 миллиграмма).

На текстильных фабриках с XVIII века было принято для оценки нити брать отрезок длиной в 450 миллиметров и взвешивать его в денье. Нить такой длины массой в один денье считалось нитью в один **титр**. Позже титры заменили на более крупные единицы – **текс**, равной десяти титрам. В России текс официально принят в 1956 году. С 1949 года наравне с тексом в нашей стране применяются номера ниток, равные отношению длины нитки в метрах к массе в граммах. Чем больше номер нитки, тем тоньше нить.

Октановое число

Как различают бензин для карбюраторных двигателей? Известно, что с помощью октанового числа. Чем выше октановое число, тем "упорно" топливо не хочет "зажигаться", тем ниже его так называемые детонационные свойства. Бензин сжимают в камере сгорания до высокой степени сжатия, затем при помощи искры поджигают. Хорошие автомобили имеют высокую степень сжатия, а следовательно используют высокооктановый бензин.

Октановое число условно принято из 100 изооктана, а *h* – гектана – за нуль. Процент изооктана в бензине определяет октановое число.

Дизельное топливо измеряют в **центановых** числах. Это смесь цетана (его число считают равным 100) и *a* – метилнафтамина (его число принято за нуль). Центановое число дизельного топлива характеризует время задержки воспламенения от момента впрыска. На Севере лучше применять топливо с низким центановым числом.

Калибры стволов

Калибр ствола охотничьего ружья – это количество пуль сферической формы из фунта свинца.

Калибр боевого оружия вычисляется с помощью дюймовой системы. Существуют калибры боевого оружия в метрической и дюймовой системах.

Переводным коэффициентом с дюймовой в метрическую систему является К=1"×0,01.

Например, калибр ствола американского оружия 25. Калибр европейской метрической системы будет 25×25,4×0,01=6,35 (мм).

Аналогично переводятся и другие калибры:

22 калибр соответствует 5,6 мм;

30 калибр соответствует 7,62 мм;

38 калибр соответствует 9,65 мм;

40 калибр соответствует 11,43 мм.

2.4.5 Дюймовая система мер

Наряду с метрической системой мер в ряде отраслей применяется дюймовая система. В большинстве случаев это относится к резьбам. В нефтегазовой промышленности, в коммунальном и теплохозяйствах применяют дюймовое исчисление резьб, условный проход труб. В машиностроении применяют конические резьбы для обеспечения герметичности соединений (Приложение 2.4).

2.4.6 Английская система мер

Английская система мер – сформировалась в XV веке и до настоящего времени не претерпела каких-либо изменений. Несмотря на интеграцию мировой экономики, переход на метрическую систему в Англии и США идет медленно. Характеристики товаров, поступающих в Евросоюз и страны СНГ, указываются в единицах двух систем. Мировая торговля нефтью исчисляется только в английской системе – нефтяной баррель США. (Приложение 2.5).

2.4.7 Старорусская система мер

Постановлением СНК СССР от 21 июля 1925 года СССР признал Международную метрическую конвенцию 1875 года. Переход на метрическую систему был официально завершен к 1927 году. Но еще долго имели хождение фунты и пуды. Единицы мер старорусской системы в настоящее время можно встретить в исторической литературе. Но для поддержания знаний о истории мер России приводится старорусская система мер (Приложение 2.6).

2.4.8 Приставки для образования кратных и дольных единиц

До установления метрической системы мер измерения больших или меньших значений одной и той же физической величины применяли отдельные меры со своими наименованиями и с разными соотношениями между ними. Так, например, в старой русской системе мер единица длины сажень имела 3 аршина, аршин – 16 вершков. В английской системе мер ярд имел 3 фута, одна миля – 1760 ярдов.

В метрической системе мер наименования десятичных кратных и дольных единиц образуется присоединением приставок к наименованиям исходных единиц:

- 1 микрометр=1×10^{-6} м;
- 1 бар=1×10^{5} Па.

Приложение 2.3

Специфические единицы измерения, применяемые на практике

Величина	Единица		Перевод единицы СИ
	Наименование	Обозначение	
1	2	3	4
Длина	микрометр	мкм	$1*10^{-6}$ м
	ангстрем	Å	$1*10^{-10}$м
	икс-единица	икс ед	$1{,}00206*10^{-13}$ м
	астрономическая единица	а.е	$1{,}496*10^{-11}$ м
	световой год	св.год	$9{,}4605*10^{-15}$ м
	парсек	пк	$3{,}086*10^{-16}$ м
	кабельтов	кб	185,2 м
Площадь	Ар	а	100 $м^2$
	Гектар	га	$1*10^4$ $м^2$
	Барн	б	$1*10^{-28}$ $м^2$
Масса	Карат метрический	кар	$2*10^{-4}$ кг (0,2г)
	Центнер	ц	100 кг
Плоский угол	прямой угол	L	1,570796 рад
	оборот (полный угол)	об	6,283185 рад
	град (гон)	g	0,0157 рад (0,01 прямого угла)
	румб		0,196653 рад (11,25º)
Частота вращения	оборот в секунду	об/с	1 $с^{-1}$
	оборот в минуту	об/мин	1/60 $с^{-1}$ =0,01666667 $с^{-1}$
Линейная скорость	километр в час	км/ч	0,277778 м/с
	узел (морской)	уз	0,514444 м/с
Массовый расход	килограмм в минуту	кг/мин	$16{,}606*10^{-3}$ кг/с
	килограмм в час		$277{,}8*10^{-6}$ кг/с
Объемный расход	литр в секунды	л/с	10^{-3} $м^3$/с
Давление	килограмм -сила на кв. миллиметр	кгс/$мм^2$	$9{,}80665\times10^{-6}$ Па
	техническая атмосфера	ат	98066,5 Па
	килограмм-сила на кв. сантиметр	кгс/$см^2$	
	физическая атмосфера	атм	101325 Па
	миллиметр вод. столба	мм вод.ст	9,80665 Па
	миллиметр ртутного столба	мм рт.	133,322 Па давл в 1 мм рт.ст
	Торр	Торр	1013125/760=133,322 Па
	Бар	Бар	$1*10^5$ Па
	Нормальное атмосферное давление	760 мм рт.ст	101325 Па
	Метр водяного столба	м H_2O	$9{,}80665\cdot10^3$ Па
Работа и энергия	Лошадиная сила -час	л.с -ч	2,64780*10 Дж
	Киловатт-час	кВт*ч	$3{,}6*10^6$ Дж
	Ватт-час	Вт*ч	3600 Дж
Мощность	Лошадиная сила	л.с	735,499 Вт (75 кгс м/с)

Количество теплоты	Калория (международная термия)	Кал. (количество теплоты для нагрева 1 г воды на 1 ºС)	4,1868 Дж
		Тер (количество теплоты для нагрева 1 т воды на 1º С	$4{,}1868*10^{6}$ Дж
Количество электричества	ампер. час	А.ч	$3{,}6*10^{3}$ кл
Яркость	ламберт	лб	$3{,}193*10^{33}$ kg /м^{2}
Экспозиционная доза рентгеновского и гамма излучения	рентген	Р	$2{,}57976*10^{-4}$кл /кг
Поглощенная доза излучения	рад	рад	0,01 Гй
Активность нуиклида. Нуиклид-термин для обозначения любых ядер	Кюри	Ки	$3{,}7*10^{10}$ Бк
	распад в секунду	расп/с	1 Бк
Фригория	Отрицательная килокалория		1 фригория = 1 ккал $4{,}1868*10^{3}$ Дж
Крупность зерновых материалов	МЕШ	МЕШ	Единица крупности зерновых материалов равная числу отверстий приходящих на 1 кв дюйм проволочного сита
Оптическая сила	диоптрия	диоптр	L*m^{-1}
Вместимость	Баррель нефтяной (США) (сухой баррель) (баррель Великобритании)	баррель	1 барель=0,15899 м^{3}
			158,99 л
			1 с. б = 0,11563 м^{3}
			115,63 л

Приложение 2.4

Характеристика дюймовых резьб

Обозначение размера резьбы, дюйм	ГОСТ 6111-52 – резьба коническая дюймовая с углом профиля 60°			ГОСТ 6211-81 – резьба трубная коническая дюймовая с углом профиля 55°			ГОСТ 6357-81 – резьба цилиндрическая дюймовая с углом профиля 55°		
	Число ниток на 1" (25,4 мм)	Шаг резьбы Р, мм	Рабочая длина l_1, мм	Число ниток на 1" (25,4 мм)	Шаг резьбы Р, мм	Рабочая длина l_1, мм	Число ниток на 1" (25,4 мм)	Шаг резьбы Р, мм	
1/16	27	0,941	6,5	28	0,907	6,5	28	0,907	
1/8			7,0						
1/4	18	1,411	9,5	19	1,337	9,7	19	1,337	
3/8			10,5	14	1,814	10,1	14	1,814	
1/2	14	1814	13,5	11	2,309	13,2	11	2,309	
3/4			14,0			14,5			
1	11,5	2,209	17,5			16,8			
1¼			18,0			19,1			
1½			18,5			23,4			
2						26,7			
2¼						29,8			
3½						31,4			
4						35,8			
5						40,1			
Обозначение резьбы: к 3/8" ГОСТ 6111-52 В условное обозначение резьбы должны входить буквы: R – для конической наружной резьбы; Rc – для конической внутренней резьбы;				Для левой резьбы: R 1½ LH и Rc ½ LH			Внутренняя трубная цилиндрическая резьба Рр½		

Примечание: выделенные размеры имеют в применении резьбы предпочтение.

Дюймовая система мер

Согласно рекомендации международной организации по стандартизации – R-31

Дюйм – единица длины. 1 дюйм=0,0254 м

Дюймы	М-метр	Дюйм	М-метр	Дюйм	М-метр	Дюйм	М-метр
1/32″	0,794	1/16″	1,587	¼″	6,35	5/16″	7,937
3/8″	9,525	7/16″	11,112	½″	12,7	¾″	19,05
7/8″	22,225	1″	25,4	1 1/8″	28,575	1 ¼″	31,75
1 ½″	38,1	1 ¾″	44,45	2″	50,8	2 ½″	63,5
3″	76,2	4″	101,6	5″	127,0		

Английская система мер

Величина	Единица		Перевод в единицы СИ или кратных и дольные от них
	Наименование	Обозначение	
Длина	ярд	J d	0,9144 м
	фут	f t	0,3048 м
	миля	mile	1609,344 м
	морская миля		1852 м
Площадь	кв.ярд	J d^2	0,836127 $м^2$
	кв.фут	f e^2	0,092903 $м^2$
	кв.дюйм	I n^2	6,4516 $см^{22}$
Объем	галлон (англ)	gal (ик)	4,54609 $дм^3$
	пинта (англ)	pt (ик)	0,568261 $дм^3$
	жидкостная унция	f l. or (ик)	28,413 $см^3$
	бутель (англ)		36,3687 $дм^3$
	галлон (США)	gal (us)	3,78543 $дм^3$
	жидкая пинта (США)	Lig.pt (ик)	0,473179 $дм^3$
	жидкая унция (США)	f l. or (us)	29,5737 $см^3$
Скорость	фут в секунды	f t/s	0,3048 м/с
	миля в час	mile/n	0,44704 м/с
Масса	фунт (торговый)	Lb	0,45359237 кг
	слог		14,5939 кг
	гран	gr	64,79891 мг
	унция (торговая)	or	28,3495 г
	центнер	cwt	50,8023 кг
	короткий центнер	sn cwt	45,3592 кг
	тонна	tn	1016,05 кг
	короткая тонна	sh tn	907,185 кг

Сила, вес	паундаль	pdl	0,138255 Н
Давление	паундаль на кв. фут	pdl/ ft^2	1,48816 Па
Работа	фут-паундаль	a t. pdl	0,042140 Дж
Мощность	фут-паундаль на секунду	f t*pdL/s	0,042140Вт
	лошадиная сила	hp	745,7 Вт
Температура	Шкала Реомюра	*R	0ºR- точка таяния льда
			80ºR-точка кипения воды
			1ºR=1/80 между двумя риперными точками 1ºR =1,25 ºС
	Шкала Фарент- Гейта	*F	0º F - температура смеси льда с солью и нашатырем
			96ºС -нормальная температура человеческого тела
			1ºF - 1/180 части температурного интервала между точкой таяния льда и кипением воды.
			1º F = 5/9 ºС
Давление	Фунт – сила на квадратный дюйм	$lbf/in^2(psi)$	6,8948·10^3 Па

Калибр ствола

22	25,4х0,01″	5,6 мм
25		6,35 мм
30		7,62 мм
38		9,65 мм
45		11,43 мм
57		14,5 мм

Приложение 2.6

Старорусская система единиц

Величина	Единица	Перевод в единицы СИ
Длина	верста=500 сажен	1,0668 км
	Сажень = 3 аршина	2,1336 м
	аршин=16 вершков	0,7112 м
	вершок	4,445 см
	линия	2,54 мм
	точка	0,254 мм
Масса	Ворковец=10 пудов Пуд = 40 фунтов	163,80496 кг 16,3805 кг
	Фунт = 96 золотников	409,5 кг
	золотник	4,2655 г
	лот	12,797262 г
	доля	44,434940 мг
Мера объемы	Бочка = 40 ведер	492 л
	Ведро = 10 штофов	12,3 л
	штоф (кружка) - 2 водочных бут	1,23 л
	1 бутыл=12,5 шкалика	768,75 мл
	1 чарка=20 шкалика	123 мл
	1 шкалик (осьмушка)	61,5 мл
Площадь	1 десятина	10,9254 км^2
	обжа - 10 десятин	
	соха - 3 обжи	

Древняя Русь:
- казенная сажень – 2,176 м;
- малая сажень – 1,424 м;
- греческая сажень – 2,304 м;
- церковная сажень – 1,864 м;
- царская сажень – 1,974 м.

При установлении метрической системы мер было принято для выражения больших или меньших значений физических величин применять кратные и дольные единицы, образуемые от исходной единицы по принципу десятичной кратности и дольности, с присоединением к наименованию исходной единицы соответствующей приставки.

Кратная единица в целое число раз больше соответствующей исходной единицы.

Дольная единица в целое число раз меньше соответствующей исходной единицы.

В Международной системе единиц приняты десятичные кратные и дольные единицы от исходных единиц СИ, получаемые путём умножения их на число 10 в соответствующей положительной (для дольных единиц) степени – от 10^{24} до 10^{-24}.

В 1793–1795 гг. при первом узаконении метрической системы во Франции было принято наименования приставок брать для кратных единиц из греческого языка, для дольных единиц – из латинского языка. В тот период были приняты приставки: кило для кратности 10^3 (от греческого слова, означающего тысячу), гекто для кратности 10^2 (от греческого слова, означающего сто) и дека для кратности 10 (от греческого слова, означающего десять), а также деци для дольности 10^{-1} (от латинского слова, означающего десять), санти для дольности 10^{-2} (от латинского слова, означающего сто) и милли для дольности 10^{-3} (от латинского слова, означающего тысячу).

В дальнейшем диапазон кратных и дольных единиц и соответственно приставок расширялся в сторону как больших, так и меньших значений измеряемых физических величин.

Так, в 1870 г., появились приставки мега для кратности 10^6 (от греческого слова, означающего «большой») и микро для дольности 10^{-6} (от греческого слова, означающего «малый»). Впоследствии были приняты и другие приставки: гига для кратности 10^9 (от греческого слова «гигант»), нано для дольности 10^{-9} (от латинского слова, означающего «карлик»), тера для кратности 10^{12} (от греческого слова, означающего «огромный») и пико для дольности 10^{-12} (от итальянского слова «пикколо», означающего «маленький»).

В 1964 г. на XII Генеральной конференции по мерам и весам были приняты приставки фемто для дольности 10^{-15} (от датского слова, означающего восемнадцать).

В 1975 г. на XV Генеральной конференции по мерам и весам были приняты приставки пета для кратности 10^{15} (от греческого слова, означающего пять, соответствующего числу разрядов по 10^3 в каждом) и экса для кратности 10^{18} (от греческого слова, означающего шесть, соответствующего числу разрядов по 10^3).

В настоящее время дольность и кратность определяются в 24 степени. (приложение 2.7).

Приставки используются для того, чтобы избежать больших или малых числовых значений, но следует обращать внимание на то, что дольные и

кратные единицы не являются когерентными единицами СИ. Чтобы использовать только когерентные единицы, в процессе вычислений, все величины необходимо выражать в единицах СИ, а кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат.

Из многообразия кратных и дольных единиц, которые могут быть образованы при помощи приставок, выбирают единицу, позволяющую получить числовые значения, приемлемые на практике. Кратные и дольные единицы выбирают таким образом, чтобы числовые значения величины находились в диапазоне 0,1 – 1000.

Приставки "гекто", "деци", "дека", "санти" должны использоваться, когда применение других приставок неудобно. Присоединение к наименованию единицы двух и более приставок подряд не допускается. Например вместо наименования единицы микромикрофарад следует писать пикофарад.

В связи с тем, что наименование основной единицы – килограмма – содержит приставку "кило", для образования кратных и дольных единиц массы используется дольная единица грамм и приставки необходимо присоединять к слову "грамм": например, миллиграмм (мг) вместо микрокилограмм (мккг). Дольную единицу массы – грамм – допускается применять без присоединения приставки.

Единицы СИ охватывают практически все области науки и техники. Однако ГКМВ было признано использование некоторых внесистемных единиц наравне с единицами СИ из-за их практической важности. Некоторые единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица			
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ
		международное	русское	
Время	минута час день	mm h d	мин ч сут	1 mm = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h = 86 400 s
Плоский угол	градус минута секунда	º ' "	º ' "	1° = (π/180) rad 1' = (1/60) = (π/10 800) rad 1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
Объем	литр	L	л	1 L = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3
Масса	тонна	t	т	1 t = 10^3 kg
Уровень	непер бел	Np B	Нп Б	1 Np= 1 1 B = (l/2)ln 10 Np

Если единица, к которой присоединяется приставка, образована как произведение или отношение единиц, приставку присоединяют к наименованию первой единицы. Например, единицу паскаль-секунда на метр (Па·с/м) с приставкой правильно писать так: килопаскаль-секунда на метр

(кПа·с/м) – и неправильно: паскаль-килосекунда на метр (Па·кс/м). Для ряда единиц, получивших широкое распространение, делается исключение и приставка применяется во втором сомножителе, например: тонна-километр (т·км), ампер на квадратный миллиметр (А/мм^2).

Приложение 2.7

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

	Приставка			Язык	Перевод приставки	Российское литературное название
	Наименование	Обозначение				
		русское	международное			
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{24}$	йота	Й	Y			
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{21}$	зета	З	Z			
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{18}$	экса	Э	E	греческий	шесть	триллион
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{15}$	пета	П	P	греческий	пять	биллиард
$1\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{12}$	тера	Т	T	греческий	огромный	биллион
$1\ 000\ 000\ 000=10^{9}$	гига	Г	G	греческий	гигант	миллиард
$1\ 000\ 000=10^{6}$	мега	М	M	греческий	большой	миллион
$1\ 000=10^{3}$	кило	К	K	греческий	тысяча	тысяча
$100=10^{2}$	гекто	г	H	греческий	сто	сто
$10=10^{1}$	дека	да	da	греческий	десять	десять
$0,1=10^{-1}$	деци	д	d	латинский	десять	десятая
$0,01=10^{-2}$	санти	с	c	латинский	сто	сотая
$0,001=10^{-3}$	Мили	м	m	латинский	тысяча	тысячная
$0,000\ 001=10^{-6}$	микро	МК	μ	греческий	малый	миллионная
$0,000\ 000\ 001=10^{-9}$	нано	н	n	латинский	карлик	миллиардная
$0,000\ 000\ 000\ 001=10^{-12}$	пико	П	p	итальянский	маленький	биллионная
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001=10^{-15}$	фемто	Ф	f	датский	пятнадцать	биллиардная
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001=10^{-18}$	атто	А	a	датский	восемнадцать	триллионная
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001=10^{-21}$	зепто	З	z			
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001=10^{-24}$	йокто	й	y			

При образовании производных единиц СИ, как правило, полученная единица имеет наименование, состоящее из наименований соответствующих основных единиц, например: метр в секунду (м/с), метр в секунду в квадрате (м/с^2). Из практических соображений некоторым производным единицам дали специальные наименования и обозначения по именам ученых, сокращенное наименование таких единиц пишут с прописной буквы, например: один ампер – 1 А. При склонении наименований производных единиц, состоящих из произведения единиц, изменяют только последнее наименование и относящееся к нему прилагательное, например килограмм-метра в квадрате, ньютон-секунды и т. д.

Нельзя в тексте давать обозначение единицы без указания числового значения величины. Например, будет неверным выражение: «Вычисления ведутся в %». Правильно: «Вычисления ведутся в процентах».

2.5 Нанотехнологии в дольных единицах

Термин "Нанотехнологии" в 1924 г. предложил японец Норё Танигути для описания процесса построения новых объектов и материалов при помощи манипуляций с отдельными атомами. Нанометр – одна миллиардная часть метра (10^{-9} метра). Размер атома – несколько десятых нанометра. Шероховатость поверхности космического телескопа "Ньютон" 0,5 нанометра.

Все предыдущие научно-технические революции сводились к тому, что человек всё более умело копировал механизмы и материалы, созданные Природой. Прорыв в область нанотехнологий – совсем другое дело. Впервые человек будет создавать новую материю, которая в Природе была неизвестна и недоступна.

Струнные весы

В Калифорнийском Технологическом институте (США) созданы самые чувствительные механические весы, способные зарегистрировать вес 0,00000000000000000007 грамма или 7 зептограммов ($7 \cdot 10^{-21}$ грамм). Таков вес 30 атомов ксенона. В стадии завершения работы над весами, которые смогут ощутить вес отдельного атома водорода – всего 1,66 йоктограмма ($1{,}66 \cdot 10^{-24}$ г.). Йоктограмм настолько же меньше грамма, настолько грамм меньше веса материковой коры всего континента Европы.

Новые весы представляют собой "струны" из карбида кремния. [14]
Развитие нанотехнологий способствует расширению дольных приставок в системе СИ.

Приложение 2.8

Рекомендуемые десятичные кратные и дольные единицы от единиц СИ в соответствии со стандартом МС ИСО 1000/1923

Величина	Единица СИ	Рекомендуемые десятичные, кратн. и долевые ед.
Площадь	$м^2$	$км^2$. кв. километр $дм^2$. кв. дециметр $мм^2$. кв. миллиметр $см^2$. кв. сантиметр
Длина	м	км. километр мм. миллиметр мкм. микрометр нм. нанометр
Объем	$м^3$	$дм^3$. куб. дециметр $см^3$. куб. сантиметр $мм^3$. куб. миллиметр
Время	с	кс. килосекунда мс. миллисекунда мкс. микросекунда
Частота	Гц	ТГц. терагерц ГГц. гигагерц МГц. мегагерц кГц. килогерц мГц. миллигерц гГц. гектогерц мкГц. микрогерц
Масса	кг	Мг. мегаграмм г. грамм мг. миллиграмм
Сила	Н	МН. меганьютон кН. килоньютон мН. миллиньютон мкН. микроньютон
Момент силы	Н*м	МНм. меганьютон.м. кНм. килоньютон.м. мкНм. микроньютон.м.
Давление	Па	ГПа. гигапаскаль МПа. мегапаскаль кПа. килопаскаль мПа. миллипаскаль мкПа. микропаскаль
Мощность	Вт	ГВт. гигаватт МВт. мегаватт кВт. киловатт мВт. милливатт мкВатт. микроватт
Сила электрического тока	А	кА. килоампер мА. миллиампер мкА. микроампер нА. наноампер пА. пикоампер
Сопротивление	Ом	МОм. мегаом кОм. килоом

Контрольные вопросы

1. В чём заключаются преимущества интернациональной системы измерений?
2. Какие основные и дополнительные единицы системы СИ.
3. Какие вы знаете производные единицы системы СИ, имеющие собственные наименования?
4. Какие единицы допускаются к применению наравне с единицами СИ?
5. Какие специфические единицы измерения применяются на практике?
6. Какие бывают кратные и дольные единицы измерения? Образование приставок кратными дольным единицам.
7. Что такое нанотехнология?

Глава 3 Объекты, средства и методы контроля

3.1 Объекты измерения

В мелкосерийном производстве, при освоении новых моделей качество изделий зависит от оперативности измерений. Объекты инструментального производства – инструментальная оснастка представляет собой комплекс металлорежущего, крепежного, специального измерительного инструмента, а также рабочих и контрольно-измерительных приспособлений, установок, штампов и пресс-форм.

Характерными особенностями производства инструментальной оснастки являются высокие точности размеров и качество рабочих поверхностей инструмента, а также сложность конфигураций инструмента и систем координат сборных изделий. Рабочие размеры специального инструмента в 5-10 раз точнее размеров тех изделий, для обработки или измерения которых они предназначены, а рабочие поверхности инструмента имеют значительно меньшие параметры шероховатости, чем поверхности обрабатываемых изделий. Резцы, сверла, прошивки, фрезы, метчики, цанги, шаблоны, конусные и шлицевые калибры, скобы и резьбовые калибры являются объектами измерения. При этом контролю подвергаются углы, шаги резьб, диаметры профиля резьбы, конусность, шероховатость и т. д. В практике инструментального производства объекты измерения подразделяют:

а) по точности измерения – на грубые, точные и весьма точные;

б) по сложности измерения – на простые и сложные.

Точность изготовления объектов определяется конструкторской и нормативной документацией. Пределы допускаемых погрешностей измерения для допусков по стандартной схеме допусков и посадок приводятся в ГОСТ 8.051-83 (Приложение 3.1).

Параметры, характеризующие точность измерения объектов, даны в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Параметры, характеризующие точность измерения объектов

Объекты, классифицируемые по точности измерения	Предельные погрешности измерения размеров		Шероховатость рабочих поверхностей (мкм)	Базовая длина (мм)
	линейных (мм)	угловых (минуты)	ГОСТ 2789-73	
Грубые	0,9-0,1	5,0-30	Rz=320/10	8,0-2,5
Точные	0,1-0,01	1-5	Ra=2,5/0,02	0,8-0,25
Весьма точные	0,01-0,001	1″-30″	Rz=0,1/0,025	0,8

Приложение 3.1

Допустимые погрешности линейных размеров до 500 мм (ГОСТ 8.051-81)

Интервалы размеров, мм	Квалитеты																											
	4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17	
	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ
	Допустимая погрешность измерений																											
До 3	3	1	4	1,4	6	1,8	10	3	14	3	25	6	40	8	60	12	100	20	140	30	250	50	400	80	600	120	1000	200
св 3 до 6	4	1,4	5	1,6	8	2	12	3	18	4	30	8	48	10	75	16	120	30	180	40	300	60	480	100	750	160	1200	240
св 6 до 10	4	1,4	6	2	9	2	15	4	22	5	36	9	58	12	90	18	150	30	220	50	360	80	580	120	900	200	1500	300
св 10 до 18	5	1,6	8	2,8	11	3	18	5	27	7	43	10	70	14	110	30	180	40	270	60	430	90	700	140	1100	240	1800	380
св 18 до30	6	2	9	3	13	4	21	6	33	8	52	12	84	18	130	30	210	50	330	70	520	120	840	180	1300	280	2100	440
св 30 до 50	7	2,4	11	4	16	5	25	7	39	10	62	16	100	20	160	40	250	50	390	80	620	140	1000	200	1600	320	2500	500
св 50 до 80	8	2,8	13	4	19	5	30	9	46	12	74	18	120	30	190	40	300	60	460	100	740	160	1200	240	1900	400	3000	600
св 80 до 120	10	3	15	5	22	6	35	10	54	12	87	20	140	30	220	50	350	70	540	120	870	180	1400	280	2200	440	3500	700
св 120 до 180	12	4	18	6	25	7	40	12	63	16	100	30	160	40	250	50	400	80	630	140	1000	200	1600	320	2500	500	4000	800

св 180 до 250	14	5	20	7	29	8	46	12	72	18	115	30	185	40	290	60	460	100	720	160	1150	240	1850	380	2900	600	4600	1000
св 250 до 315	16	5	23	8	32	10	52	14	81	20	130	30	210	50	320	70	520	120	810	180	1300	260	2100	440	3200	700	5200	1100
св 315 до 400	18	6	25	9	36	10	57	16	89	24	140	40	230	50	360	80	570	120	890	180	1400	280	2300	460	3600	800	5700	1200
св 400 до 500	20	6	27	9	40	12	63	18	97	26	155	40	250	50	400	80	630	140	970	200	1550	320	2500	500	4000	800	6300	1400
Допустимая погрешность % от допуска	35-30		35-30		30-25		30-25		25		25		25-200		25-20		25-20		~20		~20		~20		~20		~20	

Классификация объектов по точности их измерений позволяет наиболее объективно определить необходимые средства измерения объектов, а классификация их сложности дает возможность правильно выбрать метод измерения. При контроле точных и весьма точных объектов измерения применяют точный контрольно-измерительный инструмент и приборы, а при контроле грубых – менее точный.

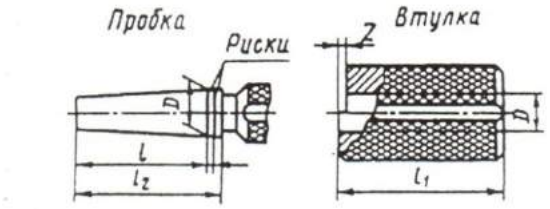
Простые объекты измерения имеют правильную цилиндрическую или призматическую форму, гладкую прямолинейную поверхность и сравнительно небольшие размеры, позволяющие устанавливать их на тот или иной измерительный прибор, и без особых трудностей производить измерение их размеров прямым или косвенным (сравнительным) методом с любой точностью. К сложным объектам измерения относят изделия с резьбой, шлицами, имеющие конусные поверхности, а также сложную систему координат с точками, пересекающимися в пространстве. Измерение размеров этих объектов осуществляется косвенным или комплексным методами, связанными с проведением специальных расчетов.

Конусы деталей машин и инструмента

С наружными и внутренними конусами изготавливают шпиндели станков и приборов, хвостовики центрующих патронов, сверл, разверток и зенкеров; концы валов и отверстия для крепления аппаратуры в автомобилях и тракторах, хвостики планшайб, фрикционных муфт закрепительных втулок для роликовых подшипников, конусы центрирующих устройств и другие детали машин.

Надежность конических соединений и точность центрирующих устройств зависит от точности их изготовления. Государственные стандарты регламентируют параметры конусов деталей машин и инструмента, конусных калибров. Важнейшим параметром является конусность, а у калибров и их диаметры.

Типы калибров для контроля
конусов инструментов
Тип 1



Тип 2

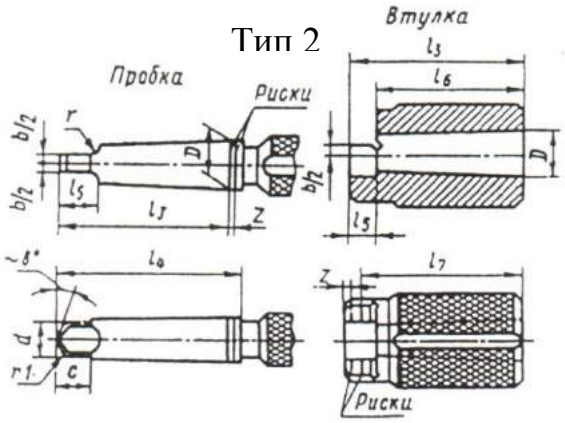
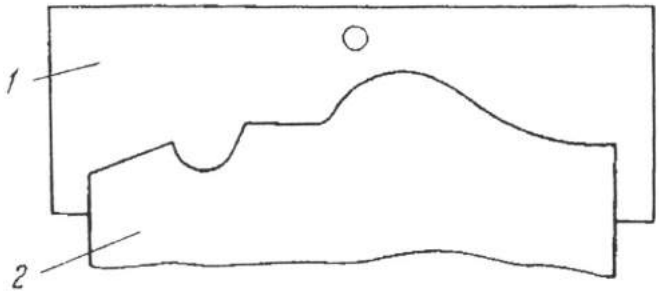


Рис. 3.1 – Калибры конусные

Шаблоны и контршаблоны

Шаблоны применяются для контроля комплексным методом сложных профилей деталей машин, приспособлений, штампов, пресс-форм и других изделий; контршаблоны – для контроля точных профилей шаблонов. Шаблоны и контршаблоны, как правило, имеют сложный профиль высокой точности (рис. 3.2).



1 – шаблон, *2* – изделие

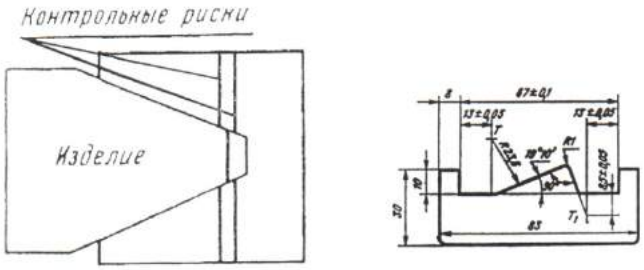


Рис. 3.2 – Шаблоны

Шлицевые калибры и контркалибры

Наиболее сложны для измерений отдельные элементы шлицевых калибров (рис. 3.3) и контркалибров; наружный диаметр, ширина шлицев и накопленная погрешность шага.

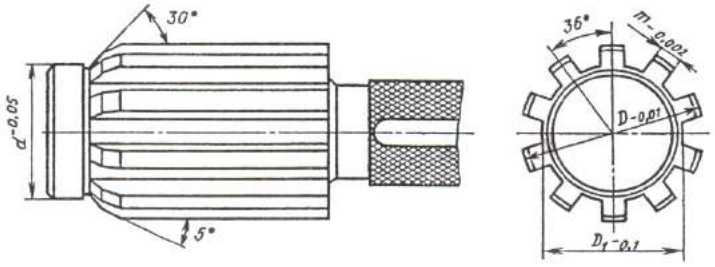


Рис. 3.3 – Калибр шлицевой

Резьбовые калибры

Особую сложность при измерении резьбовых калибров и контркалибров представляют отдельные их элементы; шаг, угол профиля и средний диаметр резьбовых калибров (пробок). Резьбовые калибры – пробки ПР и НЕ изображены на рис. 3.4.

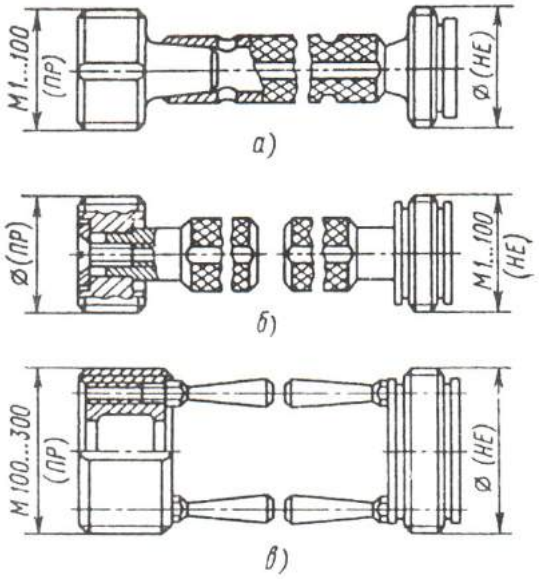


Рис. 3.4 – Резьбовые калибры

Контрольные приспособления

Контрольно-измерительные и рабочие приспособления широко применяются при обработке и контроле деталей машин и инструментов. Конструкции их весьма разнообразны. На рис. 3.5 изображено контрольно-измерительное приспособление для проверки расположения отверстий детали, которые расположены под разными углами, ограниченные точными допусками.

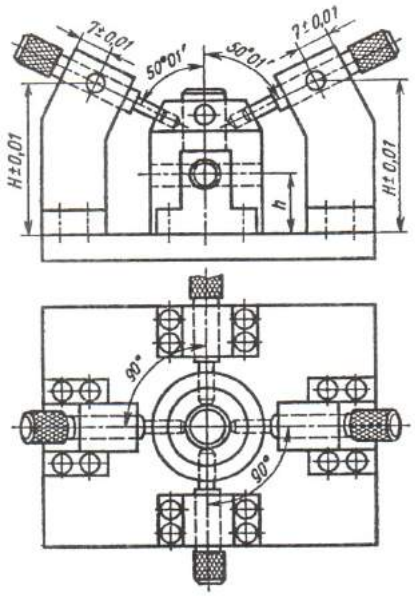


Рис. 3.5 – Контрольное приспособление

3.2 Средства измерений и контроля

Измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Примеры:

1. В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали).
2. С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

Примечания

1. Приведенное определение понятия "измерение" удовлетворяет общему уравнению измерений, что имеет существенное значение в деле упорядочения системы понятий в метрологии. В нем учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический аспект (получение значения величины).

2. От термина "измерение" происходит термин "измерять", которые широко пользуются на практике. Все же нередко применяются такие термины, как "мерить", "обмерять", "замерять", "промерять", не вписывающиеся в систему метрологических терминов. Их применять не следует.

Не следует также применять такие выражения, как "измерение значения" (например, мгновенного значения напряжения или его среднего

квадратического значения), так как значение величины – это уже результат измерений.

3. В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерений этой величины) практикуется оценивание таких величин по условным шкалам.

Измерения составляют приблизительно 10% человеческого труда, а в отраслях промышленности, производящих сложную технику (электроника, станкостроение и др.), она достигает 50-70%.

В нашей стране ежедневно производится около 200 млрд. измерений; свыше 4 млн. человек считают измерения своей профессией. С расширением сферы человеческой деятельности измерения охвытывают все новые физические величины, существенно расширяются диапазоны измерений. Так, например, диапазон измерений длины составляет от 20-100 Нм $20\text{-}100 \cdot 10^{-9}$ м до десятков, сотен тысяч и даже миллионов километров (парсек – $3{,}086 \cdot 10^{6}$ м, сверхбольшие расстояния в космосе).

3.3 Средства измерительной техники

Средства измерений – технические средства, предназначенные для измерений, имеющие нормированные метрологические характеристики, воспроизводящие или хранящие единицы физической величины, размер которой принимается неизменным в течение известного интервала времени.

Средства измерений имеют общие признаки, присущие всем средствам измерений независимо от назначения и области измерений.

По роли, выполняемой в системе обеспечения единства измерений, различают следующие средства измерений:

- метрологические, предназначенные для воспроизведения единицы, ее хранения или передачи размера единицы рабочим средством измерений;
- рабочие, применяемые для измерений, не связанные с передачей размера единиц.

Рабочее средство измерений – средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерения.

Основное средство измерений – средство измерений той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей.

Вспомогательное средство измерений – средство измерений той физической величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности. Например, термометр для измерения температуры в помещении, где происходят измерения,

Стандартизованное средство измерений – средство измерений, изготовленное и применяемое в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта.

Нестандартизованное средство измерений – средство измерений, стандартизация требований к которому признана нецелесообразной.

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

Измерительная машина – измерительная установка крупных размеров, предназначенная для точных измерений физической величины, характеризующих изделие. (Например, координатно-измерительная машина).

Измерительная система – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т. п., с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных цепях. В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на: измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы и др.

В настоящее время большинство измерительных систем являются автоматизированными или автоматическими, все они по существу обеспечивают автоматизацию процессов измерений, обработки и отображения результатов измерений, в том числе ввода измерительной информации в автоматизированные системы управления.

Все средства измерения должны иметь нормированные метрологические характеристики и установленный срок поверки, в течение которого эти характеристики признаются неизменными.

Узаконенное средство измерения – средство измерения, признанное годным и допущенное для применения уполномоченным на это органом.

По уровню и автоматизации СИ делятся на:

- неавтоматические;
- автоматические.

Средства измерений делятся на:

- меры;
- устройства сравнения;
- измерительный преобразователь.

Мера – средство измерений, воспроизводящее физическую величину заданного размера.

Меры бывают однозначные и многозначные.

Однозначная мера – воспроизводит физическую величину одного размера.

Многозначные меры воспроизводят ряд одноименных величин различного размера (потенциометр, конденсатор переменной емкости).

Набор мер – специально подобранный комплект однотипных элементов, применяемых не только по отдельности, но и в сочетании (магазин сопротивлений, набор мер длины или углов).

Устройство сравнения (компаратор) – СИ, позволяющее сравнивать друг с другом меры однородной физической величины (фотореле).

Измерительный преобразователь – СИ, вырабатывающее сигнал измерительной информации в форме, удобной для передачи.

По выходным и входным величинам:

- аналоговые;
- аналогово-цифровые (АЦП);
- цифро-аналоговые (ЦАГ).

Измерительный прибор – СИ, предназначенное для выработки определенного вида сигнала измерительной информации.

Аналоговый измерительный прибор – СИ, показания которого является непрерывной функцией изменения измеряемой величины.

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) – СИ, автоматически вырабатывающее дискретный сигнал измерительной информации и показания которого представлены в цифровой форме.

Преимущества ЦИП перед аналоговыми:

- удобство и объективность отсчета;
- высокая точность результатов измерений;
- широкий динамический диапазон;
- высокое быстродействие и возможность автоматизации процесса.
- измерительная установка;
- измерительная система;
- информационно - измерительная системы;
- измерительные - вычислительные комплексы;
- виртуальный прибор – компьютер с программой обеспечения и аналогово – цифровым преобразователем с платой сбора данных.

Вид средства измерений – совокупность средств измерений, предназначенная для измерения одной физической величины.

Тип средства измерений – 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.

Средства измерений одного типа могут различаться модификацией (например, отличаться по диапазону измерений).

Средство поверки – эталоны, поверочные установки и другие средства измерений, применяемые при поверке в соответствии с установленными правилами.

Измерительные принадлежности – вспомогательные средства, служащие для обеспечения необходимых условий для выполнения измерений с требуемой точностью.

3.4 Принципы и методы измерений

Принцип измерения – физическое явление или эффект, положенные в основу измерения (механический, индуктивный, пневматический, оптоэлектронный).

Метод измерения – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с се единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Под методом измерения понимается совокупность используемых измерительных средств и условий их применения для сравнения измеряемой физической величины с ее единицей. Методы измерения могут быть разными в зависимости от решаемой метрологической задачи.

Метод непосредственной оценки – это метод, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерения. Например, размер детали штангенциркулем.

Метод сравнения с мерой – это метод, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. (Например, измерение массы на рычажных весах с гирями).

Дифференциальный метод измерения – метод измерения, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами. Например, сначала настраивают измерительный прибор по мере, а потом измеряют отклонение от настроенного размера. Действительный размер в этом случае равен алгебраической сумме размера меры и измеренного отклонения.

Прямой метод измерений – метод измерений, при котором искомое значение величины находят непосредственно. Измеряется прямо искомая величина. (Например, измерение температуры воздуха термометром, длины рулеткой, промежутка времени секундомером).

Косвенный метод измерений – метод, при котором определяется искомое значение физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной. Например, определение координат центров отверстий по координатам их краев, или измерение диаметра вала наездником.

Контактный метод измерений – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения.

Бесконтактный метод измерений – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора не приводится в контакт с объектом измерения.

Методика выполнения измерений – установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом. Обычно методика измерений регламентируется каким-либо нормативно-техническим документом.

Комплексные измерения – измерения, при которых определяется влияние комплекса элементов, из которых состоит деталь сложной формы. (Например, проверка резьбы на свинчиваемость).

3.5 Условия измерений. ГОСТ 8.050-73 Нормальные условия выполнения измерений

Нормальные условия измерений – это условия измерений, характеризуемые совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости.

Нормальные условия измерений устанавливаются нормативно-техническими документами на средства измерений конкретного вида или по их поверке и могут зависеть от значения допусков и диапазона измеряемых размеров.

Нормальное значение влияющей величины – значение влияющей величины, установленное в качестве номинального значения.

Согласно ГОСТ 8.050-73 нормируются следующие нормальные значения основных влияющих величин:

1. Значение температуры окружающей среды 20° С или 293° К;
2. Атмосферное давление 101324,72 Па (760 мм ртутного столба);
3. Относительная влажность окружающего воздуха 58% (нормальное парциальное давление водяных паров 1333,22 Па);
4. Ускорение свободного падения (ускорение силы тяжести) 9,8 м/с^2;
5. Направление линии измерения линейных размеров до 160 мм у наружных поверхностей вертикальное, в остальных случаях – горизонтальное;
6. Положение плоскости измерения углов – горизонтальное;
7. Относительная скорость внешней среды равна нулю;
8. Значение внешних сил, кроме силы тяжести, атмосферного давления, действия магнитного поля Земли и сил сцепления элементов измерительной системы (установки), равны нулю.

На нормальные значения влияющей величины обычно рассчитывают основную погрешность средств измерений; к нему приводят результаты измерений, выполненных в разных условиях.

Нормальная область значений влияющей величины – область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерений под ее воздействием можно пренебречь в соответствии с установленными нормами погрешности.

Например, согласно нормативному документу на поверку нормальная область значений температуры не должна изменяться более чем на ±0,05° С от установленной температуры. Это означает, что в процессе поверки она не должна выходить за пределы от 19,95 до 20,05° С.

Рабочая область значения влияющей величины – область значения влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средства измерений.

Рабочие условия измерений – условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей.

Рабочее пространство – часть пространства, окружающего средство измерений и объект измерений, в котором нормальная область значений влияющих величин находится в установленных пределах.

Результаты измерения для сопоставимости должны приводится к нормальным значениям влияющих величин с погрешностью, не превышающей 35% допускаемой погрешности измерений.

Основные влияющие величины

Частота возмущающих гармонических вибраций, действующих на средства и объекты измерения, не должна превышать 30 Гц. Амплитуда возмущающих вибраций в миллиметрах при частоте более 1 Гц не должна превышать значение, определяемых зависимостью.

$$\frac{V}{2zf} = \frac{v}{f}$$

где, V – амплитуда скорости колебаний;

v – приведенная амплитуда скорости колебаний;

f – частота вибраций, Гц.

При воздействии возмущающих вибраций с параметрами спектральных составляющих выходящими за пределы, размах колебаний отсчётного индекса прибора и дополнительная погрешность средства измерения не должна превышать соответственно 0,2 деления шкалы и 0,2 допускаемой погрешности измерения.

Таблица 3.2

Частота и амплитуда колебаний

Ряды	I-III	IV-X	XI-XIV
v, мм/с	0,01	0,03	0,05
A, мм	0,01	0,03	0,05

Примечания: ряды по ГОСТ 8908-58

Давление окружающего воздуха в рабочем пространстве должна быть меньше атмосферного. Допускается превышение атмосферного давления не более чем на 3 кПа.

Количество твердых частиц пыли в 1 м^3 воздуха в рабочем пространстве не должно превышать значений, указанных в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Количество и размер частиц в воздухе рабочего пространства

Ряды	Размер частиц пыли, мкм не более	Количество частиц пыли в 1 м^3 воздуха
I-IV	0,1	800
V-VIII	0,3	500
IX-XI	0,5	300
	1,0	100
	2,0	20

Продолжение таблицы 3.3

XII	0,5 1,0 2,0 5,0	350 150 25 40
XIII, XIV	1,0 2,0 5,0	200 40 50

Примечание: Количество частиц меньшего размера для соответствующего ряда не нормируется, а наличие частиц большего размера не допускается.

Влажность воздуха – 58%

Пределы допустимого отклонения влажности воздуха в рабочем пространстве от нормального ±20%.

При интерференционных линейных измерениях, соответствующих I-VI рядам, пределы допускаемого отклонения влажности воздуха в рабочем пространстве от нормального ±5%.

Скорость движения воздуха в рабочем пространстве не должна превышать 0,1 м/с при измерениях соответствующих рядов I-VIII, и 0,2 м/с при измерениях, соответствующим IX-XIV рядам.

Пределы освещённости рабочего пространства при общем освещении устанавливаются в соответствии с указанными в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Пределы освещения рабочего пространства

Вид отсчетного устройства	Освещенность, лк	
	при люминесцентных лампах	при лампах накаливания
Окулярное, экранное, шкала на светлом фоне, со световым указателем.	150-250	50-150
Шкала на светлом фоне со стрелкой.	300-500	150-300
Шкала на темном фоне	500-750	300-500

Ни нормативная документация, ни широкодоступная литература не освещают влияние естественного освещения на точность измерений. Естественное освещение при измерениях является философским постулатом: "Союз единства и борьбы противоположностей". Прямые солнечные лучи вредны, но без естественного света невозможен контроль "на просвет" и затруднительный контроль интерференции. ГОСТ 9038-90 оговаривает контроль интерференционных следов или полос концевых мер длины в белом естественном свете. Из практики освещённость естественным светом помещений, без попадания прямых солнечных лучей должна быть на уровне 300-500 лк.

Уровень шума в рабочем пространстве не должен превышать 45 дБ при измерениях соответствующих I-VIII разрядам и 80 дБ – при измерениях, соответствующих IX-XIV рядам.

Напряжённость магнитного поля не должна превышать 80 А/м, напряжённость электростатического поля – 5В/м.

Пределы допустимой амплитуды колебаний магнитного поля в процессе измерений, при наличии в средствах измерений неэкранированных электромагнитных преобразователей 10 А/м.

Влияние температуры.

В приложении 3.2 указана ориентировочная взаимосвязь параметров шероховатости, квалитетов обработки, рядов и допустимых отклонений температуры при выполнении измерений.

В таблице 3.5 приведены допустимые отклонения температуры объекта измерения в рабочем пространстве от нормального значения в процессе измерения.

Таблица 3.5

Допустимые отклонения температуры

Размеры, мм	Отклонение температуры, °С для рядов					
	I	II	III	IV-VIII	IX-XI	XII-XIV
св.1 до18	±0,5	±0,8	±1,0	±1,5	±3,0	±4,0
св. 18 до 50	±0,2	±0,3	±0,5	±1,0	±2,0	±3,0
св. 50 до 500	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±1,0	±2,0

В рабочее пространство не рекомендуется помещать объекты измерения с отклонением температуры на поверхности от нормальной более чем 1,5: 2,5; 3,5; 5°С соответственно для I-III, 1V-V11I. IX-XI; XII-XIV рядов.

При этом время выдержки в рабочем пространстве при температуре, указанной в Таблице 3.5 до начала измерений должно быть не менее указанного в Таблице 3.6.

Таблица 3.6

Время выдержки перед измерением

Масса объекта измерения, кг	Время выдержки, ч для рядов			
	I-III	IV-VIII	IX-XI	XII-XIV
до 10	6	4	3	2
св. 10 до 50	14	8	6	4
св. 50 до 200	24	14	10	7
св. 200 до 500	36	20	16	12

При отклонении температуры поверхности помещенных в рабочее пространство объектов измерений, превышающих нормативы, время выдержки должно быть увеличено.

Анализ ГОСТ 8.050-73 показывает, что он распространяется на значительное количество изделий приборостроения и машиностроения изготавливаемых по квалитетам 01-5. Подавляющее количество изделий машиностроения изготавливается по 6-12 квалитетам. Следовательно, факторы 2, 4, 7, влияющие на нормальные условия выполнения измерений можно упустить.

В значительной степени влияют 2 фактора: температура и вибрация.

Из практики установлены отклонения от нормальной температуры (20°С) следующие допустимые значения: интервал размеров 1-18 мм. 6-8 квааитеты – ±3 °С, 9-10 квалитеты – ±4°С, для интервалов размеров 18-50 мм. 6-8 квалитетов – ±2°С, 9-10 квалитетов – ±3°С; для интервалов размеров 50-500мм. 6-8 квалитетов – ±1°С, 9-10 квалитетов – ±2°С. Выдержка деталей весом до 20 кг при установившейся температуре 2-3 часа.

Измерения, подвергающиеся температурному влиянию с погрешностью больше 35%, контролируется в термоконстантных помещениях с отклонением температуры ±1°С.

Приложение 3.2

Взаимосвязь квалитетов обработки шероховатости поверхности с отклонениями температуры от нормальной в зависимости от рядов по ГОСТ 8.050-73 и степеней точности по ГОСТ 8908-58

Параметры шероховатости по ГОСТ 2789-73		Диапазон измерений, мм		Квалитеты обработки IT (ориентировочно)	Ряды по ГОСТ 8.050-73	Степени точности по ГОСТ 8908-58	Допустимые отклонения температуры ºС			Ориентировочный перечень объектов контроля и методов обработки
Rz	Ra	Линейных измерений	Угловых меньшая сторона угла		Линейные измерения	Угловые измерения	Отклонение температуры от номинальной	В течение 0,5ч	В течение 12ч	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,032		св.1до10	-	IT 01	I	-	±0,1*	0,02*	0,1*	Плоскопараллельные меры длины Детали с зеркальной доводкой
0,063		св.10до80	-	IT 0	I	-	±0,5:0,1	0,05:0,1*	0,2	
		св.1до18	-	IT 01	II	-	±0,8	0,1*	0,2	
		св.1до3	-	IT 1	III	-	±1,0	0,1*	0,5	
	0,025	св.80до180	-	IT 1	I	-	±0,18:0,08	0,015:0,02*	0,1*	Калибры, контркалибры, прецизионные детали получаемые тонкой притиркой
		св.18до120	-	IT 2	II	-	±0,2:0,15	0,05*	0,2	
		св.3до50	-	IT 2	III	-	±0,5	0,1*	0,5	
		св.1до10	-	IT 2	IV	-	±1,5	0,2	1,0	
	0,05	св.180до360	до5	IT 2	I	1	±0,1*	0,02*	0,1*	Угловые меры, образцовые многогранники, конусные калибры, детали получаемые тонкой шлифовкой и притиркой
		св.120до260	до3	IT 2	II	2	±0,2	0,05*	0,2	
		св.50до180	-	IT 2	III	-	±0,3	0,1*	0,2	
		св.10до80	-	IT 2	IV	-	±0,5	0,1*	0,5	
		св.1до18	-	IT 3	V	-	±1,5	0,2	1,0	
		св.1до3	-	IT 3	VI	-	±1,5	0,2	1,0	
	0,1	св.360до500	св.5до12	IT 3	I	1	±0,1*	0,02*	0,1*	Детали обработанные тонкой полировкой, доводкой, суперфинишной обработкой
		св.260до500	св.3до12	IT 3	II	2	±0,2	0,05*	0,2*	
		св.180до360	до5	IT 3	III	3	±0,3	0,1*	0,2	
		св.80до180	-	IT 3	IV	-	±0,5	0,1*	0,5	
		св.30до120	-	IT 3	V	-	±0,5	0,1*	0,5	
		св.3до50	-	IT 3	VI	-	±1,0	0,1*	0,5	
		св.1до10	-	IT 4	VII	-	±1,5	0,2	1,0	
		св.1до3	-	IT 4	VIII	-	±1,5	0,2	1,0	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0.16	св.360до500	св.32до120	IT 3	III	1	±0,3	0,1*	0,2	Обработка хонингованием, калибрование после расточки, электрополирование
		св.180до500	св.12до50	IT 3	IV	2	±0,5	0,1*	0,5	
		св.120до360	св.5до20	IT 3	V	3	±0,5	0,1*	0,5	
		св.50до180	до 8	IT 4	VI	4	±0,5	0,1*	0,5	
		св.10до80	до 3	IT 5	VII	5	±0,5	0,1*	0,5	
		св.3до18	-	IT 6	VIII	-	±1,5	0,2	1,0	
		св.1до6	-	IT 6	IX	-	±3,0	0,5	3,0	
	0,32	св.180до500	св120до500	IT 3	VI	1	±0,5	0,1*	0,2	Тонкое алмазное точение, тонкое развертывание, тонкое шлифование, суперфинишная обработка плоскостей
		св.80до360	св50до200	IT 3	VII	2	±0,5	0,1*	0,2	
		св.18до120	св20до80	IT 4	VIII	3	±0,5	0,1*	0,2	
		св.6 до 50	св.8до32	IT 4	IX	4	±2,0	0,2	1,0	
		св.1до10	св.3до12	IT 5	X	5	±3,0	0,5	3,0	
		св.1до3	до 6	IT 5	XI	-	±3,0	0,5	3,0	
	0,5	св.360до500	св200до500	IT 3	VII	2	±0,5	0,1*	0,2	
		св.120до500	св80до200	IT 3	VIII	3	±0,5	0,1*	0,2	
		св.50до360	св.32до120	IT 5	IX	4	±1,0	0,1*	0,5	
		св.10до80	св.12до50	IT 6	X	5	±2,0	0,2	2,0	
		св.3до18	св.5до20	IT 6	XI	-	±3,0	0,5	3,0	
		св.1до10	до 8	IT 6	XII	-	±4,0	0,5	3,0	
	0,8	св.360до500	св200до500	IT 5	IX	3	±1,0	0,1*	0,5	Средняя доводка, чистовое и тонкое шлифование
		св.80до360	св120до320	IT 5	X	4	±1,0	0,1*	0,5	
		св.18до80	св.50до120	IT 6	XI	5	±1,0	0,1*	0,5	
		св.10до50	св.20до50	IT 6	XII	-	±3,0	0,5	2,0	
		св.1до10	св.8до20	IT 6	XIII	-	±4,0	0,5	3,0	
		св.1до6	до 3	IT 8	XIV	-	±4,0	0,5	3,0	

1.*-Обеспечивается при расположении оператора вне рабочего пространства

2. Квалитеты обработки указаны ориентировочно, т.к. класс шероховатости не всегда соответствует классу точности обработки.

3.6 Классификация средств измерений и контроля по определяющим признакам

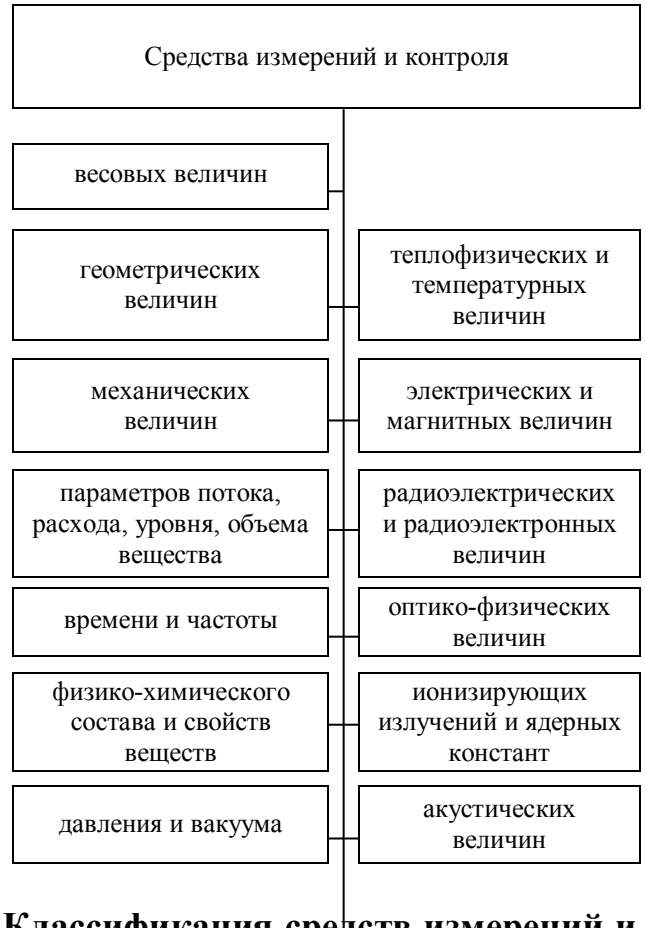


Схема 3.1 – Классификация средств измерений и контроля по типу физических величин



Схема 3.2 – Классификация средств измерений и контроля по виду измеряемых геометрических величин

Средства измерений и контроля, применяемые в машиностроении, классифицируются по различным признакам:

- по типу и виду контролируемых физических величин;
- по назначению – универсальные и специальные;

- число проверяемых параметров при одной установке объекта измерения – одномерные и многомерные;

- по степени механизации и автоматизации процесса измерений ручного действия – механизированные, полуавтоматические, автоматические.

Классификация средств измерений и контроля по типу контролируемых физических величин в соответствии с МИ 2222-92 представлена на схеме 3.1, а по виду контролируемых физических величин – на схеме 3.2.

Универсальные измерительные инструменты и приборы нашли широкое применение в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также для определения численных величин и отклонений от правильной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей (при отсутствии специальных приспособлений), при наладке станков, при особо ответственных измерений во всех видах производств, включая массовое и крупносерийное.

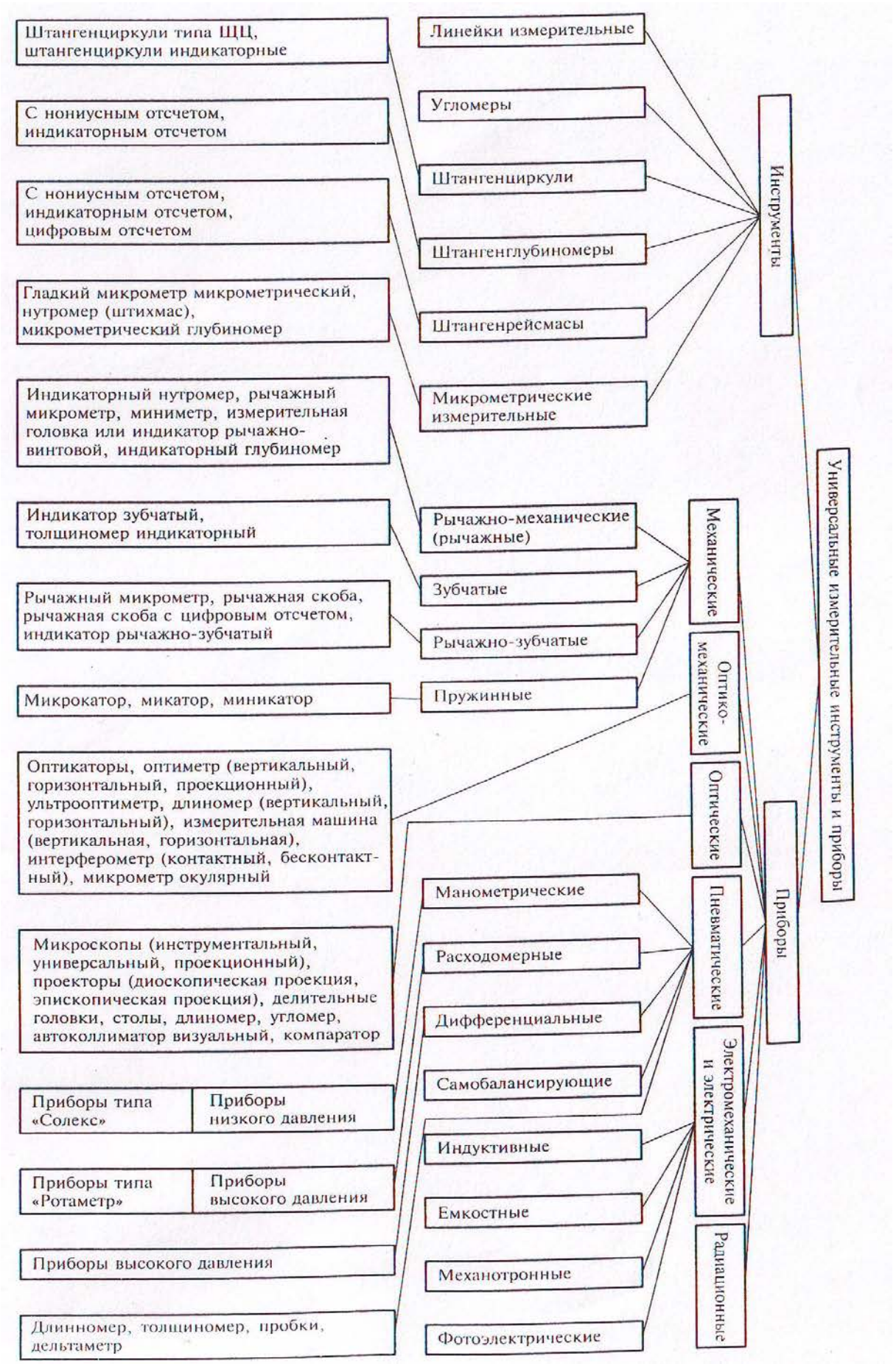


Схема 3.3 – Универсальные измерительные инструменты и приборы

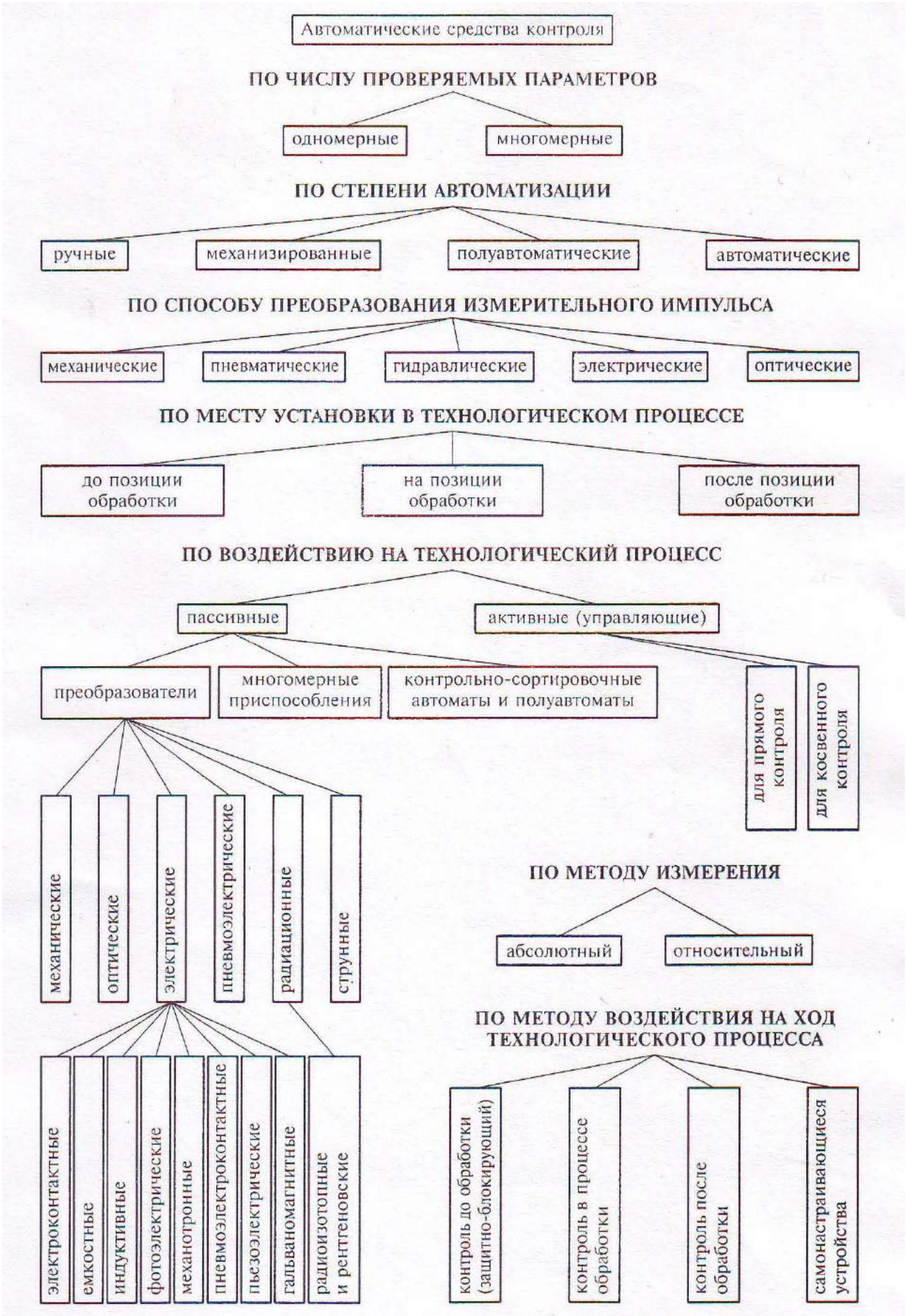


Схема 3.4 – Автоматические средства контроля

Согласно кодификатору групп средств измерений МИ2314-2006 все средства измерений, вошедшие в Госреестр Госстандарта РФ, делятся на 12 областей измерений.

В машиностроении наиболее применяемые следующие:

- измерения геометрических величин (линейно-угловые измерения);
- измерения массы;
- измерения расхода и количества жидкости;
- измерение давления;
- измерение физико-химических величин (анализаторы, вискозиметры, влагомеры, газоанализаторы, pH-метры и другие);
- измерение температурных и теплотехнических величин;
- измерение времени и частоты;
- измерение электрических величин;

Измерение радиотехнических величин (генераторы частоты, вольтметры, амперметры, приборы активного контроля, осциллографы и др.).

Другие области измерений имеют редкое применение в машиностроении (акустические приборы, оптико-физических и оптических величин, приборы медицинского применения).

По данным журнала "Главный метролог" №3 за 2011 г. в Российской Федерации в эксплуатации находится свыше 1 миллиарда средств измерений.

3.7 Методы измерения физических величин

Методы выполнения измерений делятся на **абсолютные** и **относительные методы измерения.**

Измерение штангенциркулем – абсолютный метод измерений.

Измерение нутромером индикаторным – относительный метод.

Метод измерения, при котором получаем фактический размер – **абсолютный** метод измерения.

Метод измерения, при котором действительный размер получают относительно настраиваемой меры – **относительный.**

Измерения могут быть **прямые** и **косвенные.**

Прямые – когда сразу получают измеряемый результат.

Косвенный – когда по определенным замерам, путём вычислений получают искомый результат.

Например, измерение диаметра путём определения длины хорды или измерение длины окружности и т. д.

Однократные измерения – измерения, выполняемые один раз.

Многократные измерения – измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящих из ряда однократных измерений.

Статическое измерение – измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Динамическое измерение – измерение изменяющейся по размеру физической величины.

Абсолютное измерение – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

Относительное измерение – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.

Косвенное измерение – определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

Отсчет показаний средства измерения – фиксация значения величины или числа по показывающему устройству средства измерения в заданный момент времени.

Измерительный сигнал – сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине.

Объект измерения – тело (физическая система, процесс, явление и т.д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.

Область измерений – совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификацией. Выделяют ряд областей измерений: механические, магнитные, акустические, ионизирующих излучений и др.

Вид измерения – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

Подвид измерения – часть вида измерения, выделяющаяся особенностями измерений однородной величины (по диапазону, по размеру величины и др.) Например, при измерении длин выделяют измерения больших длин или измерения сверхмалых длин.

Контроль – частный случай измерения, при котором устанавливается соответствие физической величины допускаемым предельным значениям.

В машиностроительном производстве мы имеем дело с техническими измерениями, под которыми обычно принято понимать измерения линейных и угловых размеров по стандартизированным методикам измерения с допускаемой погрешностью. В машиностроении такие измерения составляют 90-95% всех выполняемых измерений.

Цель технических измерений в машиностроении – обслуживание технологических процессов во всей их совокупности для обеспечения качества продукции и повышения производительности труда.

Основные области применения технических измерений:

- приемочный контроль;

- послеоперационный контроль;
- активный контроль;
- статическое управление качеством производства;
- поверочные и калибровочные операции;
- допусковый контроль – контроль при котором устанавливают находится ли значение, характеризующее свойство контролируемого объекта, между двумя заданными границами или выходит за одну из границ.

Кроме контроля геометрических параметров существует контроль качественных характеристик;

- контроль дефектов наружной поверхности (контроль изъянов);
- контроль внутренних пороков металла (трещин, раковин) и др.

Комплексный контроль – контроль при котором оценивается качество продукции по суммарной погрешности нескольких характеристик свойств продукции.

Приложение 3.3

Наивысшие по точности квалитеты допусков, измеряемых средствами измерений с учетом погрешностей их измерений

Средство измерений	Цена деления, мм	Диапазон размеров изделий, мм							
		от 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 500
Измерение наружных линейных размеров									
Штангенциркуль	0,1	17	16	16	15	15	14	14	14
	0,5	16	15	15	14	13	13	12	12
Микрометр гладкий	0,01	9	9	8	8	9	9	9	9
Микрометр рычажный	0,002	9	8	7	7	8	8	9	9
Скоба индикаторная	0,01	12	11	11	9	10	10	10	9
рычажная	0,002	9	8	7	6	6	7		
Инструментальный микроскоп	0,005	9	9	8	7	7			
Измерение размеров измерительными головками в стойках и штативах									
Индикатор часового типа	0,01	12	12	12	11	10	9	9	9
	0,002	11	10	10	9	8	7	7	6
многооборотный	0,002	9	8	7	6	6	5		
Рычажно-зубчатая головка	0,001	9	8	7	6	6	5	5	
	0,01	7	6	5	5	5	5	5	

Пружинная головка	0,005	9	9	8	7	6	5		
	0,002	8	7	6	5	5	5		
		5	5	5	5	5	5		
Измерение внутренних линейных размеров									
Штангенциркуль	0,1	17	17	16	15	15	15	15	15
	0,05	17	16	16	14	14	14	14	14
Нутрометр: микрометрический индикаторный	0,01					9	9	9	9
	0,01	12	11	11	11	10	9	9	9
	0,02	9	8	7	7	7	7	7	7
повышенной точности	0,001	8	7	7-6	6	6	6	6	
Инструментальный микроскоп	0,005	10	10	9	9	8	7	7	
Пневматический длиномер	0,0005			8	7	6			

Приложение 3.4

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Наименование средств измерения	Цена деления мм	Диапазон измерений мм		Допустимая погрешность мм
Микрометры: гладкий МК ГОСТ 6507-78	0,01	0-300 через 25мм 300-600 через 100 мм		±0,002-0,006 1 кл ±0,004-0,010 2 кл
Гладкий с цифровым отсчетным устройством мод. 123	0,001*	0-100 через 25 мм		0,003-0,004
Ручной с числовым растровым устройством мод. 123	0,001*	0-25 мм		±0,002
Настольный с цифровым растровым отсчетным устройством мод 19005	0,001*	0-10 мм		±0,002
Рычажной МР ГОСТ 4381-80	0,002	0-100 через 25 мм		±0,001-0,002
Рычажной МРЛ по ТУ 2-034-207-83	0,001	0-100 через 25 мм		±0,007-0,014
Рычажной МРИ ГОСТ 4381-80	0,002	0-300 через 50 мм 300-400; 400-500		±0,004-0,007
	0,01	300-60 через 100 мм 600-1000 через 100 мм		±0,007-0,010 ±0,012-0,018
Резьбовой МВМ ГОСТ 4380-86	0,01	0-350 через 25 мм		±0,010-0,035
Резьбовой МВТ ГОСТ 4380-86	0,01	0-20;20-435 через 25 мм		±0,010-±0,035
Глубиномер ГОСТ 7470-78 микрометрический	0,01	0-100 со сменными стержнями		±0,002-0,004 1 кл ±0,004-0,006 2 кл
Нутрометр микрометрический ГОСТ 10-75	0,01	НМ 75	50-75	±0,004
		НМ 175	75-175	±0,006
		НМ 600	75-600	±0,015
		НМ 1250	150-1250	±0,02
		НМ 2500	600-2500	±0,04
Скобы: Рычажная СРП ТУ 2-044-366-82	0,001	0-100 через 25 мм отсчетное устройство 0,14		±0,0007*1-0,0014
Рычажная СР ГОСТ 11098-75	0,002	0-150 через 25 мм отсчетное устройство 0,28		±0,001*1-0,002
Индикаторная СИ ГОСТ 11098-75	0,01	0-50: 50-100 мм	Отчетное устройство 3 мм.	±0,005-0,007*2
		100-500 через 100		±0,008-0,015
		500-600		±0,015
		600-700		±0,020
		700-850;850-1000	5	
Штангенинструменты: Штангенциркуль ШЦ-I ГОСТ 166-80	0,05; 0,1	0-160; 0-125		0,05; 0,1
	0,05	0-250; 0-320		0,1
Штангенциркуль ШЦ-II ГОСТ 166-80	0,1	0-320		0,1
Штангенциркуль ШЦ-III ГОСТ 166-80	0,1	0-400; 250-630; 320-1000		До 400 ±0,1
		500-1600; 800-2000		с 500 до 1000 + 0,21
		1500-3000; 2000-4000		до 2000 ± 0,27
				с 2000± 0,3...0,33
Штангенрейсмасс ШР ГОСТ 164-80	0,05	0-250; 40-400		0,05
	0,05; 0,1	60-630; 100-1000		0,1
	0,1	600-1600; 1500-2500		0,15, 0,2
Штангенглубиномер ШГ-160; ШГ-250; ШГ-400 ГОСТ 162-80	0,05	0-160; 0-250; 0-400		с плитой 2-го класса – 0,2 мм, с плитой 3-го класса – 0,24 мм

- дискретность отсчета

*1 - на участке ±10 делений

*2 - на нормируемом участке 0,1 мм

Контрольные вопросы

1. Какие параметры характеризуют точность измерения объектов?
2. Что относится к средствам измерительной техники?
3. Какие вы знаете методы измерений?
4. Назовите и охарактеризуйте основные условия выполнения измерений.
5. По каким признакам классифицируются средства измерений и контроля для геометрических измерений?
6. Классификация универсального измерительного инструмента и приборов для линейно-угловых измерений.
7. Классификация автоматических средств измерения.
8. Какие вы знаете методы измерения физических величин?

Глава 4. Понятие метрологического обеспечения машиностроительных производств

Основные метрологические понятия и определения

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств (ГОСТ 16263-70). Под измерением понимают опыт, в результате которого получают количественную характеристику свойств объекта, явления или процесса с погрешностью, не превышающей допустимую.

Измерения, отнесенные к линейным и угловым величинам, называют **техническим измерением.**

Измерения классифицируют:

- по характеристике точности - равноточные, неравноточные;
- по числу измерений в серии - однократные, многократные;
- по отношению к изменению измеряемой величины - статические, динамические;
- по метрологическому назначению - технические, метрологические;
- по выражению результата - абсолютные, относительные;
- по общим приемам получения результатов измерении - прямые, косвенные, совместные, совокупные.

Равноточные измерения - ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях.

Неравноточные измерения - ряд измерений какой-либо величины, выполненных различными по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

Однократное измерение - измерение, выполненное один раз. В ряде случаев, когда нужна большая уверенность в получаемом результате, одного измерения оказывается недостаточно, тогда выполняются два, три и более измерений одной и той же конкретной величины. В таких случаях допускаются выражения: «двукратное измерение», «трехкратное измерение» и т. д.

Многократное измерение - измерение одной и той же физической величины, результат которого получают из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. измерение, состоящее из ряда однократных измерений.

С какого числа измерений можно считать измерение многократным? Строгого ответа на этот вопрос нет. Однако известно, что при числе отдельных измерении $n > 4$, ряд измерений может быть обработан в соответствии с требованиями математической статистики. Следовательно, при четырех измерениях и более измерение можно считать многократным. За результат многократного измерения обычно принимают среднее арифметическое значение из результатов однократных измерений, входящих в ряд.

Статическое измерение - измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения. Например, измерение длины детали при

нормальной температуре.

Динамическое измерение - измерение физической величины, размер которой изменяется с течением времени. Быстрое изменение размера измеряемой величины требует ее измерения с точной фиксацией момента времени. Например, измерение вращающиеся детали в процессе ее обработки на станке.

Технические измерения - измерения при помощи рабочих средств измерений. Технические измерения выполняются с целью контроля и управления научными экспериментами, контроля параметров изделий, технологических процессов и т. д.

Метрологические измерения - измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин или передачи их размера рабочим средствам измерений. Например, при поверке штриховых мер длины на поверочной установке с помощью образцовой меры. Эти измерения проводятся с метрологической целью, т. е. являются метрологическими.

Абсолютное измерение - измерение, приводящее к значению измеряемой величины, выраженному в ее единицах. Например, при измерении длины детали микрометром результат измерения выражается в единицах измеряемых величин (в миллиметрах).

Относительное измерение - измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Прямое измерение - измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно по показаниям прибора. Формула прямого измерения:

$$X = n[x],$$

где *X* — искомая физическая величина;

[X] - единица физической величины; *n* - значение физической величины.

Косвенное измерение - измерение, при котором значение физической величины определяют на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой. Формула косвенных измерений:

$$y = f(x_1;x_2;...;x_n),$$

где *y* - искомая физическая величина;

*X], X2, ... x*п- величины, подвергаемые прямым измерениям.

Точность косвенных измерений зависит от точности прямых измерений и точности используемой зависимости.

Например, при измерении наружных размеров большого диаметра применяют косвенное измерение по схеме, изображенной на рис. 4.1.

$$D = \frac{S^2}{h} + h$$

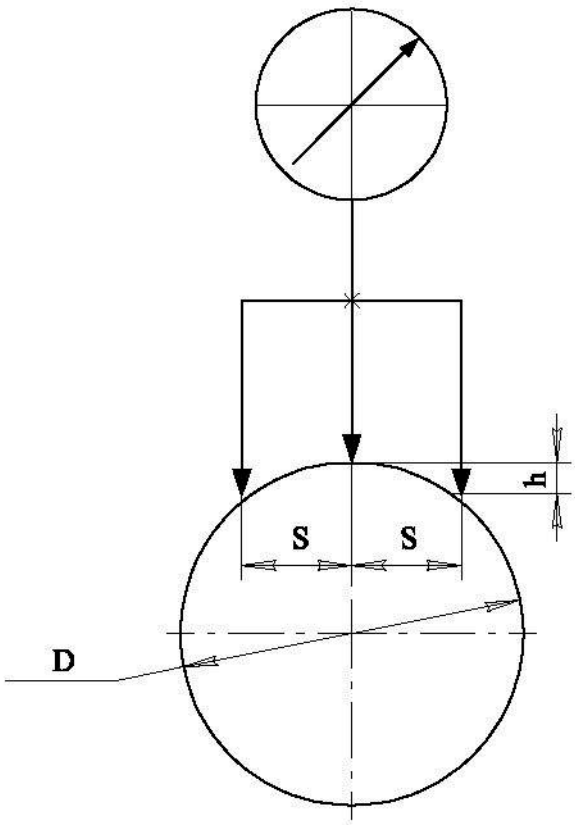
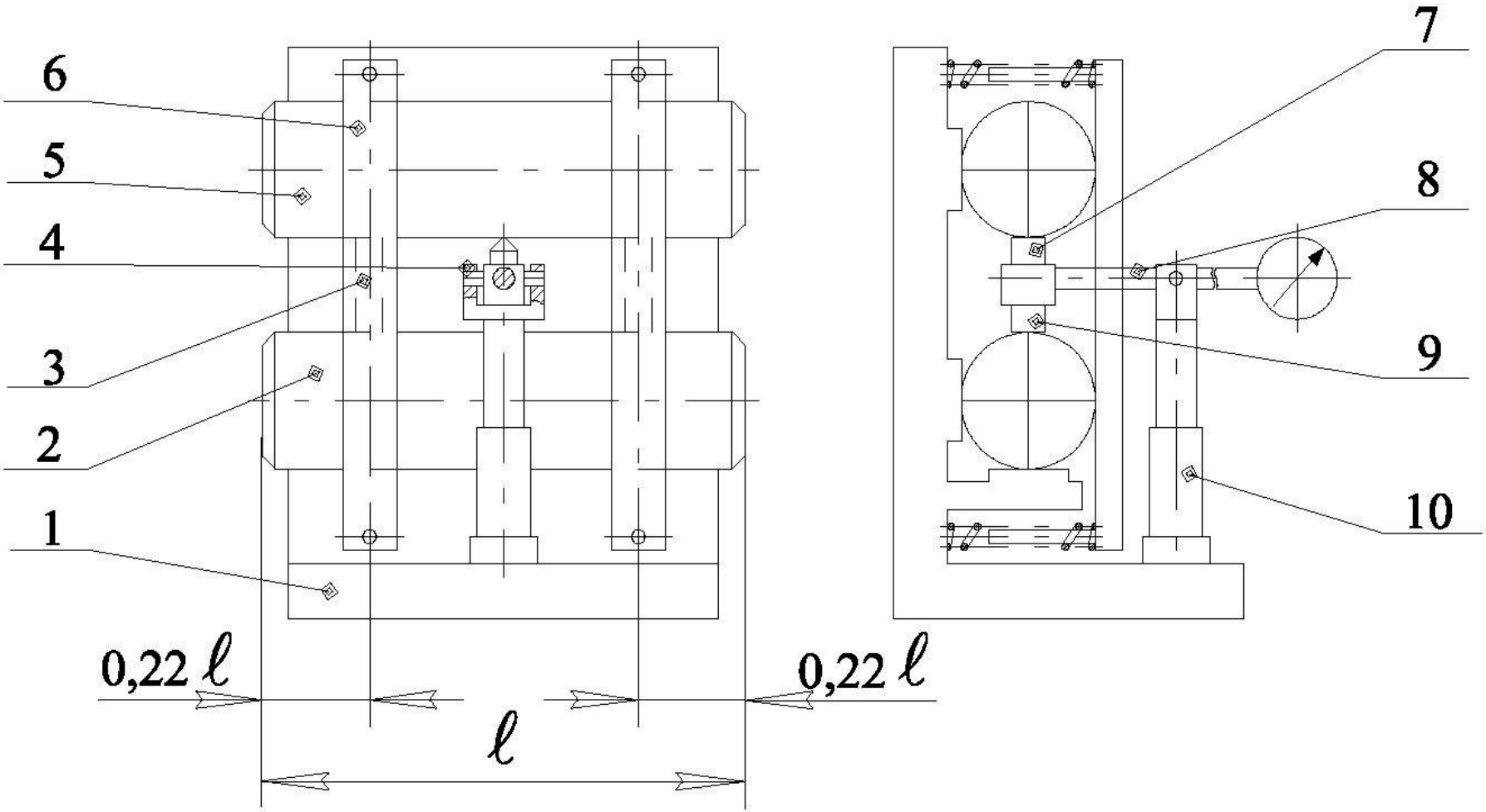


Рис. 4.1. Схема косвенного измерения диаметра

Совокупные измерения - измерения нескольких однородных величин в различных их сочетаниях, значения которых определяют путем решения системы уравнений. Например, измерение отклонений от прямолинейности образующих тел вращения (рис. 4.2). На измеряемую деталь 2 устанавливают 2 одинаковые плоскопараллельные концевые меры длины 3 на расстоянии от торцов, равном 0,22*l*, где *l* - общая длина измеряемой детали. На них устанавливают вторую измеряемую деталь 5. Обе детали удерживаются в вертикальном положении двумя подпружиненными планками 6, что обеспечивает постоянный контакт измеряемых деталей с вертикальной поверхностью корпуса 1.

Отклонения от расстояния между измеряемыми деталями, равного размеру плоскопараллельных концевых мер длины 3, определяются с помощью трех индикаторных нутромеров с ценой деления регистрирующих средств 0,001 мм, установленных в центрах 4 стоек 10. Оба контакта, подвижный 7 и неподвижный 9, имеют ножевидную форму.

Перед измерением все три индикаторные нутромеры 8 настраивают на размер, равный размеру плоскопараллельных концевых мер длины. Затем определяют отклонения от заданного размера в трех поперечных сечениях по середине и по краям деталей, так как наибольшее распространение имеют отклонения формы от прямолинейности в виде выпуклости и вогнутости.



4.2 Схема совокупного измерения

Для определения отклонений от прямолинейности необходимо измерить три валика *X,* 7 *и Z* и составить три уравнения. В уравнения вводят максимальные отклонения, полученные при измерении всех валиков. Например: *X*+*Y*= - 3 мкм; *X* + *Z* = 5 мкм; 7 + Z = - 6 мкм. После соответствующих вычислений получим: *X*= 4 мкм; 7= -7 мкм; Z = 1 мкм. Следовательно, наименьшее отклонение от прямолинейности имеет третий валик.

Таким образом, по трем деталям можно легко определить действительные отклонения от прямолинейности их образующих без применения дорогостоящих высокоточных аттестованных деталей-образцов. Аналогично можно определить отклонения от прямолинейности плоских, конических и других деталей.

Совместные измерения - одновременные измерения двух или нескольких неоднородных величин для установления зависимости между ними. Например, на основании ряда одновременных измерений отклонений диаметра шейки вала *Ad* и параметра шероховатости *Ra* после тонкого точения определяют статистическую связь *Ad= k-Rz,* где *к* - угловой коэффициент.

Контроль - это совокупность экспериментальных операций, имеющих целью установление факта нахождения значения физической величины в пределах заданных границ или вне этих границ (при этом значения физической величины можно и не знать).

Технический контроль - проверка соответствия объекта, от которого зависит качество продукции, установленным техническим требованием. Технический контроль, осуществляемый с обязательным применением средств измерения, называют измерительным контролем.

Испытания - экспериментальное определение количественных и качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и воздействий. Разновидность испытания, проводимого для контроля качества объекта, называют контрольным испытанием.

Взаимосвязь технических измерений, контроля и испытаний поясняется кругами Эйлера, в приоритетных зонах которых сосредоточено их взаимодействие (рис. 4.3).

Единство измерений - такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Без единства измерений невозможно сопоставление результатов измерений, выполненных в разных местах, в разное время с использованием разных методов и средств измерений.

Точность измерений - качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Погрешность измерений - отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины:

$$\Delta X = X_{ш\,м} - X,$$

где $X_{изм}$ - значение, полученное при измерении;

X- истинное значение измеряемой величины.

На практике за истинное значение принимают значение измеряемой

величины, полученное на более точном приборе.

Средство измерений - техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

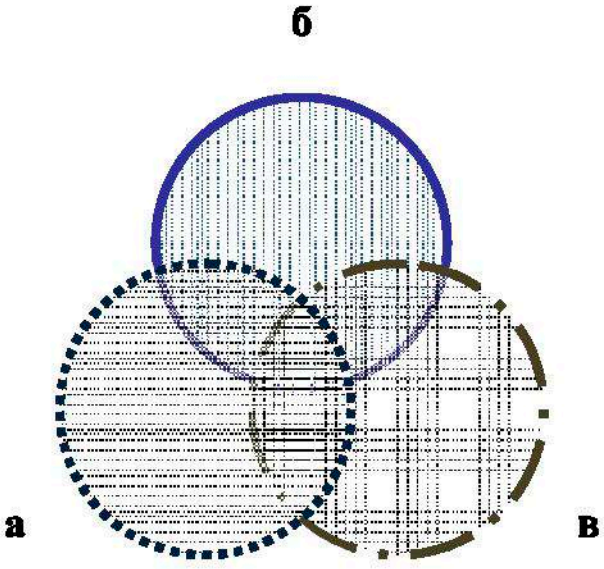


Рис. 2.3. Круги Эйлера:
а - технический контроль; б - технические измерения; в – испытания

4.2 Основные метрологические характеристики средств измерения

Важнейшими свойствами средств измерений являются те, от которых зависит качество (точность) получаемой с их помощью измерительной информации. Эти свойства определяются метрологическими характеристиками средств измерений. Метрологические характеристики относятся к показателям функциональным и технической эффективности средств измерений. Это важнейшие показатели. Их перечень составляется применительно к каждой группе средств измерений.

Перечни метрологических характеристик, как показывает анализ, различаются весьма существенно. Это объясняется, прежде всего, разнообразием видов и типов средств измерений, а также различным подходом разработчиков к нормированию.

ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» устанавливает четкие критерии выбора нормируемых метрологических характеристик.

Метрологические характеристики средств измерений — это характеристики, оказывающие влияние на результаты измерений (номинальное значение меры, номинальная функция преобразования измерительного преобразователя, цена деления шкалы измерительного прибора и др.) и на погрешности измерений (характеристики систематической и случайной составляющих погрешности, чувствительности к влияющим величинам и др.). Нормирование метрологических характеристик, оказывающих влияние на

результаты измерений, не вызывает затруднений. Эти характеристики закладываются при проектировании средств измерений и затем указываются в нормативно-технической и эксплуатационной документации. Они, как правило, не нуждаются в контроле, - контролируются отклонения действительных значений (функций) от номинальных, определяющие погрешности измерений.

Нормирование метрологических характеристик, влияющих на погрешности измерений, в настоящее время является весьма сложным.

Различают **номинальные** метрологические характеристики, указываемые в нормативно-технической документации, и **действительные,** устанавливаемые экспериментальные. Характеристики могут быть **статическими,** определяющими показатели точности в статическом или в установившемся режиме работы и **динамическими,** определяющими изменение выходного измерительного сигнала во времени.

Метрологические характеристики средств измерений задаются для нормальных и рабочих условий, регламентируемых ГОСТ 8.050-73.

Основные метрологические характеристики средств измерений приведены ниже.

Цена деления шкалы - разность значений измеряемой величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Длина деления шкалы - расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы. В измерительных приборах величина длины деления шкалы обычно составляет 1...2,5 мм.

Шкала средств измерения имеет **начальное** и **конечное** значения. Они соответствуют наименьшему и наибольшему значениям измеряемой величины, которые могут быть подсчитаны по шкале средства измерения.

Градуировочная характеристика средства измерений (функция преобразования) - зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений, составленная в виде таблицы, графика или формулы. Функция преобразования описывает статические свойства преобразователя и в общем случае записывается в виде:

$$y = f(x, r_i)$$

В подавляющем большинстве случаев стремятся иметь линейную функцию преобразования. Функция преобразования идеального измерительного прибора при отсутствии помех описывается уравнением

$$y = kx.$$

Она линейна, безынерционна, стабильна и проходит через начало координат. Реальная передаточная функция в статическом режиме имеет вид:

$$y = (k(1 + \gamma)x + \Delta_0 + \Delta[f(x)].$$

Действительная функция может отличаться от желаемой смещением нуля*,* наклоном *y* и нелинейной составляющей*.* Такие отклонения действительной функции измерительного прибора приводят к возникновению адди-

тивной, мультипликативной и нелинейной составляющих погрешности измерения.

Функцию преобразования рассматривают обычно в трех аспектах:

- номинальная (желаемая) функция преобразования. При равномерной шкале прибора номинальная функция преобразования - прямая;
- функция преобразования, обусловленная схемой измерительного прибора;
- действительная функция преобразования, учитывающая погрешности изготовления и сборки измерительного прибора.

Различие между приведенными выше функциями преобразования рассмотрим на примере рычажного измерительного прибора, представленного на рис. 4.4.

Из рисунка 4.4 следует:

$$x = r1 \sin a$$

$$a = arcsin(x/r1)$$

$$l = r2\, arcsin\,(x/r1)$$

где ***x*** - измеряемая величина (входной сигнал);

a - величина угла поворота рычага при изменении входного сигнала; r_1, r_2 - плечи рычага;

l - выходной сигнал.

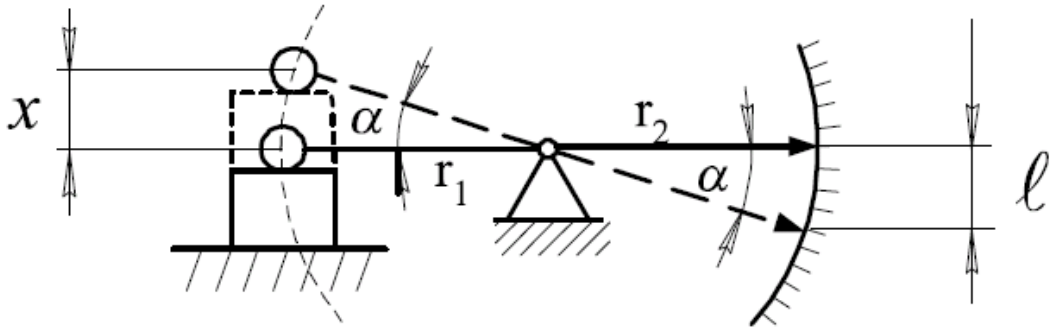


Рис. 4.4. Схема рычажного измерительного прибора

Различные функции преобразования рычажного измерительного прибора представлены на рис. 4.5.

Чувствительность измерительного прибора - отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Различают абсолютную и относительную чувствительность. Абсолютная чувствительность определяется формулой (см. рис. 4.6).

$$S = \Delta 1/\Delta x.$$

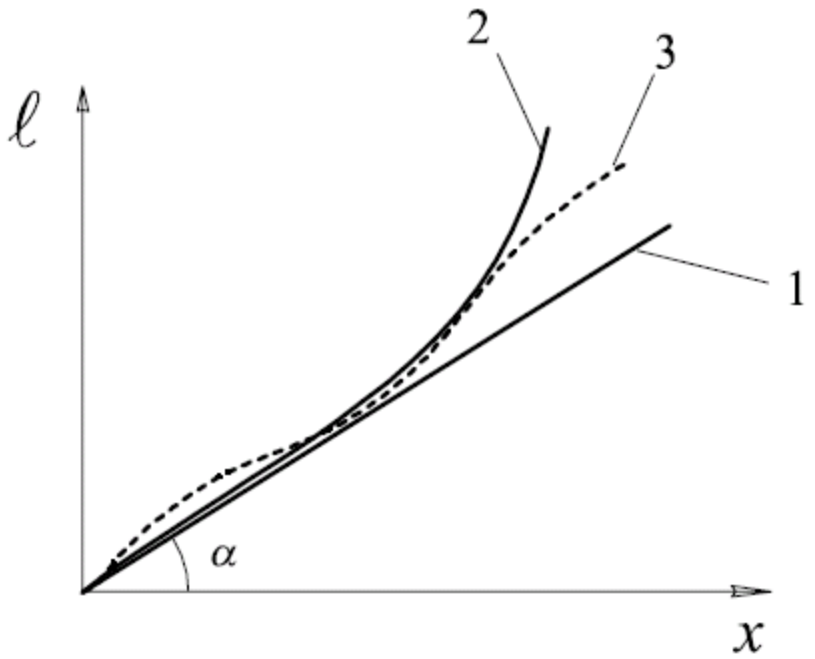


Рис. 4.5. Функции преобразования: 1 - номинальная, 2 - обусловленная схемой, 3 - действительная

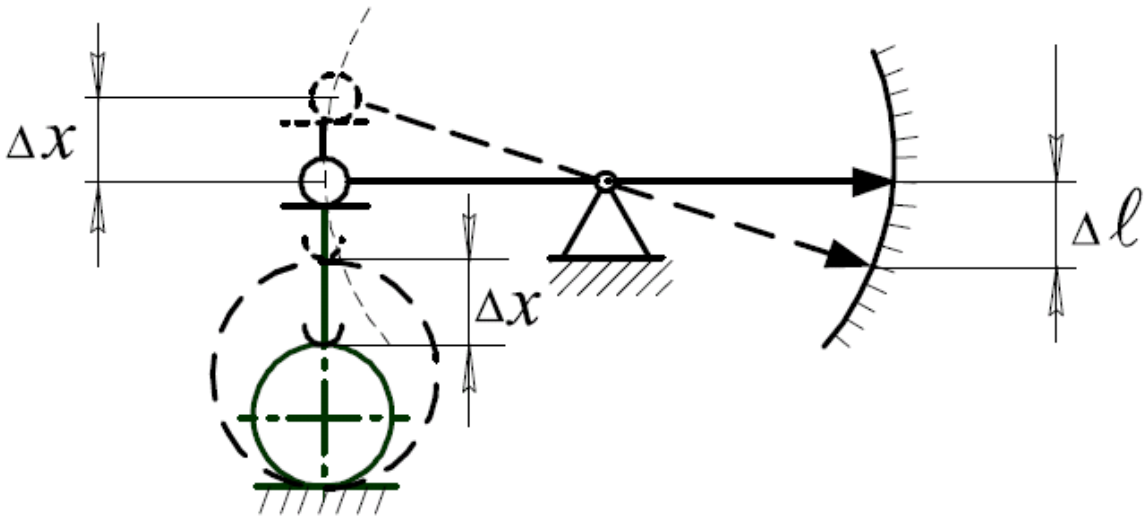


Рис. 4.6. Схема измерения размеров деталей.

Относительная чувствительность определяется формулой:

$$S0 = \Delta l/(\Delta x/x),$$

где **Δ*l*** - изменение сигнала на выходе; ***x*** - измеряемая величина; **Δ*x*** - изменение измеряемой величины.

Абсолютная чувствительность может быть выражена как $S = tga$, где ***a*** - угол наклона номинальной функции преобразования (см. рис. 4.9).

Чувствительность средств измерений должна быть постоянной для всего диапазона измерений (функция преобразования при этом - линейная).

Порог чувствительности (разрешающая способность) - наименьшее изменение входной величины, вызывающее изменение выходного сигнала.

Диапазон измерений - область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.

Предел измерений - наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Смещение уровня настройки - погрешность, равная разности уровней за установленное время работы средства измерения. Под **уровнем настройки** понимается значение выходного сигнала, соответствующее значению измеряемой величины, по которому производилась настройка.

Некоторые средства измерений обладают **вариацией показаний,** под которой понимается разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней со стороны меньших и больших значений измеряемой величины.

Характеристики погрешностей средств измерений - характеристики систематической и случайной составляющих погрешностей и случайной составляющей погрешности от гистерезиса, либо характеристики погрешности средств измерений (если нецелесообразно разделение на составляющие).

Нормируемыми характеристиками систематической составляющей Δs погрешности являются ее предельные значения Δsp с математическим ожиданием $M[\Delta s]$ и средним квадратическим отклонением $\sigma\,[\Delta s]$ распределения Δ_s по совокупности средств измерений данного типа. $M[\Delta_s]$ и $\sigma\,[\Delta s]$ указывают для средств измерений, выпускаемых партиями, если их можно использовать для оценки погрешности измерений (т. е. если можно пренебречь изменениями этих характеристик в зависимости от времени и влияющих величин или возможно их нормирование в виде функций времени и условий применения). В остальных случаях нормируют только пределы Δsp. Их определяют, как границы интервала, в котором значение Δs всех средств измерений данного типа должно иметь вероятность P, равную 1. Вероятность $P = 1$ не контролируется, но по условию $|\Delta s| \leq |\Delta sp|$ производится отбраковка неисправных средств измерений при приемосдаточном контроле и поверке. На практике Δsp удобно устанавливать, задаваясь каким-либо значением вероятности P, близким к 1. Например, если известно, что распределение Δ_s вновь изготовленных средств измерений подчиняется нормальному закону, то, задаваясь $P = 0{,}997$, можно установить границы

$$\Delta sp = M[\Delta s] \pm 3\sigma\,[\Delta s]$$

Нормируемой характеристикой случайной составляющей Δ погрешности средств измерений является предел $\sigma_p[\Delta]$ допускаемых значений среднего квадратического отклонения $\sigma[\Delta]$.

Если средство измерений предназначено для работы в условиях, при которых необходимо учитывать корреляцию случайной погрешности во времени, дополнительно может нормироваться нормализованная автокорреляционная функция $r\Delta\,(\omega)$.

Нормируемой характеристикой случайной составляющей $\Delta_н$ погрешности от гистерезиса является предел (без указания знака) вариации H_p выходного сигнала или показания средства измерений.

Характеристикой погрешности средств измерений (при нормальных или рабочих условиях измерений) является значение погрешности. При ее нормировании устанавливают пределы (положительный и отрицательный) Δ_p допускаемой погрешности и предел H_p допускаемой вариации.

Нормирование пределов Δ_p допускаемой погрешности средств измерений без указания составляющих погрешности - наиболее простой и удобный для контроля способ нормирования. Однако его применяют не всегда. Согласно ГОСТ 8.009 - 84 это допустимо:

• если среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности в каждой точке диапазона измерений не превышает установленной доли предела допускаемой погрешности

$$\sigma[\Delta] \leq (\Delta p * qmax)/100,$$

• если средство измерении не предназначено для совместного применения с другими средствами измерений и его погрешность в рабочих условиях применения практически полностью может быть определена нормированными границами (верхней $\Delta_в$ и нижней $\Delta_н$), соответствующими нормальным условиям.

Например, для штриховых мер длины, обладающих незначительной случайной погрешностью, нормируют предел допускаемой основной погрешности Δp. Силоизмерительные машины, напротив, характеризуются существенной случайной погрешностью. Поэтому для них требуется раздельное нормирование систематической и случайной погрешностей.

Метрологические характеристики конкретных средств измерений в определенный момент времени постоянны. Но с течением времени они изменяются из-за износа средств измерений, их старения, разрегулировки отдельных элементов, а по совокупности средств измерений данного типа они являются случайными вследствие разброса параметров технологического процесса изготовления средств измерений и условий их эксплуатации. Поэтому при нормировании метрологических характеристик необходимо предусматривать возможность оценки соответствия конкретного средства измерений установленным нормам, а также оценки предельной погрешности при использовании этого средства измерений (для этой цели лучше всего подходит предел допускаемых значений метрологической характеристики). Кроме того, должна быть предусмотрена возможность определения вероятностных характеристик распределения погрешности результата измерений, проводимых любым средством измерений данного типа (для этой цели подходят математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение значений метрологической характеристики по совокупности средств измерений данного типа, как пригодные для статистического суммирования).

Рассмотренные выше характеристики являются метрологическими. Кроме них существует большая группа характеристик, называемых **неметрологическими.** К ним относятся показатели надежности, устойчивости к климатическим и механическим воздействиям, время установления рабочего режима, напряжение питания, потребляемая мощность и др.

4.4. Метрологическое обеспечение действующего производства

Метрологическое обеспечение производства должно быть в полной мере осуществлено при его подготовке. Поэтому, в процессе непосредственного производства, работы по метрологическому обеспечению сводятся к использованию разработанных в процессе подготовки производства нормативных и методических материалов и приобретенных, или вновь изготовленных, средств измерений.

Если вся работа по метрологическому обеспечению преследует цель обеспечения единства измерений, то в процессе производства, т.е. в процессе использования средств измерений и других нормативных материалов, цель метрологического обеспечения заключается в обеспечении единства мер и средств измерений.

Основным содержанием этих работ является поверка средств измерений или их калибровка, а также метрологический контроль и надзор с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм.

4.4.1. ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Содержание работ выражаемых терминами «поверка» и «калибровка», в принципе, характеризуют одну и ту же деятельность, только проводится она специалистами разных ведомств и организаций.

Поверка средств измерений

Поверка средств измерений - совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

Из приведенного определения следует, что поверка средств измерений осуществляется специалистами государственной метрологической службы. Поскольку это не единственная работа, которую проводит государственная метрологическая служба, то целесообразно в этом месте полностью изложить сферы деятельности проводимых физическими и юридическими лицами, когда наблюдение за соблюдением установленных метрологических правил осуществляется со стороны государства. Эта сфера деятельности установлена в законе «Об обеспечении единства измерений» (статья 13).

Государственный метрологический контроль и надзор, осуществляемые с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм, распространяются на:

- здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов и устройств;
- государственные учетные операции;

- обеспечение обороны государства;
- геодезические и гидрометеорологические работы;
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;
- обязательную сертификацию продукции и услуг;
- измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации;
- регистрацию национальных и международных спортивных рекордов.

Республики в составе Российской Федерации, автономные области, округа и т.д. могут устанавливать метрологический контроль и надзор и в отношении других сфер деятельности. Наблюдение государственными организациями в отношении выполнения метрологических правил в перечисленных сферах деятельности не исчерпывается только поверкой применяемых средств измерений.

В перечисленных сферах деятельности должны применяться только приборы прошедшие испытания и утвержденные как тип.

Поверка средств измерений со стороны представителей государства производится только в отношении средств, применяемых в перечисленных выше сферах деятельности. Может возникнуть ситуация, когда на заводе одни средства измерений одного вида поверяются представителями государства, а другие, такие же средства измерений, не поверяются государством, а поверяются представителями заводов.

Конкретный перечень средств измерений, который на данном производстве должен поверяться государственной метрологической службой составляют владельцы средств измерений и согласовывают их с территориальными органами государственной метрологической службы.

Поверка средств измерений по решению Госстандарта России может быть предоставлена и специализированным юридическим лицам.

Физические лица, производящие непосредственно поверку, должны быть аттестованы на право проводить такую поверку в отношении определенных средств измерений.

В случае годности поверяемого прибора на нем устанавливается специальное клеймо или выдается свидетельство о поверке.

Различают несколько видов поверки:

- первичная;
- периодическая;
- внеочередная;
- инспекционная;
- экспертизная.

Первичная поверка поводится при выпуске средств измерения после изготовления или ремонта, а также при ввозе по импорту. Эта поверка относится только к средствам измерений, утвержденным как тип и касается средств измерений, используемых в сферах деятельности, перечисленных выше. Таким образом, первичная поверка проводится с целью обеспечения соответствия, вводимых в действие средств измерений, утвержденному типу.

В отношении приборов ввозимых по импорту, поверка не производится, если имеется соглашение со страной-импортером о признании его результатов поверки. Первичной поверке обычно подвергается каждый экземпляр средства измерений, но для простейших средств измерений допускается выборочная поверка.

Периодическая поверка проводится через межповерочные интервалы, которые первоначально устанавливаются при испытании приборов при утверждении типа. Поверяется каждый экземпляр средства измерений. Место поверки выбирается пользователем средства измерений.

Внеочередная поверка производится в тех случаях, когда повреждено клеймо, удостоверяющее поверку, или утрачено свидетельство о поверке. Эта поверка может быть произведена и при вводе средства измерений в работу после хранения, если оно хранилось более одного поверочного интервала.

Инспекционная поверка проводится при общей поверке предприятия органами государственного метрологического надзора. Эта поверка должна производиться в присутствии хозяина прибора.

Экспертизная поверка осуществляется при возникновении споров между изготовителем и потребителем или приемщиком, по запросу прокуратуры, суда и т. д.

Для проведения поверки пользователями составляются графики периодичности поверки, которые согласовываются с организацией, производящей поверку.

До 1993 года этот вид деятельности назывался «обязательной государственной поверкой» и тоже относился к ограниченной номенклатуре средств измерения, правда, не совпадающей с применяемыми в сферах деятельности, перечисленных в начале этого раздела. Аналогичная деятельность, но проводимая пользователями приборов, раньше (до 1993 года) называлась «ведомственной поверкой», а теперь называется «калибровкой».

Таким образом, когда говорят о "поверке" средств измерений, то имеется в виду работа, проводимая государственной метрологической службой непосредственно или другой организацией по ее поручению.

6.1.2. Калибровка средств измерений

Калибровка средств измерений - совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средств измерений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору.

Таким образом, отличие калибровки от поверки заключается только в

том, что калибровку проводят специалисты того предприятия, где используются эти средства измерений. Калибровка не является обязательной и в законе «Об обеспечении единства измерений» указано, что средства измерений, не подлежащие поверке, могут подвергаться калибровке (а могут, и не подвергаться) при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при эксплуатации, прокате и продаже.

Результаты положительной калибровки удостоверяются калибровочным знаком непосредственно на средстве измерений или выдачей сертификата (свидетельства), а так же записью в эксплуатационной документации. Калибровка средства измерений производится метрологической службой юридических лиц, т. е. предприятий и организаций, где эти средства измерений применяются. При этом, должны использоваться эталоны, соподчиненные государственным эталонам единиц физических величин для обеспечения единства измерений.

Термин «эталон» с выходом закона «Об обеспечении единства измерений» применяется теперь в несколько измененном виде.

Эталон единицы величины - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных, либо дольных значений единицы величины) с целью передачи его размера другим средствам измерений данной величины.

Отдельно выделяется государственный эталон единицы величины - эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории Российской Федерации. Таким образом, термин «эталон» теперь употребляется в отношении средств измерений (меры и приборы), с помощью которых осуществляется поверка и калибровка средств измерений. Например, концевые меры, аттестованные на разряд, используются для поверки средств измерений и теперь должны называться эталонами. Раньше (до 1993 г.) такие меры и приборы назывались «образцовыми».

Если раньше, для того, чтобы производить ведомственную поверку предприятие должно было обязательно получить право на поверку от Госстандарта, то теперь такое право на калибровку получать не обязательно. Другими словами, калибровка, т. е. поверка средств измерений непосредственно потребителем, является делом добровольным и эти средства измерений не находятся под наблюдением и контролем государственной метрологической службы.

Однако, при желании, метрологические службы могут получить официально такое право, т. е. могут быть аккредитованы на право проведения калибровочных работ. Пользуясь полученным правом, организация может проводить калибровку для других пользователей средств измерении. Но не эта главная цель получения аккредитации на право продления калибровочных работ.

Из международной практики известно, что многие фирмы стремятся получить аккредитацию на право калибровки, хотя их никто к этому не обязывает, исходя из рекламных соображений. Аккредитация позволяет этим

фирмам разными способами информировать потребителей, что достоверность качества продукции гарантируется измерениями при помощи годных калиброванных средств измерений и эту калибровку осуществляет лаборатория, аккредитованная на эти работы уполномоченным на то авторитетным органом.

До выхода закона «Об обеспечении единства измерений» ведомственная поверка (теперь калибровка) являлась обязательной, если не производилась государственная поверка и Госстандарт принимал определенные санкции, если такая поверка не производилась, или нарушались сроки поверки, т. е. межповерочные интервалы. В условиях многоукладной экономики с разными формами собственности, с развитием рыночных отношений предприятиям предоставляется право, исходя из экономической целесообразности, самостоятельно решать вопрос о выборе форм и режима контроля состояния средств измерений, кроме тех, за которыми установлен государственный надзор.

Следует иметь в виду, что внедряемая у нас в стране сертификация продукции предполагает, что контроль качества продукции должен осуществляться с помощью средств измерений откалиброванных аккредитованной лабораторией. Требования в отношении аккредитации калибровочной лаборатории в полной мере соответствуют требованиям, закладываемым при разработке систем качества.

Кроме того, при развитых действительных рыночных отношениях, освободившись от государственного метрологического контроля, предприятия подпадают под контроль рынка и вынуждены следовать определенным метрологическим правилам и следить за состоянием точности используемых средств измерений.

В ряде стран с развитыми рыночными отношениями существуют негосударственные организации именуемые «национальные калибровочные службы», которые устанавливают и контролируют исполнение метрологических правил, связанных с калибровкой средств измерений, т. е. в отношении средств измерений, не попадающих в сферу государственного метрологического контроля.

В ближайшие годы у нас в стране предполагается создание Российской Системы Калибровки (РСК). Эта система будет образована на добровольной основе и включать в себя калибровочные лаборатории - органы РСК, научно-организационные центры РСК, национальные органы и национальные конференции РСК.

Главной целью создания РСК является организация и осуществление квалифицированного метрологического контроля (калибровки) средств измерений, не относящихся к сфере государственного метрологического контроля и надзора, на основе передачи им размера единиц физических величин от государственных эталонов.

Основными работами, проводимыми Российской Системой Калибровки являются:

- организация и осуществление аттестации органов РСК на право ак-

кредитации калибровочных лабораторий;

- организация и осуществление аккредитации калибровочных лабораторий на право калибровки средств измерений;
- координация разработок и разработка методик калибровки средств измерений;
- создание банка данных нормативно-технической документации по калибровочной деятельности;
- организация обмена опытом специалистов-метрологов, проведение консультаций, семинаров, конференций, школ по проблемам РСК;
- проведение мероприятий по подготовке и повышению квалификации кадров в области калибровочной деятельности;
- участие в международных соглашениях в области калибровки средств измерений и организации калибровочных служб;
- заключение договоров о взаимном признании национальных систем аккредитации калибровочных лабораторий с другими странами.

Основой Российской Системы Калибровки является калибровочная лаборатория, т.е. предприятие или подразделение предприятия, организация, учреждение, ассоциация, концерн и другие объединения (в том числе, в системе Госстандарта России), аккредитованные на право проведения калибровки средств измерений.

Национальным органом РСК является Главное управление метрологии Госстандарта России.

Научно-организационным центром РСК является Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС).

Органами РСК являются метрологические НПО и НИИ, территориальные органы Госстандарта России и другие юридические лица, аттестованные на право аккредитации калибровочных лабораторий.

Методики поверки (калибровки) средств измерений

Поскольку техническая сущность поверки и калибровки одинакова, то и одинаковым должен быть подход при разработке методик, по которым осуществляется эта процедура.

Содержание методик поверки (калибровки) в отношении основного эксплуатационного показателя - погрешности средства измерений, в принципе должно быть близким методикам измерений, поскольку и при измерении и при поверке выявляется значение измеряемого параметра.

Основной целью поверки (калибровки) является выявление погрешности средства измерений. Поэтому при разработке методики поверки, особенно алгоритма процесса поверки и алгоритма обработки результатов измерений, необходимо четко представлять сущность погрешности средств измерений, выявляемой при поверке.

Погрешность средства измерений - это частный случай погрешности измерений этим средством при нормируемых условиях и на определенном объекте измерения. Такой необходимо понимать нормируемую в технической документации допускаемую погрешность средства измерений. И ес-

тественно, что при разных условиях измерений или поверки средства измерений по другому объекту и выявляемая погрешность будет другой.

Принципиальная сущность методики измерений по определению погрешности средства измерений должна заключаться в измерении значений величин, известных с погрешностью, которой можно пренебречь. Поскольку общепринято для поверки использовать концевые меры длины н качестве эталонов, т. е. объектов измерений, то в отношении этих средств измерений можно сказать, что под их погрешностью подразумевается и выявляется погрешность измерения ими элемента детали с плоскопараллельными поверхностями при определенных внешних условиях.

Если эти средства измерений поверяются (калибруются) с помощью эталонов в виде аттестационных цилиндров, то значение погрешности может быть другим. При поверке средств измерений по эталону должна выявляться погрешность измерений, состоящая из систематической и случайной частей. Отдельно должна выявляться случайная часть погрешности прибора. При ее выявлении необходимо помнить, что под случайной погрешностью измерений надо понимать повторяемость результатов измерений. А это означает, что при этой поверке необходимо в методике предусматривать многократное повторение процесса измерений с перестройкой прибора после каждого измерения.

Для целого ряда средств измерений невозможно осуществлять поверку с использованием эталона в виде концевых мер длины и требуется иметь деталь, для которой предназначен этот прибор. В этом случае, не всегда имеется возможность аттестовать такой эталон с требуемой точностью из-за отсутствия более точных приборов для измерения этой величины. В этом случае, необходимо в методиках поверки предусматривать выявление случайной части погрешности средства измерений с помощью указанных приемов, т. е. многократностью измерений.

При поверке средств измерений с помощью эталонов, невозможно охватить поверкой весь диапазон показаний и диапазон измерений поверяемого средства измерения. Приходятся функцию погрешности прибора выявлять в отдельных точках. Поэтому, в методике поверки должна быть предусмотрена поверка погрешности отдельных функциональных узлов (например, погрешности отсчетных устройств) или погрешности положения и перемещения этих функциональных узлов (например, параллельность и перпендикулярность перемещений, соосность расположения и т.д.), которые влияют на составляющие погрешности средств измерений.

Методика поверки средств измерений относится к обязательным документам государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) как руководящий документ Российской Федерации.

Следует отметить, что методики поверки при калибровке не могут быть разными, поскольку при разных методиках поверки будут выявиться разные значения погрешности одних и тех же средств измерений. Методики поверки для одних и тех же приборов могут отличаться только в том случае,

если они используются постоянно для каких-то условий, а, следовательно, методика поверки должна создаваться именно для этих же условий.

Из приведенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Поверка и калибровка средств измерений в техническом отношении представляют собой единую совокупность операций с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям и пригодности их к применению.
2. Поверке подвергаются средства измерений, подлежащие применению в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора.
3. Поверку проводят органы Государственной метрологической службы или организации и предприятия, которые должны быть аккредитованы Госстандартом России на право проведения поверки.
4. Физические лица, проводящие поверку, должны быть аттестованы органами Государственной метрологической службы в качестве поверителей.
5. Поверки бывают в основном первичными и последующими. Первичные поверки проводятся для средств измерений утвержденных типов и внесенных в Госреестр при выпуске их из производства, после ремонта или ввоза по импорту. Последующие поверки производятся через определенный промежуток времени (межповерочный интервал).
6. Калибровке могут подвергаться средства измерений, не подлежащие поверке, при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при эксплуатации, прокате и продаже.
7. Калибровка является добровольной и не требует аккредитации на проведение этих работ для собственных нужд. Аккредитация нужна, например, для рекламных целей в подтверждении достоверности измерений при оценке параметров) характеризующих качество выпускаемой продукции. Аккредитация дает право проводить калибровку и для других предприятий и организаций.
8. Для организации и осуществления квалифицированного метрологического контроля (калибровки) средств измерений, не относящихся к сфере государственного контроля и надзора, на основе передачи им размера единиц физических величин от Государственных эталонов, создастся Российская Система Калибровки (РСК).

Методика поверки (калибровки) должна заключаться в измерении известного значения физической величины выявленного с погрешностью, которой можно пренебречь.

9. Методика поверки (калибровки) выявляет частный случаи погрешности измерений средства измерений при определенных условиях и при измерении определенного объекта.
10. Поверка (калибровка) приборов по концевым мерам длины выявляет погрешность измерений размеров между плоскопараллельными плоскостями.
11. При выявлении погрешностей средств измерений при поверке или калибровке необходимо определять отдельно случайную часть погрешности, как результат при многократном воспроизведении процесса измерений одно-

го и того же значения физической величины.

6.2. Метрологический контроль и надзор

Метрологический контроль и надзор - деятельность, осуществляемая органом государственной метрологической службы (государственный метрологический контроль и надзор) или метрологической службой юридического лица, в целях проверки соблюдения установленных метрологических правил и норм (Закон «Об обеспечении единства измерений»).

Таким образом, метрологический контроль и надзор может осуществляться как со стороны государства, так и со стороны метрологических служб предприятий и организаций (юридические лица).

6.2.1. Государственный метрологический контроль и надзор

В России эту работу проводит Государственная метрологическая служба Госстандарта России. Разделить понятия «контроль» и «надзор» весьма трудно, но в законе «Об обеспечении единства измерений» под этими понятиями имеется в виду проведение определенных работ.

Государственный метрологический контроль включает:

1. Утверждение типа средств измерений.
2. Поверку средств измерений, в том числе эталонов.

Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений. Эта работа проводится в отношении средств измерений, применяемых в сферах деятельности, на которые распространяется государственный метрологический контроль и надзор. Организации и отдельные лица, которые заснимаются изготовлением, ремонтом, продажей и прокатом средств измерений должны получать лицензию органа Государственной метрологической службы. Перед выдачей лицензии органы государственной службы проверяют наличие условий для проведения этих работ.

Государственный метрологический надзор осуществляется:

1. За выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм. Характер и объем проводимых работ разрабатывается Госстандартом.
2. За количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций. Эта работа проводится с целью определения массы, объема, расхода или других величин, характеризующих количество этих товаров. Порядок проведения этих работ так же устанавливается Госстандартом России в соответствия с законодательством Российской Федерации.
3. За количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Этот вид работы проводится, когда содержание упаковки не может быть изменено без ее вскрытия и деформации, а масса, объем, длина, площадь или иные величины указывают количество содержащегося в упаковке товара, обозначенного на упаковке. Порядок проведения этих работ также

устанавливается Госстандартом России в соответствии с законами Российской Федерации.

Для проведения комплекса работ по государственному метрологическому контролю и надзору в составе Госстандарта России назначаются главные государственные инспектора и государственные инспектора по обеспечению единства измерений Российской Федерации, республик, автономных областей, краев, областей, городов Москва и Санкт-Петербург.

Эти должности могут быть совмещены с должностями, инспекторов по надзору за государственными стандартами, прошедших соответствующую аттестацию. Если инспектор осуществляет и поверку средств измерений, то он должен пройти аттестацию в качестве поверителя.

6.2.2. Метрологический контроль и надзор на предприятиях и в организациях (у юридических лиц)

В соответствии с законом «Об обеспечении единства измерений» на предприятиях, организациях, учреждениях, являющихся юридическими лицами, создаются в необходимых случаях метрологические службы для выполнения работ по обеспечению единства измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора. Для предприятий и организаций создание метрологической службы не является обязательным. Однако, для производств со сферами деятельности, указанными в статье 13 закона «об обеспечении единства измерений» метрологическая служба должна создаваться обязательно.

Метрологический контроль и надзор осуществляется метрологической службой предприятия и организации или другим подразделением, выполняющим работы по обеспечению единства измерений. Эта работа осуществляется путем:

Калибровки средств измерений.

1. Надзора за состоянием и применением средств измерений, аттестованными методами выполнения измерений, эталонами, нормативной документацией по обеспечению единства измерений.
2. Выдачи обязательных предписаний, направленных на предотвращения, прекращения или устранения нарушений метрологических правил и норм.
3. Проверки своевременного представления средств измерений на испытания дли утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку.

По данному материалу можно сделать следующие выводы.

1. В связи с влиянием метрологического обеспечения на качество и сохранность выпускаемой продукции установлен метрологический контроль и надзор или со стороны государственных органов, или со стороны метрологической службы предприятий и организаций.
2. Государственный метрологический контроль и надзор осуществляется, в основном, Государственной метрологической службой Госстандарта России.

3. Метрологический контроль и надзор на предприятиях и организациях осуществляется метрологической службой, которая обязательно создастся на предприятиях и организациях, сфера деятельности которых контролируется Государственной метрологической службой.

Глава 5. Автоматизированные системы контроля и управления

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение принципов гибкой и безлюдной технологии в современном гибком автоматизированном производстве делает актуальной задачу автоматизации технического контроля в таком производстве. В настоящее время вопросы автоматизации технического контроля полностью разработаны применительно к массовому производству, базирующемуся на использовании «жестких» специальных и специализированных средств автоматизации.

Снижение серийности выпускаемой продукции выявляет новые аспекты в проблеме повышения качества и производительности технологического процесса. Поиски в области сокращения времени, затрачиваемого на производство, путем уменьшения продолжительности механической обработки, благодаря применению новых технологических решений в станкостроении и форсированию режимов резания достигли на сегодняшний день максимального развития и практически себя исчерпали.

В связи с выросшими требованиями к точности обрабатываемых деталей повысилась и точность вновь выпускаемых металлообрабатывающих станков. Но при этом возникли противоречия между точностными характеристиками станков и реальной точностью технологического процесса обработки заготовок. Исследования точностных характеристик, например, различных токарных станков, в том числе и с числовым программным управлением (ЧПУ), и анализ исследований точностных параметров деталей при обработке на этих же станках показали, что на универсальных станках, если на них работают специалисты высокой квалификации, их точностные возможности реализуются на 40...70 %. При работе же на токарных станках с ЧПУ использование их по точности еще ниже и не превышает 14...20 %. Поэтому во всем мире ведутся интенсивные поиски по преодолению этого противоречия. Один из путей - создание систем, позволяющих осуществлять текущий контроль за ходом процесса обработки детали и вносить необходимую коррекцию для обеспечения стабилизации размеров обрабатываемых деталей.

Стабильность уровня налаженности и настроенности металлообрабатывающего станка с ЧПУ определяет точность обработки на станке при производстве партий деталей. В условиях безлюдной технологии необходима автоматизированная система автоматического контроля (САК), обеспечивающая автоматическое отслеживание уровня настроенности и налаженности и коррекции возникающих отклонений.

Такая система при своей реализации нуждается в наличие соответствующих технических средств, а также математического и программного обеспечения, определяющих алгоритм функционирования системы. От эффективности алгоритма работы САК существенно зависят результаты работы системы, что, в конечном итоге, определяет качество и производительность технологического процесса. Поскольку при механической обработке на станках с ЧПУ, входящих в состав гибких производственных модулей (ГПМ) и гибких производственных систем (ГПС), реализуется координатный метод

управления взаимными перемещениями обрабатывающего инструмента и обрабатываемой заготовки для получения формообразующих поверхностей деталей, то этот же метод лежит в основе построения САК.

Поэтому, одним из основных направлений преодоления возникающих проблем в машиностроении может быть создание универсальных контрольно-управляющих систем. При разработке таких систем важное значение имеют правильно выбранные схемы и средства контроля обрабатываемого изделия, режущего инструмента, элементов станка, а также способы обработки полученной информации и методы коррекции управляющих программ систем ЧПУ.

В первой главе исследуется современное состояние методов, средств и моделей управления точностью механической обработки. Сформулирована цель работы и определены основные задачи для ее достижения.

Во второй главе разработана обобщенная математическая модель для геометрической интерпретации результатов контроля с использованием измерительной головки на станке с ЧПУ, на основе которой выполнены формализованные описания для контроля технологического приспособления (спутника), обрабатывающего инструмента и объекта обработки. Определены требования к выбору контрольных точек при проектировании технологического процесса обработки.

Задачи технического контроля в гибком автоматизированном производстве

Начиная с пятидесятых годов прошлого столетия в нашей стране проводились интенсивные работы по автоматизации технического контроля в механообрабатывающем производстве. Координационным центром работ стало Бюро Взаимозаменяемости. Для работы в области автоматизации технического контроля был создан также ряд других конструкторских бюро и научно-проектных организаций.

Разработки автоматизации технического контроля, в основном, выполнялись в двух направлениях: создание методов и средств для управления качеством технологических процессов механической обработки (направление «активного» контроля или контроля в процессе обработки) и создание контрольносортировочных автоматов для решения задачи приемного контроля. В высших учебных заведениях страны сложились научные школы, ведущие исследования в области автоматизации технического контроля.

Вопросы автоматического (активного) контроля в процессах механической обработки разработаны научными школами И.Е. Городецкого, О. Ф. Тищенко, А.И. Якушева, С.С. Волосова, А.Я. Ростовых, Л.Н. Воронцова, В.В. Кондашевского, Н.Н. Маркова [3, 11, 12, 13, 36-38].

Теория и вопросы проектирования контрольно-сортировочных автоматов развиты научными школами В.С. Вихмана, Л.Н. Воронцова[13Д4].

Начиная с семидесятых годов прошлого столетия в нашей стране ведутся работы по внедрению принципов гибкой автоматизации многономенклатурного производства, который к тому времени получили уже значительное развитие на Западе. В частности, приняты стандарты основных определений гибкого автоматизированного производства и развернуты работы по созданию и внедрению соответствующих методов и средств. Проведенные исследования уровня качества в автоматизированном производстве на автоматических линиях и станках с ЧПУ показали, что на автоматических линиях уровень качества изготовленных деталей, при существующих системах технического контроля, обеспечивается в 65-93%, в то время как на станках с ЧПУ и того ниже - около 30% [5].

Для многономенклатурного производства задачи технического контроля качества не менее актуальны, чем для массового производства. Цели технического контроля в этом случае совпадают с целями технического контроля в массовом производстве, а именно:

- поддержание требуемого уровня настроенности и налаженности технологического процесса для обеспечения требуемого уровня качества продукции;
- отбраковка продукции не соответствующей техническим условиям и недопущение её поставок потребителю.

Для решения задачи технического контроля используются средства для контроля в процессе обработки непосредственно на станках и средства контроля готовой продукции с целью её сортировки и разбраковки.

Для управления качеством технологических процессов, в первую очередь, важны средства для контроля в процессе обработки. На базе этих средств строится подсистема управления качеством технологического процесса, являющаяся частью автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Основным оборудованием технологических процессов механической обработки в условиях ГПМ и ГПС являются станки с числовым программным управлением (ЧПУ) [64, 75, 90]. Систему управления ГПМ можно представить в виде, показанном на рисунке 5.1.

При управлении настроенностью и налаженностью технологического процесса на основе результатов контроля геометрии обрабатываемых деталей и положения технологических приспособлений и обрабатывающего инструмента оперативно определяется и реализуется необходимая коррекция управляющейпрограммы (УП) станка для коррекции возникающих в процессе обработки погрешностей.

На рисунке 5.2 показана структурная схема системы автоматического управления. Управляющая программа (УП) задает значение параметра (требуемый размер детали с определенным допуском) $L_3(t)$. Процессор рассчитывает необходимую траекторию движения режущего инструмента и формирует управляющие воздействия на приводы координатных перемещений стан-

ка. В результате взаимных перемещений инструмента и детали при обработке на станке в общем случае получается случайная величина размера *Lф (t*). После механической обработки производится контроль геометрических параметров объекта обработки с помощью измерительной системы станка на базе измерительной головки (ИГ). Результатом работы измерительной системы являются координаты контрольных точек, расположенных на фактически полученной поверхности объекта контроля. Эти данные поступают в систему управления точностью обработки (препроцессор), где хранится заданный УП размер $L_3(0)$.

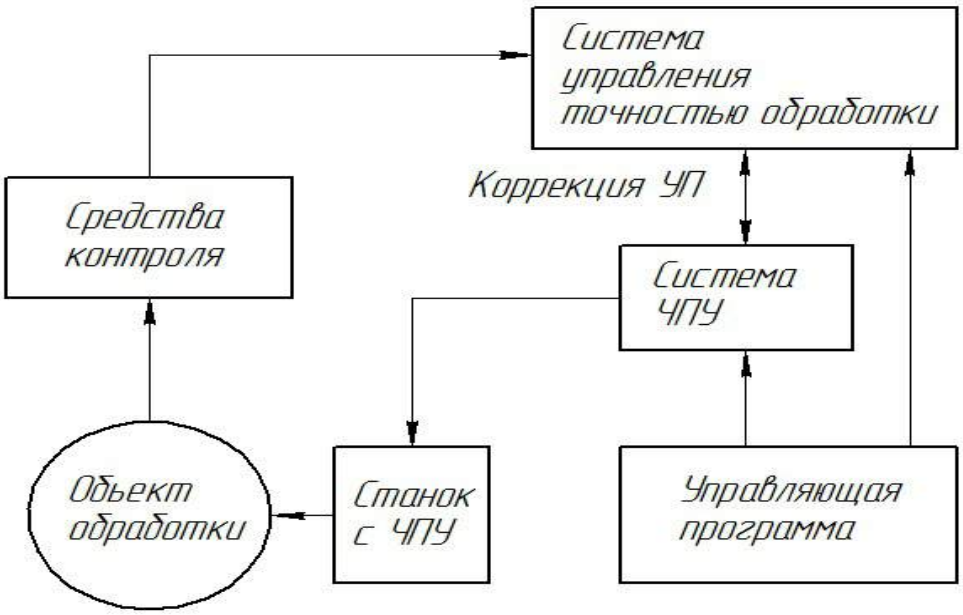


Рисунок 5.1. Система управления ГПМ

Анализируя данные, полученные от измерительной системы, препроцессор рассчитывает отклонение фактического размера от заданного, дифференцирует погрешности на линейные и угловые составляющие и на выходе формирует величины коррекций, которые записываются в соответствующие корректоры блока коррекции устройства числового программного управлении (УЧПУ) станка. На основании полученных коррекций процессор корректирует траекторию движения режущего инструмента, которая реализуется в виде управляющих воздействий на приводы соответствующих, элементов станка с ЧПУ, и начинается новый цикл механической обработки.

Объектом управлений является технологический процесс механической обработки в ГПМ. Данная система управления является замкнутой (обратная связь обеспечивается измерительной системой на базе ИГ). Расчет необходимых коррекций УП осуществляется в препроцессоре. Таким образом, реализуется система регулирования L(j) = L3(i)требуемого размера, детали при механической обработке. Данная система управления является, дискретной е периодом квантования, равным - времени обработки одной детали, С точки зрения систем автоматического контроля в процессе - обработки, дан-

ная система управления относится к классу подналадочных систем автоматического управления.

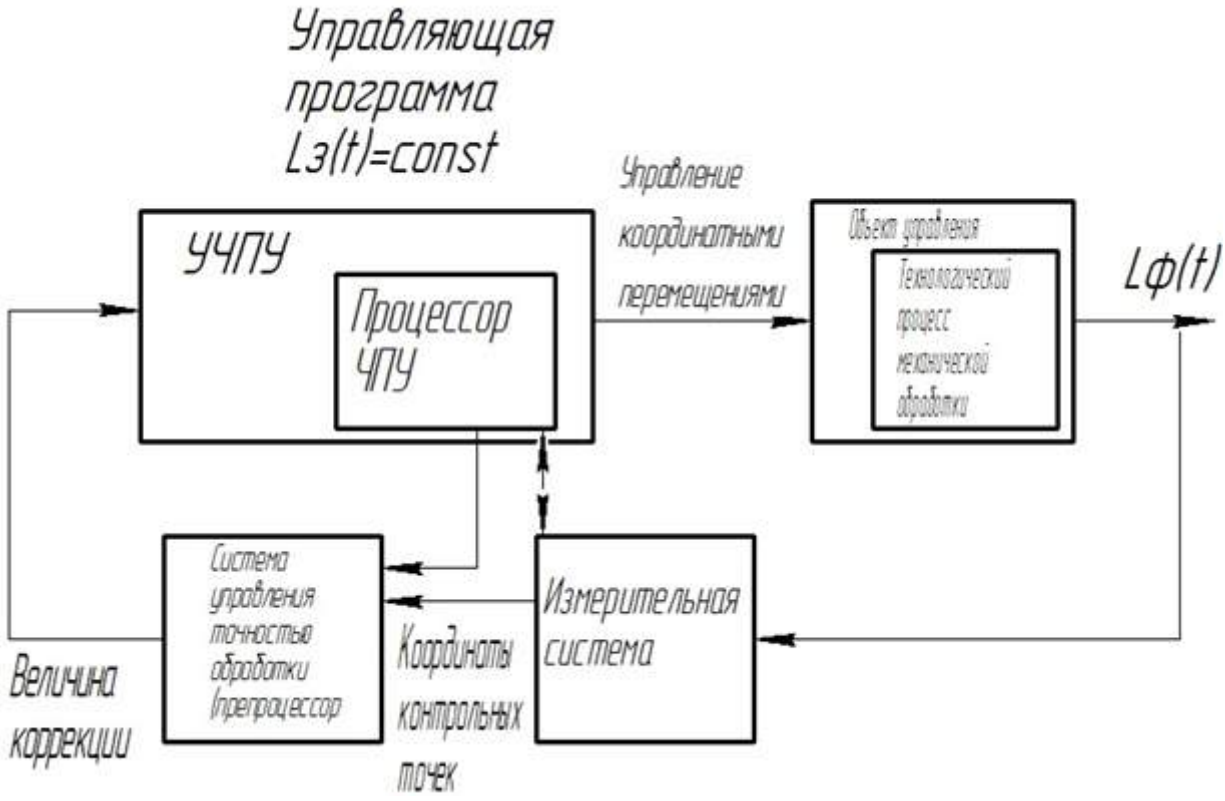


Рисунок 5.2. Структурная схема системы автоматического управления

1.2Анализ факторов влияющих на точность обработки в ГПМ

Работая в автоматическом режиме станок с ЧПУ, прежде всего, должен обеспечить точность обработки, которая зависит от суммарной погрешности обработки. На нее влияет ряд факторов: точность станка, точность системы управления, погрешности установки заготовки, погрешности наладки инструментов на размер, погрешности наладки станка на размер, погрешности изготовления инструмента, размерный износ режущего инструмента, жесткость системы СПИД и ряд других факторов [67,68].

Вопросы моделирования образования погрешностей, характер их влияния на систему СПИД, а также вопросы проектирования самоподнастраивающихся станков нашли отражения в работе Базрова Б.М. [7].

Для сохранения точности станка в течение длительного времени эксплуатации нормы геометрической точности при изготовлении станка по сравнению с нормативным и ужесточают на 40% (тем самым резервируется в новом станке запас на изнашивание) [16].

Решение вопросов точности системы управления (ошибки интерполяции и аппроксимации) рассмотрены в работах [8, 16, 60, 89]. Для интерполяторов характерны некоторые отклонения отрабатываемой траектории от заданной. Геометрическая погрешность интерполяции для современных станков с ценой единичных импульсов 0,001-0,002 мм является величиной малой, не оказывающей существенного влияния на точность обработки, но проявляющейся в виде отклонений микрогеометрии, т.е. шероховатости обработанной поверхности [16, 93].

При использовании УЧПУ с линейными интерполяторами для обработки деталей по круговому контуру, при расчете координат опорных точек в процессе подготовки управляющей программы применяют аппроксимацию окружностей, что связано с погрешностью. Путь повышения точности в указанном случае лежит в уменьшении шага аппроксимации, поскольку уменьшение дуги в два раза уменьшает погрешность аппроксимации в четыре раза [16, 89].

При установке заготовки на станке возникает погрешность установки, которая определяется суммой погрешностей базирования и закрепления. Погрешности являются векторами, и указанное суммирование выполняют геометрически. Погрешность базирования возникает вследствие не совмещения установочной базы с измерительной [15, 16, 22, 74, 92].

Если бы деформация поверхностных слоев всех заготовок партии была одинаковой, то ее можно было бы учесть при наладке станка и компенсировать с помощью коррекции инструмента или другими доступными наладчику методами. Однако в связи с неоднородностью качества поверхностей и нестабильностью удельных нагрузок будет возникать различная по величине для всех заготовок партии осадка. Погрешность закрепления равна разности между предельными (наибольшим и наименьшим) смещениями измерительной базы в партии обработанных деталей.

В процессе работы происходит износ отдельных элементов технологической системы. При обработке небольших партий деталей учитывается только износ режущего инструмента, так как износ других элементов технологической системы, по оценкам авторов [5], в сумме составляет не более 1-2 % погрешности обработки, вследствие чего им можно пренебречь.

Погрешность, связанная с износом инструмента, является практически систематической для партии деталей. Исследования показали [5], что износ приработанного резца практически линейно зависит от пути резания [21, 34, 57].

Станок, приспособление, режущий инструмент и деталь в процессе обработки представляют собой упругую систему, которую для краткости называют системой СПИД. Силы резания при обработке вызывают упругие деформации отдельных элементов системы, упругие деформации в местах соединений деталей механизмов, а также смещения в этих стыках [46, 47, 55].

При отсутствии необходимой жесткости под действием составляющих силы резания система СПИД деформируется, что вызывает погрешности формы и размеров обработанной заготовки. Таким образом, точность обра-

ботки в большой степени зависит от жесткости системы СПИД. Решением данных вопросов занимались авторы [11,16].

Тепловые деформации возникают в результате действия трех факторов: выделения тепла двигателями, гидравлической системой и движущимися частями (за счет трения) станка; образования тепла в процессе резания; непостоянства температуры помещения, в котором находится станок. Исследования авторов [5] показывают, что зависимость деформации инструмента во время обработки заготовок от глубины резания, величины износа инструмента имеют линейную зависимость. Геометрические, физико-механические и иные параметры деталей также оказывают значительной влияние на данную составляющую погрешности обработки. Но при этом температурная деформация детали прямо пропорциональна температурной деформации инструмента [5].

В результате возникновения случайных погрешностей происходит рассеяние размеров заготовок, обработанных при одних и тех же условиях. Для выявления и анализа закономерностей распределения размеров заготовок при их рассеянии применяют методы математической статистики и описаны в работах [3, 4, 11, 12, 32, 69]. Суммарная погрешность обработки в общем виде может быть выражена следующей функциональной зависимостью:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Sigma\Delta_i^{пост.}; \Sigma\Delta_k^{пер.}; \Sigma\Delta_m^{случ.})$$

где Δ_{Σ}-суммарная погрешность; $\Sigma\Delta_i^{\text{пост.}}$ - i - *я* постоянная погрешность; $\Sigma\Delta_k^{пер.}$ - k - *я* переменная систематическая погрешность; $\Sigma\Delta_m^{случ.}$ - m - *я* случайная погрешность [11, 16].

В состав этих погрешностей входят погрешности размеров и формы. Суммарная погрешность, как и многие другие сложные понятия (надежность и др.), - случайное событие, поэтому для ее определения применяют методы математической статистики и теории вероятностей.

Причинами, вызывающими появление собственно случайных погрешностей размеров, могут явиться колебание величин припусков на обработку, неодинаковость и неоднородность материалов и термической обработки заготовок, случайные колебания режимов обработки

Погрешности размеров являются результатом совместного влияния износа и затупления режущего инструмента, тепловых и силовых деформаций технологической системы. В работах [3, 11, 12] показано, что суммарное влияние указанных факторов носит случайный характер.

1.3.1. Классификация средств контроля в ГПМ и ГПС

В любой системе приходится решать задачи технического контроля, а именно:

1.Контроль установки и закрепления детали для:

•идентификации детали в ГПМ и ГПС;

•размещения детали, а также определение ошибок загрузки с целью устранения брака;

•определения положения детали, автоматически учитывая величину смещений, включая детали, изготавливаемые впервые;

•определения припуска для быстрого подвода резца к детали.

2. Первичный контроль первой детали партии на станке для:

•уменьшения времени простоя станка пока деталь не будет проверена другими средствами контроля;

•автоматической коррекции любых ошибок,

3.Контроль в процессе обработки (измерение деталей после грубой обработки) для:

•обеспечения того, что последний проход будет точным;

•выявления ошибок, пока они не привели к дефектам.

4.Контроль детали после обработки может использоваться для:

•предоставления информации в подтверждение того, что деталь соответствует техническим условиям

•записи размеров детали для управления технологическим процес¬сом на основе статистических данных.

5.Контроль инструмента может использоваться для:

•установки режущего инструмента, его проверки и определения его неисправности.

Частота контроля зависит от стоимости деталей и доверия к исправной работе станков. Контроль основных характеристик дорогих деталей обычно является неотъемлемой частью автоматизированных циклов обработки [17, 18, 35, 40].

Для решения задач технического контроля в ГПМ и ГПС существуют специальные средства, часть которых используется в составе ГПМ, а другая — в составе ГПС [39]. К ним относятся контрольно-измерительные устройства для получения, накопления и обработки информации, а также устройства диагностики. Классификация данных средства подробно показана на рисунке 5.3.

Большой научный и практический вклад в разработку и реализацию методов и средств автоматизации технического контроля качества внес научно- исследовательский институт ВНИИ «Измерение» (бывшее «Бюро Взаимозаменяемости» (БВ) и «Особое конструкторское бюро средств автоматизации» (ОК- БСА), а также «Челябинский завод измерительных приборов» (ЧЗИ11))[2, 72].

Рассмотрим основные средства технического контроля подробнее.

1.3.2. Основные средства контроля в ГПМ и ГПС

При осуществлении координатных измерений на контрольно-измерительных машинах, измерительных роботах или на обрабатывающих центрах существенную роль играют индикаторы касания, фиксирующие момент соприкосновения наконечника измерительного щупа с поверхностью детали в контролируемой точке [51].

Сегодня, когда контроль качества обязателен на производстве и существует неизменная тенденция к повышению производительности, измерительные головки вошли в стандартную практику технологии производства [6, 10, 58, 62, 63, 91]. Использование контактных измерительных головок для наладки станков с ЧПУ дает значительное повышение производительности за счет снижения времени простоев, связанных с ручной наладкой инструмента, зажимных приспособлений и заготовки. Кроме того, обеспечивается быстрый точный контроль первой обработанной детали [41, 45, 48]. Контактные измерительные головки позволяют контролировать детали на станке за более короткое время, а коррекция при этом выполняется автоматически (с устранением возможных ошибок при вводе с клавиатуры). На рисунке 1.4 приведена классификация измерительных головок.

Вопросы конструирования ИГ касания и схемотехники измерительных преобразователей на их основе в настоящее время разработаны [9, 20, 33, 44, 52, 53, 86-88, 98]. В меньшей степени эти вопросы разработаны для ИГ отклонения, которые, несмотря на ряд преимуществ, не получили распространения в задачах автоматизации контроля на станках с ЧПУ [52, 53, 79, 85, 87].

В то же время алгоритмы работы САК на базе измерительных головок разработаны в существенно меньшей мере и базируется, в основном, на методе экспертных оценок процесса управления настроенностью и налаженностью станка с ЧПУ[1,5,95].



Рисунок 5.3. Средства автоматизации контроля геометрических параметров деталей в ГПС

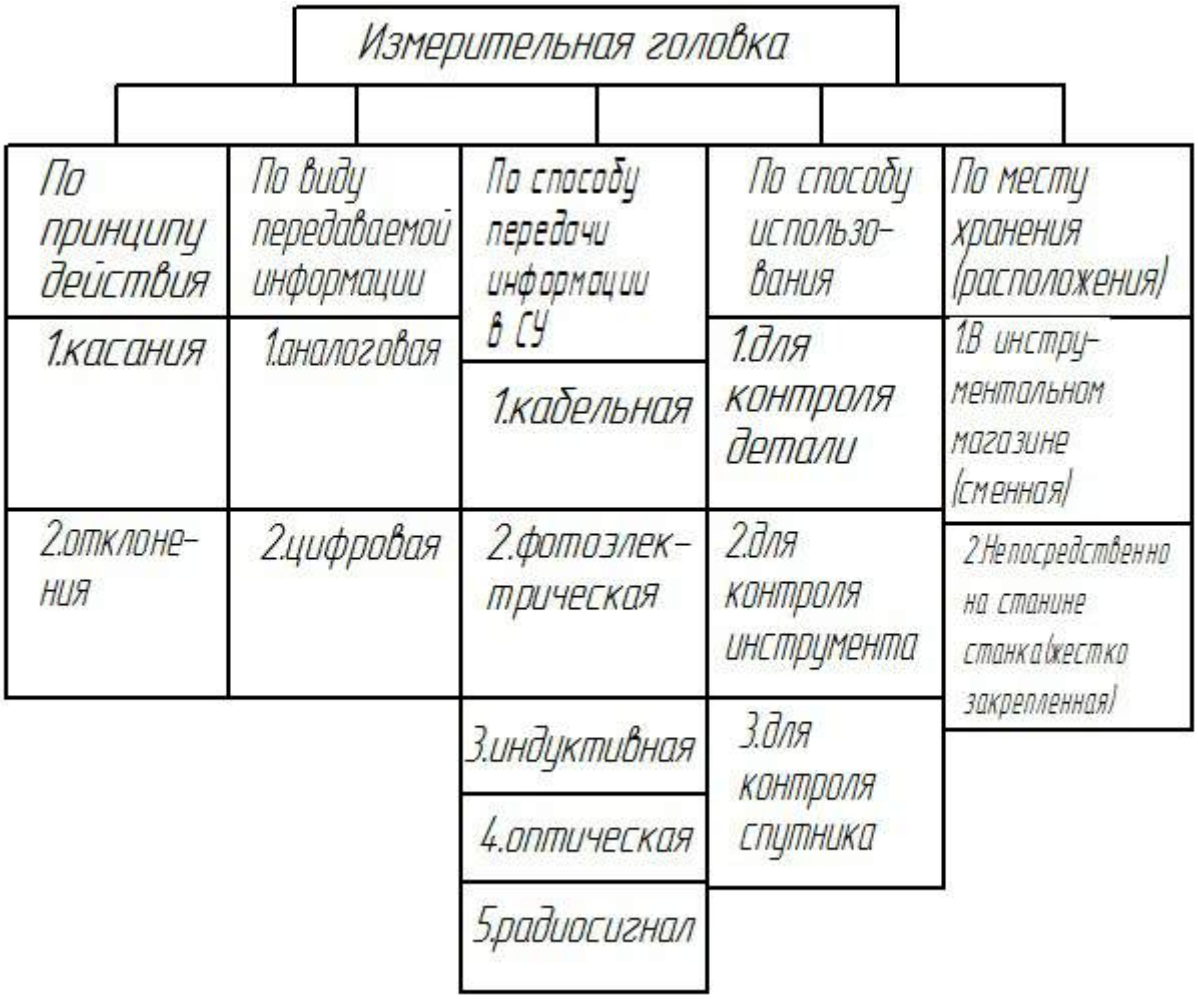


Рисунок 5.4. Классификационная схема измерительных головок

В целом такие индикаторы контакта можно условно разбить на головки касания и головки отклонения [59, 61, 94].

В настоящее время широко известны и применяются измерительные головки касания и отклонения фирм *«Opton»*(Германия), *«Marposs»*(Италия), *«RenishawElectrikal»*(Англия), *ОАО «НИИИзмерения»* (Россия).

К средствам послеоперационного контроля относятся:

- Координатные измерительные машины [40].
- Измерительные роботы[17, 65, 66, 73]

В качестве примера можно привести измерительный робот *«Bravo»*фирмы *«DEA»*(Италия) [50]. Корпусная деталь на спутнике подается в зону измерений. Измерение координат контрольных точек деталей производится измерительными щупами двух измерительных систем, расположенных е двух сторон контролируемой детали. При этом робот распознает подлежащую контролю деталь, вызывает соответствующую программу, выносит поправку на погрешность базирования детали, контролирует деталь и печатает результаты контроля.

Другим примером является измерительный робот «*MIG*» фирмы *«Митутоесейсакусе»* (Япония) [18]. Робот предназначен для использования в производственных системах с широкой номенклатурой мелкосерийной продукции. Основой робота является трехкоординатный измерительный ме-

ханизм с направляющими на воздушных подушках и сдатчиками перемещения по каждой координате, обладающими разрешением 1 мкм.

Реализация контроля на станках в настоящее время, в основном, осуществляется с использованием измерительных головок (ИГ)[20, 78, 80, 83, 84].

Наибольшее применение на станках с ЧПУ и ОЦ нашел метод размерной настройки и коррекции обрабатывающего инструмента с использованием измерительных головок [19]. Например, токарный модуль (КТ141ПРМ) может оснащаться системой управления точностью обработки и контроля за состоянием режущего инструмента [42]. С этой целью станок оснащен двумя датчиками касания мод. БВ - 4271. Один датчик устанавливается на передней бабке станка и служит для контроля положения режущей кромки обрабатывающего инструмента, закрепленного в револьверной головке. Другой датчик закрепляется в одной из позиций револьверной головки и используется для контроля положения обработанной поверхностей детали. Результаты контроля положения инструмента и обработанной поверхности детали используются для автоматической коррекции положения инструмента и программы обработки в системе ЧПУ модели 2У32-61.

Другим примером системы автоматического управления точностью обработки может служить система, которая используется на токарных станках с ЧПУ типа CNC600 (Германия) [71, 76]. В одной из позиций револьверной головки закрепляется измерительная головка типа ЕРЗ, которая с помощью автоматического соединительного узла присоединяется кабелем к электронному измерительному устройству. Выход последнего соединен с микроЭВМ типа МС 80. В свою очередь, микроЭВМ может обмениваться информацией с системой ЧПУ типа CNC600. Данная система обеспечивает сравнение заданной и фактической координаты обрабатываемой поверхности изделия, вычисление величины требуемой коррекции обрабатывающего инструмента по каждой координате, диалог между измерительным устройством и системой ЧПУ, для использования результатов измерения в целях управления точностью обработки.

Контроль обрабатываемой детали с помощью измерительной головки на ОЦ выглядит следующим образом: измерительная головка хранится в инструментальном магазине и к моменту измерения автоматически переносится в шпиндель станка. Под управлением программы измерительный щуп головки подводится к контролируемой поверхности детали и в момент касания щупом поверхности выдается релейный сигнал, формируемый измерительным преобразователем. При поступлении сигнала в регистре запоминается координата точки касания, определяемая сигналом датчика обратной связи. Блок контроля, соединенный с устройством ЧПУ, по данным измерений координаты поверхности вычисляет смещение контролируемой поверхности, которое используется системой для коррекции программы обработки. Необходимо отметить, что далеко не все серийные системы ЧПУ могут использовать алгоритмы контроля с помощью измерительных головок. Такая возмож-

ность предусматривается только в компьютерных системах ЧПУ при наличии специальных системных программ [23, 43, 49].

В большинстве практических случаев для обеспечения параметрической надежности обработки корпусных деталей па ОЦ ограничиваются контролем целостности обрабатывающего инструмента. Как правило, такой контроль используется для лезвийного инструмента обработки отверстий (сверла, развертки, зенкеры и т. п.). При поломке инструмента измерительный преобразователь (датчик) выдает в систему ЧПУ сигнал для блокирования обработки [56].

При контроле на станках с ЧПУ в настоящее время используются алгоритмы, приведенные на рисунке 5.5 и 5.6.

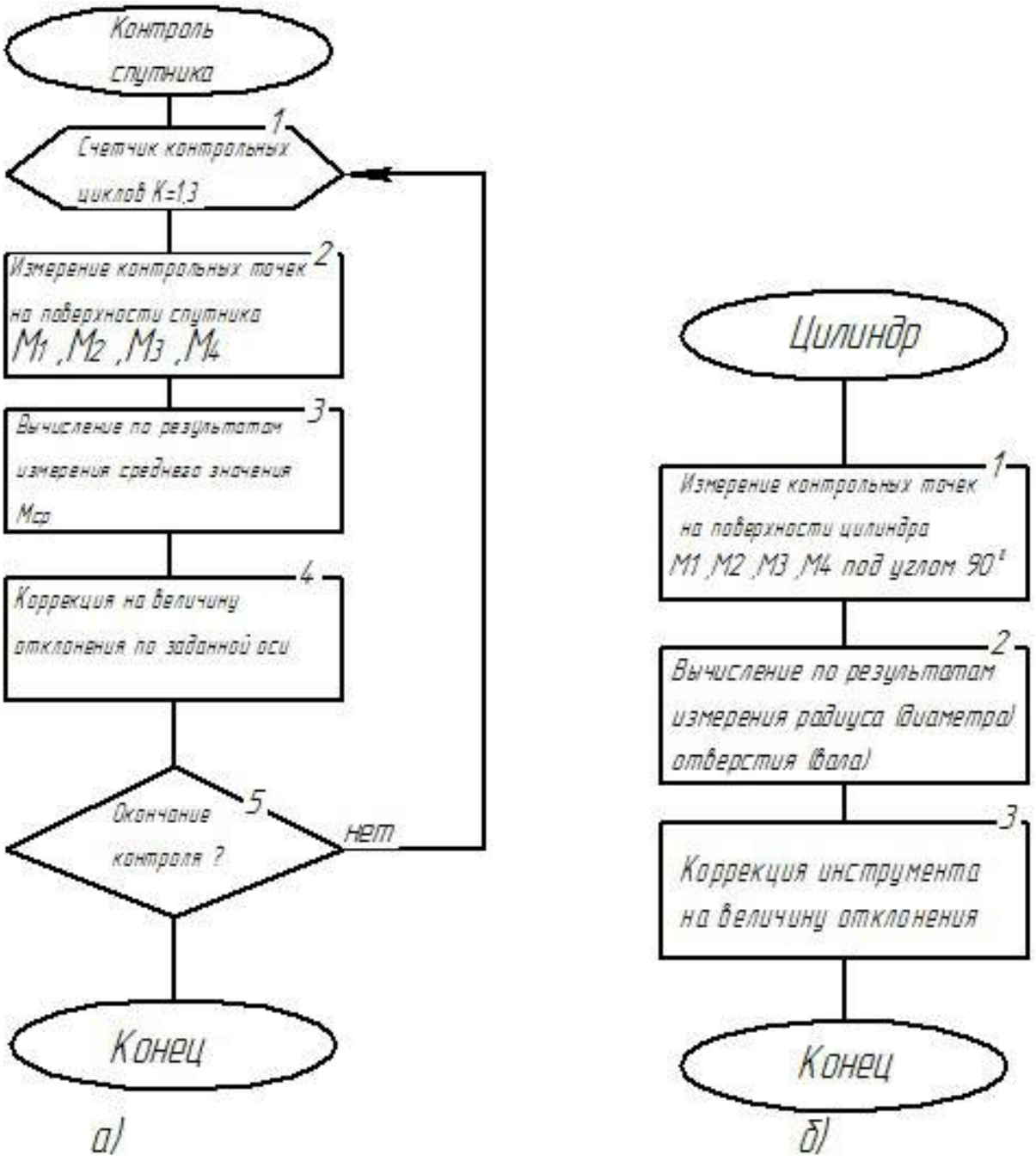


Рисунок 1.5. Алгоритмы контроля положения спутника(а) и цилиндра(б)

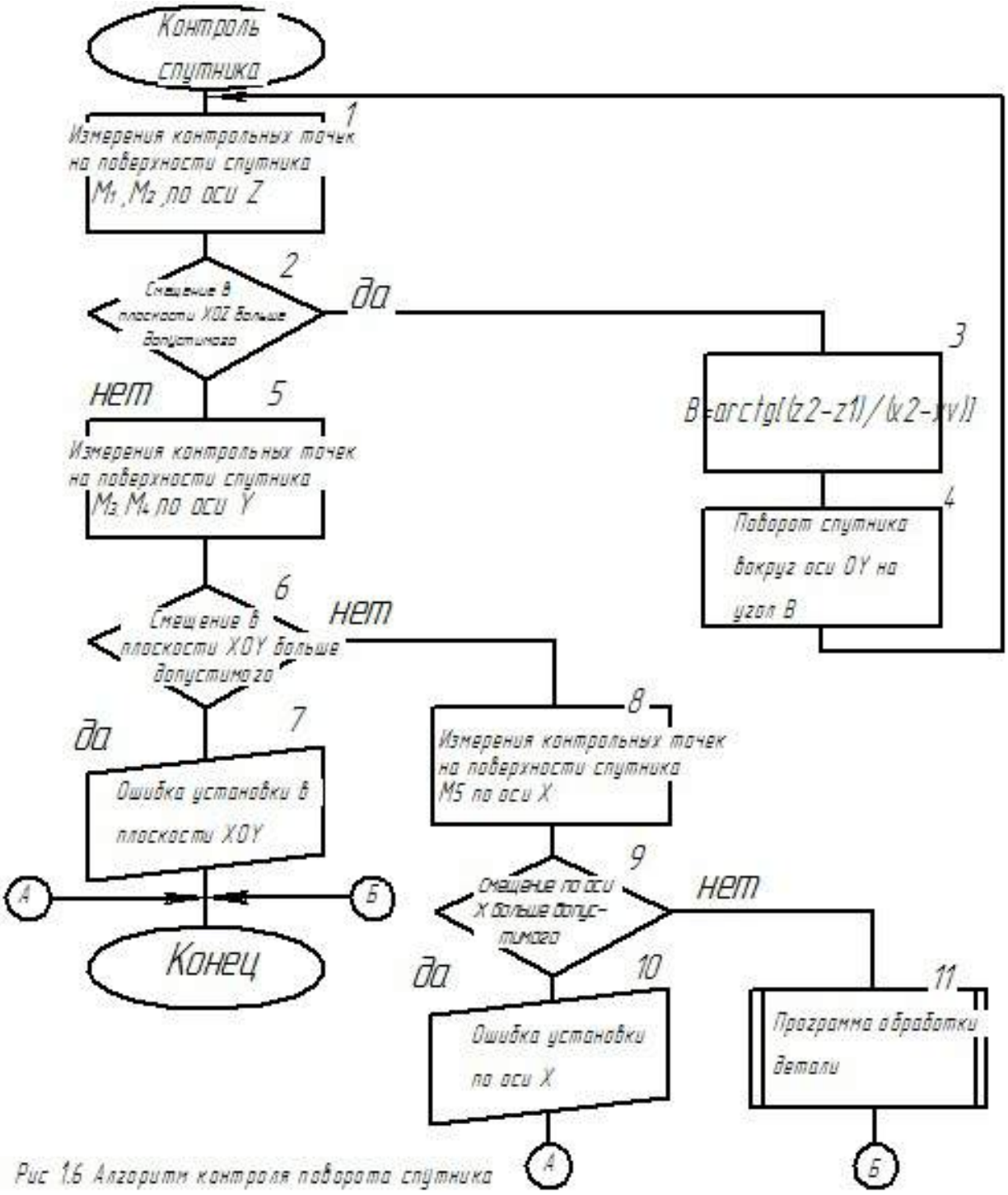


Рис 1.6 Алгоритм контроля поворота спутника

Математическое обеспечение процессов автоматического контроля с использованием измерительных головок и координатного метода измерения разрабатывается, в основном, применительно к процессу контроля на координатных измерительных машинах (КИМ). В отечественной практике получил значительное распространение математический пакет *UMESS для* решения задач обработке измерительной информации при координатном методе контроля на КИМ [77]. В силу специфики решаемых задач эти разработки непосредственно неприемлемы для контроля в ГПМ. Такое положение не позволяет оптимизировать управление технологическим процессом с точки

зрения его точности и производительности и, следовательно, обеспечить наивысшую достижимую эффективность процесса по этим критериям.

1.4Анализ существующих моделей погрешности механообработки

Создание эффективных контрольно-измерительных систем для ГПМ и ГПС и построение автоматизированных систем управления качеством процессов (точностью обработки) в условиях ГПС в настоящее время упирается в необходимость совершенствования как технических средств контрольно-измерительных систем, так и эффективных алгоритмов их использования (последнее на сегодняшний день представляется первоочередной задачей).

Алгоритмы функционирования контрольно-измерительных систем и управление точностью процесса обработки в условиях ГПМ и ГПС требуют разработки расширенных формализованных описаний (математических моделей) процессов контроля и расчета необходимых коррекций.

На сегодняшний день получили распространение следующие подходы к решению этой задачи:

- метод точечных диаграмм;
- метод точностных диаграмм.

Существуют и специфические подходы, разработанные непосредственно для автоматизированного производства [70]. Так, Х.-Г. Росс (Германия) перебором различных вариантов управляющего контроля получает 192 схемы компенсации погрешности обработки на токарных станках, дает им количественные и качественные характеристики, устанавливает общие рекомендации по их применению [5]. Такой метод сложен для алгоритмизации, не может дать конкретного ответа, какую точность обеспечит та или иная схема при обработке конкретной партии деталей на данном станке, не сравнит близкие по возможностям системы.

Все множество существующих моделей погрешности механической обработки можно разделить на следующие группы:

1. Первая группа моделей основана на анализе причин, вызывающих погрешности и связанных с размерным износом и температурными деформациями режущего инструмента, температурными и силовыми деформациями детали и станка, точностью позиционирования рабочих органов станка и т. д.

Общий вид таких моделей:

$$y_i = f_1(x_1, x_2, \dots) + f_2(x_1, x_2, \dots) + \dots + \varepsilon_i, мкм,$$

где $f_1, f_2, \dots$ — первичные погрешности, являющиеся температурными и силовыми деформациями технологической системы, износом режущего инструмента и т. д.; $x_1, x_2, \dots$- входные параметры и возмущающие воздействия, характеризующие состояние обрабатываемых заготовок, режущего инструмента и станка, режимы резания и т.д.; y_1 - отклонение размера от заданного

значения при обработке i — *й* детали, в некоторых моделях значение отклонения размера заготовки в каждый i - *й* момент времени; ε_i-случайное отклонение размера i - *й* детали от уровня настройки.

К этому виду моделей относятся аддитивные модели, созданные А.П. Соколовским [5], например модель изменения размеров в партии деталей при точении:

$$y_i = h(L) + \xi_p(\sigma_b, F, l, t, v, s, \tau) + y_p\big(t, v, s, j, C_p\big) + \Delta_n + \varepsilon_i, мкм,$$

где h - износ режущего инструмента в зависимости от длины пути, пройденного резцом в металле; ξ_p - температурная деформация резца, зависящая от физико-механических свойств обрабатываемого материала σ_p, геометрических параметров резца *F,l,*режимов резания *t,v,s,*времени обработки одной детали τ; y_p- упругие деформации технологической системы, зависящие от режимов резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала C_p и жесткости технологической системы j;Δ_n - погрешность позиционирования; ε_i,- -случайные отклонения i -*й* детали от уровня настройки.

Характерной особенностью такой модели развития погрешности является строгая зависимость влияния входных параметров обработки и возмущающих воздействий на первичные составляющие погрешности, которые, алгебраически суммируясь, дают возможность определить отклонение диаметра от настроенного размера. То есть, установлена цепь причинно - следственных связей развития погрешности, а значит, можно заранее судить о внесении той или иной доли погрешности отдельным параметром или возмущающим воздействием.

К этой группе моделей можно отнести модели, предложенные Б.С. Балакшиным [5], где устанавливаются причинно-следственные связи между упругими деформациями технологической системы и возмущающими, например изменяющимися глубиной резания, физико-механическими свойствами заготовок в партии, режущими свойствами инструмента.

1. Вторая группа моделей основана на анализе характера проявления погрешности обработки.

Общий вид моделей:

$$y_i = s_i + \varepsilon_i мкм,$$

где y_i-отклонение диаметра от заднего значения при обработке i- *й* детали; s_i - уровень размерной настройки станка на i — *й* цикле или математическое ожидание размера детали;

ε_i - случайное отклонение размера детали от уровня настройки, характеризующее мгновенную точность процесса обработки.

Модель не устанавливает причины возникновения погрешностей, а разделяет погрешность на систематическое смещение настройки и случайную величину.

Чаще всего эта группа моделей используется для управления отлаженным процессом обработки с целью уменьшения возникающих в ходе его систематических погрешностей.

Примером этой группы моделей может служить модель, предложенная С.С, Волосовым [11]: $y_i = ai + \lambda_i$,*мкм,*

где a - равномерное смещение настройки, приходящееся на одну деталь;λ_i- случайная величина, характеризующая случайное отклонение смещения настройки от равномерного.

Для управления процессом со случайной составляющей λ_i заранее определяют вид коррелированной последовательности, которой она может описываться, и в дальнейшем ведут под наладку с ее учетом, что обеспечивает ее частичную компенсацию.

В качестве простейшей прогнозной модели может быть приведена модель, построенная методом скользящих средних по пяти точкам:

$$y_i = K_1 y_{i-5} + K_2 y_{i-4} + K_3 y_{i-3} + K_4 y_{i-2} + K_5 y_{i-1} + \varepsilon_i, мкм,$$

где $K_1, \dots, K_5$ -весовые коэффициенты, значения которых меняются в зависимости от полинома, которым аппроксимируется тренд. В ходе управления процессом коэффициенты остаются постоянными.

2. Третья группа моделей основана как на анализе характера проявления погрешностей обработки, так и на причинах, их вызывающих.

Общий вид таких моделей:

$$y_i = F_1(f_1, f_2, \dots) + F_1(x_1, x_2, \dots) + \dots + \mu_i, мкм,$$

где F_1 - составляющая погрешности обработки, являющиеся функцией от первичных погрешностей $f_1, f_2 \dots; F_2$ -составляющая, которая является функцией возмущающих воздействий $x_1, x_2, \dots;$ μ_i -оставшаяся нескомпенсированная часть случайной составляющей погрешности обработки.

Примером таких моделей могут служить модели, предложенные М.С. Невельсоном [54]:

$$y_i = K_1 h_i + K_2 \Delta_i + K_3 \Delta P_{yi} + K_4 \Delta_{\Delta i} + \mu_i, мкм,$$

где $К_1, \dots, К_4$ - весовые коэффициенты; h_i, Δ_i- первичные погрешности (износ режущего инструмента и положение рабочего органа станка); ΔP_{yi} - переменная составляющая силы резания, связанная с колебанием глубины резания и взносом резца; $\Delta_{\Delta i}$ - переменная составляющая, связанная с погрешностью позиционирования рабочих органов станка на каждом *i -й* цикле обработки.

Таким образом, модель учитывает считавшиеся в предыдущих группах моделей собственно случайные составляющие погрешности обработки, возникающие из-за колебания припуска на обработку и связанные с ошибками позиционирования рабочих органов станка.

Прогнозные модели, предложенные В. И. Анухиным и А.Б. Чижевским [5], лишены указанного недостатка благодаря адаптивным коэффициентам, которые приспосабливаются к меняющимся условиям обработки;

$$y_i = b_1 i + b_2 t_i + b_3 t_{i-1} + \mu_i, мкм,$$

где t_i- глубина резания при обработке i - *й* детали; t_{i-1}- глубина резания в (i - 1) - м цикле обработки; b_1, b_2, b_3 - весовые коэффициенты, которые меняются перед процессом обработки каждой детали. Оценка коэффициентов ведется по прогнозным моделям.

Управление по такой модели ведется после оценки качества адаптации модели к конкретным условиям формообразования. Начальная адаптация модели происходит на первых нескольких деталях.

Основной недостаток моделей этой группы - невозможность использования их для анализа различных методов управления технологическим процессом, так как все модели данной группы предназначены для строго определенного метода управления.

При автоматизации управления технологическим процессом механической обработки использование моделей первой группы не представляется реальным вследствие следующих причин;

- отсутствие детерминированных описаний между влияющими факторами и составляющими возникающих погрешностей;
- необходимость постоянного контроля значительного числа параметров технологического процесса и возмущающих факторов с последующим расчетом составляющих погрешностей обработки;
- отсутствие описания связей между влияющими факторами и величинами требуемых коррекций управляющей программы.

Модели второй группы для целей автоматизации управления значительно удобнее, т.к. требуют измерения только одного параметра (размер детали, который обеспечивается в результате обработки). Эти модели получили распространение для подналадки автоматических процессов механической обработки в массовом производстве. Однако эти модели не дают непосредственного ответа на вопрос о величине требуемой подналадки в случае обработки на станках с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства.

Модели третьей группы позволяют учесть как изменение условий обработки, так и прогнозировать действие возмущений. Это делает данные модели весьма перспективными. Для случая обработки на станке с ЧПУ такие модели позволяют учесть как начальные погрешности заготовки и её базирования, так и влияние, например, размерной настройки и износа инструмента. Достоинством такой модели является также возможность получения основной исходной информации с помощью контрольно-измерительной системы на базе измерительной головки.

К недостаткам модели следует отнести необходимость её конкретизации для конкретных видов обработки и особенно отсутствие связи с необходимой коррекцией управляющей программы при автоматизации управления качеством процесса обработки.

Таким образом, модели второй и третьей группы могут быть использованы для формализованного описания процесса контроля на станках с ЧПУ в условиях ГПМ. Однако при этом необходимо решить следующие вопросы:

- получение формализованных описаний процесса контроля в виде, который базировался бы на исходной постоянной информации и информации, получаемой от контрольно-измерительной системы на базе ИГ;
- разделение погрешностей обработки на компенсируемые путем коррекции управляющей программы и некомпенсируемые;
- получение аналитических зависимостей для определения необхо-

димых коррекций управляющей программы с целью поддержания требуемого уровня настроенности и налаженности процесса обработки (качества процесса);

- учет особенностей координатного метода формирования геометрии обрабатываемых деталей на станках с ЧПУ и координатного способа измерений при применении ИГ;
- учет наличия существенной случайной составляющей погрешности обработки.
-

Направления развития средств автоматизации контроля

Средства и алгоритмоы автоматизации управления точностью механической обработки в условиях ГПМ позволяет выделить основные проблемы:

- многообразие факторов, влияющих на точность обработки (в том числе и случайных) на станках с ЧПУ в условиях ГПМ приводит к изменению уровня настройки технологического процесса во времени и делает актуальной задачу управления точностью обработки с целью поддержания требуемого качества обработки;
- основным средством автоматизации контроля точности обработки в условиях ГПМ являются измерительные системы на базе измерительных головок, которые позволяют контролировать координаты базовых точек приспособления, заготовки, обрабатываемых поверхностей и положение режущей кромки инструмента;
- вопросы автоматизации контроля и управления точностью обработки в настоящее время наиболее полно решены для массового производства с использованием специальных измерительных средств и жестких алгоритмов управления;
- математическое обеспечение и алгоритмы управления точностью механической обработки при многономенклатурном производстве в условиях ГПМ в настоящее время разработаны в недостаточной степени;
- решение проблемы описания взаимосвязей между результатами контроля координат контрольных точек и управляющими воздействиями необходимыми для коррекции управляющих программ ЧПУ с целью поддержания уровня настроенности технологического процесса;

Таким образом, существуют проблемы поддержания необходимого уровня качества технологических процессов механической обработки в условиях безлюдной технологии в ГПМ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агеев, О.В. Повышение точности обработки сложнопрофильных деталей на металлорежущих станках путем разработки алгоритмов управления формообразованием для распределенных систем ЧПУ: автореф. дис. канд. техн. наук.-Уфа, 1998.-22с.

2. Агеев, Ю.В. Микропроцессорные приборы активного контроля Этингоф, М.И. // СТИН. - 2002. - Вып.4,- С.38- 40.

3. Активный контроль размеров /С.С. Волосов [и др.]; под ред. С.С, Волосова. - М.: Машиностроение, 1984. - 224с.

4. Андреев, А.М. Управление точностью обработки адаптивными методами статистического регулирования: автореф. дис. канд. техн. наук. - СПб., 1991.-16с.

5. Анухин, В.И. Управляющий контроль и возможности его применения /Анухин, В.И., Макарова, Т.А. - СПб.: О-во «Знание», РСФСР, ЛО, ЛДНТП, 1991.-44с.

6. Артемов, И.И. Обеспечение точности механообработки посредством координатных измерений на станке /Артемов, И.И., Новиков, В.В., Соколов, В.О. - М., 1989. - 52с. - (Машиностроит. пр-во. Сер. Технология и оборудование обработки металлов резанием: Обзор информ./ВНИИТЭМР. Вып.7).

7. Базров, Б.М. Технологические основы проектирования самой од настраивающихся станков. - М.: Машиностроение, 1978. - 216 е.

8. Браилов, И.Г. Векторно-функциональный синтез кинематики формообразования в параметрах станочных систем ЧПУ: автореф. дис. д-ра техн. наук. - Воронеж, 1999. - 32с.

9. Будгинас, С.Ю. Развитие измерительных преобразователей и систем // Станкостроение Литвы. - 1983. - № 15. - С.5-21.

10. Вальков, В.М. Контроль в ГАП. - Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1986.-232 с.

11. Волосов, С.С. Основы точности активного контроля размеров. — М.: Машиностроение, 1969.- с.356.

12. Волосов, С.С. Управление качеством продукции средствами активного контроля /Волосов, С.С., Гейлер, 3.1П. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство стандартов, 1989. - 264с.

13. Воронцов, Л.Н. Приборы автоматического контроля размеров в машиностроении: учебн. пособие для вузов по специальности «Приборы точной механики» /Воронцов, Л.Н., Корндорф, С.Ф. - М.: Машиностроение, 1988. - 280 с.

14. Воронцов, Л.Н. Расчет и проектирование автоматических устройств для контроля линейных величин. - Мл Машгиз, 1961. - 332 с.

15. Гаврилов, А.В. Определение точности базирования корпусных деталей с учетом размерных, динамических и жесткостных факторов: автореф. дие. канд. техн. наук. -М., 1995.-23с.

16. Гжиров, Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ

/Гжиров, Р.И., Серебреницкий, П.П. — Лл Машиностроение. Ленингр. Отд-ние,
1990. -588с.
17. Гибкое автоматическое производство /В.О. Азбель [и др.]; под общ. ред. С.А. Майорова, Г.В. Орловского, С.Н, Халкиопова. - 2-е изд., перераб. и доп, - Лл Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1985. - 454 с,
18. Гибкие производственные системы Японии /Пер. с яп.; под ред. Л.Ю. Ли-щинского. - Мл Машиностроение, 1987. - 232с.
19. Григорян, А.С. Разработка и исследование технологических методов повышения точности растачивания соосных отверстий корпусных деталей на универсально-расточных станках /автореф. дис. канд. техн. наук. - М.,
1991. - 15с.
20. Добрынин, Е,М. Приборы автоматического контроля размеров в машиностроении. - Мл Машгиз, 1960. - 215с.
21. Жукаускас, А.Ч. Повышение точности многоцелевых станков со сменными шпиндельными головками: автореф. дис. канд. техн. наук. - М., 1992. - 22с.
22. Загрутдинов, Г.М. Точность измерений и достоверность контроля /Загрут-динов, Г.М., Прищепа, В.А. - Казань: Изд-во Казан, ун-та, 1994. - 318с.
23. Зарсзов, С.И. Повышение точности и производительности механической обработки при изготовлении деталей из коррозионностойких сталей для перерабатывающих отраслей на станках с ЧПУ путем запрограммированного изменения подач: автореф. дис, канд. техн. наук. - М, 1992. - 19с.
24. Ибатуллин, А.А. Автоматизация контроля геометрии детали на обрабатывающих центрах /Ибатуллин, А.А., Хомченко, В.Г., Федотов, А.В. //Наука. Техника. Инновации. Региональная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: тез.докл. в 5-ти частях. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. - Часть 2. -С.27-29.
25. Ибатуллин, А.А. Автоматизация управления настроенностью технологического процесса в ГПМ механообработки //Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: мат. 2-ой междунар. науч.-практ. конф. 23-27 сентября 2002г. (Ялта). - Киев: АТМ Украины, 2002. — С.60 - 62.
26. Ибатуллин, А.А. Исследование процесса контроля геометрии детали измерительной головкой /Ибатуллин А.А., Хомченко В.Г., Федотов А.В. /Омский гос. техн. ун-т. — Омск, 2002. - 12 с.: ил.- Библиогр.: 5 назв. - Рус. — Деп. В ВИНИТИ 15.08.2002,№ 1487-В2002.
27. Ибатуллин, А.А. К вопросу автоматизации управления точностью обработки деталей в условиях ГПС //Динамика систем, механизмов и машин: мат. IV междунар. науч.-техн. конф., посвященной 60-летию ОмГТУ. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. -Кн.2. - С.63-65.
28. Ибатуллин, А.А. К вопросу оценки точности обработки плоских поверхностей в условиях гибкого производства //Матем. методы в техни-

ке и технологиях: сб. тр. XVI междунар. науч. конф. В 10 т. Секция 5./Под общ.

логнях: сб. тр. XVI междунар. науч. конф. В 10 т. Секция 5./Под общ.ред. В.С. Балакирева. - Ростов н/Д: РГАСХМ ГОУ, 2003. — Т.5. - *СА2—А4*

29. Ибатуллин, А.А. Математическая модель контроля положения обработанной плоской поверхности при обработке на станках с ЧПУ /Ибатуллин, А.А., Федотов, А.В. //Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. IV всероссийской науч.-практ. конф. - Новокузнецк: Сиб- ГИУ, 2003.-С.313-314.

30. Ибатуллин, А.А. Оценка погрешности базирования спутника в ГПМ при автоматизации управления качеством обработки /Ибатуллин, А.А., Хом-ченко, В.Г., Федотов, А.В. //Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. IV всероссийской науч.-практ. конф. - Новокузнецк: СибГИУ, 2003. - С.136-138.

31. Ибатуллин, А.А. Формализация описания объекта контроля на станках с ЧПУ /Ибатуллин, А.А., Хомченко, В.Г., Федотов, А.В. //Матем. методы в технике и технологиях ММТТ-2000: сб. тр. XШ междунар. науч. конф. в 7-ми т. Секции 11,12,13. - С-Пб: Изд-во С-Пб гос. тех. ун-т, 2000. - Т.6. — СЛ13-115.

32. Игнатьев, А.А. Обеспечение точности обработки на прецизионных автоматизированных станках на основе управления динамическими процессами по стохастическим моделям: автореф. дис. канд. техн. наук. - Саратов, 1995.-32с.

33. Каспарайтис, А.Ю. Головка для автоматизированных координатных измерительных машин /Каспарайтис, А.Ю., Перфимов, В.В. // Измерительная техника. - 1981. -Вып.7. - С.24-25.

34. Каштальян, И.А. Система диагностики состояния и коррекции инструмента на токарных станках с ЧПУ //СТИН. - 2003. - Вып.4. — С. 10-14.

35. Коваленко, А.В. Контроль деталей, обработанных на МРС. - М.: Машиностроение, 1980. — 167с.

36. Кондашевский, В.В. Автоматический контроль размеров деталей в процессе обработки. - М.: Оборонгиз, 1951. - 457с.

37. Кондашевский, В.В. Активный контроль размеров деталей на металлорежущих станках /Кондашевский, В.В., Ланцев, В. - Омск: Зап. - Сиб. книжн. изд-во, 1976.-431с.

38. Кондашевский, В.В. Контроль деталей в процессе обработки. - М.: Машиностроение, 1965. -380с.

39. Константинов, О.Я. Вопросы точности обработки деталей на гибком токарном модуле /Константинов, О.Я., Анухин, В.И., Макарова, Т.А. - Л.: ЛДНТП, 1987.-24с.

40. Координатные измерительные машины и их применение /В.А. Гапшис [и др.] - М.: Машиностроение, 1988. - 328с.

41. Куимов, Е.А. Разработка быстродействующей системы управления с обратной связью для повышения устойчивости и точности обработки

резанием на примере станков токар. группы: автореф. дис. канд. техн. наук. - М., 1995,- 18с.

42. Култышев, Ю.И. Проблемы гибкости и производительности станков с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства //СТИН. - 2001. - Вып.1. — С.8-10.

43. Култышев, Ю.И. Способы повышения гибкости и производительности станков с ЧПУ, работающих в составе ГПС //СТИН. - 2002. - Вып.4. - С.20—22.

44. Леун, В.И. Разработка технических условий к средствам автоматического контроля для прецизионных изделий: учеб, пособие. — Омск: Изд-во Ом- ГТУ, 1995.-67с.

45. Любомудров, С.А. Обеспечение точности обработки цилиндрических заготовок из порошковых алюминиевых сплавов путем назначения рациональных циклов управления: автореф. дис. канд. техн. наук. — СПб, 1994. — 16с.

46. Мальцев, В.Г. Моделирование точности формообразования поверхностей вращения резанием: учеб, пособие - Омск: ОмГТУ, 2002. — 140с.

47. Мамедов, Д.М. Основы повышения точности и производительности механической обработки путем управления силовым полем технологической системы: автореф. дис. д-ра.техн. наук. - М., 1991, -32с.

48. Медведев, Д.Д. Точность обработки в мелкосерийном производстве. — М.: Машиностроение, 1973. - 120с.

49. Митин, Г.П. Повышение эффективности систем ЧПУ за счет использования персонального компьютера с интеллектуальными контроллерами: автореф. дис. канд. техн. наук. - М., 1999. -16с.

50. Миф, Н.П. Оптимизация точности измерений в производстве. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 136с.

51. Модестов, М.Б. Исследование точности модульных головок для координатных измерительных машин с ЧПУ //Моделирование задач машиностроения на ЭВМ. -М.: Наука, 1976. - №4. - С.213-216.

52. Модестов, М.Б. Принципы построения измерительных головок для автоматических координатных машин /Модестов, М.Б., Чудов, В. А. //Моделирование задач машиностроения на ЭВМ. - М.: Наука, 1976. - №5. — С.205—212.

53. Модестов, М.Б. Принципы построения измерительных головок координатно-измерительных машин: научн.-техн. реф сб. /Модестов, М.Б., Чудов, В.А. /НИИМаш. - 1981. — №10: Оборудование с числовым программным управлением, - С.10-13.

54. Невельсон, М.С. Обеспечение заданной точности станочной обработки в гибких производственных системах. - Л.: ЛДНТП, 1985. - 28с.

55. Нестерова, Н.В. Автоматизированное управление обработки нежестких деталей /Нестерова Н.В., Митрофанов В.Г., Схиртладзе А.Г. — М.: Машиностроение, 1994. - 48с.

56. Оптимальное управление точностью обработки деталей в условиях АСУ/ И. Кантор [и др.] - М.: Машиностроение, 1981. - 256с.

57. Палей, С.М. Контроль состояния режущего инструмента на станках с ЧПУ: обзор /Палей, С.М., Васильев, С.В. - М.: НИИМаш, 1983. - 52с.

58. Планирование обработки детали без вмешательства человека //ВЦП. — N*Я*- 11676 — Б.г. - 13с.: ил. Пер. ст. Du plan a la piece usinee sans intervention hu- maineизжурн.: Techniques et Equipements de Production. - 1991. - N 22. - P. 60-64

59. Разработка и внедрение комплексной системы статистического регулирования техпроцессов на автоматизированном оборудовании, методов и средств повышения надежности работы станков с ЧПУ; отчет по ПИР. - Омск, 1981. - 311с. - Депонирован во ВНИИТИЦХ" 80003476.

60. Ратмиров, В.А. Управление станками гибких производственных систем. - М.: Машиностроение, 1987. - 272с.

61. Репин, В.М. Оптимизация обработки деталей сложной формы на трёхкоординатных фрезерных станках с ЧПУ: автореф. дис. канд. техн. наук. - Иркутск, 1999,-23с.

62. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении; альбом схем и чертежей: учеб, пособие для втузов /Ю.М. Соломенцев [и др.]; под общ.ред. Ю.М. Соломенцева, - М.: Машиностроение, 1989. - 192с.

63. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти кн. Кн.1. Системные принципы создания гибких автоматизированных производств: учебн. пособие для втузов /Макаров. И.М. - М. Высш. Шк., 1986. - 175с

64. Руденко, В.Н. Разработка методики совместной оценки точности в производительности фрезерных станков с ЧПУ: автореф. дис. канд. техн. наук. - М, 1992. - 16с.

65. Сегаль, М.Г. Оценка точности сложных поверхностей, обработанных на многокоординатных станках с ЧПУ /Сегаль, М.Г., Шейко, Л.И., Приказчиков, С.Я. //СТИН. - 2001. - Вып.1. - С. 19-21.

66. Сержантова, Е.Н. Прогнозирование точности формы поперечного сечения деталей при точении поверхностей с неравномерным припуском; автореф. дис. канд. техн. наук. -Тула, 1992. - 15с.

67. Синицын, С.А. Теоретические основы точности формообразования и методы оптимизации исходных данных при моделировании технических поверхностей; автореф. дис. канд. техн. наук. - Киев, 1991. - 36с.

68. Современные требования к точной обработке //ВЦП. — NЯ-11679 - Б.г. - 19с.: Пер. ст. Herausforderungen fur die feinbearbeitungиз журн.:Dima. - 1990.N 11.-P.30-32,34,37,38.

69. Средства измерения, контроля и управления: каталог / В.Н. Ярмушевская, Е.В. Кравец //ИКФ «Каталог». - М.: ИКФ «Каталог, 2000. -

192с.

70. Станочное оборудование автоматизированного производства /В.В. Бушуев [и др.]. Т.1. - М: Изд-во «Станкин», - 1993. - 584с.

71. Сычева, Н.А. Обеспечение требуемой точности установки заготовок корпусных деталей в ГПМ с использованием столов-спутников: автореф. дис. канд. техн. наук.—М., 1995. —28с.

72. Тверской, М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках.-М.: Машиностроение, 1982.-162с.

73. Трудные формы. Технология обработки резанием. Рациональное изготовление деталей сложной формы на различных фрезерных станках с ЧПУ типа CNC//ВЦП. -NЯ-11666 - Б.г. — 12с.: ил. Пер. ст. Rail P. SchwericgcFormen. Rationelles... изжурн.:Maschinenmarkt. - 1991. Vol.97. - 43. — P.40—42, 44-45.

74. Универсальное математическое обеспечение UMESS: Инструкция по применению.-КОМЕГ (ФРГ), 1982.-300с.

75. Федотов, А.В. Анализ динамики процесса измерения координат базовых точек на станках с ЧПУ //Омский научный вестник. - Омск: ОмГТУ. — 1999. -Вып.8. - С.81-83,

76. Федотов, А.В. Динамика системы автоматического управления точностью обработки в ГПМ /Федотов, А.В., Хомченко, В.Г. //Перспективы автоматизации в образовании, науке и производстве: материалы юбил. региональной науч.-практич. конф. — Новокузнецк, 1999. - С.74—75.

77. Федотов, А.В. Динамика средств автоматического контроля механообрабатывающих ГПС //Динамика систем, механизмов и машин: мат. IV между- нар. науч.-техн. конф., посвященной 60-летию ОмГТУ. - Омск: ОмГТУ, 2002.-КН.2.-С.93-96.

78. Федотов, А.В. Измерительная головка: информационный листок №305-95 / Федотов, А.В., Компанейц, А.Н., Котелевский, Ю.П. - Росинформресурс: Омский ЦНТИ, 1995. - 3с.

79. Федотов, А.В. Измерительная система для обрабатывающего центра //Прикладные задачи механики: сб. научн. тр. /Под ред. В.В. Евстифеева. — Омск: ОмГТУ, 1997. - Кн.2. - С.3-7.

80. Федотов, А.В. Исследование быстродействия индуктивного измерительного преобразователя //Омский научный вестник. - Омск: ОмГТУ. - 2000. - Вып.13. - С. 113-116.

81. Федотов, А.В. Исследование динамики системы управления точностью обработки гибкого производственного модуля //Динамика систем, механизмов и машин: тез.докл. II междунар. науч.-техн. конф. - Омск: ОмГТУ. - 1997.-Кн.L-С.113.

82. Федотов, А.В. К оценке динамики средств автоматического контроля /Федотов, А.В., Хомченко, В.Г., Котелевский, Ю.П. //Матем. методы в технике и технологиях ММТТ-14: сб. тр. XIV междунар. научн. конф. - Смоленск, 2001. - Т.6. - С. 198-199.

83. Федотов, А.В. Математическая модель динамики измеритель-

ного преобразователя /Федотов, А.В., Хомченко, В.Г. //Кибернетика и технологии XXI века. Международная научно-техническая конференция. — Воронеж, 2000. - С.324-348.

84. Федотов, А.В. Моделирование динамики индуктивного преобразователя/ Омский гос. техн. ун-т. — Омск, 2000. - Юс.-- Деп. в ВИНИТИ 14.11.2000, №2887-В00.

85. Федотов, А.В. Оценка требований к динамике измерительного устройства // Омский научный вестник. - Омск; ОмГТУ. — 1999. - Вып.6. — С.35-37.

86. Хазанова, О.В. Повышение эффективности обработки сложнопрофильных деталей на станках с ЧПУ с использованием метода сплайновой интерполяции: автореф. дис. канд. техн. наук. — М., 1998. -24с.

87. Хартли, Дж. ГПС в действии: Пер. о англ. - М.: Машиностроение, 1987. - 328с.

88. Хламова, Г.А. Обеспечение точности обработки на прецизионных токарных модулях на основе оптимизации корректирующих воздействий в процессе эксплуатации: автореф. дис. канд. техн. наук. - Саратов, 1991. - 14с.

89. Худобин, Л.В. Базирование заготовок и расчеты точности механической обработки: учеб, пособ. для спец. 1201 — Технология машиностроения / Худобин Л.В., Белов М.А., Унянин А.Н.; под общ.ред. Л.В. Худобина. - Ульяновск, 1994. - 188с.

90. Чикуров, Н.Г. Система ЧПУ класса ICNCдля управления обработкой сложно профильных деталей на много координатных станках /Чикуров, Н.Г., Махмутов, Б.Р. //СТИН. - 2003. -Вып.3. - С. 11-16.

91. Чудов, В.А. Размерный контроль в машиностроении /Чудов, В.А., Цидуль- ко, Ф.В., Фридгейм, Н И. - М.: Машиностроение, 1982. — 328с.

92. Юркевич, В.В. Автоматизированная система контроля точности изготовления деталей на токарных станках //СТИН. - 2001. - Вып. 1. — С. 11 —13.

93. BerholzM. etal. Годовой обзор «Гибкое производство» // VDI-Z. - 2001. - Вып.9. - С.41-46.

94. Boetz, V. Особенности вертикальных и горизонтальных обрабатывающих центров и критерии их выбора для решения конкретных производственных задач //VDI-Z. - 2002. - Вып.5. - С.246-249.

95. Warren, C. Датчики с шариковым измерительным наконечником как универсальное средство мониторинга геометрических погрешностей шпинделей станков //AmericanMachinist. - 2003. — Вын.2. - С.46-49.

Гдава 6. Погрешности измерения, источники их проявления.

Основные понятия о погрешности измерений.

Определение погрешности средств измерений- это разность между показателем средств измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

Систематическая погрешность средств измерений- составляющая погрешности средств измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющаяся.

Случайная погрешность средств измерений- составляющая погрешности средств измерений, имеющая случайным образом.

Абсолютная погрешность средств измерений- погрешность средств измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату изменений или к действительному значению измерений физической величины.

Основная погрешность средств измерений- погрешность средств измерений, принимаемого в нормальных условиях.

Дополнительная погрешность средств измерений- составляющая погрешность средств измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствии отклонения какой- либо из влияющих величин от нормального ее значения или в следствии ее выхода за пределы нормальной области значений.

Статическая погрешность средств измерений- погрешность средств измерений, применяемого из измерений физической величины, принимаемой за неизменную.

Динамическая погрешность средств измерений- погрешность средств измерений, возникающая при измерении изменяющейся (в процессе измерений) физической величины.

Стабильность средства измерений- качественная характеристика средства измерений, отражающая неизменность во времени его метрологических характеристик.

Точность средства измерений- характеристика качества средства измерений, отражающая близость его погрешности к нулю. Чем меньше погрешность, чем точнее средства измерений.

6. 2. Погрешности измерений.

Погрешность результата измерений- отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Систематическая погрешность измерения- составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Инструментальная погрешность измерения- составляющая погрешность измерения, обусловленная погрешности применяемого средства измерения.

Погрешность метода измерений- составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

Погрешность (измерения) из – за изменений условий- изменения- составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием влияния отклонения в одну сторону какого- либо параметра, характеризующих условий измерений, от установленного значения.

Субъективная погрешность измерения- составляющая систематической погрешность измерения, обособленная индивидуальными особенностями оператора.

Случайная погрешность измерения- составляющая погрешности результата измерения, повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

Абсолютная погрешность измерения- погрешность измерения, выраженная в единицах измеренной величины.

Относительная погрешность измерения- погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеряемому

Значению измеряемой величины

$\delta = \frac{\Delta x}{x}$, или $\delta = \frac{\Delta x}{x}$ 100 % ., где:

Δx- абсолютная погрешность измерений

X- действительное или измеренное значение величины.

Поправка- значение величины, вводимое в неисправный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности.

Точность результата измерений- одна из характеристик качества измерений, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

Промах- погрешность результат отдельных измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Иногда вместо термина « промах» применяют термин грубая погрешность измерений.

6. 3 Структура погрешностей измерений

Погрешность измерения $\Delta_{Из_М}$ складывается из двух основных составляющих - инструментальную ΔИНСТР ^{и} методическую $\Delta_{М}$ц погрешностей:

Δизм$^{==}$ $\Delta_{ИНСТР}$+ $\Delta_{МЕТОД}$

Инструментальная погрешность определяется точностью средств измерений, а методическая — точность метода измерения.

Измерение размеров элементов деталей осуществляется с помощью измерительных приборов (СИ), основным элементом которых является измерительный преобразователь, который в свою очередь может состоять из двух частей - первичного преобразователя или датчика отсчегного устройства. Первичный преобразователь может быть индуктивным, пневматическим емкостным и термопарой.

Измерительный преобразователь с высокой точностью преобразовывает входной сигнал (перемещение измерительного наконечника) в показание отсчетного устройства.

Инструментальная погрешность измерения зависит не только от точности приборов и преобразователей, но и от величины используемого участка диапазона измерений, способа настройки на нуль, введение поправок и числа измерений. Поэтому инструментальная погрешность может, как превышать допустимую погрешность показаний, так и составлять только часть ее.

На практике допустимая погрешность находится в пределах 1-2,5 цены, деления шкалы.

Вторая часть погрешности - методическая погрешность - зависит от точности метода измерений. С помощью мет ода измерения формируется входной сигнал измерительной информации.

Разновидность параметров и влияющих величин определяет широкую структуру составляющих методической погрешности:

1. **Погрешность схемы измерения** $\Delta_{сх}$ - это погрешность передачи действительных граничащих значений измеряемой величины детали измерительному прибору - создается неучтенными размерными геометрическими отклонениями баз и измерительных поверхностей детали.
2. **Погрешность базирования** $\Delta_{баз}$ - вызываемая линейными смещениями и угловыми перекосами объекта измерения относительно линии измерения чувствительного элемента прибора, а также нарушения принципа единства измерительных и конструкторских баз.
3. **Температурная погрешность** $\Delta_{тем}$ - вызвана тепловыми деформациями объекта измерения и устройства прибора, зависит от температуры и коэффициента линейного расширения материалов, температуры окружающей среды, нормальное значение которой равно 20° С.
4. **Силовая погрешность** $\Delta_{с}$ — создается контактами и упругими деформациями детали и приборы под действием измерительного усилия.
5. **Погрешность настройки** $\Delta_{н}$ - при измерении по методу непосредственной оценки зависит от геометрических отклонений измерительных наконечников и формы поверхностей объектов измерения, а при измерении по методу сравнения с мерой является суммарной погрешностью измерения меры, так как содержит все составляющие погрешности измерения и дополнительно погрешность меры
6. **Субъективные погрешности** $\Delta_{л}$ - зависят от качества реализации метода измерения оператором.
7. **Смещение настройки** $\Delta_{см}$ - вызываемая износом измерительного наконечника и темпом сбоя настройки между подналадкой, главным образом, от ударов и вибраций.

Окончательно: $\Delta_{мет} = \Delta_{сх} + \Delta_{баз} + \Delta_{т} + \Delta_{с} + \Delta_{Н} + \Delta_{л} + \Delta_{СМ}$

Погрешности допустимые при измерении линейных **размеров** до **500 мм (ГОСТ 8.051-81)**

6.4.1 Значения допускаемых погрешностей измерений

Допустимые погрешности измерений (5) в зависимости от допусков IT приведены в *ГОСТ 8,051-81*

Погрешности измерения, приведенные в *ГОСТ 8,051- 81* , являются наибольшими допустимыми погрешностями измерений, включающими в себя все составляющие, зависящие от измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т.д.

Допускаемая погрешность измерения включает случайные и неучтенные систематические погрешности измерения.

Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 допускаемой погрешности измерения и принимается равной 2 а, где а - значение среднего квадратичного отклонения погрешности измерения.

При допусках, не соответствующих значениям, указанным в тдС . *ГОСТ 8,051- 81* допускаемую погрешность выбирают по ближайшему меньшему значению допуска для соответствующего размера.

Наивысшие по точности квалитеты допусков, измеряемыми средствами измерений, с учётом погрешностей их измерений, в приложении 4.2.

6.4. 2 Приёмочные границы с учётом допускаемых погрешностей измерений

Влияние погрешностей измерения на результат измерений должно быть учтено при установлении приёмочных границ - значений размеров, по которым проводят приёмочный контроль изделий.

Для учёта влияния погрешностей измерений стандартом 8.051-81 предусмотрены два возможных варианта установления приёмочных границ.

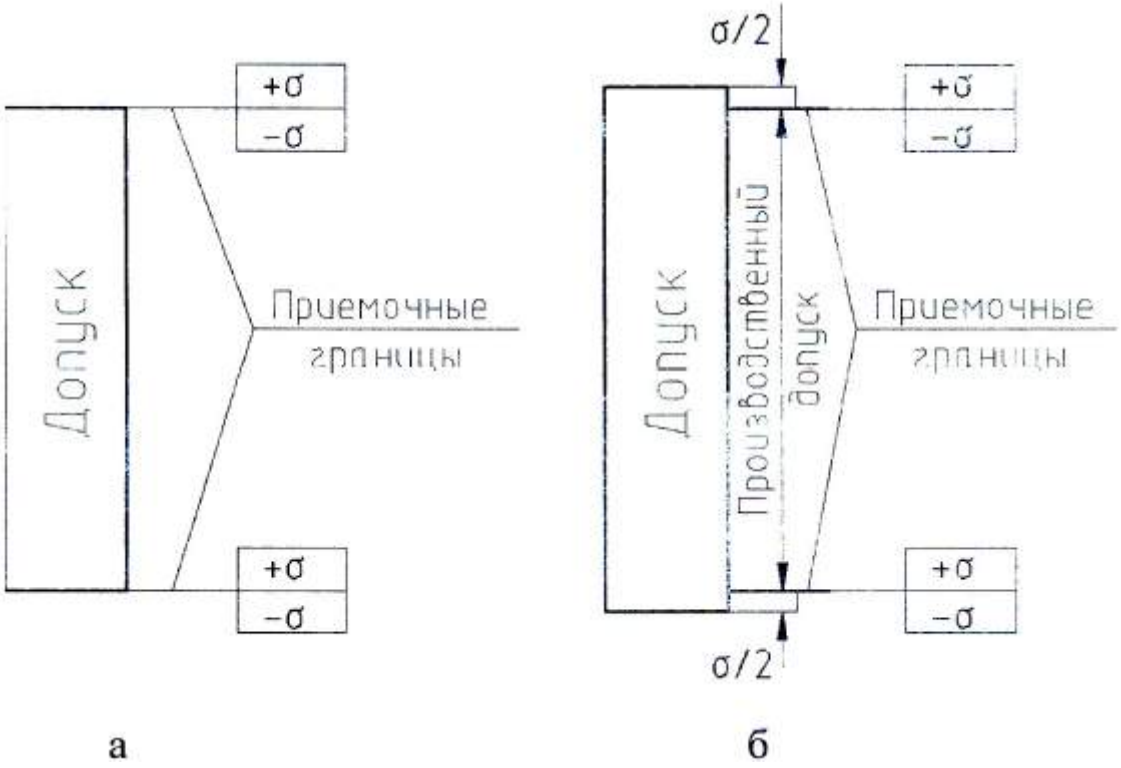


Рис. 6.1 - Приёмочные границы допусков

В первом варианте приёмочные границы устанавливают совпадающими с нормируемыми предельными значениями проверяемого размера (рис. 6.1 а),

т,е возможное влияние погрешности измерения учитывается конструктором ирг выборе квалитета и вида посадки. Этот вариант в стандарте является основным и вполне соответствует принятой международной практике.

Во втором случае приёмочные границы устанавливают с введением производственного допуска (рис. 6.1 б), т.е. нормируемые предельные значения размера смещают внутрь допуска с учётом возможного влияния погрешности измерения,

Смещение не должно превышать половины нормируемой в стандарте допустимой погрешности измерений.

Классификация погрешностей измерения

Вследствие погрешностей, присущих средству измерений, выбранному методу и методике измерений, отличия внешних условий, в которых выполняется измерений, от установленных, а также из-за других причин результат практически каждого измерения отягощен погрешностью. Эта погрешность вычисляется или оценивается и приписывается полученному результату.

Погрешность результата измерений (кратко - погрешность измерений) - отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Пределы допускаемых погрешностей измерений регламентируют ГОСТ 8.051-81 ГСП «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм» и ГОСТ 8.549-86 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм с неуказанными допусками».

Погрешности измерений могут быть классифицированы по различным признакам.

1. По размерности (способу выражения):
- абсолютные;
- относительные;
- приведенные.
2. По закономерности (характеру) проявления:
- систематические;
- случайные;
- грубые;
- промахи.
3. По условиям изменения измеряемой величины:
- статические;
- динамические.
4. По источнику (месту) возникновения:
- метода;
- средства измерения;
- отсчета.
5. По влиянию внешних условий:
- основная;
- дополнительная.

Абсолютная погрешность измерения - разность между значением

величины, полученным при измерении, и ее истинным значением, выражаемая в единицах измеряемой величины

Δx= ***Хизм - Хист*** ■

Истинное значение величины вследствие наличия погрешностей остается неизвестным. Его применяют при решении теоретических задач метрологии. На практике пользуются действительным значением величины, которое заменяет истинное значение. Погрешность измерения (Д) находят по формуле:

Δx = ***Хизм -Хдейств***

где *Хизм* - значение величины, полученное на основании измерений;

Хдейств. — значение величины, принятое за действительное.

За действительное значение при однократных измерениях нередко принимают значение, полученное с помощью образцового средства измерений (погрешность которого на порядок меньше), при многократных измерениях - среднее арифметическое из значений отдельных измерений, входящих в данный ряд.

Относительная погрешность измерения - отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины.

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_{ист}} 100\% \approx \frac{\Delta x}{x_{действ}} 100\%$$

Основной недостаток относительной погрешности - зависимость ее от величины измеряемого размера.

Приведенная погрешность - отношение абсолютной погрешности к нормированному значению X_N

$$\gamma x = \frac{\Delta x}{XN} 100\%$$

За значение X_N обычно применяют верхний предел средства измерения.

Абсолютная и относительная погрешности используются для выбора измерительных приборов. Приведенная погрешность используется для установления класса средства измерений.

Класс точности средства измерения - обобщенная характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливают в стандартах на отдельные виды средств измерений. Класс точности средств измерений характеризует их свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих средств. Например, класс точности концевых мер длины характеризует близость их размера к номинальному. Классы точности средств измерений указываются в документации и обычно обозначаются на самых измерительных приборах (циферблатах, щитках, корпусах) прописными буквами латинского алфавита либо римскими цифрами.

Систематическая погрешность измерения (кратко - систематическая погрешность) - составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной для данного ряда измерений или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

По характеру проявления систематические погрешности подразделяются на **постоянные** и **изменяющиеся. Постоянные систематические погрешности** (аддитивные) - погрешности, длительное время сохраняющие свое значение (например, в течение всей серии измерений). Это наиболее часто встречающийся вид погрешности. Постоянные систематические погрешности при измерении имеют место, если реальная градуировочная характеристика смещена относительно номинальной на некоторую величину $Д_x$ (рис. 3.1 а, б). Эти погрешности можно почти полностью устранить введением соответствующей поправки.

Изменяющиеся систематические погрешности (мультипликативные) - это погрешности, возникающие от некоторого независимого от X изменения

чувствительности прибора. В этом случае погрешность оказывается пропорциональной текущему значению *X.* Изменяющиеся систематические погрешности подразделяются на прогрессивные и периодические.

Прогрессивные систематические погрешности (дрейфовые) - непрерывно возрастающие или убывающие погрешности (например, погрешности от износа измерительных наконечников, контактирующих с деталью при ее контроле (см. рис. 6.2 в, г). В некоторых приборах (рычажномеханических) могут быть заложены степенные функции преобразования, тогда прогрессивные систематические погрешности имеют графики, представленные на рис. 3.1, д, е, ж, з.

Периодическая систематическая погрешность - погрешность, значение которой является функцией времени или функцией перемещения указателя измерительного прибора (например, наличие эксцентриситета в угломерных приборах с круговой шкалой вызывает систематическую погрешность, изменяющуюся по периодическому закону в приборах с зубчатыми преобразователями). Пример периодической систематической погрешности представлен на рис. 6.2, и, к.

Изменяющиеся систематические погрешности могут быть скорректированы введением поправки лишь в данный момент времени.

Следует отметить, что в последнее время, приведенное выше определение систематической погрешности, подвергается обоснованной критике. Весьма аргументировано предлагается [2] считать систематическую погрешность специфической «вырожденной» случайной величиной, обладающей некоторыми, но не всеми свойствами случайной величины, изучаемой в теории вероятности и математической статистике.

Случайная погрешность измерения - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся непредсказуемым случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Эти погрешности определяются сложной совокупностью причин, трудно поддающихся анализу. Их частные значения не могут быть предска-

заны, а может быть выделена лишь зона рассеивания с некоторой вероятностью.

Как правило, погрешности измерения (если исключить систематическую) подчиняются нормальному закону распределения с математическим ожиданием $m_x = 0$ и дисперсией a_x .

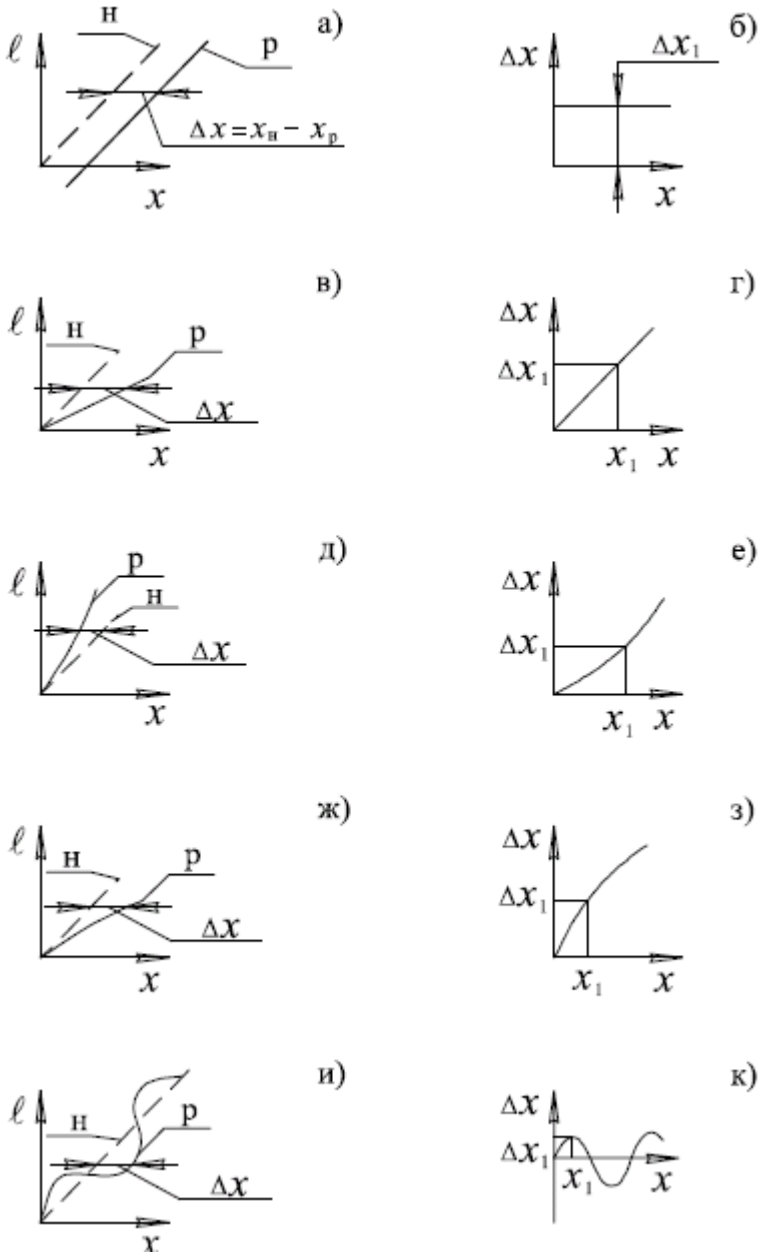


Рис. 6.2. Разновидности систематических погрешностей измерения: а, б - постоянные; в, г, д, е, ж, з - изменяющиеся прогрессивные; и, к - изменяющиеся периодические

Дисперсия G_{x^2} или среднее квадратическое отклонение $ст_x$ характеризуют величину рассеивания результатов измерения относительно $ш_x$. При нормальном законе распределения и большом числе измерений $N—>co$ поле рассеивания при вероятности p оценивается:

$$GЭ_x = \pm 3\sigma_x \ (p = 0,9973),$$

$GƆ_x = \pm 2\sigma_x$ (p= 0, 954),

$GƆ_x = \pm \sigma_x$ (p= 0, 8).

В соответствии с рекомендацией ИСО случайная погрешность измерения принята с вероятностью 0,954, т.е. равной $\pm 2a_x$. При ограниченном числе измерений (что происходит на практике) величину случайной погрешности оценивают:

$\Delta_x = \pm t_p * S_x$,

где t_p - параметр распределения Стьюдента; p - уровень вероятности; S_x - оценка среднего квадратического отклонения.

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(xi - x)^2}$$

где x— оценка математического ожидания,

$$x = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} xi$$

К случайным погрешностям относят также так называемые грубые погрешности и промахи.

Грубые погрешности - имеют место в том случае, если среди результатов измерений есть выделяющиеся результаты. Грубые погрешности не исключают из результатов измерений, не проделав соответствующих статистических обоснований. Чтобы выявить грубую погрешность необходимо:

8. выделить наиболее выделяющийся результат *(xj)* и сравнить его со средним значением x выборки результатов измерений;
9. рассчитать статистику (y):

$$y = \frac{x - x_k}{\frac{\sqrt{N}}{S_x}}$$

Статистика имеет распределение Стьюдента с числом степеней свободы v = *N - 1* и на уровне значимости $a = g/2$, где $g = 1 - p$; p - уровень вероятности.

Если $|g| < t_{kp} = tv$, то k-ый результат *(xm)* измерений выбрасывать из общего ряда нельзя, т.е. учитывается.

Если $|g| < t_{kp}$, то результат измерений не учитывается.

Промахи - резко выделяющиеся результаты измерений. Промахи из результатов измерений исключаются.

Необходимо иметь ввиду, что разделение погрешности на систематические постоянные, систематические изменяющиеся и случайные является лишь приемом их анализа, т.е. такое разделение было введено для удобства обработки результатов измерений исходя из характера их проявления. Разделение погрешности на систематическую постоянную, прогрессирующую и случайную составляющие представляет собой попытку описать различные участки частотного спектра этого широкополосного процесса: инфранизкочастотный, низкочастотный и высокочастотный. В реальной действительно-

сти все эти составляющие проявляются, как правило, совместно. Например, систематические погрешности процесса измерения, связанные с использованием конкретного измерительного прибора, переходят в разряд случайных, если для измерений будет использовано множество таких приборов. Например, неправильная градуировка шкалы прибора вызовет систематическую погрешность при использовании одного прибора и случайную при измерениях многими аналогичными приборами.

Статическая погрешность - погрешность результата измерения, обусловленная условиями статического измерения. Статическая погрешность - отклонение постоянного значения измеряемой величины на выходе средства измерения от истинного ее значения в установившемся состоянии.

Динамическая погрешность - погрешность результата измерения, обусловленная условиями динамического измерения. Динамические погрешности возникают, если на результат измерения оказывает влияние скорость изменения измеряемой величины. Эта погрешность определяется как разность результатов показаний средства измерений в динамическом и статическом режимах его эксплуатации при одной и той же измеряемой величине.

Динамические погрешности возникают в результате влияния внешних и внутренних сил, масс элементов средств измерений, их ускорений под воздействием сил, колебательных процессов. Примерами источников возникновения динамических погрешностей являются: изменение во времени контролируемых параметров, перемещение изделия (линейное и вращательное), наличие разрывов на поверхности измеряемого изделия (канавки, шлицы), погрешности формы, трение о поверхности детали, явление автоколебаний, явление удара соприкасающихся поверхностей при разарретировании наконечников и др. Динамические явления приводят к запаздыванию появления выходного сигнала и увеличению погрешности показаний. Например, на рис, 6.3 представлено влияние динамических факторов на результаты измерений размера при установке вала на измерительную позицию.

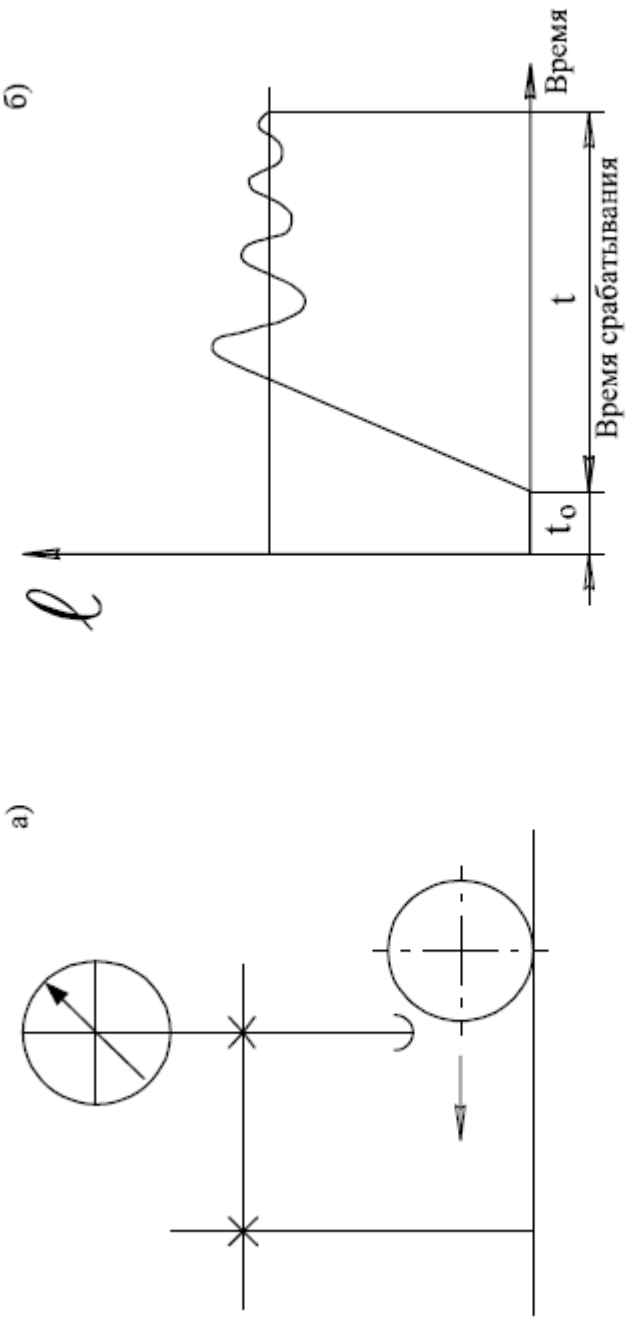


Рис. 3.2. Влияние динамических факторов на результат измерения диаметра вала:
а - схема измерения; б - переходная характеристика измерительного прибора,
ℓ - выходной сигнал

Реакция средства измерения на периодическое воздействие представляет собой периодическую функцию с амплитудой и фазой, зависящими от

частоты воздействия. На рис. 6.4 представлено влияние динамических факторов на результаты при измерении радиального биения вала в центрах. При измерении с медленным вращением детали *(ω)* даже при наличии эксцентриситета *(e)* или погрешностей формы (например, овальности) динамических погрешностей не возникает, т.к. наконечник находится в постоянном контакте с контролируемой поверхностью и изменения измерительного усилия незначительны. При увеличении угловой скорости *(ω2)* детали из-за инерционности подвижных частей измерительного прибора измерительное усилие в точке соприкосновения наконечника с поверхностью детали уменьшается. В результате изменения измерительного усилия изменяется деформация воспринимающих механических элементов прибора (толкателей или рычагов). При этом в фазе подъема участка профиля измерительное усилие и деформации возрастают, а в фазе спада участка профиля они уменьшаются. Следовательно, даже при постоянном контакте наконечника с поверхностью контролируемого изделия будет возникать первая динамическая составляющая погрешности измерения, вызванная изменением деформацией воспринимающих элементов. Наконец, при достаточно высокой угловой скорости произойдет отрыв измерительного наконечника, что приведет к появлению второй составляющей динамической погрешности.

Для изучения динамических погрешностей пользуются двумя частотными характеристиками средств измерений (см. рис. 6.5):

амплитудно-частотная (АЧХ);

фазочастотная (ФЧХ).

АЧХ - зависимость амплитуды показаний прибора от скорости изменения измеряемой величины.

ФЧХ - зависимость угла фазы от скорости изменения измеряемой величины.

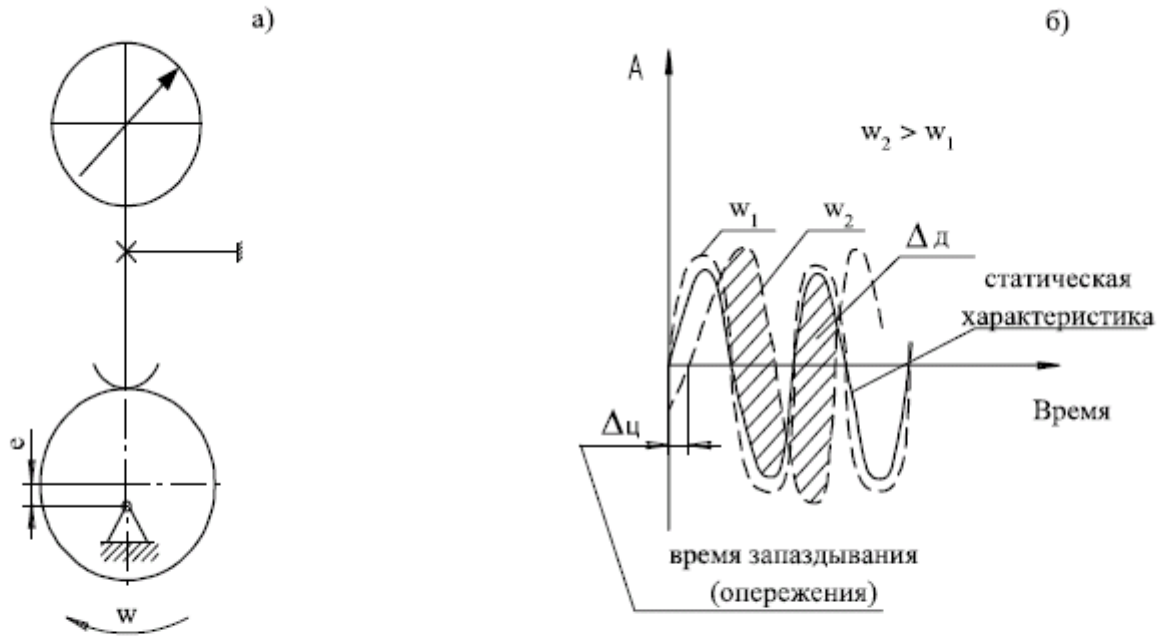


Рис. 3.3. Влияние динамических факторов на результаты измерения радиального биения вала:
а – схема измерения; б – графики изменения выходного сигнала в зависимости от величины скорости вращения детали, e – эксцентриситет, w – угловая скорость вращения, A – амплитуда колебаний, Δд – динамическая погрешность

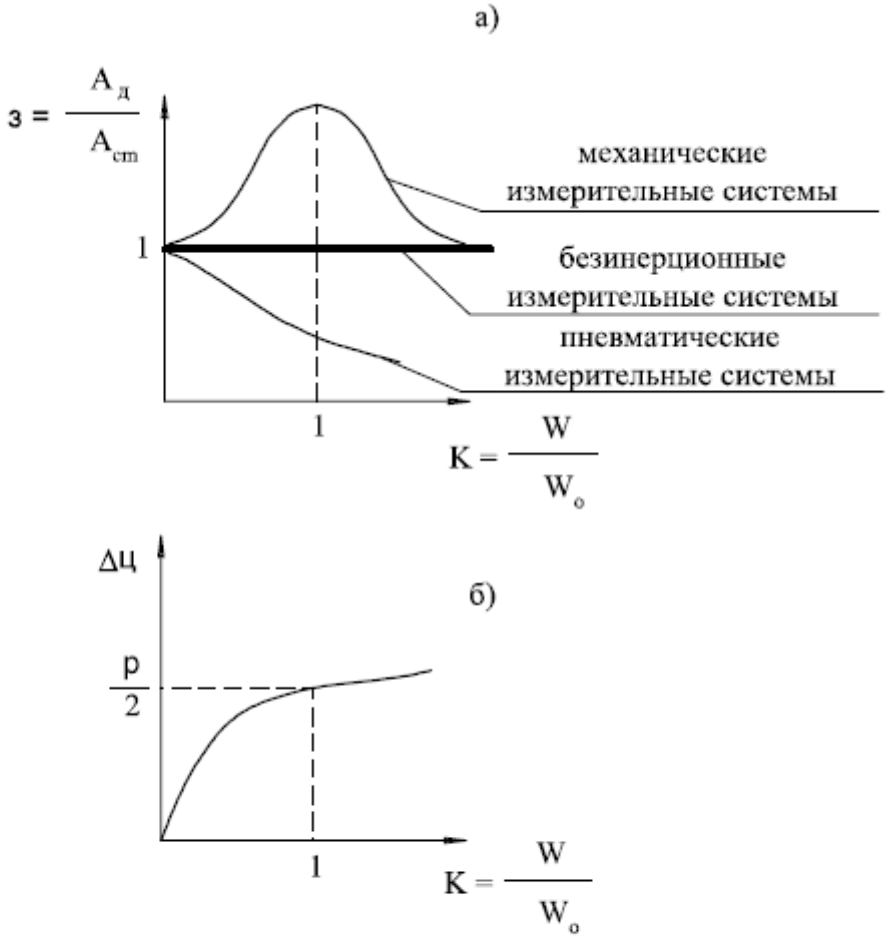


Рис. 3.4. Амплитудно - частотная (а) и фазочастотная (б) характеристики средств измерений: Ад – амплитуда колебаний выходного сигнала в динамическом режиме работы; Acm – в статическом; W_0 – собственная частота средства измерения

Основные составляющие погрешности измерения

Измерение - неотъемлемая часть любого технологического процесса. Погрешности обработки наряду с погрешностями измерения являются составной частью суммарной погрешности изготовления деталей. Погрешность обработки складывается из влияния технологических и метрологических факторов. В настоящее время погрешности обработки и измерения изучаются независимо друг от друга, хотя они по существу вызываются одинаковыми факторами и подчинены одним и тем же законам. Таким образом, при анализе измерительных и технологических систем должен быть единый, общий подход.

При измерениях всегда имеют место четыре фактора:

метод измерения;

измерительный прибор;

внешняя среда;

контролер.

Эти факторы являются источниками следующих составляющих погрешности измерения:

погрешность метода;

погрешность измерительного прибора;

погрешность из-за воздействия внешней среды;

погрешность отсчета (субъективная).

Погрешность метода измерений

Методическая погрешность измерения обусловлена:

отличием принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его свойства, которое определяется путем измерения;

влиянием способов применения СИ;

влиянием алгоритмов (формул), по которым производятся вычисления результатов измерений;

влиянием других факторов, не связанных со свойствами используемых средств измерения.

Отличительной особенностью методических погрешностей является то, что они не могут быть указаны в нормативно-технической документации на используемое СИ, поскольку от него не зависят, а должны определяться оператором в каждом конкретном случае. В связи с этим оператор должен четко различать фактически измеряемую им величину и величину, подлежащую измерению.

Погрешность метода измерений может возникнуть из-за несовершенства метода измерений или допущенных его упрощений, установленных методикой измерений. Например, погрешность метода *{Лм)* при косвенном измерении у =*f(xi,X2, ..., x_n)* рассчитывается по формуле:

$$\Delta M = \sqrt{\left(\frac{dy}{dx_1}\right)^2 \Delta x_1^2 + \left(\frac{dy}{dx_2}\right)^2 \Delta x_2^2 + \ldots \left(\frac{dy}{dx_n}\right)^2 \Delta x_n^2}$$

где *Ax,,* - погрешность каждого прямого измерения.

При косвенном измерении, схема которого приведена на рис. 2.1 погрешность метода () рассчитывается:

$$\Delta M_D = \sqrt{\left(\frac{2S}{h} * \Delta S\right)^2 + \left(\left(1 - \frac{S^2}{h^2}\right) * \Delta h\right)^2},$$

где *Ah* - погрешность прямого измерения величины *h; AS* - погрешность величины *S.*

Если измерение прямое и используется метод непосредственной оценки, то погрешность метода принимается равной нулю.

При прямом измерении методом сравнения с мерой *x = (m + An)* погрешность метода можно оценить по формуле погрешности косвенного измерения:

$$\Delta M_x = \sqrt{(1 * \Delta m)^2 + (1 * \Delta n)^2}.$$

При относительных измерениях в погрешность метода включается погрешность меры или эталона, по которым настраивается СИ.

Наиболее сложно определить погрешность метода при измерении отклонений формы и расположения поверхностей. Это связано с тем, что нормирование допусков формы и расположения поверхностей детали осуществляется относительно прилегающих поверхностей. Следовательно, измерение соответствующих отклонений формы и расположений также должно осуществляться от прилегающих поверхностей. Поэтому возникает необходимость в материализации прилегающих поверхностей. Материализацию прилегающих поверхностей обычно осуществляют за счет контрольных оправок, поверочных линеек, мерных прокладок, лекальных линеек и т.п. Однако на практике часто прилегающую поверхность материализуют за счет реальной поверхности. В этом случае обязательно необходимо учитывать погрешность метода, связанную с погрешностью формы этой реальной поверхности.

3 2 2 Погрешность измерительного прибора

Погрешность измерительного прибора *{инструментальная)* возникает из-за несовершенства конструкции измерительного прибора, погрешности изготовления элементов прибора, внешних условий эксплуатации прибора и пр.

В общем виде результирующую погрешность измерительного прибора можно представить следующим образом:

$$\Delta un = \Delta cx + \Delta т + \Delta э + \Delta 0 + \Delta_n ,$$

где Δсх - погрешность схемы измерительного прибора (теоретическая погрешность); Δт — технологическая погрешность; Δэ — эксплуатационная погрешность; Δ0 - погрешность отсчета; Δ_n - погрешность преобразователя (измерительной головки).

Инструментальную погрешность условно разделяют на основную Δ*о* и дополнительную Δ *$* погрешность. Погрешность прибора в нормальных условиях называют основной, погрешность в условиях, отличающихся от нормальных (реальных) - дополнительной.

Основную и дополнительную погрешности подразделяют на три составляющих:

погрешность схемы измерительного прибора;

технологическая погрешность;

эксплуатационная погрешность.

3.2.2.1. Погрешность схемы измерительного прибора

Погрешность схемы (или теоретическая погрешность) возникает на стадии проектирования прибора. При конструировании приборов в целях упрощения изготовления прибора, устранения влияния зазоров и т.п. нередко отступают от идеальной схемы, точно осуществляющей заданное движение. Эти упрощения и изменения приводят к применению схемы прибора, лишь приближенно осуществляющей требуемый закон передачи движения, вследствие чего возникает «теоретическая» ошибка механизма, называемая погрешностью схемы. Упрощенная схема механизма состоит из меньшего числа более простых звеньев, благодаря чему прибор проще изготовить. Применение «приближенной» схемы механизма приводит к определенному технико-экономическому эффекту, поскольку упрощается технология изготовления деталей и сборки прибора и одновременно повышается точность изготовления звеньев прибора. Кроме того, суммарная погрешность прибора с упрощенной схемой, как правило, оказывается меньше, чем прибора с точной, но сложной схемой. Это связано с тем, что систематическая погрешность прибора, вызванная применением приближенной схемы, перекрывается уменьшением технологических погрешностей из-за упрощения формы деталей.

Для погрешности схемы механизма характерно то, что она в каждом положении ведущего звена имеет вполне определенное значение, поэтому эта погрешность является систематической, изменяющейся по определенному закону.

Погрешность схемы рассчитывается как разность между характеристикой прибора (функцией преобразования), обусловленной его схемой и требуемой (желаемой) характеристикой (функцией преобразования) и в общем случае:

$$\Delta cx = lcx(\ xi, ri) - \ lo(\ x),$$

где *la (хь rj)* - функция преобразования, обусловленная схемой измерительного прибора; *1₀(x)* - желаемая (требуемая) функция преобразования.

Оценим погрешность схемы измерительного прибора, приведенного на рис. 6.6, а.

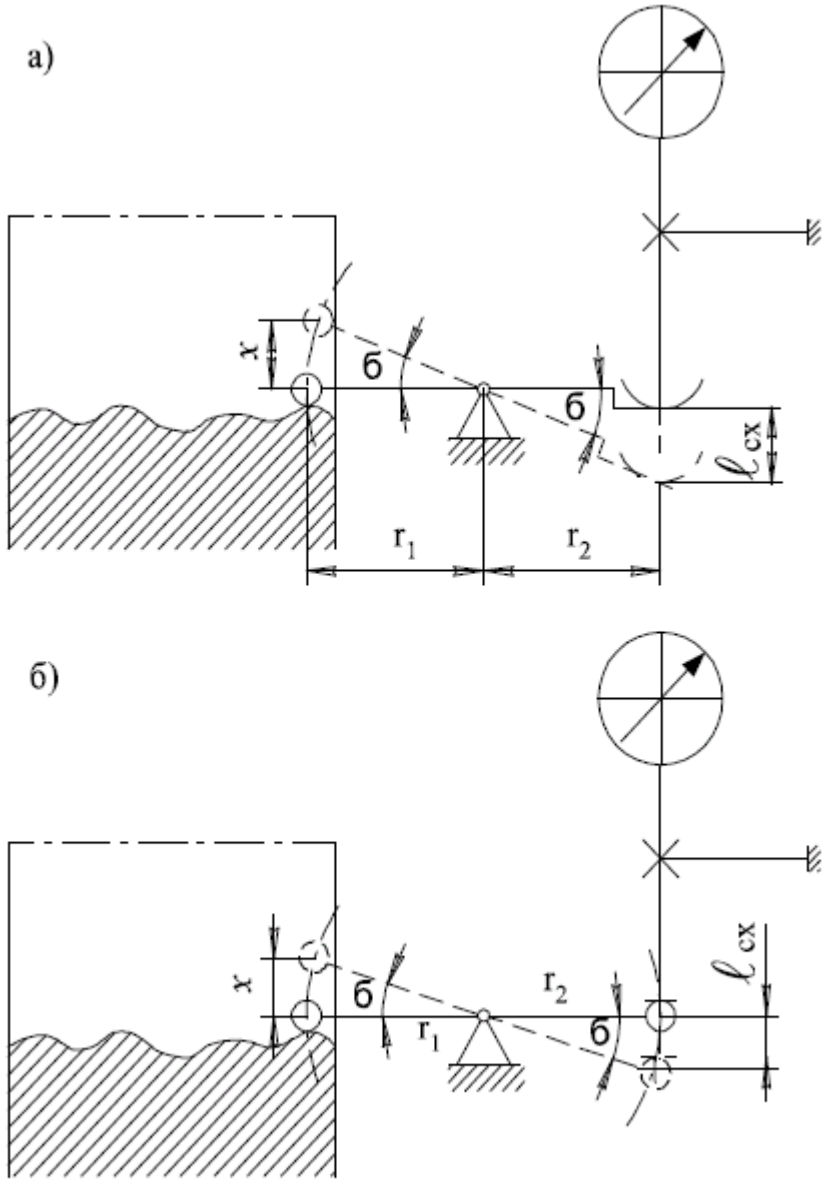


Рис. 6.6. Схемы для расчета погрешности схем измерения

Исходя из схемы величина входного сигнала:

$x = \Gamma \sin a$.

Отсюда:

$\sin a = x/r$\; $a = arcsin x|r$.

Величина выходного сигнала:

$$\Delta cx = r2 * tga = r2\ \frac{sina}{\sqrt{1 - sina^2}}$$

После подстановки получим:

$$\Delta cx = r2\ \frac{x}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{ri^2}}} = r2\ \frac{x}{\sqrt{ri^2 - x^2}}$$

Погрешность схемы, рассчитанная по полученной формуле, например, при исходных данных: *Г] = г₂ = 50 мм; х = 10 мм* составляет около *0,2 мм.*

При использовании схемы, приведенной на рис. 6.6, б погрешность схемы отсутствует:

x= r1 sina,*

$$lcx = r2 * sina = r2 * \left(\frac{x}{r1}\right),$$

lo= (r2/r1) x*

$$\Delta cx = lcx - l0 = r2 * \left(\frac{x}{r1}\right) - \left(\frac{r2}{r1}\right) * x = 0.$$

3 2 2 2 Погрешность технологическая

Технологическая погрешность возникает на стадии изготовления прибора. Источники этой погрешности - неточность изготовления и сборки самого средства измерения.

Технологическую погрешность можно разделить на две составляющие:

-погрешность из-за неточности изготовления и сборки передаточного механизма (деталей измерительной цепи прибора);

-погрешность из-за неточности изготовления и сборки других элементов (базирующих, установочных и др.).

В первом приближении технологическую погрешность ($A_{Te}J$ можно рассчитать по формуле:

$$\Delta mex = \sum_{i=1}^{n} \frac{dlcx}{dri} \Delta ri,$$

где /сх - функция преобразования, обусловленная схемой; *Г{* - номинальные размеры деталей измерительного приспособления; *Аг{* - погрешность изготовления или сборки деталей, входящих в измерительную цепь.

В качестве примера оценим технологическую погрешность средства измерения, которое приведена на рис. 6.7. Из схемы следует:

$$x = r_1 \sin a,$$

$$l_{cx} = r_2 \sin a = r_2 (x/r_1),$$

$$\Delta_{тех} = -(r_2 x / r_1^2)\Delta r_1 + (x/r_1)\Delta r_2.$$

где Δr_{it} Δr_2- погрешности изготовления плеч рычага.

Технологическая погрешность, рассчитанная по полученной формуле, например, при исходных данных: $r1 = r_2 = 50$ *мм;* $\Delta r1 - \Delta r_2 = \pm 0{,}1$ *мм* составляет *0,04 мм.*

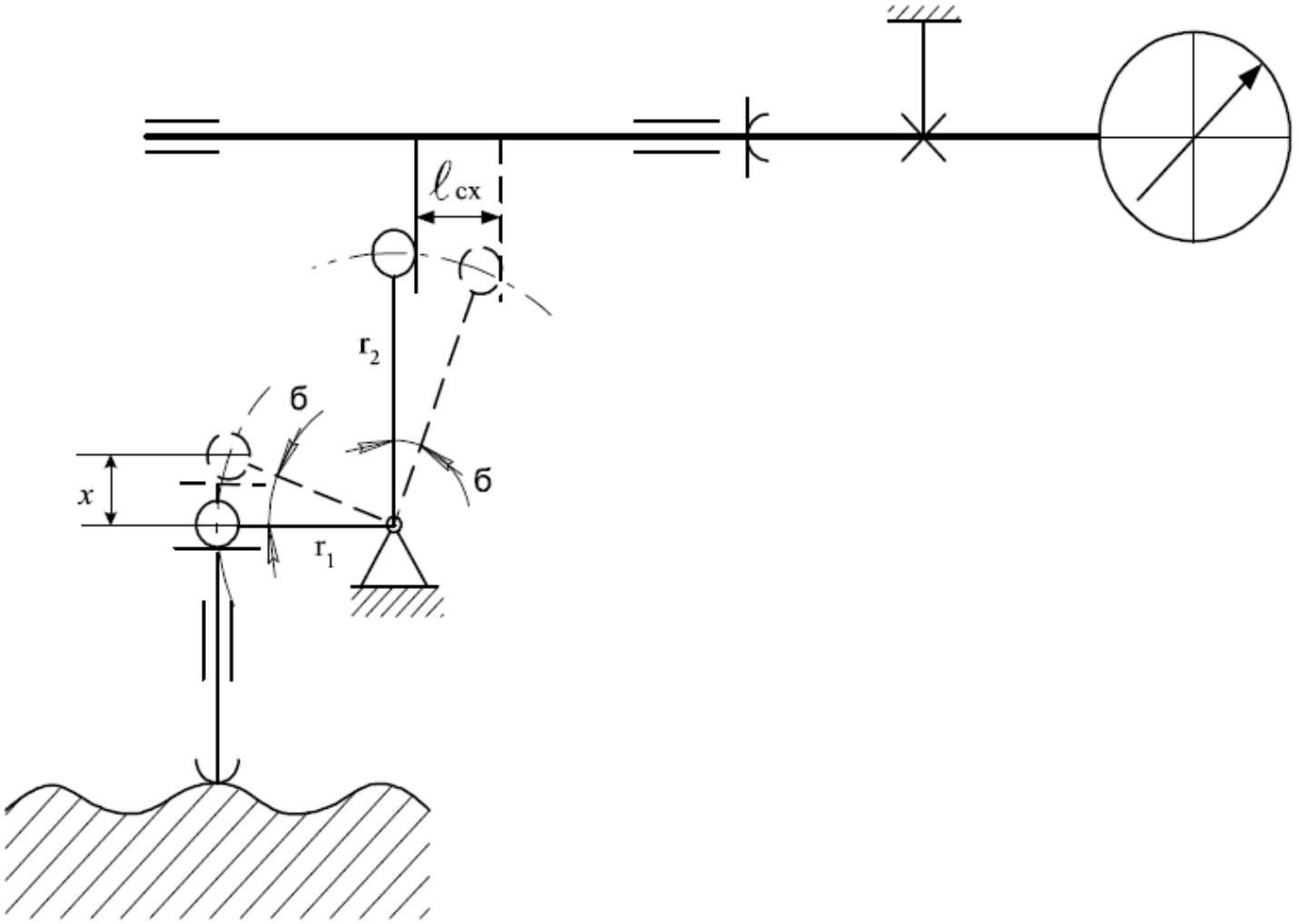


Рис. 3.6. Схема измерения к расчету технологической погрешности

2 2 3 Эксплуатационная погрешность

Группа эксплуатационных погрешностей, возникающих в результате эксплуатации измерительного прибора, является наиболее многочисленной. Источниками появления поэлементных эксплуатационных погрешностей могут быть:

-отличие условий эксплуатации от нормальных – непостоянство температурного режима (температуры помещений, приспособления, деталей), влажности, атмосферного давления, наличие загрязнений, недостаточное время прогрева электросхемы, наличие посторонних источников вибрации и др. помех;

-силовые деформации, вызывающие упругие перемещения и перемещения в пределах зазоров, непостоянство измерительного усилия во времени вследствие гистерезиса пружин, упругого последействия, непостоянства сил трения, несбалансированности отдельных деталей прибора, динамических нагрузок и т. д.;

-контактные деформации, зависящие от измерительного усилия, шероховатости контролируемой поверхности, формы чувствительного элемента прибора и формы детали;

-изнашивание наконечников, подвижных частей деталей передаточных и масштабных механизмов, штоков, рычагов, подвижных частей преобразователей, электрических контактов, элементов подвесок, базирующих элементов, подвижных частей кареток и т. п.

-непостоянство характеристик источников питания (напряжения, частоты, давления и т. п.), кроме того, возможно появления грубых отклонений в виде: попадания под наконечники крупных частиц абразива, металла, загрязнений, появление заеданий, поломок, утечек и т. п.

Результирующая величина эксплуатационной погрешности может быть определена установлением математических зависимостей составляющих погрешностей от факторов их определяющих и использованием метода суммирования. При этом целесообразно ограничить вычисление результирующей погрешности определением основных составляющих. Многие из этих погрешностей при рассмотрении конкретного измерительного прибора оказывают незначительное влияние на результирующую погрешность, кроме того, в каждом конкретном случае может быть свой комплекс доминирующих эксплуатационных погрешностей.

Поскольку в рамках рассматриваемой работы нет возможности привести исчерпывающие сведения о методах оценок всех составляющих эксплуатационной погрешности, то при необходимости следует обратиться к нормативной, справочной или учебной литературе. Например, методы расчета температурных погрешностей подробно изложены в [10], расчеты погрешностей, возникающих из-за наличия зазоров в опорах, направляющих вращательного и поступательного перемещений подробно изложены в работах [8], погрешности, связанные с упругими перемещениями элементов

измерительного прибора, можно оценить по [8], с контактными деформациями - [8] и т. д.

Ниже рассмотрены наиболее часто имеющие место эксплуатационные погрешности от температурных и ершовых деформаций.

Погрешность от температурных деформаций

Данная погрешность присутствует практически при всех измерениях размеров, и влияние её обычно растёт при увеличении требований к точности и уменьшении измеряемого размера. Поскольку размеры детали и измерительного прибора изменяется под влиянием температуры, то при нормировании требований к точности размеров практически во всём мире было принято определять значение размеров при температуре 20°С (нормальная температура). Если измерения производятся при другой температуре, то размер надо «привести» к этой температуре или смириться с погрешностью измерений из-за температурных деформаций. В Советском Союзе нормальная температура (20°С) была установлена в 1929 году. До этого, при введении единицы измерения линейных размеров в виде метра и изготовлении эталонов была принята нормальная температура значением 0°С (т. к. такое значение можно сравнительно просто воспроизвести в сосуде с тающим льдом). Однако на производстве от этого значения нормальной температуры из-за сложности воспроизведения такой температуры пришлось отказаться. Выбор значения температуры в 20°С был обоснован тем, что в рабочем помещении считается, что температура обычно находится в диапазоне 15...20°С. Принят был верхний предел диапазона исходя из того, что легче более прохладное помещение довести до этой температуры отоплением, чем снижать температуру более тёплого помещения (расходы на подогрев помещения в 4... 10 раз меньше, чем при охлаждении). В последние годы (1993 г.) в Международной организации по стандартизации (ИСО) обсуждается вопрос об установлении нормальной температуры равной 24°С. Это связано с тем, что при этой температуре реже возникает необходимость в охлаждении помещения, где производятся измерения; тепловыделение оператора меньше влияет на температурные деформации из-за меньшей разницы температур среды и тепловыделений оператора; более комфортные условия для работы оператора, т.к. процесс измерений обычно малоподвижен. Таким образом, измеряя объект измерений необходимо знать его размер при температуре 20°С. Привести размер к 20°С не всегда возможно и появится погрешность из-за температурных деформаций.

Для установления причин появления погрешности от температурных деформаций представим схему измерения линейного размера в виде размерной измерительной цепи. Эта цепь состоит из нескольких звеньев, в том числе замыкающего звена (измерительный размер), компенсационного звена (отсчетное устройство) и других звеньев (вспомогательные устройства для закрепления отсчётной системы и базирования детали). Отсчётная

система также часто представляет собой пространственную размерную цепь. Составляющие звенья размерной измерительной цепи изготавливаются разных размеров, разной конфигурации и из разных материалов, имеющих разный коэффициент линейного расширения.

Причинами возникновения температурных деформаций отдельных звеньев размерной измерительной цепи являются:

10. отклонения температуры звеньев от 20°С;
11. разность температуры измерительного прибора и детали;
12. непостоянство температуры звеньев в процессе измерений (колебания температуры);
13. нагрев прибора руками оператора.

Отклонение температуры звеньев измерительной цепи от 20°С влияет на погрешность измерений в связи с тем, что элементы цепи имеют разные коэффициенты линейного расширения и поэтому по разному изменяют свои размеры при одинаковой температуре. Например, сталь имеет коэффициент линейного расширения $1{,}11 \times 10^{-5}$ К'[1], а литейный алюминий - 2х10"[5] К"[1]. Стержень из стали длиной 1000 м изменяет свою длину на 11,1 мкм при изменении температуры на 1°С, такой же стержень из литого алюминия - на 20 мкм. Погрешность из-за отклонений температуры окружающей среды от 20°С можно исключить, если при настройке прибора в условиях постоянной температуры, отличающейся от 20°С при настройке прибора использовать установочную меру из такого же материала, что и измеряемая деталь.

Разность температуры средств измерений и объектов измерений

вносит погрешность в результаты измерений, если деталь не приняла температуру окружающей среды в месте измерения после её обработки или перемещения из помещения с другой температурой. В этом случае погрешность от температурных деформаций:

$\Delta l_t = 1\{a\Delta \blacksquare \Delta$td- аП'$\Delta tП),$

где Δl_t - погрешность от температурных деформаций; / - измеряемый размер; $ac_д, a_n$ - коэффициенты линейного расширения соответственно измеряемой детали и средства измерений; Δtд, $\Delta/_я$ - отклонения температуры

от нормальной (20°С) детали и приборы соответственно.

При расчёте погрешности от температурных деформаций при измерении отклонения формы или расположения поверхностей за измеряемый размер следует брать длину нормируемого участка или соответствующий номинальный размер.

Для устранения данной погрешности необходима выдержка детали, чтобы её температура была близкой или равной температуре воздуха в помещении, где производятся измерения. Имеется много теоретических и экспериментальных работ по определению времени выдержки и разработке рекомендаций по времени выдержки. С этой целью ГОСТ 8.050-73

«Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений» устанавливается время выдержки объекта перед измерением и требования к отклонениям температуры их от 20°С при размещении в рабочем пространстве. Значения времени задаются в зависимости от допуска на измеряемый размер и массы детали. Учитывается и величина поверхности детали.

Колебания температуры окружающей среды в месте измерений вызывает погрешность от температурных деформаций, если звенья размерной цепи не одновременно воспринимают эти колебания температур. Даже при тщательном термостатировании невозможно добиться постоянства температуры окружающей среды в зоне измерительного прибора. Присутствие оператора, осветительной аппаратуры, электродвигателей, изменение наружной температуры воздуха от утренней до дневной - приводят к непостоянству температуры окружающей среды, а, следовательно, к непостоянству температуры отдельных звеньев измерительной размерной цепи, т. к. звенья размерной цепи не одновременно реагируют на изменение температуры.

Трудность оценки погрешности от температурных деформаций при непостоянстве температуры заключается в том, что функции изменений температуры среды не остаются постоянными в разные промежутки времени. Имеется много работ с попытками разработки аналитических методов определения погрешностей в динамических температурных условиях, однако они трудоёмки и не точны. Наиболее достоверные результаты с погрешностью 10... 15% даёт экспериментально-аналитический метод [10].

Нагрев прибора руками оператора характерен для накладных средств измерений. Накладные средства измерений - это такие приборы, которые при измерении располагаются на измеряемом объекте. Особенностью этих средств измерений в отношении температурных деформаций заключается в том, что при их использовании они периодически находятся в контакте с источником тепла - руками оператора. При этом происходит нагрев отдельных элементов за счет теплопроводности. Исследования [10] показывают, что у некоторых накладных приборов могут возникнуть большие деформации от нагрева их руками оператора в процессе работы. Установлено, что такие средства измерений как штангенинструмент, глубиномеры всех видов практически не чувствительны к нагреву руками оператора.

Погрешность средств измерений, корпус которых сделан в виде скобы (микрометры, скобы рычажные и индикаторные), а также накладных нутромеров значительна. Так, например, при использовании микрометра с диапазоном измерений 225...250 мм и находящегося в руках оператора 5 мин., размер скобы изменяется на 0,01...0,02 мм в зависимости от того, в каком месте оператор держит скобу в руках. Для уменьшения данной погрешности накладные приборы оснащаются теплоизоляционными накладками. Данные [3] показывают, что если при пользовании накладными приборами руки оператора располагаются на накладках, то погрешность при

бора от температурных деформаций, от тепла рук, сокращается в 3...4 раза. Поэтому при пользовании накладными приборами необходимо держать

их за накладки, а если они отсутствуют - принимать меры для теплоизоляции скоб от тепла рук оператора.

Погрешность от силовых деформаций

Схема измерения линейных размеров представляет собой измерительную размерную цепь, замыкающим звеном которой является измеряемый размер, а отсчетное устройство - компенсационным звеном. Для надежного замыкания размерной цепи необходимо вводить устройство, создающее усилие в цепи. Это усилие называется измерительным усилием. Измерительное усилие и его непостоянство на всем диапазоне измерений приводит к возникновению следующих погрешностей:

погрешность от перемещений в пределах зазоров;

погрешность от упругих перемещений элементов измерительного прибора;

погрешность от упругих деформаций элементов поверхностей измеряемых деталей;

погрешность от контактных деформаций.

Для уменьшения **погрешностей от перемещений в пределах зазоров** при разработке схемы измерительного прибора необходимо соблюдать принцип Аббе, в соответствии с которым минимальные погрешности измерения возникают, если контролируемый геометрический элемент и элемент сравнения находятся на одной линии - линии измерения.

Под воздействием измерительного усилия, веса средства измерений и измеряемой детали возникают **упругие перемещения элементов измерительного прибора или детали,** которые приводят к погрешности измерения. Измерительное усилие, приложенное к измеряемой детали, расположенной консольно или на двух опорах, а также к детали из мягкого материала и тонкостенной, может вызвать прогиб детали. Величина погрешности измерений при этом равна значению деформации элемента прибора или детали под действием нагрузки и определяется по формулам сопротивления материала, схем базирования детали и приложения нагрузки для того, чтобы использовать типовые решения. Практически в большинстве случаев измерений можно принять сосредоточенную нагрузку в одной точке или в двух противоположных точках.

При многих измерениях используют вспомогательные элементы (штативы, стойки и др.), входящие в измерительную размерную цепь. При их недостаточной жесткости, особенно при измерении отклонений формы, может возникнуть погрешность измерения.

В ГОСТ 10197-70 на стойки и штативы нормируются допускаемые значения их прогибов. Однако в существующих конструкциях эти нормы не выдерживаются [3], поэтому с ними не рекомендуется применять измерительные головки с ценой деления 0,001 и 0,002 мм.

При измерении детали, помещаемой под измерительный наконечник без его арретирования, т.е. когда деталь проталкивается под наконечником, чтобы выявить экстремальную точку у цилиндрического элемента, также появляется

погрешность измерения. При таких измерениях возникает радиальная составляющая усилий на измерительный стержень, и происходит деформация установочных узлов.

В месте контакта измерительного наконечника с поверхностью измеряемого элемента детали под действием измерительного усилия происходит сжатие контактируемых поверхностей. Значение этой деформации зависит от вида контакта, от значения действующего усилия, от материала измеряемой поверхности и неровностей поверхности. При измерениях могут применяться три вида контакта измерительного наконечника и детали в точке их контакта: в точке, по линии и по плоскости. Наиболее распространенный вид контакта - в точке. Значение возникающей деформации может быть рассчитано по известным в сопротивлении материала формулам Герца, по полуэмпирическим формулам [8], графически по номограммам. Например, для наиболее распространенного случая контакта (сферический наконечник и плоская деталь) рекомендуется формула [8]:

$$\Delta k = k * 3\sqrt{\frac{p}{r}},$$

где $\Delta_к$ - контактная деформация, мкм; $г$ - радиус наконечника, мм; p - измерительное усилие, Н; $к$ - коэффициент, зависящий от материалов измерительного наконечника и детали: сталь и сталь — $к$ = 0,43; искусственный корунд и сталь — $к$= 0,35.

Погрешность измерения из-за контактных деформаций возрастает с увеличением поверхностных неровностей, особенно при сравнительных методах измерений. Шероховатость концевых мер длины, с помощью которых обычно прибор настраивается на нулевое деление при относительных измерениях, в общем случае значительно меньше, чем поверхности измеряемого элемента детали.

Погрешность от контактных деформаций увеличивается при измерении с арретированием т.к. в этом случае контактирование поверхностей происходит с ударом и значение динамического измерительного усилия значительно превышает статическое усилие. Кроме этого значение динамического измерительного усилия даже в одном приборе изменяется в значительных пределах в зависимости от скорости опускания измерительного наконечника при арретировании. Например, у оптического длинноме- ра динамическое усилие отличается более, чем в 30 раз от статического, у индикатора часового типа - от 3 до 6 раз [3].

Для обеспечения минимальной погрешности от силовых деформаций необходимо обеспечивать постоянное измерительное усилие или наименьший его перепад на всем используемом диапазоне измерений первичного преобразователя. С этой целью применяют различные стабилизирующие устройства, например, в микрометрах - фрикционные устройства и трещотку.

2 3 Погрешность измерения из-за воздействия внешней среды

Каждое измерение выполняется в определенных условиях, которые характеризуются одной или несколькими внешними влияющими величинами: температурный режим, влажность, атмосферное давление, наличие загрязнений, наличие посторонних источников вибрации и др. Эти величины часто оказывают заметное влияние на измеряемую величину и используемое средства измерения.

С целью обеспечения единства измерений к условиям их проведения предъявляются жесткие требования. Для конкретных областей измерений устанавливают единые условия, называемые нормальными.

Согласно ГОСТ 16263-70 нормальные условия применения средства измерений - условия применения средств измерений, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений.

Рабочие условия применения средств измерений - условия применения средств измерений, при которых значения применяемых величин находятся в пределах рабочих областей.

Погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях, называют *основной,* а погрешность средства измерений, вызванную использованием его в условиях, отличающихся от нормальных, называют *дополнительной* погрешностью средства измерения.

Согласно ГОСТ 8.050-73 нормальные условия выполнения линейных измерений в пределах от 1 до 500 мм и измерений углов с длинной меньшей стороны до 500 мм характеризуются следующими значениями основных влияющих величин:

-температура окружающей среды 20°С;

-атмосферное давление 101324,72 Па (760 мм. рт. ст.);

-относительная влажность окружающего воздуха 58% (нормальное парциальное давление водяных паров 1333,22 Па);

-ускорение свободного падения (ускорение силы тяжести) 9,8 м/с ;

-направление линии измерения линейных размеров до 160 мм у наружных поверхностей - вертикальное, в остальных случаях - горизонтальное;

-положение плоскости измерения углов - горизонтальное;

-относительная скорость движения внешней среды равна нулю;

-значения внешних сил равны нулю.

Ряд указанных условий и представленных ниже допускаемых отклонений относится к рабочему пространству, т. е. той части пространства, окружающего средство измерений и объект контроля, влиянием величин вне которой на результат измерения можно пренебречь.

В реальных условиях при выполнении измерений трудно обеспечить определенные нормальные значения влияющих величин. Задача сводится к установлению пределов возможных изменений влияющих величин.

Стандарт определяет нормальную область значений влияющих величин при линейных и угловых измерениях, при обеспечении которой погрешность средства измерений может превышать допускаемую основную погрешность

средства измерения примерно на 0,1 допуска на изготовление. Эта область определяется следующими пределами значений влияющих величин. Пределы допускаемых отклонений от нормального направления линии измерения и нормированных параметров ориентации средств и объектов измерений при линейных измерениях составляют: +1° при контроле деталей с нормированной точностью по квалитетам 01 и 0; ±2° - по квалитетам 1 - 5; ±5° - по квалитетам 6 - 10, а при измерениях углов: ± 0,5° - по 1, 2-й степеням точности; ±1,5° по 3 - 5-й степеням точности. Отклонение температуры объекта и рабочего пространства от нормальной при линейных измерениях не должно превышать значений, указанных в таблице 6.1. При измерениях углов пределы допускаемого отклонения температуры от нормального значения составляют ± 3,5°С.

Таблица 6.1.

Пределы допускаемого отклонения (±) температуры объекта контроля и рабочего пространства от нормальной, 0 С

Размеры, мм	Квалитеты				
	01	0	1—5	6—8	9—10
Св. 1 до 18	0,8	1,0	1,5	3	4
»18 » 50	0,3	0,5	1,0	2	3
» 50 » 500	0,2	0,3	0,5	1	2

Если в рабочее пространство помещается деталь с отклонением от нормальной температуры большим, чем указано в табл. 6.1 то деталь должна выдерживаться в рабочем пространстве (табл. 6.2). Средства измерений должны находиться в условиях, указанных в табл. 6.1 не менее 24 ч до начала измерений.

Таблица 6.2.

Время выдержки объектов контроля до начала измерений в рабочем пространстве, час

Масса объекта контроля, кг	Квалитеты точности объекта контроля			
	01—0	1—5	6—8	9—10
	Начальное отклонение температуры, 8°С			
	1,5	2,5	3,5	5
До 10	6	4	3	2
Св. 10 до 50	14	8	6	4
» 50 » 200	24	14	10	7
» 200 » 500	36	20	16	12

В рабочем пространстве допускаются только плавные изменения температуры со скоростью не более 0,1°с/мин.

Частота возмущающих гармонических вибраций не должна превышать 30 Гц. Допускаемые значения амплитуд вибраций для частот не менее 30 Гц устанавливаются ГОСТ 8.050-73. При воздействии возмущающих вибраций с параметрами спектральных составляющих, выходящими за нормальные пределы, размах колебаний отсчетного индекса прибора и дополнительная погрешность средства измерения не должна превышать соответственно 0,2 деления шкалы и 0,2 допускаемой погрешности измерения.

Давление воздуха в рабочем пространстве не должно быть менее атмосферного. Допускается превышение атмосферного давления не более чем на 3 кПа.

Допускаемое отклонение влажности ±20%. Для интерференционных измерений требования выше.

Уровень шума в рабочем пространстве не должен превышать 45 дБ при измерениях величин с нормальной точностью до 5-го квалитета и 80 дБ - с 6-го по 10-й квалитет.

Напряженность магнитного поля не должно превышать 80 А/м, напряженность электростатического поля - 5 В/м.

Приведенные выше рекомендации носят сугубо ориентировочный характер. Это связанно с тем, что данные рекомендации даются безотносительно к размерам, конфигурации и материалу измеряемых деталей, а также к используемым средствам измерений. Поэтому при необходимости следует определять допустимые области изменения влияющих величин расчетным путем. Наиболее просто такая задача решается для установления температурного режима измерений, т. е. допустимой разности температур (V_t °С) объекта измерения и измерительного средства:

$$V_t = \sqrt{[\Delta t_1 \frac{(a_{cu} - a_d)^2_{max}}{11{,}6 * 10^{-6}}]^2 + (\Delta t_2 \frac{a_{max}}{11{,}6 * 10^{-6}})^2}$$

где $\Delta t1$ - отклонение температуры воздуха от 20°С; $(a_{cu} - as)max$ - максимально возможная разность значений коэффициентов линейного расширения материала средства измерений и детали; Δt_2 - кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения; a_{max} - максимальное значение коэффициента линейного расширения материала средства измерений или измеряемой детали.

Тогда температурную погрешность можно оценить:

$$\Delta t = 11{,}6 * 10^{-6} * l * V_t$$

Во многих случаях, особенно при измерении деталей на ходу имеет

место износ, и измерительные поверхности приобретают форму проверяемой детали. Для уменьшения износа, который приводит к увеличению погрешности измерения, базирующие и измерительные поверхности выполняют из легированной стали и армируют твердосплавными, алмазными или корундовыми вставками, поверхностная твердость измерительных и базирующих поверхностей должна составлять 61.. .64 $HRC_Э$.

При формирования измерительной информации очень важное значение имеет вопрос загрязнения измеряемой поверхности, чувствительного элемента и базирующей поверхности, тем более, что влияние загрязнения рассчитать невозможно.

Детали перед измерением должны быть тщательно очищены и высушены, особенно при бесконтактных измерениях и контактных измерениях с арретированным чувствительным элементом.

При контактных измерениях без арретирования чувствительного элемента влияние грязи менее значительно, т. к. чувствительный элемент контактирует с деталью с определенным заданным усилием, под действием которого выдавливается слой газа, масла или грязи и уменьшается воздействие вибрации на результаты измерения.

Для лучшей очистки измеряемой детали от грязи, базирующие плоские элементы средств измерений выполняются ребристыми. В этом случае грязь собирается в пазах столика.

2 4 Погрешности измерения, зависящие от субъективных факторов

Данные погрешности возникают от участия в процессе измерений или при его подготовке оператора, т. е. субъекта. Они вызываются состоянием оператора, его положением во время работы, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами СИ.

Возможно выделение следующих видов субъективных погрешностей:

-погрешность от присутствия оператора;

-погрешность отсчета;

-погрешность действий;

-профессиональные погрешности.

Субъективные **погрешности от присутствия оператора** связаны прежде всего с изменением температуры окружающей среды в зоне средства измерений от теплоизлучения оператора. По данным [3] при подходе оператора к СИ температура в зоне измерений поднимается на 0,1...0,2 °С. При использовании накладных СИ погрешность от присутствия оператора зависит от места контакта рук оператора с частями прибора. Для уменьшения данной погрешности места контакта оператора и СИ оснащаются теплоизоляционными накладками.

В процессе большинства измерений оператор производит отсчет по шкале СИ. При этом оператору необходимо оценить степень соответствия стрелки и делений на шкале СИ. Погрешность, возникающая при этом, называется **погрешностью отсчета** и зависит от:

возможностей органов зрения человека;

субъективных особенностей зрения у разных операторов;

вида конструкций применяемых отсчетных измерительных систем;

вида измеряемых объектов.

Установлено [3], что при наиболее благоприятном расстоянии от глаза до объекта измерений равном 250 мм, глаз человека в состоянии увидеть две разделенные точки, если они расположены друг от друга не менее, чем около 0,1 мм. При меньшем расстоянии эти две точки воспринимаются глазом как одна точка. В связи с этим ГОСТ 16263-70 вводит термин «погрешность интерполирования при отсчитывании», которая определяется как «составляющая погрешность отсчитывания, происходящая от недостаточно точного оценивания на глаз доли деления шкалы, соответствующей положению указателя».

Погрешность отсчитывания у операторов является, в определенной мере, систематической, т. е. оператор постоянно вносит либо плюсовую, либо минусовую погрешность, при отсчете один оператор принимает ближайший отсчет с плюсом, а другой с минусом. Исследованиями [3] установлено, что погрешность отсчета по шкале и стрелке при производственных измерениях составляет в среднем 0,2 от цены делений.

Другая составляющая погрешности отсчета - от влияния параллакса. **Погрешность от параллакса** - это составляющая погрешности отсчета, возникающая вследствие визирования стрелки, расположенной на некотором расстоянии от поверхности шкалы, в направлении, неперпендикулярном поверхности шкалы. Другими словами, это видимое изменение относительного положения предметов вследствие перемещения глаза оператора (рис. 6.8).

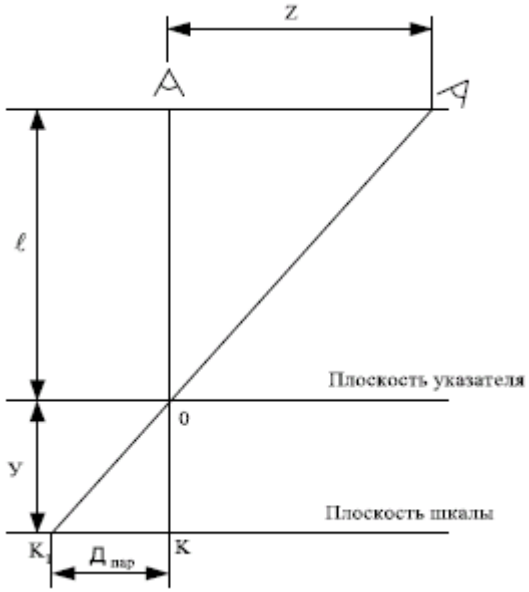


Рис. 6.8. Схема для расчета погрешности от параллакса

Вследствие смещения глаза наблюдателя на расстояние *z* наблюдатель совмещает указатель 0 не со штрихом *К,* а со штрихом *К].* Возникающая при этом погрешность $A_{пар}$ от параллакса может быть определена из соотношения:

$\frac{\Delta_{пар}}{z}=\frac{y}{l}$,отсюда $\Delta_{пар}=\frac{y*z}{l}$

где y - расстояние между плоскостями шкалы и указателя (стрелки); z - смещение глаза наблюдателя в плоскости, параллельной шкале; / - расстояние от глаза наблюдателя до указателя.

Из формулы видно, что погрешность растет пропорционально росту значений y и z. Исходя из опытных данных / = 250 мм, z = 30 мм погрешность от параллакса $A_{пар}$ - 0,12у. Это равенство указывает на необходимость стремиться к уменьшению величины y во всех конструкциях отсчет- ных устройств.

Для уменьшения влияния параллакса при измерении измерительной линейкой по стандарту нормирована толщина линейки. В штангенциркуле для уменьшения влияния параллакса нормированы скос нониуса и зазор между нониусом и штангой, а в микрометре - скос барабана и зазор между барабаном и стеблем. В измерительных приборах с указателем (стрелкой) и шкалой уменьшают расстояние между ними, делают конец указателя в виде тонкой пластинки сплошной или с вырезом, совмещают плоскость у шкалы с передней плоскостью указателя. К числу более совершенных способов устранения влияния параллакса в отсчетных устройствах следует отнести применение зеркала, помещаемого рядом со шкалой. Отсчет делают в момент совмещения стрелки с ее изображением в зеркале.

К погрешности отсчитывания относится **погрешность визирования.** Эта погрешность имеет место при использовании оптико-механических приборов, в которых сетки микроскопов визируются (наводятся) на измеряемый объект или на измерительные шкалы. На точность визирования влияют следующие факторы:

состояние объекта измерения (шероховатость, форма и состояние краев);

четкость контуров объекта или штрихов шкалы;

качество оптики и сетки визирного микроскопа;

освещение объекта.

Способы повышения точности визирования приведены в [9].

На погрешность отсчитывания в определенной мере оказывает влияние конструктивная форма, окраска средства измерений, освещенность шкалы. Абстрактная форма поверхности отсчетной системы, резкие тона покрытия способствуют увеличению погрешности при отсчете, а мягкие успокаивающие тона и плавные формы способствуют уменьшению субъективной погрешности отсчитывания. Установлено, что освещенность шкалы должна находиться в пределах от 50 до 250 лк и не изменяться во времени (должны отсутствовать колебания освещенности).

По сравнению со шкальными отсчётными устройствами цифровые отсчётные устройства имеют ряд преимуществ:

отсутствие субъективной погрешности отсчёта;

возможность отсчёта на большом расстоянии;

уменьшение утомляемости контроллёра;

сокращение времени снятия показаний.

Субъективные **погрешности действий** вносятся оператором при настройке объекта измерения или установочных мер, при перемещении прибора относительно детали или детали относительно элементов прибора, например, при измерении внутренних размеров. Так, например, при образовании блоков из концевых мер длины толщина промежуточного слоя у двух мер может достигать 0,2 мкм у разных операторов, а при трех мерах - 0,3 мкм [3].

Значительные субъективные погрешности действий оператора могут возникнуть, когда в процессе измерений необходимо совмещать линию измерения с измеряемым размером, т.е. когда возникает необходимость «поиска» размера. Типичным примером такой погрешности от действий оператора является измерение внутренних размеров с помощью накладных приборов — нутромеров.

Субъективная погрешность действий имеет место и при использовании автоматических средств измерений, поскольку процесс подготовки и настройки их осуществляется оператором.

Профессиональные субъективные погрешности измерений зависят от квалификации оператора, навыка работы его с конкретным видом СИ. Выделение этой субъективной составляющей связано с тем, что оператор не всегда полностью использует точностные возможности применяемых СИ. Зависит это от требований к точности выполняемых работ. Каждый оператор измеряет с погрешностью, которая вполне допустима при решении им определенной задачи. Так, например, при измерении микрометром шлифовщик измеряет практически с минимальной погрешностью для этого прибора. Токарь обычно измеряет грубее, а кладовщик на складе ещё грубее.

Специфические составляющие погрешности измерений

Какова бы ни была классификация составляющих погрешностей измерений, она не в состоянии охватить все ее возможные виды. Связано это, в основном, с особенностями конструкций применяемых СИ, а также особенностями формы измеряемых объектов. По этой причине могут появиться дополнительные, помимо рассмотренных, составляющие погрешности измерений или специфическое их проявление. Например, погрешность из-за времени установления показаний СИ, срабатывания, настройки, смещения линии измерения и др.

Специфические составляющие погрешности измерений характерны для калибров, автоматов, координатно-измерительных машин. Подробно данные составляющие рассмотрены в [3].

2 6 Суммарная погрешность измерения

Расчет составляющих погрешностей и определение суммарной погрешности измерений носит приближенный, ориентировочный характер. Точную оценку погрешностей измерения можно получить только опытным путем.

Существует методика определения погрешности измерения и разделения ее на систематическую и случайные составляющие путем многократного измерения размера и использования образцового средства измерения [17].

Расчетная суммарная погрешность измерения определяется путем суммирования ее составляющих.

Для определения оценки суммарной погрешности должны учитываться взаимные корреляционные связи различных составляющих погрешности. Поэтому исходными данными для более точного расчета должны служить оценки именно всех отдельных составляющих погрешности, а не оценки некоторых суммарных погрешностей (суммарная методическая погрешность, суммарная эксплуатационная погрешность и т. п.).

Так как суммировать с учетом корреляционных связей можно лишь средние квадратические значения составляющих, то для каждой составляющей должно быть найдено ее среднее квадратическое значение. Для этого необходимо знание или предположение о виде закона распределения каждой из составляющих.

Эти составляющие подразделяются на аддитивные и мультипликативные и суммируются раздельно.

Из суммируемых составляющих выделяются группы коррелированных между собой составляющих погрешности, и внутри этих групп производится алгебраическое суммирование их оценки.

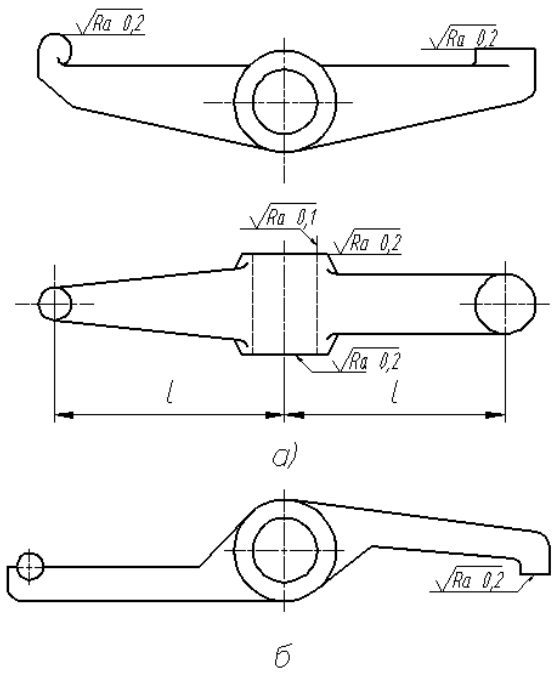
Затем суммарные по группам и оставшиеся вне групп погрешности можно считать уже некоррелированными и складывать по правилу:

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sum \sigma_i^2$$

Для перехода от среднего квадратического значения погрешности к доверительному $\Delta d = t_{az}$ значению должно быть вынесено суждение о форме закона распределения результирующей погрешности и тем самым выбрано значение квантильного множителя *t*.

Глава 7. Погрешности в передаточных отношениях рычажных передач контрольных приспособлений

В контрольных приспособлениях стержни индикаторов и других измерительных средств редко соприкасаются с проверяемыми деталями, так как не всегда можно подвести стержень индикатора непосредственно к измеряемой детали. В таких случаях между ними устанавливается рычажная или прямая передача. Передачи выполняют роль буферов, предохраняя механизмы индикаторов от быстрого износа и толчков. Толчки могут вызвать значительные перебеги стрелок и, следовательно, возможные ошибки в определении показаний измерительных средств контрольных приспособлений, а также сбой их первичной настройки.



а – обычный, *б* – со впаянным шариком

Рис. 7.1 – Прямые рычаги с передаточным отношением k=1

В контрольных приспособлениях разнообразие рычажных и прямых передач вызывается конструктивной необходимостью, а также рядом других причин: а) необходимостью обеспечить в передачах удовлетворительный порог чувствительности; б) стремлением уменьшить погрешность Δ_p в передаточном отношении передачи; в) стремлением уменьшить предельную погрешность передачи; г) повышением износостойкости передач.

Последнее требование является одним из наиболее важных, так как в крупносерийных и массовых производствах контрольные приспособления находятся в постоянном действии.

В контрольных приспособлениях применяют прямые и угловые рычаги (рис. 7.1–7.2). Для получения необходимых отсчетов применяют также передачи, показанные на рис.7.5–7.11.

Рычаги изготовляют обычно из стали У7А, У10 и подвергают термической обработке до твердости *HRC* 52–56.

Если рычаги монтируют на осях (рис. 7.6 деталь 2), то отверстия выполняют по 7-му квалитету точности и притирают с осями. Концы рычагов обычно шлифуют или притирают до шероховатости *Ra* 0,1–0,2 мкм. На расстояние *l* плеч рычагов, имеющих сферические концы, обычно устанавливают допуски в пределах ±0,05–0,1 мм.

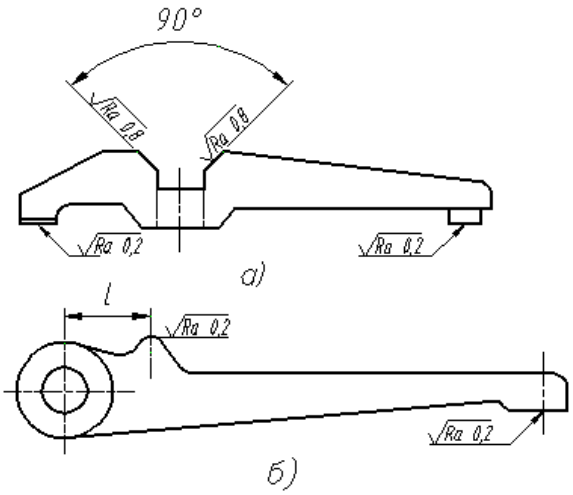


Рис. 7.2 – Прямые рычаги с передаточным отношением: *а*–*k*=2; *б*–*k*=5

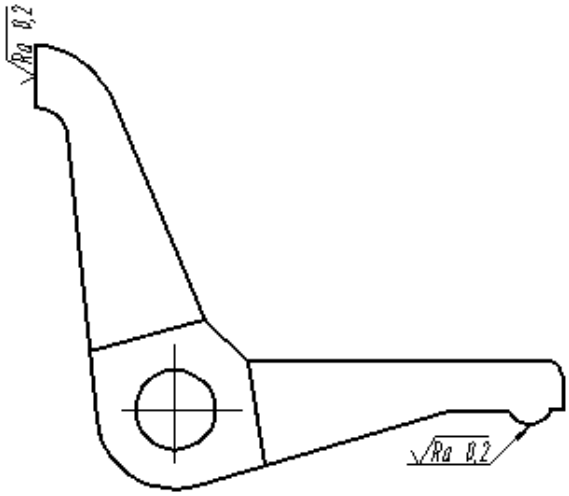


Рис. 7.3 – Угловой рычаг

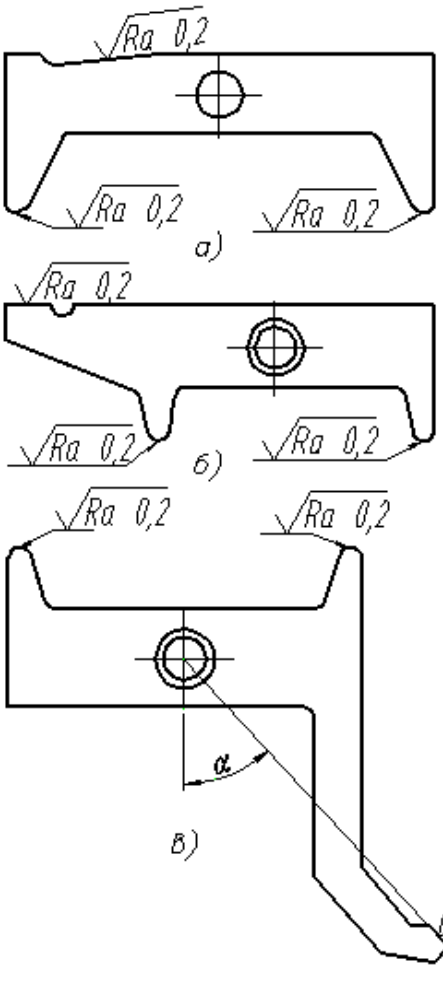


Рис. 7.4 – Крупные угловые рычаги: *а* и *б*–*k*=1; *в*–*k*=2

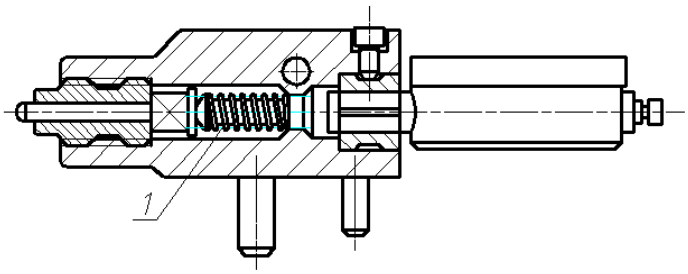


Рис. 7.5 – Прямая передача

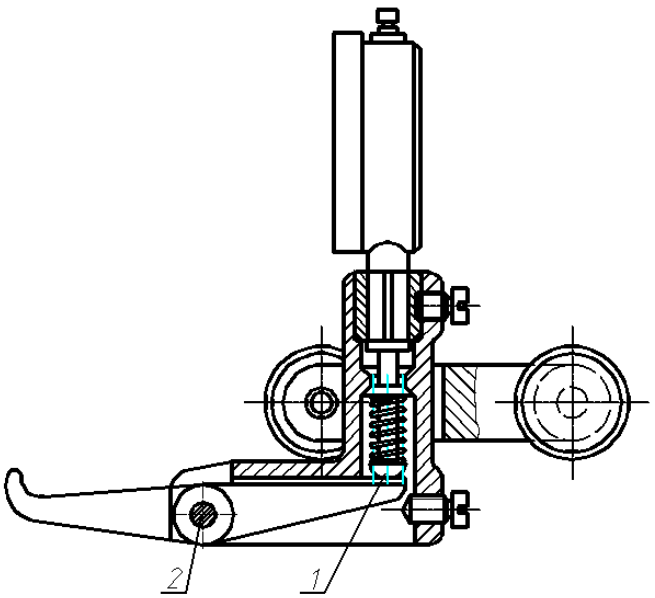


Рис. 7.6 – Передача с рычагом на оси

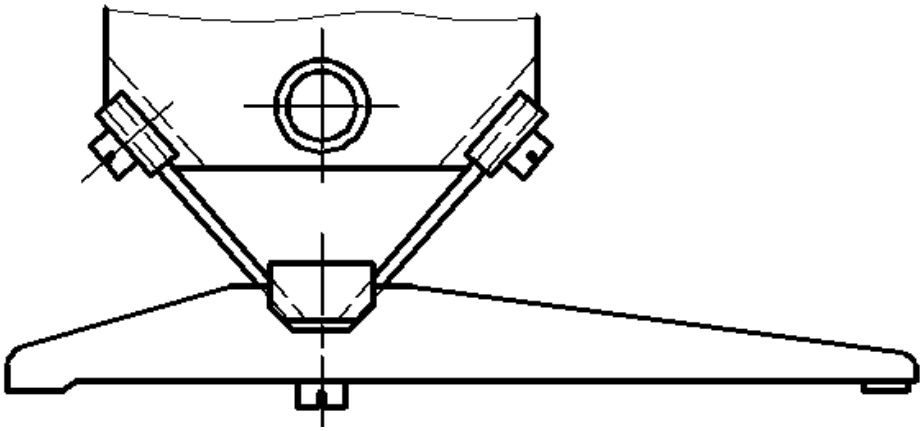


Рис. 7.7 – Передача с прямым рычагом на пластинчатых пружинах

В прямых передачах обычно предусматривают круглую спиральную пружину *1* (рис. 7.5 и 7.6) для обеспечения надежного контакта рычага с измеряемой деталью.

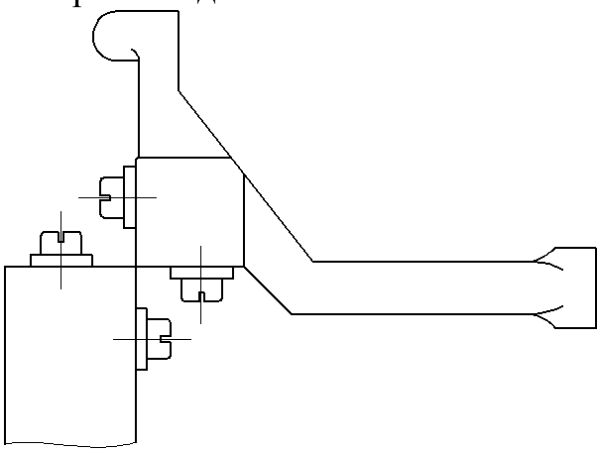


Рис. 7.8 – Передача с угловым рычагом на пластинчатых пружинах

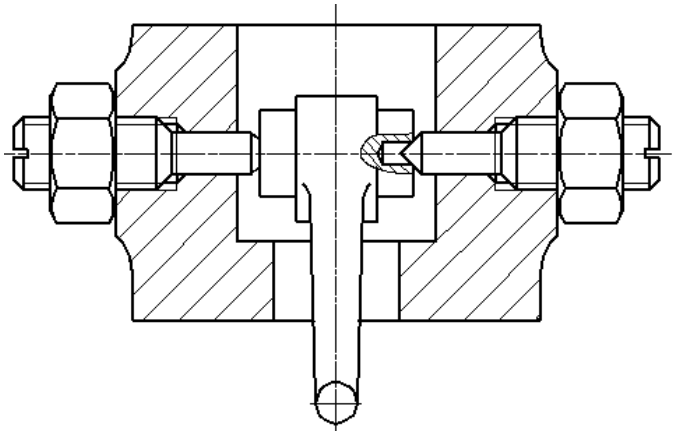


Рис. 7.9 – Передача с рычагом в центрах

Вследствие неточности изготовления линейных и угловых размеров рычагов могут возникать погрешности в запроектированном передаточном отношении рычажных передач контрольных приспособлений. Такие погрешности вызываются допусками на выполнение длин плеч и на их угловое расположение. Погрешности в передачах возникают также вследствие непропорциональности между линейным перемещением измерительного стержня индикатора и угловым перемещением рычага. Указанные погрешности могут возрастать с увеличением передаточного отношения рычагов, усложнением их конструкции и т.д.

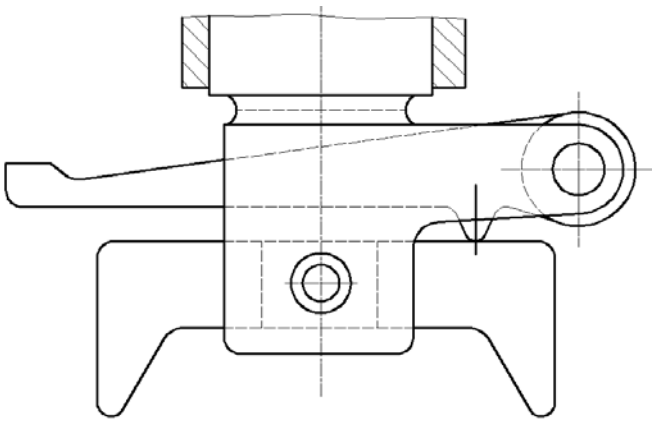


Рис. 7.10 – Сложная передача с крупными рычагами

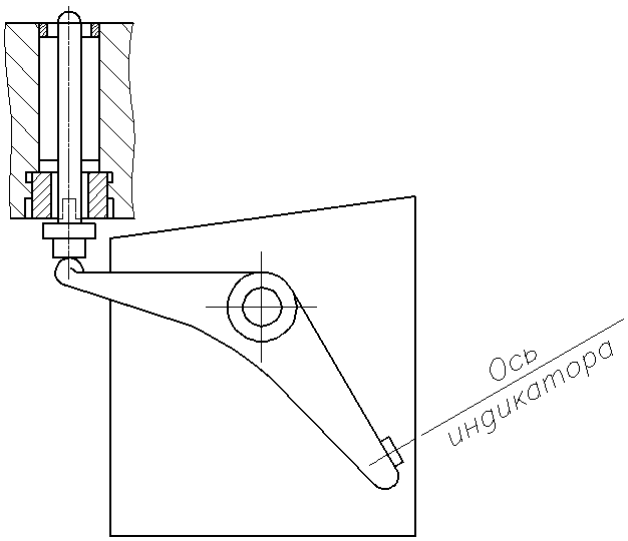


Рис. 7.11 – Прямая передача в сочетании с рычажной

Погрешности Δ_p вызываемые неточностью изготовления длин плеч рычагов или их углового расположения, а также непропорциональностью перемещений, могут быть определены расчетным путем. Они являются систематическими постоянными погрешностями, вследствие чего при аттестации контрольных приспособлении должны быть учтены с соответствующим знаком.

Контрольные приспособления с передачами обычно предназначаются для измерения малых величии, а именно, допусков, выполняемых по 6–9-му квалитету точности, и реже для более грубых квалитетов. В связи с этим погрешности в изготовлении рычагов оказывают незначительное влияние на изменение запроектированной величины передаточного отношения в передачах. Поэтому определение величины погрешностей Δ_p расчетным путем имеет существенное значение для назначения допусков на изготовление рычагов, чтобы избежать неоправданного их расширения или ужесточения, а также для определения точности показаний контрольных приспособлений.

7.1 Погрешности, вызываемые неточностью изготовления рычагов

При изготовлении рычагов с неплоскими концами длины их плеч выполняют с определенными допусками. Для равноплечих рычагов, вследствие отклонений и длинах плеч, перемещения концов плеч рычага будут различными, т. е. левый конец плеча будет перемещаться на величину a_1, а правый соответственно на величину a_2, (рис. 7.12). Наибольшая погрешность Δ_p получается при изготовлении длины одного плеча по наибольшему предельному размеру l_1 и длины другого по наименьшему предельному размеру l_2:

$$\Delta_p = a_1 - a_2 = (l_2 - l_2) sin\beta$$

Принимая $sin\beta = \frac{a_1}{l_1}$ находим $\Delta_p = (1 - \frac{l_2}{l_1}) \propto_1$

Из формулы следует, что погрешность Δ_p пропорциональна относительной

величине допуска на длину плеч рычагов.

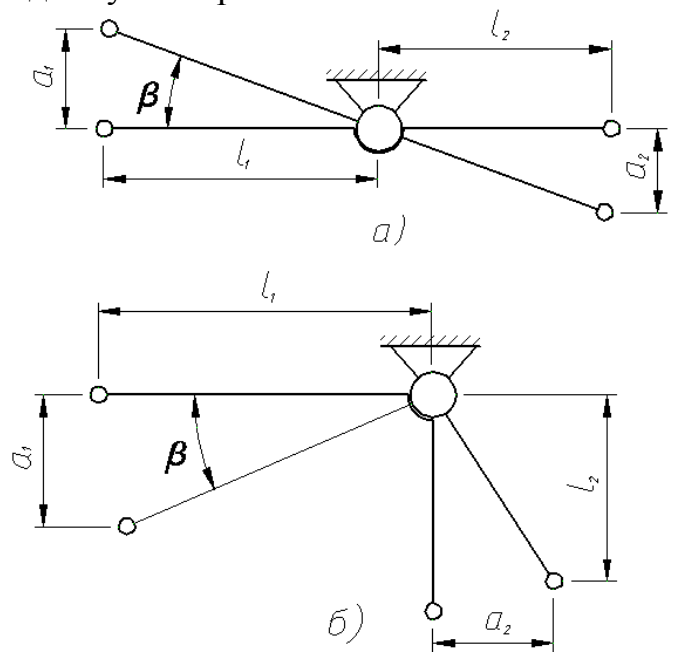


Рис. 7.12 – Схема расположения концов плеч рычага при неточном изготовлении

Пример:

Дано:

l = 40 ± 0,25 мм; a = 0,05 мм;

l_1 = 40 + 0,25 = 40,25 мм;

l_2 = 40 – 0,25 = 39,75 мм, тогда

$$\Delta_p = \left(1 - \frac{39{,}75}{40{,}25}\right) 0{,}05 = 0{,}0005 \text{ мм}.$$

Из примера видно, что по сравнению с величиной перемещения рычага a = 0,05 мм погрешность $\Delta_р$ = 0,0005 мм ничтожно мала. Однако при указанных параметрах погрешность $\Delta_р$ может оказаться ощутимой у рычагов с передаточным отношением k = 2÷5.

В ряде случаев имеется погрешность в угловом расположении плеч рычагов на величину у (рис. 7.13), тогда погрешность передачи

$$\Delta_p = a_1 - a_2 = l\sin\beta - [l\sin(\beta + \gamma) - l\sin\gamma]$$

После преобразования этого выражения с учетом малости углов γ и β, получаем следующую расчетную формулу для определения погрешности $\Delta_р$ вследствие неточного углового расположения плеч рычагов между собой:

$$\Delta_р = l\sin\gamma(1 - \cos\beta) \qquad (1)$$

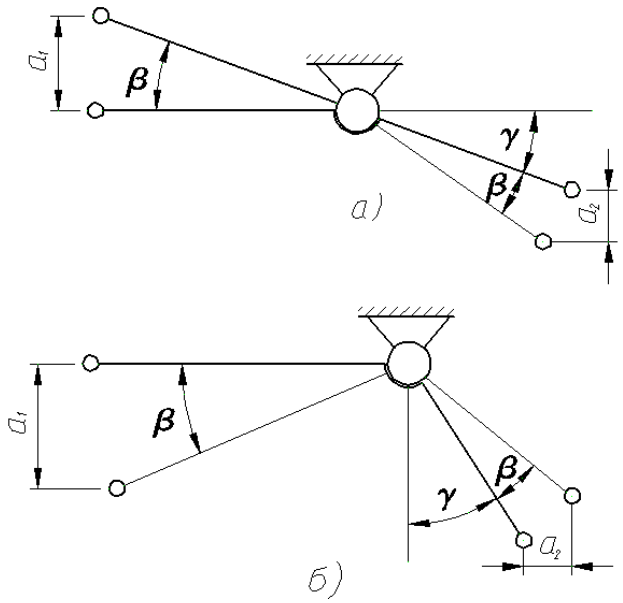


Рис. 7.13 – Схема прямых и угловых рычагов при неточном угловом расположении их плеч между собой

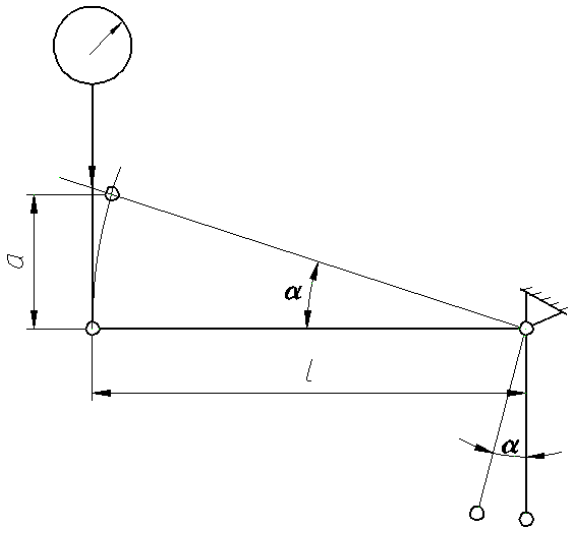


Рис. 7.14 – Схема непропорционального расположения плеча рычага и измерительного стержня индикатора

Анализ формулы (1) показывает, что при малых перемещениях, для которых предназначаются рычаги контрольных приспособлений, величина Δ_p близка к нулю. В связи с этим для обычно применяемых рычагов контрольных приспособлении нецелесообразно назначать допуски на точность углового расположения их плеч.

В передачах контрольных приспособлений одно плечо рычага передаст движение измерительному стержню индикатора. Последний перемещается поступательно, в то же время плечо рычага имеет угловое перемещение (рис. 7.14). В связи с этим в рычажных передачах возникает погрешность в передаточном отношении, вызываемая непропорциональностью между линейным перемещением измерительного стержни индикатора и угловым перемещением рычага. Обозначим через *a* величину линейного перемещения измерительного стержня индикатора при повороте рычага с плоским концом на угол α, через *l* и плечо рычага, тогда

$$\propto = l\ tg \propto$$

Чтобы выявить погрешность в передаточном отношении рычажных передач, вследствие непропорциональности линейного перемещения рычага, разложим *lgα*, в ряд Тейлора:

$$tg \propto = \propto + \frac{\propto^3}{3} + \frac{2\propto^5}{15} \ldots.$$

где α в *рад.*

Так как α значительно меньше единицы, то пренебрегая величинами пятого порядка и выше, получим:

$$tg \propto = \propto + \frac{\propto^3}{3},$$

тогда

$$\propto = l \propto + \frac{l\propto^3}{3},$$

Вследствие непропорциональности перемещений погрешность

$$\Delta_p = \frac{l\propto^3}{3} \qquad (2)$$

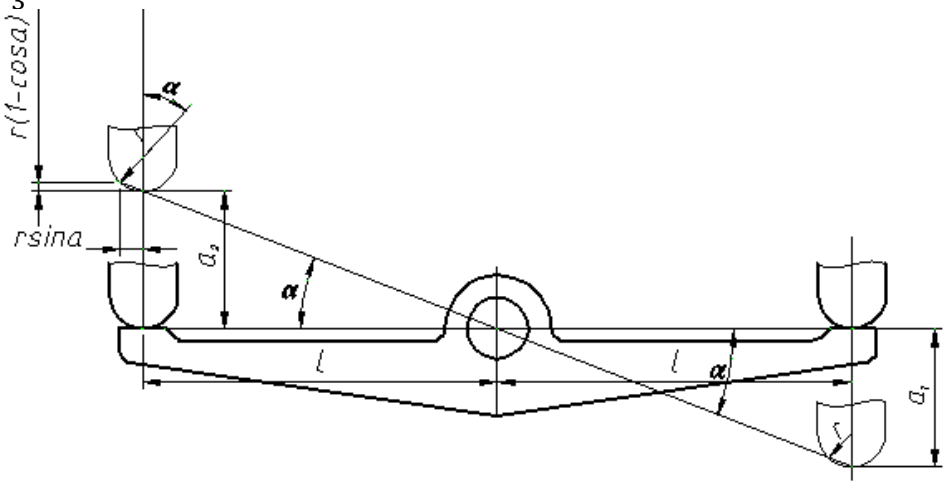


Рис. 7.15 – Схема контакта плоских концов рычага со сферическими наконечниками

Даже при сравнительно большой длине плеч рычагов, применяемых в контрольных приспособлениях, указанная погрешность получается ничтожно малой из-за того, что длинные рычаги имеют незначительные углы поворота в пределах α = 1÷3°. Получаемые при этом погрешности Δ_p можно иллюстрировать следующим примером.

Пример.

Дано: *l* = 100 мм; α = 2' = 0,0005818 *рад*

$$\Delta_p = \frac{100 \cdot 1000 \cdot 0{,}0005818^3}{3} = 0{,}0000012 \text{ мкм.}$$

Рабочие концы плеч рычагов выполняют обычно так, чтобы обеспечивался точечный контакт с поверхностью измеряемой детали и концом стержня измерительного прибора. Для этой цели один, а иногда и оба конца плеч у рычагов выполняют в виде сферы с радиусом r = 2 – 3 мм или плоскими контактирующими со сферическими поверхностями. При таких схемах рычажных передач неизбежны систематические погрешности Δ_p, так как при повороте рычага точка контакта перемещается (рис. 7.15). Концы обоих плеч рычага плоские и имеют контакт со сферическими поверхностями с радиусом закругления r. При повороте рычага на угол α контакт концов плеч будет различный на нравом и левом концах рычага. При этих условиях в передаточном отношении будет получена погрешность Δ_p для равноплечих рычагов, которую найдем, определив величины:

$$a_2 = l \cdot tg \propto + r\,(\sqrt{1 - tg^2 \propto} - 1);$$

$$a_1 = l \cdot tg \propto - r\left(\sqrt{1 + tg^2 \propto} - 1\right).$$

Вследствие различного контакта концов плеч рычага будет получаться погрешность Δ_p в передаточном отношении. Эта погрешность определяется из следующих выражений:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{l \cdot tg\propto + r\left(\sqrt{1 - tg^2\propto} - 1\right)}{l \cdot tg\propto - r\left(\sqrt{1 + tg^2\propto} - 1\right)};$$

$$\Delta_p = \frac{a_2}{a_1} = 1 \qquad (3)$$

В контрольных приспособлениях рычаги чаще всего имеют незначительные перемещения. Покажем па примере полученную при этом величину погрешности.

Пример.

Дано: a = 0,05 мм; l = 30 мм, r = 2 мм.

Угол поворота рычага α определяется из полученного выше выражения для a_1: $tg\alpha$ = 0,00174; α=6'.

Определим значение

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{30 \cdot 0{,}00174 + 2\left(\sqrt{1 + 0{,}00174^2} - 1\right)}{30 \cdot 0{,}00174 - 2\left(\sqrt{1 + 0{,}00174^2} - 1\right)} = 1{,}0001$$

Погрешность Δ_p = 1,0001 – 1 = 0,0001 мм.

Из примера видно, что при таком незначительном повороте рычага полученное значение Δ_p весьма мало и его можно не учитывать при расчетах.

Кроме указанной, возможны также и другие погрешности, вызываемые технологическими отклонениями и конструктивными особенностями. Однако можно полагать, что вследствие малых перемещений большинство этих факторов не приведут к существенным погрешностям Δ_p.

7. 2 Передаточные отношения и погрешности рычагов сложной формы

В контрольных приспособлениях по конструктивным соображениям в ряде случаев применяют рычаги сложной формы (см. рис. 7.4). В отдельных случаях в передачах применяют несколько рычагов (см. рис. 7.10) для увеличения передаточного отношения *k*. В таких передачах передаточное отношение *k* обычно значительно больше единицы. При этих условиях Δ_p могут иметь существенное значение.

Передаточные отношения рычагов сложной формы. Для определения передаточного отношения *k* сложных рычагов (см. рис. 7.4) имеется схема (рис. 7.16 а), на которой l_1 – длина плеча рычага, перемещающего измерительный стержень индикатора: l_2 – длина плеча рычага, соприкасающегося с измеряемой деталью.

При повороте рычага па угол β плечо l_2 рычага будет иметь подъем $H_4 - H_3$, а плечо l_1 – подъем $H_2 - H_1$. Ввиду незначительной величины угла β = 3·10' не имеет практического значения, будет ли конец рычага выполнен со сферой (рис. 7.16 а) для перемещения промежуточных стержней, или же конец рычага будет Выполнен с плоскостью, перпендикулярной к направлению перемещения стержня, имеющего сферический конец (например, измерительный стержень

индикатора). Обозначим α – угол, определяющий положение плеч l_2 рычага отно-

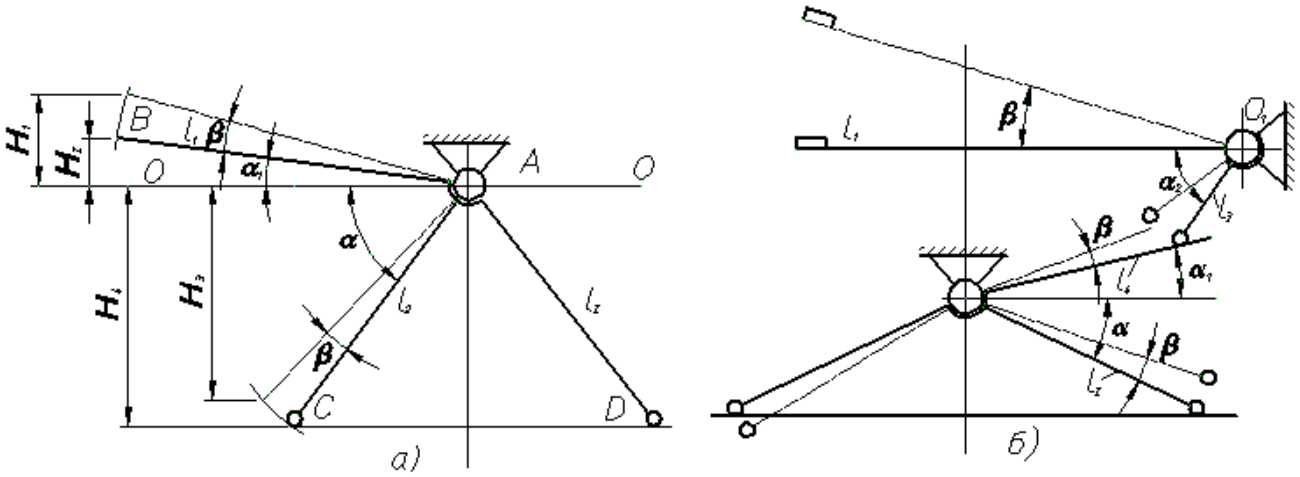


Рис. 7.16 – Схема для определения передаточного отношения: *а* – сложного рычаг; *б* – системы рычагов

сительно горизонтальной оси, проходящей через ось вращения рычага; α_1 – угол, определяющий положение плеча l_1, относительно той же оси.

Передаточное отношение рычага:

$$k = \frac{H_2 - H_1}{H_4 - H_3}$$

На рис. 7.16 а находим:

$$H_2 - H_1 = l_1[\sin(\alpha_1 + \beta) - \sin\alpha_1]$$

$$H_4 - H_3 = l_2[\sin\alpha - \sin(\alpha + \beta)]$$

После подстановки полученных выражений получим:

$$k = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{\sin\alpha_1(cos\beta - 1) + cos\alpha_1 \cdot sin\beta}{\sin(1 - cos\beta) + cos\alpha \cdot sin\beta} \qquad (4)$$

При измерении деталей на контрольных приспособлениях с рассматриваемыми рычагами угол поворота β не превышает 10'. Поэтому с весьма незначительной погрешностью можно принять cosβ = 1. Для этих условии:

$$k = \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{cos\alpha_1}{\cos\beta} \qquad (5)$$

У сложных рычагов и ряде случаев одно из плеч может совпадать с горизонтальной осью вращения. Углы α или α_1 равны нулю и передаточные отношения определяются следующими расчетными формулами:

при $\alpha_1 = 0$

$$k = \frac{l_1}{l_2 \cos\alpha} \qquad (6)$$

при $\alpha = 0$

$$k = \frac{l_1}{l_2}\cos\alpha_1$$

Для определения передаточного отношения *k* системы рычагов по типу, представленному на рис. 7.10.

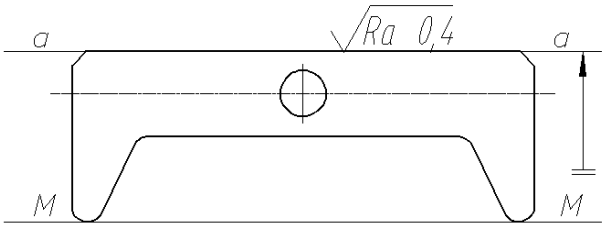


Рис. 7.17 – Пример сложного рычага

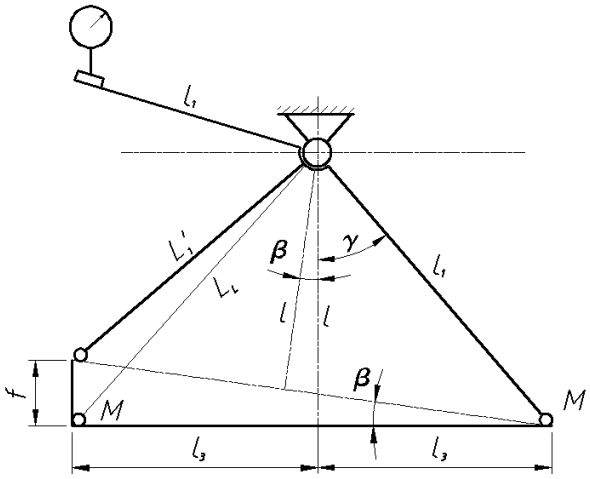


Рис. 7.18 – Схема сложного рычага с отклонением линии ММ. соединяющей концы плеч, от параллельности плоскости *аа*

повернем нижний рычаг на угол β (рис. 7.16 б). Особенностью такой передачи является переменное значение длины l_1 плеча нижнего рычага при повороте его на угол β. При значительных углах поворота β рычагов системы их передаточное отношение может иметь заметные колебания.

Передаточное отношение рассматриваемой системы с двумя рычагами

$$k = \frac{l_4}{l_2} \cdot \frac{cos\alpha_1}{\cos\alpha} \cdot \frac{l_1}{l_3} cos\alpha_2 \qquad (7)$$

При изготовлении рычагов сложных конструкций обычно выдерживают параллельность линии *MM,* соединяющей вершины их плеч, горизонтальной плоскости *аа* (рис. 7.18). При этих условиях концы плеч рычага будут находиться на одинаковом расстоянии от его центра вращения. Если линия *MM* не параллельна плоскости *аа* на величину *f,* то плечи такого рычага будут иметь различную длину. Схема такого рычага показана штриховыми линиями на рис. 7.18). В рассматриваемом случае правое плечо имеет длину l_2, а левое – длину l_1. Вследствие этого в таких рычагах будет иметь место погрешность Δ_p, в передаточном отношении *k*. Величину этой погрешности определяют по схеме, представленной на рис. 7.18. Штриховыми линиями на этой схеме представляет сложный рычаг с равносторонними плечами l_2. Передаточное отношение такого рычага

$$k = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{cos\alpha_1}{\cos\alpha}$$

Сплошными линиями на рис. 7.19 показано горизонтальное положение подобного рычага, но с разными длинами плеч, а именно l_2 и l'_2. Передаточное отношение такого рычага

$$k_1 = \frac{l_1}{l'_2} \cdot \frac{cos\alpha'_1}{\cos\alpha}$$

где $\alpha_1 = \alpha_1 + \beta$, а β – угол, образованный из-за различной длины плеч и рычага. Угол β получается вследствие поворота оси *OO*, когда концы такого

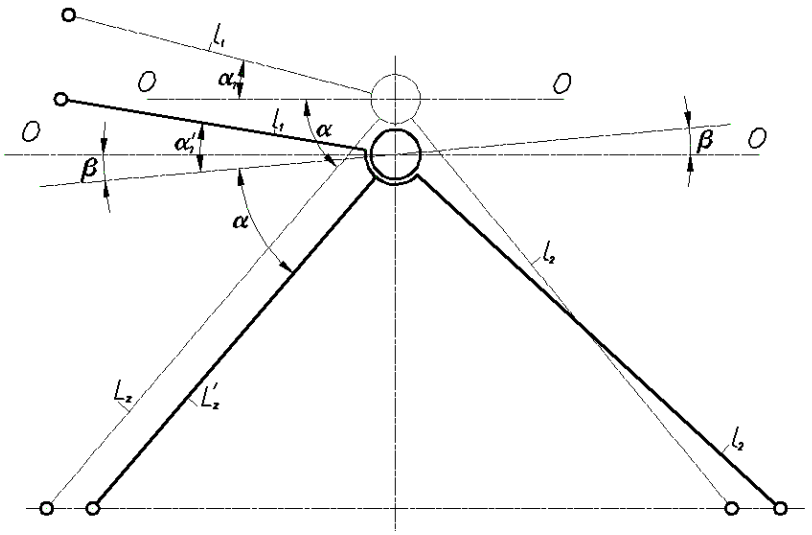


Рис. 7.19 – Схема для определения погрешности Δр рычага сложной формы

рычага занимают горизонтальное положение.

Погрешность в передаточном отношении

$$\Delta_p = \frac{k_1}{k} - 1$$

После подстановки значений передаточных отношений и преобразований находим

$$\Delta_p = \frac{l_2 cos\alpha'_1}{l'_2 cos\alpha_1} - 1 \qquad (8)$$

Чтобы получить представление о величине такой погрешности, определим ее значение для рычага рассматриваемой конструкции со следующими размерами:

Пример. Дано: f = 0,1 мм; l_1 = 85 мм; l_2 = 46,65 мм; 2 l_2 = 80 мм; β = 5'; γ = 30°; α_1 = 10°22'; α'_1 = 10°17”; cosα_1 = 0,98368; cosα'_1 = 0,98394.

Из рис. 7.18 имеем

$$l'_2 = \frac{l_2 \cos(\gamma+\beta)}{\cos(\gamma+\beta)} = \frac{l_2 \cos 30°5'}{\cos 29°55'}.$$

Из рис. 7.19

$$\Delta_p = \frac{k_1}{k} - 1 = \frac{l_2 cos 29°55' cos 10°17'}{l_2 cos 30°5' cos 30°22'} - 1$$

или

$$\Delta_p = \frac{0{,}86675 \cdot 0{,}98394}{0{,}8633 \cdot 0{,}98368} - 1 = 1{,}002 = 0{,}002 \text{ мм}.$$

Такая погрешность является незначительной и может не учитываться, поэтому в сложных рычагах рассматриваемой конструкции нецелесообразно устанавливать жесткие допуски на параллельность прямой, проведенной через концы плеч рычага, плоскости *аа* (см. рис. 7.17).

С помощью сложных рычагов (см. рис. 7.4) измеряются главным образом параллельность осей отверстий, расстояние между осями в корпусных деталях, шатунах, рычагах. Для измерения указанных элементов в одно из отверстий

проверяемой детали.

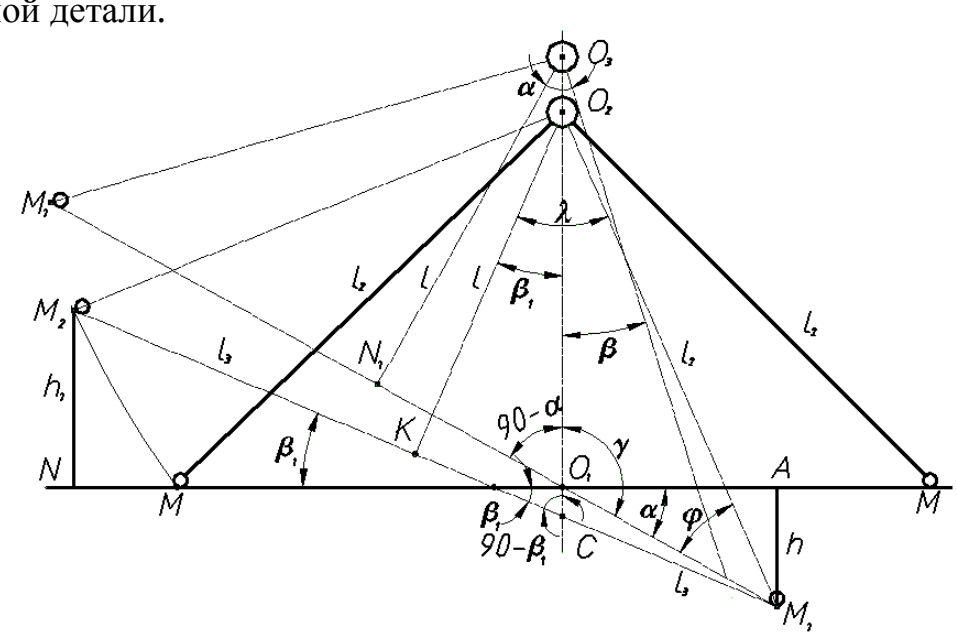


Рис. 7.20 – Схема для определения погрешности Δ_p, вызываемой перемещением центра вращения сложных рычагов

обычно устанавливают гладкий палец, с которым соприкасаются концы *MM* рычага (рис. 7.20). Штриховыми линиями на этом рисунке показано положение сложного рычага с плечами l_2 в том случае, когда ось отверстия измеряемой детали, а следовательно, и ось установленного в нем пальца не имеет отклонения от параллельности. В тех же случаях, когда параллельность отсутствует, ось пальца может поворачиваться вокруг центра O_1. Чтобы измерить величину непараллельности, рычаг должен в данном случае также получить поворот на некоторый угол с таким расчетом, чтобы концы *MM* его плеч совпали с образующими пальца. Такой поворот рычаг получает вокруг своего центра качения O_2. Однако в передачах контрольных приспособлений со сложными рычагами их качание O_2 не совпадаете центром поворота O_2 оси пальца, установленного в отверстие проверяемой детали.

При повороте рычага вокруг центра O_2 правый конец плеча рычага будет иметь контакт с пальцем в точке M_1, левый же конец плеча рычага переместится в точку M_2 и не будет иметь контакта с пальцем. Это получался в следствие того, что правый конец плеча рычага для контакта с пальцем в точке M_1 опускается только на величину h. Левый конец плеча рычага при этом поднимается на величину h_1. Хотя величина h_1 больше h, однако левый конец плеча рычага не будет иметь контакта с пальцем в положении M_1. Величина h и h_1 определяются из схемы, данной на рис. 7.20.

Из треугольника $O_2O_1M_1$

$$sin\varphi = \frac{lsin\gamma}{l_2}; \gamma = 90° + \alpha; \beta = 180° - (\gamma + \beta),$$

где α – угол поворота оси пальца вокруг центра O_1.

Из треугольника $O_2O_1M_1$

$O_1M_1 = \frac{l_2 sin\beta}{sin\gamma}$,

тогда

$h = O_1M_1 sin\alpha$

Так как угол α не превышает 5–10', то

$h = l_2 sin\alpha \cdot sin\beta$ (9)

В треугольнике O_2KM_1 угол λ, является заданным. Тем самым определяется значение угла поворота рычага β_1 вокруг центра O_2:

$\beta_1 = \lambda - \beta = \lambda - [180° - (\gamma + \varphi)]$

В треугольнике CO_2K угол при вершине C равен $90° - \beta_1$. Как видно из треугольника CO_1B, угол при вершине B равен β. Из треугольника ABM_1 находим $h = BM_1 \cdot \sin\beta_1$.

Из треугольника M_2BN

$h_1 = (l_3 + KB)sin\beta$

$KB = l_3 - BM_1, \quad l_3 = \frac{h}{sin\beta_1}$

откуда

$h_1 = 2l_3 sin\beta_1 - h$ (10)

При повороте пальца в детали вокруг центра O_1 рычаг, покачиваясь вокруг центра O_2, никогда не будет касаться концами своих плеч MM пальца. Такой контакт возможен только при условии, если рычаг будет монтироваться на передвижной оправке, а центр его качания будет при этом иметь возможность перемещаться. Перемещение центра качания рычага из точки O_2 в точку O_3 показано на рис. 7.20, где его новое положение изображено тонкими линиями. В этом положении концы плеч рычага имеют контакт с новым положением пальца.

Перемещение сложных рычагов из центра O_2 в центр O_3 будет вызывать погрешность Δ_p при измерении расстояния между осями. Определим ее величину. Из треугольника $O_1O_3N_1$ следует, что угол при вершине O_3 равен α.

Величина

$l = O_1O_3 cos\alpha$

где

$O_1O_3 = l + O_2O_3 \quad l + \Delta_p$

Тогда

$l = (l + \Delta_p)cos\alpha,$

откуда

$\Delta_p = \frac{l}{cos\alpha} - l$ (11)

При повороте детали на угол α до 20' эта погрешность будет незначительной и ее можно не учитывать, что видно из следующего примера.

Пример. Дано: l = 30 мм; допуск ни расстояние между осями ранен ±0,02 мм; α = 20'; cosα = 0.99998.

$\Delta_p = \frac{30}{0{,}99998} - 30 \approx 0.001$ мм.

На основе формулы (11) и рассмотренного примера можно сделать вывод, что монтаж сложных рычагов на перемещающиеся оправки, при тщательном их выполнении, не вызывает дополнительных заметных погрешностей Δ_p и

измерениях, что справедливо, если даны широкие допуски на измеряемые размеры. В противном случае в каждом конкретном случае целесообразно произвести проверочный расчет по указанной методике.

7.3 Погрешности прямых передач

Прямые передачи (см. рис. 7.5) применяют из-за конструктивных соображении. Кроме того, они в известной степени играют роль буферов для предохранения индикаторов и других измерительных средств контрольных приспособлении от резких толчков и ударов. Наличие такого промежуточного звена между измерительным прибором и проверяемой деталью вносит незначительные погрешности в измерения, которыми практически можно пренебречь. Это объясняется рядом причин. Диаметры стержня и втулки передачи выполняют по h7 (скользящая) посадка 7 квалитета точности и притирают. Обычно их выполняют диаметром – 1,0–5,0 мм, вследствие чего максимальный зазор не превышает 0,02 мм. Ось стержня O_1O_1 может не совпадать с центром O проверяемой детали и сможет повернуться на угол β (рис. 7.21). При перемещении стержня в процессе измерения деталей угол наклона β его оси может колебаться от нуля до максимума, что вызывает погрешность Δ_p в передаче. Погрешность Δ_p будет увеличиваться по мере смещения оси измерительного стержня индикатора от оси стержня передачи и оси проверяемой детали. На эту погрешность оказывает влияние величина осевого перемещения стержня. Однако оно весьма незначительно, так как контрольные приспособления предназначены, главным образом, для измерения допусков

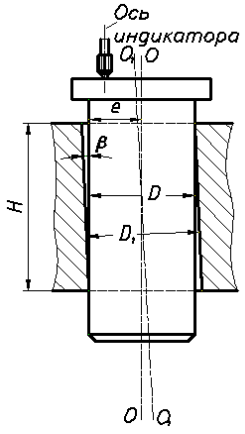


Рис. 7.21 – Схема прямой передачи со стержнем, смещенным относительно оси измерительного стержня индикатора

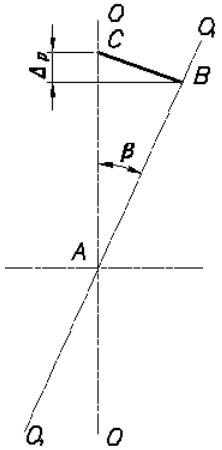


Рис. 7.22 – Схема перемещения стержней примой передачи и индикатора при несовпадении их осей между собой

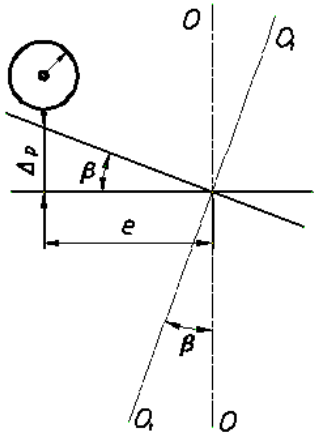


Рис. 7.23 – Схема для определения погрешности Δ_p при смещении осей индикатора и стержня прямой передачи в горизонтальной плоскости

в пределах 6-8 квалитетов точности, т. е. до 0,05 мм и значительно реже – до 0,1 мм.

При измерении деталей с предельными размерами стержень переместится по направлению оси O_1O_1 на величину AB (рис. 7.22). Стержень индикатора при этом пройдет путь, равный AC. Из рис. 7.22 следует:

$AB = AC cos\beta;\ \ \Delta_p = AC - AB;$

$\Delta_p = \frac{AB}{cos\beta} - AB;\quad tg\beta = \frac{D_1 - D}{H}$

Обычно H = 20÷25 мм, тогда $tg\beta$ = 0,001. Для такого угла cosβ ≈ 1. Следовательно, при этих условиях погрешность Δ_p в передаче близка к нулю.

Смещение оси измерительного стержня индикатора относительно оси стержня передачи на величину e (рис. 7.21 и 7.23) в горизонтальной плоскости и поворот от последнего во втулке на угол β. также вызывают погрешность Δ_p в передаче. Величина этой погрешности:

$\Delta_p = e\ tg\beta$ (12)

Обычно величина e < 0,2÷0,3 мм.

При $tg\beta$ < 0,001 максимальное значение Δ_p – 0,3·0,001 = 0,0003 мм. Такое значение Δ_p при определении точности работы передачи может не учитываться.

Анализ показывает, что погрешности Δ_p в прямых передачах являются незначительными и при условии тщательного выполнения их установка в контрольных приспособлениях не вносит заметных погрешностей измерения. Если же это условие по тем или иным причинам не может быть выполнено, то прямые передачи, не увеличивая заметно погрешности Δ_p, будут значительно повышать рассеяние показаний измерительных средств контрольных приспособлений.

Основные расчетные формулы для определения погрешностей Δ_p рычажных и прямых передач, приведенные в этой главе, позволяют решать вопрос о допусках на их изготовление.

Контрольные вопросы

1. Какие рычажные передачи используются в контрольных приспособлениях?
2. Для каких целей используются рычажные передачи?
3. Какие влияния на точность измерения имеют рычажные передачи?
4. Что влияет на точность передач при использовании рычажных передач?

Глава 8. Допускаемые погрешности измерений линейных размеров в машиностроении.

Нормируемые стандартами погрешности средств измерений не могут определить суммарную погрешность измерения, т. к. кроме погрешности СИ на суммарную погрешность измерения влияют различные факторы, причем в некоторых случаях их влияние превышает погрешность СИ. В связи с этим возникла необходимость в разработке такого нормативного документа, который включал бы сведения по следующим вопросам:

- влияние погрешности измерения на результаты разбраковки;
- пределы допускаемой погрешности измерения для определенных контролируемых размеров в зависимости от допуска на изготовление;
- составляющие, которые влияют на суммарную погрешность измерения;
- суммарная погрешность измерения различными СИ, выпускаемыми серийно;
- методика выбора СИ в зависимости от точности изготовления деталей.

Для решения этих вопросов были проведены исследования, результаты которых положены в основу стандартов ГОСТ 8.051-81 и ГОСТ 8.549-86.

Допускаемая погрешность - это значение погрешности измерений, которое не должно превышаться при измерениях какой-либо величины, т.е. допускаемая погрешность устанавливает степень достоверности, с которой определяют заданные предельные значения измеряемой величины.

В системе обеспечения единства измерений допускаемая погрешность позволяет продолжить цепочку передачи точности размера единицы от государственного эталона до изделия.

В настоящее время на государственном уровне стандартизованы допускаемые погрешности измерений только для линейных размеров от 1 до 500 мм. Этими документами являются ГОСТ 8.051-81 ГСИ «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм» и ГОСТ 8.549-86 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм с неуказанными допусками».

8.1. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм.

В ГОСТ 8.051-81 решены два основных принципиальных вопроса, связанных с нормированием допускаемой погрешности измерений:

- установлены числовые значения допускаемых погрешностей измерений;

- регламентируются правила определения приемочных границ с учетом допускаемой погрешности измерений.

а) Значения допускаемых погрешностей измерений.

Поскольку числовые значения допускаемой погрешности измерений должны установить степень достоверности определения предельных размеров элементов деталей, вполне принято нормирование числовых значений допускаемых погрешностей измерений, как часть от значения допуска на изготовление, который в свою очередь связан с номинальным размером.

Допускаемые погрешности измерения в стандарте установлены для квалитетов, начиная от 2-го до 17-го (в то время не было 18-го квалитета). Для более точных квалитетов допускаемые погрешности измерения не установлены, поскольку эти ряды точностей редко используются для нормирования требований к точности элементов деталей, и нет достаточных данных для обеспечения такой точности измерений в производственных условиях.

Стандарт устанавливает допускаемые погрешности измерений для размеров только до 500 мм потому, что только в этом диапазоне размеры в основном используются для сопряжений. Кроме того, по измерению этих размеров накоплен соответствующий опыт в отношении определения погрешности измерений существующими универсальными измерительными средствами, без которого нельзя устанавливать допускаемые погрешности.

Предельные значения допускаемых погрешностей измерения в стандарте приняты равными от 35 до 20% от допуска на изготовление. Более высокий процент (35%) принят для точных квалитетов (табл. 8.1).

В стандарте подчеркивается, что устанавливаемые допускаемые погрешности измерения являются наибольшими, т. е. предельными**.** Меньшие значения погрешности измерений можно использовать во всех случаях. Но стандартом разрешается в двух случаях увеличивать допускаемую погрешность измерения**. Первый случай** - когда превышение предела допускаемой погрешности измерений учитывается уменьшением допуска на изготовление, т. е. при обязательном введении производственного допуска. **Второй случай** - когда измерения производятся с целью разделения деталей на размерные группы для селективной сборки. Дело в том, что в этом случае значение размерной группы принимается за допуск на изготовление, а небольшие значения этих размерных групп часто назначают с целью получения небольшого разброса по разноразмерности деталей в одной группе. Чем меньше интервал размеров селективной группы, тем больше может оказаться относительная погрешность измерения и нередки случаи, когда погрешность измерений составляет до 50% от размера группы.

Таблица 3.1.

Пределы допускаемых погрешностей измерений, мкм

IT	Номинальные размеры,мм												
	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св.120 До 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
IT2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,8	3,0	3,0	4,0
IT3	0,8	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,8	2,0	2,8	4,0	4,0	5,0	5,0
IT4	1,0	1,4	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0
IT5	1,4	1,6	2,0	2,8	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0
IT6	1,8	2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10	10	12
IT7	3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	9,0	10	12	12	14	16	18
IT8	3,0	4,0	5,0	7,0	8,0	10	12	12	16	18	20	24	26
IT9	6	8	9	10	12	16	18	20	30	30	30	40	40
IT10	8	10	12	14	18	20	30	30	40	40	50	50	50
IT11	12	16	18	30	30	40	40	50	50	60	70	80	80
IT12	20	30	30	40	50	50	60	70	80	100	120	120	140
IT13	30	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	180	200
IT14	50	60	80	90	120	140	160	180	200	240	260	280	320
IT15	80	100	120	140	180	200	240	280	320	380	440	460	500
IT16	120	160	200	240	280	320	400	440	500	600	700	800	800
IT17	200	240	300	380	440	500	600	700	800	1000	1100	1200	1400

Примечания: 1. IT2, IT3 и т. д. - допуски соответственно 2-го, 3-го квалитетов и т. д. по ГОСТ 25346-82

2. В таблице даны абсолютные значения предела допускаемой погрешности.

В стандарте подчеркивается, что допускаемая погрешность измерения включает в себя все составляющие, кроме методической,
влияющие на погрешность непосредственных измерений: от измерительных средств, от установочных мер, от температурных деформаций, от базирования и т. д. Необходимость и таком указании возникла в связи с тем, что в производственных условиях иногда неоправданно принимают за погрешность измерений только погрешность одного измерительного средства, хотя условия, в которых производятся измерения этим средством, отличаются от условий, в которых выявлялась погрешность измерительного средства.

В стандарте также подчеркивается, что допускаемая погрешность состоит из случайной и неучтенной систематической погрешности.
Необходимость учитывать и систематическую погрешность измерений объясняется тем, что не при всех методах измерений возможно и целесообразно исключать систематическую составляющую погрешности измерений, как например, при автоматических методах измерений. В стандарте указано, что случайная погрешность измерений должна составлять не более 0,6 от допускаемой погрешности измерений. Этим самым подчеркивается, что, когда метод оценки погрешности измерений производится не по эталонной мере для определения всей погрешности, а выявляется только случайная составляющая - сопоставление действительной погрешности должно производиться не с полным значением допускаемой в стандарте, а только с 60% от неё.

Предельное значение случайной погрешности измерений стандартом **установлено равным** $2a$, где o - значение среднего квадратического отклонения погрешности измерений. Это сделано в соответствии с принятым в международной практике.

Таким образом, нормируемые числовые значения предельно допустимых погрешностей измерения установлены с учетом практического опыта использования измерительных средств, обоснованы теоретическими исследованиями и прошли широкую проверку в производственных условиях, т. е. подтверждены практикой.

б) Приемочные границы с учетом допускаемых погрешностей измерения.

Под приемочными границами понимаются предельные значения измеренных размеров, при которых деталь считается годной. Поэтому одной из трудностей, которую необходимо было преодолеть при нормировании допускаемых погрешностей измерения, являлось установление взаимосвязи между допускаемой погрешностью измерений и границами допуска на изготовление.

Возможны два подхода к установлению приемочных границ.

Первый - когда нормируемые приемочные границы (т. е. предельные значения размеров по стандарту) **смещаются внутрь зоны годных деталей** на значение, учитывающее влияние погрешности измерений, т. е. вводится, так называемый, **«производственный допуск».**

Второй - когда приемочные границы **совмещаются с границами нормируемых предельных размеров** и производственный допуск не вводится.

В стандарте учитывается существующая практика установления приемочных границ и предусматривается, что основным способом установления приемочных границ является совмещение их с нормируемыми предельными размерами, т. е. без введения производственного допуска. При этом предполагается, что **при выборе допуска на изготовление,** помимо эксплуатационных факторов, связанных со служебным назначением элементов детали, **необходимо учитывать и допускаемую погрешность измерений.** Необходимо принимать во внимание погрешности измерений на количество неправильно принимаемых и неправильно бракуемых деталей и на значения выхода размеров за приемочную границу у неправильно принимаемых деталей. Все необходимые данные для определения влияния погрешности измерения на результаты разбраковки имеются в информационном приложении к стандарту. Эти данные приведены для случая, когда известна точность технологического процесса и тогда, когда она неизвестна. Информация содержит также данные для случая, когда известны законы распределения погрешности измерения и для случая, когда эти законы не известны.

Анализ производственного опыта показывает, что **во всем мире** в подавляющем большинстве случаев **не вводится производственный допуск,** а при назначении допуска на изготовление обычно дается какой-то «запас» на неточность измерений. В стандарте на допускаемую погрешность измерений даются теоретически обоснованные и практически подтвержденные данные для обоснования и выбора такого «запаса».

В стандарте также учитывается, что возможны случаи, когда введение производственного допуска является необходимым, и такой вариант в нем предусмотрен. Указывается, что предельное значение **смещения при введении производственного допуска** должно быть **не более половины установленных стандартом допускаемых погрешностей измерения.** Эти значения выбраны не случайно - они соответствуют наибольшему значению выхода за границы допуска у неправильно принимаемых деталей из-за погрешности измерений. Для практического применения, когда точность технологического процесса известна, в информационном приложении к стандарту рекомендуется смещать границы допускаемых размеров на значение возможного выхода размера за границы допуска у неправильно принимаемых деталей, который может быть определен по графикам, приведенным в приложении к стандарту. Эти значения меньше половины допускаемой погрешности измерения. Вместе с тем, исследования показывают незначительное влияние погрешности измерений на неправильную приемку деталей и в подавляющем большинстве случаев **можно отказаться от введения производственного допуска,** но при этом учитывать влияние погрешности измерения **выбором соответствующего допуска** на погрешность изготовления.

Стандарт решает важный вопрос о, так называемой, **арбитражной перепроверке,** при которой выясняется, в какой мере погрешность измерений повлияла на проникновение в годные деталей с размерами, выходящими за приемочные границы.

Прежде всего, стандарт устанавливает, что **при арбитражной перепроверке** принятых деталей **погрешность измерений не должна превышать** 30% **от погрешности, которая допускается стандартом при приемочном контроле.** С учетом того, что допускаемая погрешность измерения принята равной 35 - 20% от допуска, получается, **что арбитражная перепроверка должна производиться с погрешностью не более 10%** от допуска на изготовление. Это значение соответствует применяемому в некоторых странах «золотому правилу» или «правилу 10», когда таким значением погрешности можно всегда пренебречь.

При арбитражных перепроверках стандарт допускает наличие среди годных деталей небольшой группы деталей с размерами, имеющими выход за приемочные границы на значение, не превышающее половины допускаемой погрешности измерения. Это небольшая часть деталей установлена для точных квалитетов всего 5% от количества деталей проверяемой партии и 3% - для грубых квалитетов и соответствует экстремальным значениям неправильно принимаемых деталей, когда техпроцесс обладает невысокой точностью. Таким образом, эти данные в полной мере характеризуют влияние погрешности измерений и не покрывают фактического брака, если он окажется в проверяемой партии.

Приведенные в стандарте допускаемые погрешности измерений позволяют выбирать измерительные средства необходимой точности, причем в этой работе должен принимать участие и конструктор, который, назначая допуск на изготовление, должен учитывать влияние погрешности измерений. Это участие конструктора не выходит за пределы его служебных обязанностей.

Стандарт на допускаемые погрешности измерения позволяет продлить поверочную схему непосредственно до изделия, а не только до рабочих измерительных средств.

8.2. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм с неуказанными допусками.

Рассмотренный выше стандарт на допускаемые погрешности измерений относится к допускам элементов деталей, используемых для образования посадок. Он не относится к размерам, с так называемыми неуказанными допусками, т. е. к размерам, у которых непосредственно на чертеже не указано поле допуска, а делается общая запись в технических условиях. На производстве такие размеры часто называют **«свободными»,** а в стандарте их назвали **«общие».**

Формальные причины связаны с тем, что существует ГОСТ 25670-83, устанавливающий допуски, не указываемые непосредственно у номинального размера.

Принципиальные соображения связаны с тем, что даже относительно большие допускаемые погрешности в ГОСТ 8.051-81 в целом ряде случаев не позволяют использовать простейшие средства измерений в виде штангенциркуля, а во многих случаях и микрометрические средства измерений, что противоречит существующей практике в отношении этих относительно грубых размеров.

В ГОСТ 25670-82 в отличие от общего стандарта на допуски и посадки установлены **два ряда точности** для использования при нормировании размеров с неуказанными допусками. Один ряд - это допуски по квалитетам от 12 до 17, разделенные на четыре группы: IT12; IT13 и IT14; IT15 и IT16; IT17. **Второй ряд** точности содержит, в принципе, значения допусков близкие к допускам указанных квалитетов, но **значения их даны с разумными округлениями** и эти значения иногда оказываются между двумя квалитетами. Эти округленные значения допусков образуют четыре класса, названные: точный ti,, средний t2 , грубый t3 и очень грубый t4.

Принципиальный подход к нормированию допускаемых погрешностей измерения в ГОСТ 8.549-86 совпадает с ГОСТ 8.051-81. Имеются некоторые непринципиальные отличия с учетом особенностей использования этих допусков. С учетом существующей практики и обеспечения возможности измерения размеров с допусками IT 12 квалитета или класса точности ti, простейшими средствами измерений допускаемые погрешности измерений установлены равными 50% от допуска на изготовление, тогда как для сопрягаемых размеров наибольшая допускаемая погрешность принята равной 35% от допуска. Поскольку для измерения размеров с неуказанными допусками грубые средства измерений, которые имеют небольшую случайную составляющую, а иногда ее практически невозможно выявить, например, у штангенциркуля, в стандарте **нет указаний, что случайная часть** допускаемой погрешности измерения должна быть **не более** 60%.

При относительно больших допускаемых погрешностях нецелесообразно вводить производственный допуск, поэтому в стандарте предусмотрен только **один вариант установления приемочных границ** - эти границы должны совпадать с нормируемыми предельными размерами.

При арбитражной перепроверке принятых деталей стандартом допускается иметь до 7% деталей с выходом за границы поля допуска на величину не более половины допускаемой погрешности измерений.

В связи с тем, что размеры с неуказанными допусками могут быть измерены относительно небольшой группой простейших средств измерений, в справочном приложении к ГОСТ 8.549-86 даны материалы по выбору этих универсальных средств измерений и условий измерения, при которых обеспечиваются измерения с нормируемой погрешностью.

8.3. Допускаемые погрешности измерений других геометрических показателей точности и других величин.

Рассмотренные выше два стандарта являются пока единственными государственными документами, с помощью которых устанавливается степень достоверности (допускаемая погрешность), с которой должны выявляться значения нормируемых предельных значений длины. По другим показателям геометрической точности и другим величинам такие документы отсутствуют. Формально в рекомендуемом приложении к ГОСТ 28187- 89 «Отклонение формы и расположения поверхностей. Общие требования к методикам измерений» даны таблицы допускаемых погрешностей измерений в зависимости от нормируемого допуска без учета размеров, к которым они относятся. Однако при этом полностью отсутствуют указания на методы и средства, с помощью которых может иметь место погрешность не больше рекомендуемой. По мнению [3] вред от такого нормирования вполне очевиден, поскольку, если воспользоваться этими рекомендациями, которые не подкреплены реальными возможностями, то заказчик может потребовать у изготовителя доказательств о выполнении принятых рекомендаций. Может потребоваться и в других случаях приведение доказательства обеспечения принятых числовых значений допускаемых погрешностей, однако, сделать это на практике часто невозможно. Более эффективным в этом случае было бы нормирование допускаемой погрешности измерений в неявном виде, т. е. разработка и официальное утверждение методик измерения. Практически это единственно возможный путь нормирования допускаемой погрешности измерений многих отклонений формы и практически для всех нормируемых параметров отклонений расположения.

Глава 9 Международная концепция представления результатов измерений.

Разделение погрешности измерения на случайную и систематическую и построенные на таком разделении методы ее описания к началу 80- х годов стали подвергаться определенной критике: эти представления перестали удовлетворять требованиям, предъявляемым решаемыми в метрологии задачами. Сложившаяся ситуация затрудняла развитие отдельных теоретических и прикладных вопросов метрологии, что привело к возникновению различных инициатив, направленных на разрешение возникшей проблемы.

Одной из них была новая концепция представления результатов измерений, развиваемая по инициативе международных метрологических организаций. Ее суть в следующем. Обработка результатов измерений во всех странах проводится с использованием аппарата теории вероятностей и математической статистики. Практически везде погрешности разделяются на случайные и систематические. Однако модели погрешностей, значения доверительных вероятностей и формирование доверительных интервалов в разных странах мира отличаются друг от друга. Это приводит к определенным трудностям при сличении результатов измерений, полученных в лабораториях разных стран. Для устранения этих сложностей к началу 90-х годов с участием ряда международных организаций - Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ), Международного комитета мер и весов (МКМВ), Международного бюро мер и весов (МБМВ), Международной организации по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК) - был разработан документ, содержащий новую концепцию описания результатов измерений. Документ, названный “Руководством для выражения неопределенности в измерении” (Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO/TAG -/WG3, Geneva, June, 1992), содержит правила для стандартизации, калибровки, аккредитации лабораторий метрологических служб. Основными положениями документа являются:

- отказ от использования таких понятий, как истинное и действительное значения измеряемой величины, погрешность, относительная погрешность, точность измерения, случайная и систематическая погрешности;
- введение нового термина «неопределенность» - параметра, связанного с результатом измерения и характеризующего дисперсию значений, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине;
- разделение составляющих неопределенности на два типа: *A* и *B*. Вновь вводимые группы неадекватны случайным и систематическим погрешностям. Разделение основано не на теоретических предпосылках, а на практических соображениях.

Неопределенности типа *A* могут быть оценены статистическими

методами на основе многократных измерений и описываются традиционными характеристиками центрированных случайных величин - дисперсией или средним квадратическим отклонением (СКО). Взаимодействие неопределенностей типа *A* описывается взаимным корреляционным моментом или коэффициентом взаимной корреляции.

Неопределенности типа *B* могут быть оценены любыми другими методами, кроме статистических. Они должны описываться величинами, аналогичными дисперсии или СКО, так как именно эти характеристики можно использовать для объединения неопределенностей типа *B* как между собой , так и с неопределенностями типа *A*.

Эти нововведения должны быть, по мнению МБМВ, распространены на практическую деятельность метрологов. Единое мнение метрологов России на этот документ к настоящему времени еще не сформировано. Рассмотренные рекомендации не вошли в нормативные документы метрологических органов России. Тем не менее, многие из метрологов склоняются к мнению, что понятие «неопределенность измерения» надо вводить в практику, но не вместо понятия «погрешность», а наряду с ним.

9.1 Суммарная погрешность измерения

Расчет составляющих погрешностей и определение суммарной погрешности измерений носит приближенный, ориентировочный характер. Точную оценку погрешностей измерения можно получить только опытным путем.

Существует методика определения погрешности измерения и разделения ее на систематическую и случайные составляющие путем многократного измерения размера и использования образцового средства измерения [17].

Расчетная суммарная погрешность измерения определяется путем суммирования ее составляющих.

Для определения оценки суммарной погрешности должны учитываться взаимные корреляционные связи различных составляющих погрешности. Поэтому исходными данными для более точного расчета должны служить оценки именно всех отдельных составляющих погрешности, а не оценки некоторых суммарных погрешностей (суммарная методическая погрешность, суммарная эксплуатационная погрешность и т. п.).

Так как суммировать с учетом корреляционных связей можно лишь средние квадратические значения составляющих, то для каждой составляющей должно быть найдено ее среднее квадратическое значение. Для этого необходимо знание или предположение о виде закона распределения каждой из составляющих.

Эти составляющие подразделяются на аддитивные и мультипликативные и суммируются раздельно.

Из суммируемых составляющих выделяются группы

коррелированных между собой составляющих погрешности, и внутри этих групп производится алгебраическое суммирование их оценки.

Затем суммарные по группам и оставшиеся вне групп погрешности можно считать уже некоррелированными и складывать по правилу:

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sum \sigma_i^2 -$$

Для перехода от среднего квадратического значения погрешности к доверительному $\Delta_д = t\sigma_{\Sigma}$ значению должно быть вынесено суждение о форме закона распределения результирующей погрешности и тем самым выбрано значение квантильного множителя *t*.

3.3. Правила округления результатов измерений

Поскольку погрешности измерений определяют лишь зону неопределенности результатов, их не требуется знать очень точно. В окончательной записи погрешность измерения принято выражать числом с одним или двумя значащими цифрами. Эмпирически были установлены следующие правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного результата измерения [2].

1. Погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной - если первая цифра равна 3 или более.

2. Результат измерения округляется до того же десятичного знака, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерений оканчивается нулями, то нули отбрасываются до того разряда, который соответствует разряду числового значения погрешности.

3. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остальные цифры числа не изменяются. Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются.

4. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна 5, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу.

5. Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры неизвестны или нули, то последнюю сохраняемую цифру числа не изменяют, если она четная, и увеличивают на единицу, если она нечетная.

6. Округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним - двумя лишними знаками.

Если руководствоваться этими правилами округления, то количество значащих цифр в числовом значении результата измерений дает возможность ориентировочно судить о точности измерения. Это связано с тем, что предельная погрешность, обусловленная округлением, равна половине единицы последнего разряда числового значения результата измерения.

Глава 10. Оценка экономической эффективности метрологического обеспечения технологических процессов и производств

Метрологическое обеспечение производства (МОП) в процессе создания и производства продукции прямого экономического эффекта не даёт.

10.1 Косвенные показатели эффективности метрологического обеспечения

Экономический эффект выражается следующими показателями;

- качеством продукции (снижение уровня брака) и надёжностью изделий в эксплуатации (снижение рекламаций);
- эффективность обслуживания, ремонта и поверки средств измерений;
- рациональное использование измерительной техники;
- снижение затрат на подготовку производства.

10.1.1 Влияние комплекса вопросов метрологического обеспечения производства на качество продукции

Качество продукции зависит от адаптированной конструкторской документации, апробированных технологических процессов и средств измерений, методик выполнения измерений, охватывающие контролем все функциональные размеры изделий.

В первую очередь средства измерений должны пройти поверку в установленные сроки и отвечать нормам точности, установленных нормативной документацией.

Производительность выполнения контрольных операций средствами измерений и контроля должны соответствовать проценту контроля, установленного технологическим процессом.

В зависимости от серийности производства используются различные средства измерений и контроля. В мелкосерийном производстве используется, в основном, универсальный измерительный инструмент. В
Массовом средства допускового контроля контрольные приспособления. Для контроля стабильности технологических процессов внедряется система регулирования технологическими процессами (система SPC). Описание системы в главе 29. В этом случае используются электронные приборы, координатноизмерительные машины с математической обработкой результатов измерений.

Выполнение всех мероприятий метрологического обеспечения производства влечёт затраты, но обеспечивает качество выпускаемой продукции.

10.1.2 Эффективность обслуживания, ремонта и поверки средств измерений

Для обеспечения единства измерений (обслуживание, ремонт, поверка средств измерений и обеспечение нормативной документацией) на предприятии создаётся метрологическая служба.

На разных предприятиях обеспечение единства измерений строится поразному.

1. Метрологическая служба предприятия самостоятельно решает все вопросы. Получает аккредитацию на поверку (калибровку) средств измерений^ ^ \ самостоятельно

   решает все вопросы обслуживания, ремонта и поверки средств измерений. При этом эталоны высшего разряда, используемые на предприятии, поверяются в государственных органах обеспечения единства измерений. Такая система МОП затратная. Ремонт точных приборов, порой находящихся в единственных экземплярах, требует квалифицированных специалистов. Содержание поверителей, приобретение эталонов вносит дополнительные затраты предприятию.
2. Метрологическая служба малых и средних предприятий.

   Обеспечение полного комплекта работ по метрологическому обеспечению производства для средних и малых предприятий слишком затратно.

   Для обеспечения единства измерений средние и малые предприятия привлекают со стороны специалистов по ремонту средств измерений, а поверку осуществляют в органах Госстандарта (центрах метрологии и стандартизации). На малых предприятиях порой назначается только ответственный за состояние средств измерений.
3. Аутсорсинг.

   В начале 2000^{x} годов в России начал внедрятся аутсорсинг по обслуживанию средств измерений.

   Специализированные предприятия, аккредитованные на право ремонта и поверки средств измерений осуществляют обслуживание предприятий.

   Эта система зародилась на Западе в 60^{e} годы прошлого столетия и доказала свою эффективность.

   Примером может служить обслуживание координатно-измерительных машин (КИМ). На среднем предприятии имеется одна-две КИМ. Для её обслуживания необходим высококвалифицированный слесарь- инструментальщик (юстировщик) и программист.

   Специализированное предприятие ^{т} _____ обслуживает не одного заказчика, а целый регион и позволяет содержать целую бригаду высококвалифицированных специалистов. А для предприятия, обладателя КИМ, затраты на обслуживание значительно сокращаются.

10.1.3 Рациональное использование измерительной техники

При разработке технологических процессов технологом, совместно с метрологом, закладываются, в первую очередь, измерительный инструмент и приборы имеющиеся на предприятии и отвечающие нормам точности.

Технологический процесс необходимо максимально оснастить средствами измерений и контроля рабочие места, как оператора, так и контролёра (средства активного контроля, универсальный измерительный инструмент, средства допускового контроля, измерительные стенды). При закупке измерительного инструмента, во избежание дополнительных затрат, служба инструментального обеспечения с метрологом необходимо отслеживать средства измерений прошедших первичную поверку. Вновь поступающие средства измерений должны проходить первичную поверку в органах Госстандарта или в аккредитованных организациях.

Специализированные участки (обработка зубчатых колёс и другие) оснащаются комнатами технических измерений рядом с технологическим оборудованием специальными приборами. Такой принцип обеспечивает оперативно производить подналадку оборудования. Высокоточные приборы размещаются в измерительных лабораториях. Это в определенной степени является недостатком выполнения технологического процесса. В этом случае процент контроля значительно сокращается. При нестабильности
техпроцесса увеличивается вероятность появления на сборке некачественных деталей.

При оснащении технологических процессов средствами измерений и контроля необходимо учитывать не только цену, но и надёжность в эксплуатации, производительность контроля.

Характерным примером может служить обработка картера редуктора моста автомобиля на одном из крупных машиностроительных предприятий.

Для обработки картера проектом заложены две линии механообработки. Проектная производительность линий одинаковая. Контроль качества обработки на одной линии осуществляется электронными приборами активного контроля, на другой - пневматическими. В процессе обработки деталей электронные приборы необходимо подналаживать через 4 часа, пневматические — через 2 часа. В результате производительность второй линии на 15% ниже по сравнению с первой.

В приведенном примере затраты на оснащение электронными приборами в разы окупятся увеличением количества выпускаемых деталей.

10.1.4 Снижение затрат на подготовку производства

В процессе подготовки производства, для проверки качества изделий, максимально используются имеющиеся на предприятии средства измерений. Но наряду с изготовлением технологической оснастки изготавливается специальная контрольная оснастка. Чем чаще происходит освоение новых изделий, тем больше её изготавливается.

В связи с этим средние и крупные предприятия, приобретают координатно-измерительные машины, специальные приборы, позволяющие производить сложные измерения.

Большие расходы на эти измерительные средства окупаются изменением затрат на изготовление оснастки, а главное, на сроках освоения и выпуск новых образцов изделий.

Такой подход позволяет быть конкурентноспособным на рынке товаров.

10. 2- Модернизация измерительной техники.

Одним из направлений повышения эффективности метрологического обеспечения является модернизация средств измерений.

На многих предприятиях, в измерительных лабораториях и комнатах технических измерений , используются универсальные микроскопы УИМ- 21. В 70- 80 г. г. прошлого столетия, для выполнения измерений имели большую эффективность. Но она начала падать с внедрением координатно- измерительных машин (измерения в 3 х координатах, быстродействие, повышение производительности измерений, получение протокола)

В течении времени оптические приборы теряют точность из- за помутнения или расслоения оптических элементов (оптика), что приводит к дополнительным затратам, связанных с ремонтом элементов микроскопов.

Пути выполнения точности, производительности лежат в модернизации микроскопов.

Модернизация УИМ- 21 заключается в установке видео камеры VEC 335 (рис. 5 из курсовой работы) с подключением КМ 8В2. 0 к порталу компьютера, а также СД диск с драйвером и программным обеспечением.

Внедрение измерительной техники является составной частью выполнения технологических процессов и обеспечения качества продукции. Но выделить средства измерения и контроля из общего техпроцесса и обеспечить экономический эффект их использования невозможно.

Экономический эффект можно просчитать путем замены (модернизации) устаревших моделей измерительной техники.

Оптические шкалы заменяются линейными преобразованиями перемещений ЛИР 7 (рис 7), предназначенных для отсчета координат перемещения стола микроскопа. Сигналы с них обрабатываются, преобразуются в

компьютерный формат и через ИЗВ- разъем передаются в ПК с помощью электронного модуля НИИК- 801.

Измерительная техника является одним из основных капиталоемких направлений совершенствования метрологического обеспечения предприятий. Т.к. модернизация СИ выполняется специализированными предприятиями, то определяется экономическая эффективность приобретения, наладки, поверки, освоения и использования его на предприятии с учетом всех затрат.

Годовой интегральный экономический эффект от использования приобретенного нового или модернизированного СИ.

$$Э_2 = [(З_1 К э - З_2) + (П_1 - П_2)] А_2 , \quad (1)$$

Где $З_1$,$З_2$ - приведенные затраты на годовой объем работы единицы базового и нового СИ, которые определяют по формулам

$$З_1 = И_{э1} + \frac{К1}{Тэ1} \quad (2) \qquad З_2 = И_{э2} + \frac{К2}{Тэ2} \quad (3)$$

где $И_{э1}$- общие текущие издержки в процессе эксплуатации единицы базового СИ в году, предшествующем эксплуатации нового СИ;

$И_{э2}$- общие текущие затраты в процессе эксплуатации нового СИ в расчетном t-м году периода $Тэ2$;

$К1$,$К1$ - общие единовременные затраты на внедрение единицы базового и нового СИ с учетом затрат на анализ состояния измерений и выбор требуемого СИ, на обучение специалиста, подготовку специальных помещений, приобретение, монтаж и освоение дополнительного оборудования и на приобретение требуемого СИ, и его освоение применительно к конкретным условиям;

$Тэ1$, $Тэ2$ - срок службы базового и нового СИ с учетом их морального износа;

$И_э$ - коэффициент эквивалентности, учитывающий измерение качества получаемой информации от нового СИ по сравнению с базовым.

Определение приведенных затрат для базового СИ

$$З_1 = И_{э1} + \frac{К1}{Тэ1} \quad (4)$$

К единовременным затратам на внедрение базового СИ относится только цена покупки СИ

$$К_1 = К_{си} \quad (5)$$

Таблица 5.

Единовременные затраты на приобретение базового СИ

Наименование	Цена, руб.
УИМ- 21	400000

К общим текущим издержкам в процессе эксплуатации базового СИ относятся затраты на поверку, на заработную плату работникам и на ремонт СИ

$$И_{э1} И_{пов} + И_{зп} \quad (6)$$

Стоимость поверки определяется прейскурантом центра метрологии и стандартизации Росстандарта РФ.

Таблица 6.

Издержки в процессе эксплуатации базового СИ.

Наименование	Стоимость поверки органами Росстандарта

	руб
УИМ-21	**2918**

Затраты на заработную плату рассчитаем исходя из того, что средняя заработная плата специалиста составляет 15000 руб. На одно измерение тратится около 20 мин, в месяц специалист должен провести 70 измерений, количество рабочих дней в месяце -21, продолжительность рабочей смены составляет 8 часов, следовательно, часовая тарифная ставка специалиста составляет

$$b_{ист} = \frac{ЗП_{осн}}{t_{см}} \quad (7)$$

где $ЗП_{осн}$ - основная заработная плата исполнителя контролера за месяц; n - количество рабочих дней в месяц; $t_{СМ}$ - продолжительность рабочей смены.

$$b_{ист} = \frac{15000}{21*8} = 89 \text{ руб/ час.}$$

Годовые издержки на заработную плату исполнителя контролера определяются по формуле

$$И_{зп} = b_{ист} \frac{Nt_{изм}}{60} 12, \quad (8)$$

где $t_{ИЗМ}$ - время на проведение одного измерения с помощью базового СИ; N - количество измерений, производимых в месяц.

Годовые издержки на заработную плату исполнителя контролера при проведении измерения базовым СИ составят

$$И_{зп} = 89 \ \frac{70\ 20}{60}\ 12 = 24920\ руб.$$

Общие текущие издержки по формуле (6) процессе эксплуатации базового СИ составляют.

$$И_{зп} = 24920 + 2918 = 27838\ (руб)$$

Срок службы базового СИ примем равным 5 лет.

Таким образом по формуле (*4)* , приведенные затраты при использовании базового СИ составляют

$$З_1 = 24920 + \frac{40000}{5} = 104920\ (\text{руб.})$$

Определение приведенных затрат для нового СИ

$$З_2 = И_{з2} + \frac{К_2}{Т_{э2}}, \quad (9)$$

Единовременные затраты на внедрение единицы нового СИ включают в себя затраты на приобретение и доставку СИ

$$К_2 = К_{си} \quad (10)$$

Таблица 7.

Капиталовложения на приобретение и доставку нового СИ.

Наименование	Цена, руб
УИМ-21 с электронным модулем НИИК-801	764000
Стоимость доставки	3780
Итого	767780

$К_2$ = 767780 руб.

К общим текущим издержкам в процессе

эксплуатации единицы нового СИ относятся затраты на поверку и на заработную плату работникам.

$И_{э2} = И_{пов2} + Из_{П2}$ (1)

Стоимость поверки определяется прейскурантом ЦСМ

Затраты на поверку единицы нового СИ составляют

$И_{пов2}$ = 2918 *руб*.

Затраты на заработную плату рассчитаем исходя из того, что средняя заработная плата метролога составляет 15000 руб. На одно полное измерение тратится около 5 мин, в неделю специалист должен провести 70 измерений, количество рабочих дней в месяце - 21, продолжительность рабочей смены составляет 8 часов. Часовая тарифная ставка специалиста составляет.

$$b_{ист} = \frac{ЗП_{осн}}{nt_{см}} \qquad (12)$$

где $ЗП_{0СН}$ - основная заработная плата исполнителя контролера за месяц; п- количество рабочих дней в месяц; $t_{СМ}$ - продолжительность рабочей смены.

$$b\ ч_{ист} = \frac{15000}{21\ 8} = 89\ руб/\ час$$

Годовые издержки на заработную плату исполнителя (метролога) определяются по формуле

$$_{Изп2} = b_{ист}\ \frac{nt_{см}}{60}\ 12, \quad (13)$$

где $t_{UЗМ}$ - время на проведение одного измерения с помощью нового СИ. Годовые издержки на заработную плату исполнителя (метролога) при проведении измерения внедряемым СИ составят

$$_{Изп2} = 89\ \frac{70*5}{60}\ 12 = 6230\ (\text{руб})$$

Общие текущие издержки по формуле (ff) в процессе эксплуатации нового СИ составят

$$_{Изп2} = 2918+6230 = 9148\ (\text{руб})$$

Срок службы нового СИ примем равным 10 лет.

Таким образом по формуле (§>. приведенные затраты при использовании нового СИ составят

$$З_2 = 9148+\ \frac{767780}{10} = 85926\ (\text{руб})$$

Планируется заменить **1 УИМ-21** на УИМ-21 с электронным модулем НИИК-801, $А_2$=1. Коэффициент эквивалентности, учитывающий изменение качества получаемой информации от нового СИ по сравнению с базовым, рассчитаем, основываясь на погрешности нового СИ по сравнению с базовым.

$$К_э = \frac{D1}{D2} \qquad (14)$$

Погрешность базового СИ - 3 мкм; погрешность нового СИ -1,5 мкм.

$$К_э = \frac{1}{0,5} = 2$$

Экономические потери от ошибок при использовании базового СИ Экономические потери от ошибки 1 рода в случае исправимого брака определяются по формуле

$$П_{и11} = B_2 n_1 (З_{кс1} I\ З_{и1}) \qquad (15)$$

Где B_2 - годовой объем контролируемых изделий; n_1- вероятность возникновения ошибки 1-го рода при использовании базового СИ; $З_{кс1}$ - средние затраты на исправление единицы ложно забракованного изделия; $З_{и1}$- средние затраты на проведение одного измерения при контроле качества изделия, которые рассчитываются по формуле

$$З_{и1} = \frac{31}{N1}, \qquad (16)$$

где $З_1$- приведенные затраты на годовой объем работы единицы базового СИ; N_1- количество измерений, производимых в год.

Вероятность возникновения ошибки 1-го рода по ГОСТ 8.051-81 примем равной 0,083 (при нормальном законе распределения и для квалитетов точности 2-7)

Затраты на исправление брака примем равным 70 *руб.*

$П_{ин1}$ = 2350* 0, 083* (70+ 94969/ 2350) = 21455 (руб)

Экономические потери завода изготовителя продукциио ошибок 2-го рода, обнаруженных потребителем в течение гарантийного срока определяются по формуле

$$П_{ин1} = B_2\ m_1\ a_1\ З_{гр} \qquad (17)$$

где a_1 - доля изделий, отказавших в процессе эксплуатации из-за **З** скрытого брака; $З_{гр}$ - затраты завода-изготовителя на проведение гарантийного ремонта с учетом транспортных расходов и штрафов в расчете на одно изделие; m_1 - вероятность возникновения ошибки второго рода.

Долю изделий, отказавших в процессе эксплуатации из-за скрытого брака, примем равной 0,001; затраты завода-изготовителя на проведение гарантийного ремонта с учетом транспортных расходов и штрафов в расчете на одно изделие примем равными 400 *руб.*

Вероятность возникновения ошибки 2-го рода по ГОСТ 8.051-81 примем равной 0,054 (при нормальном законе распределения и для квалитетов точности 2-7).

$П_{ин1}$ = 2350 * 0,054 * 0,001 * 400= 51 (руб)

Соответственно суммарные потери от ошибок первого и второго рода при использовании базового СИ

$П_1 = П_{и11} + П_{ин1}$= 21455+ 51 = 21506 руб.

Экономические потери от ошибок при использовании нового СИ Экономические потери от ошибки 1 рода в случае исправимого брака определяются по формуле

$$П_{и12} = B_2 \ n_2 \ (З_{ис1} + З_{ис2}), \qquad (18)$$

где B_2 - годовой объем контролируемых изделий; n_2- вероятность возникновения ошибки 1-го рода при использовании нового СИ; $З_{ис2}$- средние затраты на исправление единицы ложно забракованного изделия; $З_{и2}$ - средние затраты на проведение одного измерения при контроле качества изделия, которые рассчитываются по формуле

$$З_{и2} = \frac{З_2}{N_1}, \qquad (19)$$

где $З_2$- приведенные затраты на годовой объем работы единицы нового СИ;N_1 - количество измерений, производимых в год.

Вероятность возникновения ошибки 1-го рода по ГОСТ 8.051-81 примем равной 0,08 (при нормальном законе распределения и для квалитетов точности 2-7). Затраты на исправление брака примем равным 70 *руб.*

$П_{и112}$ = 2350 * 0,08 *(70+82927/2350) = 19794 (руб)

Экономические потери завода изготовителя от ошибок 2-го рода, обнаруженных потребителем в течение гарантийного срока, определяются по формуле

$$П_{и112} = B_2 \ m_2 \ a_2 \ З_{гр} \qquad (20)$$

где a_2 - доля изделий, отказавших в процессе эксплуатации из-за скрытого брака; $З_{гр}$ - затраты завода-изготовителя на проведение гарантийного ремонта с учетом транспортных расходов и штрафов в расчете на одно изделие; m_2 - вероятность возникновения ошибки второго рода.

Долю изделий, отказавших в процессе эксплуатации из-за скрытого брака, примем равной 0,0008; затраты завода-изготовителя на проведение гарантийного ремонта с учетом транспортных расходов и штрафов в расчете на одно изделие примем равными 400 *руб.*

Вероятность возникновения ошибки 2-го рода по ГОСТ 8.051-81 примем равной 0,05 (при нормальном законе распределения и для квалитетов точности 2-7).

$П_{и112=}$ 2350 * 0,05 * 0,0008 * 400 = 37 (руб)

Соответственно суммарные потери от ошибок первого и второго рода при использовании нового СИ

$П_2 = П_{и12} + П_{и112} =$ 19794+ 37= 19831 (руб)

Рассчитаем годовой интегральный экономический эффект от использования приобретенного нового СИ по формуле (1)

$З_г$= [104920* 2- 85926/ (21506- 19831)] * 1= 74111 (руб.)

Рассчитаем экономическую эффективность от внедрения нового СИ:

$$E = \frac{Э}{\Delta К} = \frac{Э}{К1\ К2} = \frac{74111}{767780-400000} = 0,2$$

ДК $К_2$ $К_х$ 767780— 400000

Если $E \geq E_н$, то новое СИ целесообразно внедрять. Проверяем, *0,21* > 0,16, следовательно, можно сделать следующий вывод: в ходе проделанных расчетов мы пришли к выводу, что внедрение нового СИ УИМ-21 с электронным модулем НИИК-801 экономически более выгодно, нежели дальнейшая эксплуатация базового **УИМ-21.** Основанием для данного заключения послужили следующие факты:

1. Затраты на внедрение нового СИ отличны от затрат на базовое СИ незначительно.
2. Точность измерений повысилась.
3. Сократилось время на измерение.

В итоге годовой интегральный экономический эффект составил 74111 руб., показателем целесообразности внедрения в производство нового СИ взамен устаревшего

6. Сравнение УИМ-21 и УИМ-21 с электронным модулем НИИК-801

Таблица 7.

	УИМ-21	УИМ-21 с электронным модулем НИИК-801
Вес машины (кг)	414	420
Габаритные размеры (мм)	1145x1060x705	1145x1060x705
Погрешность измерения (мкм)	1	0,5

Принцип измерения	Ручное	Ручное и автоматизированное
Цена, руб	400000	764000

Таким образом, замена базовой модели СИ на более современную, модернизированную благоприятно отразится на качестве продукции и как следствие, на общей конкурентоспособности предприятия.

В главе 10 рассмотрены вопросы как затратных статей метрологического обеспечения, так и возможные пути сокращения расходов при выпуске продукции.

На каждом предприятии вопросы метрологического обеспечения производства решаются индивидуально с выполнением главного условия - обеспечением единства измерений при выпуске продукции.

Контрольные вопросы

1. Какие основные показатели экономической эффективности метрологического обеспечения производства?
2. Какие критерии обеспечения качества выпускаемой продукции?
3. Что такое аутсорсинг?
4. Какие пути сокращения сроков подготовки производства?
5. Что дает модернизация средств измерения?

Глава 11. Аудит технической документации и метрологического обеспечения производства

Законом №102-ФЗ об обеспечении единства измерений (статья 14) предусмотрена метрологическая экспертиза технической документации.

На предприятиях, созданных в советское время, и функционирующих в настоящее время, имеется разветвлённая метрологическая служба, решающая вопросы метрологического обеспечения производства. Одна из выполняемых функций – метрологическая экспертиза технической документации.

Начиная с 90^{х} годов прошлого столетия изменилась структура производства. Наряду с крупными предприятиями появились предприятия малого и среднего бизнеса, что способствовало появлению, как положительных, так и отрицательных явлений при производстве продукции.

Малые и средние предприятия мобильно начали выпускать новую продукцию и совершенствовать её по запросам потребителей.

В мировой практике прослеживается тенденция – создание сборочных производств. Изготовление комплектующих и компонентов остаётся за малыми и средними предприятиями. Это способствует быстрому переналаживанию производства и более узкой специализации.

Эта тенденция наблюдается и в России, что характерно для автомобильной промышленности. Безусловно, простые детали не требуют больших материальных затрат. Но изделия повышенной сложности и точности требуют кроме материальных затрат на обеспечение производства, обеспечение требований по точности их изготовления.

На малых предприятиях, как правило, нет метрологических служб, а лишь ответственные за состояние средств измерений, не говоря уже об экспертизе технической документации.

По требованиям российского законодательства осуществляется сертификация производства и изделий специализированными аккредитованными организациями, определяющие на предприятиях готовность к сертификации [33]. Такой вид деятельности называется **аудит.**

Качество выпускаемой продукции определяют конструкторская, технологическая документация, достоверные методы контроля и службы измерения.

Надёжность и долговечность изделий определяют технические условия на изготовленную продукцию и эксплуатационная документация.

Для обеспечения достоверности перечисленных требований необходимо убедиться в их соответствии при проведении экспертизы (аудита) на всех этапах создания, производства и эксплуатации изделий. Цель экспертизы (аудита) выявить отклонения, не отвечающие нормам точности в конструкторской, технологической документации, влияющие на собираемость и эксплуатационные свойства изделий.

Конструкторская документация

Аудит конструкторской документации основных изделий машин,

механизмов и узлов должен быть направлен на:

- выявление несоответствий требований чертежа и нормативной документации;
- проверка контролепригодности размеров, указанных в чертежах;
- проверка соответствия зависимости допусков, шероховатости и погрешностей формы и расположения поверхностей;
- проверка соответствия размерных цепей.

Конструкторская документация измерительной оснастки:

- осуществляется проверка норм точности, соответствия допусков на изготовление и суммарной погрешности контрольной оснастки (средств измерений);
- анализ субъективных и объективных погрешностей контрольной оснастки.

3. Технологическая документация:

- проверка соответствия конструкторских, измерительных и технологических баз;
- проверка соответствия технологического процесса требованиям документов по метрологическому обеспечению, регламентирующие нормы точности;
- проверка полноты выбора методов контроля;
- проверка соответствия выбранных средств измерения и контроля нормам точности;
- проверка полноты контрольных операций;
- проверка наличия методик выполнения измерений.

4. Эксплуатационная документация:

- проверка полноты регулировок узлов допустимости выполнения регулировок;
- полноты методов и средств измерения для осуществления регулировок и при ремонте деталей и узлов изделий.

Проведение аудита технической документации повысит качество изготовления изделий в процессе производства и эксплуатации и исключит дополнительные затраты при их освоении.

На малых и средних предприятиях, кроме составления технологического процесса обработки, на технолога ложится задача выбора средств измерений для обеспечения качества изготовления продукции.

Как выбирать средства измерений

Рекомендации по выбору

При выборе и назначении средств измерений необходимо руководствоваться следующими принципами:

- Соотношение погрешности средства измерений и допуска измеряемого параметра должно соответствовать требованиям нормативных документов.

– Условия эксплуатации должны соответствовать рабочим условиям выбираемых средств измерений.

– Средство измерений должно обеспечивать достоверность измерений при минимальных экономических затратах.

– При прочих равных условиях следует отдавать предпочтение средствам измерении с более высоким уровнем автоматизации.

– Предпочтительней применять унифицированные средства измерений.

Более подробно принципы и методы выбора средств измерений описаны в РД 50-98 86 «Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм».

Алгоритм предварительного выбора

Первый этап

На основании конструкторской документации составляется модель объекта измерения и выделяется параметр, который должен быть принят за измеряемую величину. Определяется принципиальная схема измерения, номинальные и предельные размеры, точки или плоскости в сечениях которых будет проводится измерение.

Второй этап

Определяется вид измерения (прямое или косвенное). Решение принимается в зависимости от измеряемого параметра. Для измерения длины, диаметра применяется прямой метод, для измерения площади, радиуса дуги и т. п. – косвенный метод.

Третий этап

В соответствии с технологической документацией определяется метод измерения (абсолютный или относительный). В зависимости от типа производства (серийное или штучное), требований контроля (выборочный или сплошной), функционального назначения контролируемого элемента, технологической документации определяют, требуется ли контролировать номинальный размер или его отклонение.

Четвёртый этап

На основании технологической документации определяются допускаемая погрешность, требуемый диапазон измерения и разрешение средства измерений. Следует уделять особое внимание выбору точности средства измерений, так как именно она влияет на точность измерений.

Недостаточная точность измерений приводит к тому, что часть годной продукции бракуют (ошибка 1-го рода) и часть бракованной продукции принимается как годная (ошибка 2-го рода). Излишняя точность измерений, в свою очередь, связана с чрезмерным повышением трудоемкости и стоимости контроля.

Для определения предельной погрешности средства измерений (Δи), прежде всего, необходимо определить предельную допустимую погрешность измерении (δ). Предельно допускаемые погрешности измерений в зависимости от допусков контролируемого параметра (IT) в соответствии с ГОСТ 8 051-81 приведены в табл. 1.

Предельно допустимая погрешность средства измерений (Δи) должна быть не больше 60% от допустимой погрешности (δ), т. е. $\Delta и \leq \delta \cdot 0{,}6$

В соответствии с этим условием на основании приведенных в каталоге технических характеристик осуществляется выбор средства измерений обеспечивающего минимальную трудоемкость и стоимость измерений.

Следует помнить, что наиболее приемлемым по трудоемкости считают средство, у которого предельно допускаемая погрешность (Δи) наиболее близка к расчетной (δ).

Диапазон средства измерений рекомендуется выбирать таким, чтобы номинальное значение измеряемой величины было больше 2/3 диапазона выбранного средства измерений. Если значение измеряемой величины меняется в значительных пределах, а использование нескольких средств измерений невозможно или нежелательно, допускается, чтобы нижнее значение измеряемой величины было меньше 2/3 диапазона средства измерений.

Разрешение средства измерении должно соответствовать нижнему разряду допуска контролируемого параметра.

Исходя из условий, в которых предполагается эксплуатировать средство измерений определяется необходимая степень защиты средства измерений от воздействия внешней среды (см. приложение 1 для лаборатории и кодификатор IP для цеховых условий).

Пятый этап

На основании требований технологической документации определяют степень автоматизации средства измерений.

В случае большого количества контролируемых деталей или однотипных параметров измерений рекомендуется использовать средство измерений с более высоким уровнем автоматизации.

Шестой этап

На основании полученных данных (предельно допустимой погрешности, диапазона, разрешения и метода измерения), учитывая требования к защищённости и автоматизации, а также принимая в расчёт принцип экономичности метода измерения, в каталоге выбирают тип или конкретную модель средства измерения.

Степени защиты средств измерений от влажной среды

В цеховых условиях средства измерения порой используются в экстремальных условиях.

В соответствии с ГОСТ 14254-96 степени защиты, обеспечиваемые

оболочками (IP) назначается код защиты и выбирается степень защищённости средства измерений.

Состав кода IP

Буквы кода (международная защита International Protection) – IP.

Первая цифра характеризует степень защиты от проникновения твёрдых частиц (цифры от 0 до 6 либо буква X).

IPOX – нет защиты.

IP5X – защита от проникновения пыли (пылезащитные).

Допускается применение изредка в пыльных помещениях.

IP6X – полная защита от пыли (пыленепроницаемые).

Защита от влажности.

Вторая цифра характеризующая степень защиты от проникновения жидкости (цифры от 0 до 8 либо буква X).

IPX0 – защиты нет. Допускается применение в глухих помещениях.

IPX1 – защита от вертикально падающих капель.

IPX2 – защита от капель воды, падающих под углом 15°.

IPX3 – защита от падающих брызг, угол наклона до 60° (дождевание).

IPX4 – сильное обрызгивание.

IPX5 – защита от водных струй.

IPX6 – защита от мощных водяных струй.

IPX7 – защита от временных погружений в воду.

IPX8 – защита от продолжительного погружения в воду.

Степень защиты наносится на средство измерения или ставится отметка в паспорте.

Примеры

Микрометр гладкий электронный.

“Micromer 40 EW” фирмы Mahr Германия – IP65:

степень защиты от пыли 6, степень защиты от влаги – 5.

Индикатор MarCator 1088 фирмы “Mahs” Германия – IP54.

Штангенциркуль электронный.

MarCal16EW фирмы “Mahs” Германия – IP67.

Пример экспертизы технологического процесса

Рассмотрим наиболее простой пример выбора методов и средств измерения детели.

Технологический процесс сборки стакана фильтра – 1105050 СБ

Исходя из номера чертежа, узел относится к серийному производству. Технологический процесс прошёл все согласования, в т.ч. и главным метрологом завода. На экспертизу документация представлена не в полном комплекте (отсутствует чертеж детали).

Технологическим процессом (операция 005) оговаривается контроль размеров ① – 60±2 мм и ② – 52±2 мм (рис. 1).

Выполнение размеров, согласно технологического процесса обеспечивается технологической оснасткой.

Но в карте контроля указаны средства измерения и предусматривается выборочный контроль.

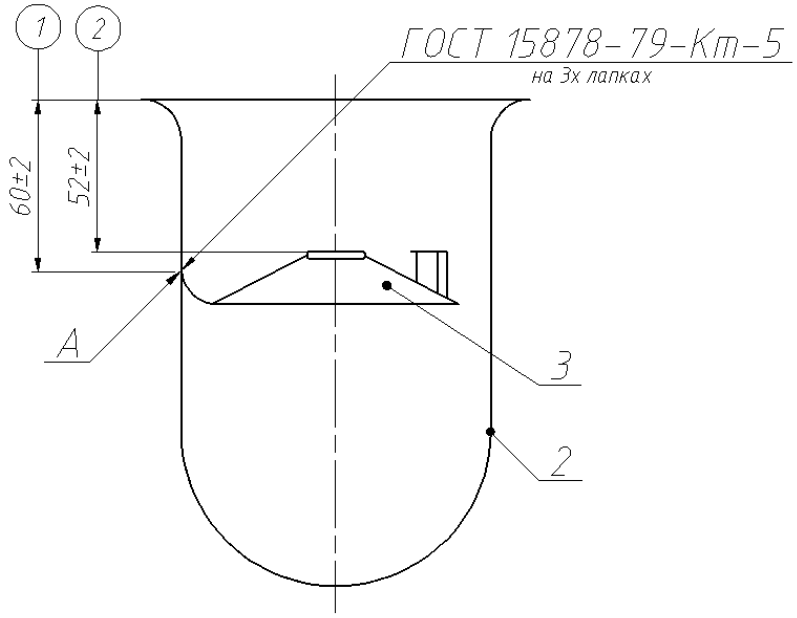


Рис. 1 – Эскиз контроля стакана фильтра

Для контроля заложен штангенциркуль ШЦ-1-0-125 ГОСТ 166-89.

В техпроцессе не оговаривается цена деления и класс точности средств измерения.

Правильная запись ШЦ-1-125-0,1 класс 2 ГОСТ 166-89.

Исходя из эскиза (рис. 1) не ясно возможно ли штангенциркулем ШЦ-1-125 проверить размеры ① и ②. Не указан радиус и диаметр отбортовки и, по всей вероятности, глубиномером штангенциркуля ШЦ-1 невозможно проверить размер ① – 60±2 мм, а тем более размер ② – 52±2 мм. Для контроля размеров ① и ② дополнительно необходима лекальная линейка ЛД-200 ГОСТ 8028-75. Но для массового производства необходимо применить спец. калибр.

Операция 015 предусматривает контроль стакана фильтра с приваренной бобышкой (рис. 2).

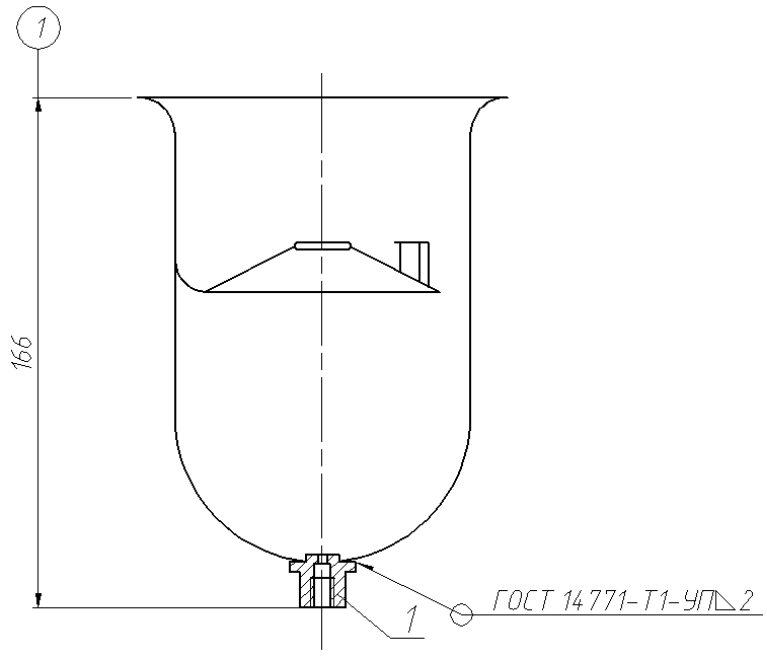


Рис. 2 – Эскиз контроля стакана фильтра в сборе

Технологическим процессом контроль стакана с бобышкой в сборе заложен штангенциркуль ШЦ-11 ГОСТ 166-89. Осуществить контроль заложенным СИ не представляется возможным. Необходимо использовать штангенрейсмас ШР-250-0,05 по ГОСТ 164-80 с применением контрольной плиты. При контроле размера ① – 166 мм стакан фильтра необходимо перевернуть и основанием установить на плиту.

Как видим из карты контроля, технолог слабо знает даже самые простые средства измерения и методы контроля.

Исходя из новых условий развития производства целесообразно, на ряду с метрологической экспертизой, ввести понятие **аудит технической документации**. При этом расширив функции контроля. Наряду с проверкой норм точности рассматривать вопросы надёжности и долговечности изделий в эксплуатации.

Приложение 1

Допустимые погрешности линейных размеров до 500 мм (ГОСТ 8.051-81)

Интервалы размеров, мм	Квалитеты																									
	4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17	
	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ
	Допустимая погрешность измерений																									
До3	3	1	4	1,4	6	1,8	10	3	14	3	25	6	40	8	60	12	100	20	140	30	250	50	400	80	600	120	1000	200
св. 3 до 6	4	1,4	5	1,6	8	2	12	3	18	4	30	8	48	10	75	16	120	30	180	40	300	60	480	100	750	160	1200	240
св. 6 до 10	4	1,4	6	2	9	2	15	4	22	5	36	9	58	12	90	18	150	30	220	50	360	80	580	120	900	200	1500	300
св. 10 до 18	5	1,6	8	2,8	11	3	18	5	27	7	43	10	70	14	110	30	180	40	270	60	430	90	700	140	1100	240	1800	380
св. 18 до 30	6	2	9	3	13	4	21	6	33	8	52	12	84	18	130	30	210	50	330	70	520	120	840	180	1300	280	2100	440
св. 30 до 50	7	2,4	11	4	16	5	25	7	39	10	62	16	100	20	160	40	250	50	390	80	620	140	1000	200	1600	320	2500	500
св. 50 до 80	8	2,8	13	4	19	5	30	9	46	12	74	18	120	30	190	40	300	60	460	100	740	160	1200	240	1900	400	3000	600
св. 80 до 120	10	3	15	5	22	6	35	10	54	12	87	20	140	30	220	50	350	70	540	120	870	180	1400	280	2200	440	3500	700
св. 120 до 180	12	4	18	6	25	7	40	12	63	16	100	30	160	40	250	50	400	80	630	140	1000	200	1600	320	2500	500	4000	800
св. 180 до 250	14	5	20	7	29	8	46	12	72	18	115	30	185	40	290	60	460	100	720	160	1150	240	1850	380	2900	600	4600	1000
св. 250 до 315	16	5	23	8	32	10	52	14	81	20	130	30	210	50	320	70	520	120	810	180	1300	260	2100	440	3200	700	5200	1100
св. 315 до 400	18	6	25	9	36	10	57	16	89	24	140	40	230	50	360	80	570	120	890	180	1400	280	2300	460	3600	800	5700	1200
св. 400 до 500	20	6	27	9	40	12	63	18	97	26	155	40	250	50	400	80	630	140	970	200	1550	320	2500	500	4000	800	6300	1400
Допустимая погрешность % от допуска	35-30		35-30		30-25		30-25		25		25		25-200		25-20		25-20		~20		~20		~20		~20		~20	

Контрольные вопросы

1. Что такое метрологическая экспертиза технической документации?
2. Чем отличается экспертиза технической документации от аудита?
3. Что проверяется при экспертизе (аудите) технической документации?
4. Какие этапы выбора средств измерений для контроля технологического процесса?
5. Какие бывают степени защиты средств измерений от влажной среды?

Глава 12 Эталоны единиц физической величины. Поверочные схемы

Материальную, техническую основу обеспечения единства измерений обеспечивает эталонная база страны – совокупность государственных, вторичных и рабочих эталонов, а также установок высшей точности. Уровень эталонной базы государства объективно свидетельствует о его научно-техническом потенциале. **Эталоном** называют средство измерений, предназначенное и утвержденное для воспроизведения, хранения и передачи участка шкалы измерений или размера единицы нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений.

В буквальном переводе с французского эталон (etalon) – это образец, мерило. В английском языке слова «эталон» нет, его заменяет слово standard, имеющее множество различных значений: знамя, стандарт, норма, мера, образец, стойка, подставка и др. Эта неоднозначность иногда приводит к недоразумениям. Например, главное метрологическое учреждение США – НИСТ – мы называем Национальным институтом стандартов (а не эталонов) и технологий.

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых проградуированы все средства измерений одной и той же физической величины.

Самым существенным средством поддержания единства измерений в стране является воспроизведение и хранение единиц величин с помощью эталонов. Эталоны являются высшим звеном в метрологической цепи передачи размеров единиц. **Эталон** представляет собой средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины с целью передачи её размера другим эталонам и рабочим средствам измерений.

12.1 Классификация эталонов

Международные эталоны единиц физических величин хранятся в Международном бюро мер и весов (МБМВ).

Эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны, называют **государственным.** Государственные эталоны подразделяются на:

первичные, обеспечивающие воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью;

специальные, обеспечивающие воспроизведение единицы в особых условиях и заменяющие для этих условий первичные эталоны.

Основанием для создания исходных эталонов являются:

– широкое распространение эталонов 1-4 разрядов и рабочих средств измерений, градуированных в данных единицах;

– целесообразность воспроизведения единицы в одном органе государственной метрологической службы;

– техническая возможность создания эталона и передачи размера единицы, воспроизводимой им, с необходимой точностью.

Основанием для создания подчинённых эталонов является целесообразность:

– предохранения исходного эталона от повреждений и износа;
– наиболее рациональной организации поверочных работ;
– обеспечение единства эталонов;
– контроля за неизменностью размера единицы, воспроизводимой исходным эталоном.

Порядок разработки, утверждения, регистрации эталонов, хранения и применения установлен ГОСТ 8.372-80.

Передачу размеров единиц от эталонов следует производить в соответствии с поверочными схемами, требования к которым изложены в ГОСТ 8.061-80.

Государственный первичный эталон предназначенный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

Например, государственный эталон метра, килограмма, секунды, ампера, кельвина, ньютона, паскаля, вольта, беккереля.

Национальный эталон – эталон предназначенный официальным решением служить в качестве исходного для страны. Это свидетельствует о том, что термины государственный и национальный эталон отражают одно и то же понятие.

Необходимость создания государственных эталонов определяется широким распространением эталонных средств более низкого уровня и рабочих средств измерений, градуированных в данных единицах, а также – целесообразностью воспроизведения единицы величины с необходимой точностью в конкретной метрологической службе.

В настоящее время в нашей стране создана достаточно полная в мире эталонная база – высшее звено всего измерительного дела страны. Она является центральным, важнейшим элементом системы метрологического обеспечения. По точности национальных эталонов можно судить о достигнутом уровне развития науки, техники и промышленности страны, об ее научно-техническом потенциале. Эталонная база России включает в себя около 120 государственных первичных и около 500 вторичных (главным образом – рабочих) эталонов. Эти эталоны обеспечивают воспроизведение и хранение единиц около 70 величин во всех наиболее массовых видах и областях измерений: линейно-угловых и механических, температурных и теплофизических, электрических и магнитных, оптических и радиотехнических, измерений параметров ионизирующих излучений и отчасти – в области физико-химических измерений.

Основу эталонной базы России составляют государственные эталоны основных единиц: длина – метр, массы – килограмм, времени – секунда, силы электрического тока – ампер, термодинамической температуры – кельвин, силы света – кандела и дополнительной единицы плоского угла – радиан. Эти эталоны обеспечивают возможность воспроизведения любых производных единиц Международной системы, а также некоторых внесистемных единиц,

допущенных к применению, например, единиц твердости по различным шкалам.

В России общее число государственных эталонов основных единиц (18) в 3 раза превышает число воспроизводимых ими основных единиц (6). Это объясняется тем, что в ряде случаев, исходя из потребностей практики, необходимо создание как первичных, так и специальных эталонов, которые воспроизводят единицу в особых условиях (внешняя среда, динамический режим, экстремальные значения влияющих величин). Так, например, для основной единицы длины – метра создано пять государственных эталонов. Для другой основной единицы – кельвина – семь, охватывающих диапазон температур от сверхнизких (гелиевых) до сверхвысоких (температура плазмы). Для единицы сила тока – ампера – создано три государственных эталона, обеспечивающих единство измерений не только постоянных, но и переменных токов вплоть до СВЧ. Для других основных единиц (килограмма, секунды и канделы) и настоящее время существует по одному государственному эталону.

Созданные государственные эталоны по своим метрологическим характеристикам не уступают эталонам передовых зарубежных стран, а в ряде случаев и превосходят их.

Государственные первичные эталоны сосредоточены в метрологических институтах Госстандарта России. Кроме первичных и специальных эталонов, утвержденных в качестве государственных, имеется большое число вторичных эталонов, с помощью которых выполняются основные метрологические работы. К вторичным эталонам – относятся также эталоны сравнения, предназначенные, главным образом, для сличения государственного эталона с другими, в том числе международными эталонами, если по техническим возможностям такое сличение не может быть проведено непосредственно.

Международный эталон – эталон принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Например, международный прототип килограмма, хранимый в МБМВ, утверждён 1^{й} Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ).

Вторичный эталон –эталон получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Эталон сравнения – эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Исходный эталон – эталон обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в одной лаборатории, организации на предприятии), от которого передают размер единицы подчинённым эталонам и имеющим средствам измерений.

Исходным эталоном в стране служит первичный эталон. Для предприятия может быть вторичный или рабочий эталон. Эталоны, стоящие в поверочной схеме ниже исходного эталона, обычно называют **подчинёнными**

эталонами.

Рабочий эталон – эталон. предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений. Термин рабочий эталон заменил собой образцовые средства измерений (ОСИ), что сделано в целях упорядочивания терминологии и приближения её к международной.

При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й…, n-й), как это было принято для ОСИ.

Наряду с эталонами в России широко используются **установки высшей точности (УВТ)**. По своему назначению они близки к специальным государственным эталонам, имея относительно узкую область применения Большинство УВТ воспроизводят безразмерные величины (например, относительные величины, коэффициенты). Многие УВТ играют роль исходных для страны эталонов в соответствующих видах измерений.

По правовому статусу различают три категории эталонов. **Международный эталон** принимается по международному соглашению в качестве первичного и служит для согласования с ним шкал измерений и размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами. Международные эталоны хранятся в Международном бюро мер и весов. Там же проводятся ключевые сличения национальных эталонов. Например, национальные эталоны килограмма сличаются один раз в 20 – 25 лет, а эталоны ома и вольта – раз в три года.

Национальный эталон используется в качестве исходного на территории всей страны. В Российской Федерации национальные эталоны принято называть государственными. После образования Союза независимых государств (СНГ) большая часть государственных эталонов России стала выполнять функции межгосударственных эталонов СНГ.

Третью категорию составляют все остальные эталоны – вторичные и рабочие.

На середину 2005 г в составе эталонной базы Российской Федерации: 121 государственный (первичный или специальный) эталон, около 250 вторичных эталонов, более 70 установок высшей точности. Все они занесены в Государственный реестр эталонов и УВТ. В табл. 12.1 приведены характеристики большей части (65 из 121) государственных эталонов России. Здесь для каждого из эталонов дан его номер по Государственному реестру, официальное наименование, диапазон измеряемых величин (или ее номинальное значение), а также метрологические характеристики – среднее квадратическое отклонение (СКО) и неисключенная систематическая погрешность (НСП) Если для СКО или НСП указана размерность, то предельное значение соответствующей погрешности дано в абсолютной форме, если размерность не указана – то в относительной.

Большинство национальных эталонов России не уступают по точности лучшим зарубежным эталонам. В качестве метрологических характеристик национальных эталонов, наряду со значениями НСП и СКО, вводится размах неопределенности.

Обязательная функция любого эталона – передача величины (точки,

участка или всего диапазона шкалы измерений) другим средствам измерений. Передаваемый размер может соответствовать любому участку или любой точке шкалы и не обязательно быть равным единице величины. В качестве примеров приведем характеристики нескольких государственных эталонов России (табл 12.1):

– эталон массы ГЭТ 3-78 передает величину, равную единице массы – килограмму;

– эталон электрического сопротивления (ГЭТ 14-91) – значения 1; 6453,20175 и 12906,4035 Ом;

– эталон индуктивности (ГЭТ 15-79) воспроизводит значение 0,010000333 Гн;

– цезиевый репер частоты в эталоне ГЭТ 1-98 воспроизводит интервал времени, равный 1/9122631770 части секунды, а стабилизированный гелий-неоновый лазер эталона длины ГЭТ 2-98 — 1/173452614 часть метра;

– эталон ГЭТ 101-76 передает единицу давления в диапазоне от $2{,}7\times10^{2}$ до $1{,}3\times10^{5}$ Па;

– эталон средней мощности лазерного излучения ГЭТ 22-91 имеет диапазон от 0,08 до 0,80 Вт.

Точность эталона определяется потребностью обеспечивать сохранение единства измерений данной величины или шкалы измерений на данном отрезке времени. Уровень точности государственных эталонов определяется в том числе экономическими соображениями: за высокую точность необходимо платить, и платить очень дорого. Эталон является, как правило, уникальным измерительным комплексом, в котором использованы новейшие достижения науки, техники, технологии. Требование наивысшей точности для государственных эталонов выделяет их в разряд особо значимых научных объектов страны. Каждый эталон является ценностью особой государственной значимости, исключительной федеральной собственностью.

Приведем для сравнения характеристики точности государственных эталонов РФ для воспроизведения основных единиц. Международной системы единиц (за меру точности принята величина, обратная значению относительной погрешности).

– метр (единица длины) – 5×10^{10};
– килограмм (единица массы) – 1×10^{8};
– секунда (единица времени) – 1×10^{14};
– ампер (единица силы тока) – 4×10^{6};
– кельвин (единица температуры) – 2×10^{5};
– кандела (единица силы света) – 3×10^{2}.

Как видим, разница в точности воспроизведения основных единиц *SI* колоссальная – более 12 порядков! Определяющим здесь являются запросы соответствующих отраслей науки и промышленности. Поэтому могут существовать уникальные экспериментальные установки, более точные, чем некоторые государственные специальные эталоны.

Контроль уровня точности национальных эталонов производится в форме ключевых сличений. Термин «сличение» предполагает сопоставление

результатов, полученных на эталонах, близких по своему юридическому статусу и обладающих близкими метрологическими характеристиками. Практика сличения национальных эталонов берет свое начало с 1889 г., когда страны, подписавшие Метрическую конвенцию, получили от Международного бюро мер и весов прототипы международных эталонов метра и килограмма, ставшие национальными эталонами. Степень эквивалентности национальных эталонов количественно выражается значением отклонения от опорного значения единицы и неопределенности этого отклонения. Опорное значение единицы вычисляется на основе результатов ключевых сличений группы лучших национальных эталонов при отсутствии соответствующего международного эталона.

Число эталонов не является постоянным, а изменяется в зависимости от потребности экономики страны. Обычно прослеживается увеличение во времени, что обуславливается постоянным развитием рабочих средств измерений [16, 23].

12.2 Примеры построения эталонов

12.2.1 Эталон единицы длины

Основной единицей измерения длины в системе СИ, как уже говорилось, является метр. Первоначально было принято определение метра как одной десятимиллионной части четверти Парижского меридиана. При дальнейших, более тщательных исследованиях, было установлено, что это определение трудно воспроизводить с достаточной точностью. Поэтому оно было заменено определением метра через расстояние между осями двух средних штрихов, нанесенных на платиново-иридиевом бруске, хранящимся в Международном бюро мер и весов и принятого в качестве прототипа метра.

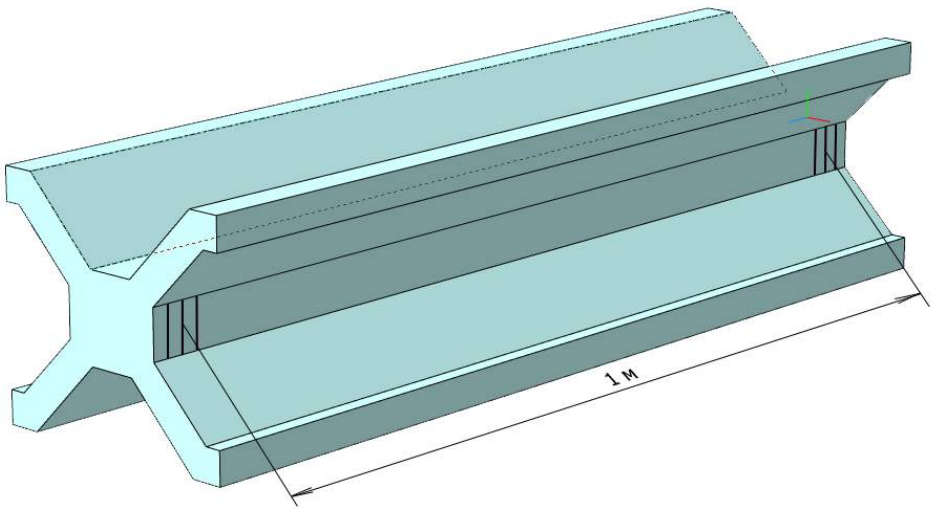


Рис. 12.1 – Метр Архива 1889 г.

В 1889 г. изготовлено 31 эталон метра в виде штриховой меры сплава платины и иридия, Х образной формы, вписанной в квадрат 20 мм (рис. 12.1). Метр № 6 оказался при 0ºС равен метру Архива 1799 г. и был принят 1 Генеральной конференцией по мерам и весам в качестве международного

прототипа метра. № 28 полученный в 1889 г. был утверждён в качестве государственного эталона России.

Однако метр Архива обеспечивал передачу размера метра с относительной погрешностью $\pm 1 \cdot 10^{-7}$, что для современной науки и техники становилось недостаточным.

Поэтому уже давно возникла идея использовать в качестве эталона длину световой волны. Когда научились точно измерять эту длину, старое определение метра было заменено новым. В соответствии с решением XI Генеральной конференции по мерам и весам, в Международной системе единиц приято определение метра как 1650763,73 длины волн оранжевой линии спектра излучения в вакууме криптона-86. Это новое определение не изменило размер метра, но создало возможность понизить погрешность его определения почти на два порядка и, вместе с тем, сделало единицу длины независимой от времени и условий хранения эталона. Во ВНИИМ был создан комплекс аппаратуры для воспроизведения метра в длинах волн излучения криптона-86. В 1968 году Госстандарт утвердил его в качестве государственного эталона метра.

В СССР единица метра поддерживалась с относительной погрешностью $\pm(2\text{-}3)\ 10^{-8}$ с помощью эталонного интерференционного компаратора для линейных измерений в длинах волн излучения криптона. В результате проведения работ по дальнейшему усовершенствованию эталонных источников монохроматического излучения, в том числе с использованием лазеров, удалось на порядок понизить погрешность воспроизведения метра. Как известно, лазеры, длина волны которых очень стабильна, используются и для точного измерения линейных величин. Именно в октябре 1983 года Генеральная конференция по мерам и весам приняла определение единицы длины, связывающее ее с единицей времени. Теперь метр – это расстояние, которое проходит свет в вакууме за 1/299792458-ю долю секунды. Так что, "перебросив" мост из радиодиапазона в оптический, в котором работают лазер, метрологи вплотную и подошли к созданию единого эталона времени, частоты и длины. Образно говоря, он даст возможность "одним аршином" измерить время и пространство. И, что очень важно, единый эталон позволит почти в 100 раз повысить точность воспроизведения метра. В настоящее время метр воспроизводится с погрешностью в тысячные доли микрометра (относительная погрешность порядка 10^{-9}), а это необходимо сегодня для многих областей техники. Например, погрешность в скорости полёта космической ракеты в один метр в секунду может привести к отклонению от заданной траектории более чем на 100 тысяч километров.

Принятое в 1983 г. новое, действующее и сейчас, определение метра связало его с одной из ФФК – скоростью света в вакууме – и с единицей времени – секундой. Это позволило создать единый эталон герца, секунды и метра, современный состав аппаратуры которого утвержден в 1998 г.

В состав этого эталона вошли:

– эталон единиц времени и частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-98;

– аппаратура РОЧМ;

– эталон единицы длины ГЭТ 2-98, который, в свою очередь, состоит из гелий-неоновых лазеров, стабилизированных по частоте излучения, установки для сравнения длин волн их излучений и интерференционного компаратора с лазерным рефрактометром, который непосредственно формирует линейный размер.

Государственный первичный эталон единицы длины ГЭТ 2-98 обеспечивает передачу размера длины вещественным мерам, измерителям и преобразователям линейных перемещений в трех поддиапазонах:

– от 5×10^{-9} до 1×10^{-6} м,
– от 1×10^{-6} до 1×10^{-3} м,
– от 5×10^{-3} до 1,0 м,

В основу определения значения метра положен метод измерения длины, базирующийся на подсчете количества длин волн светового излучения (целого числа и дробной части), которое укладывается в измеряемый отрезок.

Источником излучения служит лазер. Повышение точности измерения метра достигается использованием двух лазеров с разной длиной волны излучения, а также интерференционного компаратора.

Гелий-неоновый лазер, стабилизированный по насыщенному поглощению в метане (He – Ne/CH_4), работает в инфракрасной области спектра на длине волны излучения λ = 3,39 мкм. По величине воспроизводимой частоты излучения такой лазер приближается к цезиевому реперу, который является основой эталона времени и частоты.

Гелий-неоновый лазер, стабилизированный по насыщенному поглощению в молекулярном иоде-27 (He – Ne/I_2), работает в видимой части спектра на длине волны излучения λ = 0,63 мкм. Этот лазер позволяет реализовывать определение метра через скорость распространения света в вакууме.

Секунда воспроизводится эталоном ГЭТ 1-98 в СВЧ диапазоне электромагнитных колебаний ($f \cong 9\times10^{9}$ Гц).

Для реализации размера метра необходим оптический диапазон, значения частот в котором $(4\ldots8)\times10^{17}$ Гц, т.е. на несколько порядков выше. Таким образом необходим «мост» между радиочастотным и оптическим диапазонами частот.

Комплект аппаратуры, позволяющий произвести точное умножение частоты цезиевого репера, был впервые создан в российском Институте метрологии времени и пространства ВНИИФТРИ и назван радио-оптическим частотным мостом (РОЧМ). Именно РОЧМ позволил наиболее точно измерить скорость света в вакууме и рассматривать ее как фундаментальную физическую константу. Он же стал основой создания единого эталона частоты, времени и длины.

Государственный первичный эталон длины (метр) утверждён в 1998 г. Диапазон измерений 0-1,0 м. Случайная погрешность – $2\cdot10^{-11}$ систематическая погрешность – $1{,}5\cdot10^{-11}$. Хранится во ВНИИМе им. Д.И. Менделеева. Эталон обеспечивает передачу размера единицы длины эталонам

Армении, Беларуси, Болгарии, Венгрии, Индии, Кубы, Латвии, Литвы, Польши, Словакии, Украины, Чехии.

Единица измерения времени – секунда. Согласно прежнему определению, действующему до 1965 года, секунда принималась равной 1/86400 части средних солнечных суток. Это определение было связано с вращением Земли вокруг своей оси. Однако, как показали последующие исследования, скорость вращения Земли нельзя считать строго равномерной: она постепенно, хоть и медленно, уменьшается. Возникающая вследствие этого погрешность в определении секунды при возрастающем уровне развития науки и техники стала уже неприемлемой.

Поэтому прежнее определение секунды было заменено новым, устанавливающим ее размер в зависимости от значительного более постоянного отрезка времени – тропического года, т.е. промежутка времени между двумя весенними равноденствиями. Согласно новому определению, секунда – единица времени, равная 1/31556925,9747 часта тропического года. Это, новое определение не ввело новой единицы времени, но позволило повысить ее точность почти в 100 раз.

Непрерывно возрастающие требования науки и техники приводят к тому, что, казалось бы, фантастические неминуемо оказываются недостаточными. Примером тому являются измерения времени. В этой области человек достиг наибольшего совершенства и тем не менее дальнейшее повышение точности время – частотных измерений было и остается острой необходимостью.

Совершенствование эталонов – важнейшая научно-техническая и экономическая проблема, решение которой требует тесного союза с фундаментальной наукой. Так, с начала 60-х годов Физический институт Академии наук СССР и метрологические институты Госстандарта ведут совместные исследования по повышению точности эталона времени и частоты. Именно такое сотрудничество позволило буквально вслед за созданием квантового генератора разработать на его основе первый молекулярный "хронометр" и заблаговременно подготовиться к переходу от астрономического времяисчисления к атомному.

Уже в 1967 году в нашей стране было реализовано принципиально новое определение, секунда – "интервал времени, в течение которого совершается 9192631770 колебаний, соответствующих резонансной частоте энергетического перехода между определенными уровнями сверхтонкой структуры основного состояния в атомах цезия-133". Точность эталона 1967 года, где впервые роль маятника стал выполнять "колеблющийся атом", была по тем временам высокой – относительная погрешность не превышала 10^{-11}, то есть миллиардной доли процента. Это на три порядка выше, чем у замененного им "естественного эталона" – вращающейся Земли. В дальнейшем и эту погрешность удалось сократить в 100 раз, и до последнего времени она составляла 10^{-13}.

В декабре 1983 года Госстандарт утвердил новый эталон времени и частоты СССР. Квантовые меры, входящие в его состав, делятся на реперы и

хранители. Реперы, в отличие от квантовых мер, которые в эталоне служат собственно часами, включаются только время от времени. Они генерируют опорную, базовую частоту, задавая эталонный "изначальный" размер (продолжительность) секунды. На этом их роль заканчивается. "Опираясь" на частоту репера, то есть установив размер секунды сличением с ним, непрерывный счет времени ведут хранители, или, попросту говоря, часы.

В новом эталоне реперы двух видов – цезиевый и водородный. Цезий, как ему и положено по международному соглашению, воспроизводят размер секунды в точном соответствии с ее теоретическим определением и с двое меньшей погрешностью, чем его предшественник. Задача водородного репера – хранить воспроизведенную цезием единицу времени и частоты в ее первозданном размере. Обладая более высокой по сравнению с цезиевым репером стабильностью, водородный почти на порядок снизил погрешность хранения размера секунды. К тому же процедура воспроизведения секунды водородом значительно проще, чем цезием.

И, наконец, сами эталонные часы. Ими впервые в мировой практике создания эталонов служат водородные хранители времени, отличающиеся непревзойденной точностью хода. Их суточная погрешность не превышает двух тысячных микросекунды. Так и формируют эталонную шкалу времени, работая бок о бок, приборы трех типов: цезиевый репер задает опорный размер секунды, водородный его хранит, а водородные хранители-часы, сверяясь с репером, отсчитывают время. Ныне погрешность Государственного эталона времени и частоты $-5 \cdot 10^{-14}$. Это значит, что за 700 тысяч лет непрерывной работы он может накопить погрешность не более чем в одну секунду. Но этим не исчерпываются возможности повышения его точности. Уже ведутся работы по созданию эталона с ионными ловушками, который обещает стать на порядок точнее действующего.

Государственный первичный эталон единиц времени (секунды) и частоты (герца) и национальной шкалы времени ГЭТ 1-98 представляет собой сложный комплекс аппаратуры воспроизведения, хранения единиц времени и частоты и передачи их размеров, а также хранения шкал времени. Составными частями этого комплекса являются:

– аппаратура воспроизведения единиц времени и частоты – два метрологических цезиевых репера частоты;

– аппаратура хранения единиц времени и частоты – четыре водородных мазера;

– аппаратура хранения шкал времени TA(SU) и UTC(SU) – шесть квантовых часов (водородных стандартов времени);

– аппаратура передачи размера единицы частоты в оптический диапазон – радиооптический частотный мост (РОЧМ);

– аппаратура обеспечения связи между ГПЭ единиц времени и частоты и ГПЭ единицы длины – перевозимый метановый лазер;

– аппаратура внутренних и внешних сличений, включая перевозимые квантовые часы и перевозимый лазер;

– аппаратура средств обеспечения, предназначенная для снабжения

эталона бесперебойным питанием, термостатирования его залов и передачи по различным каналам связи информации о результатах измерений в эталоне.

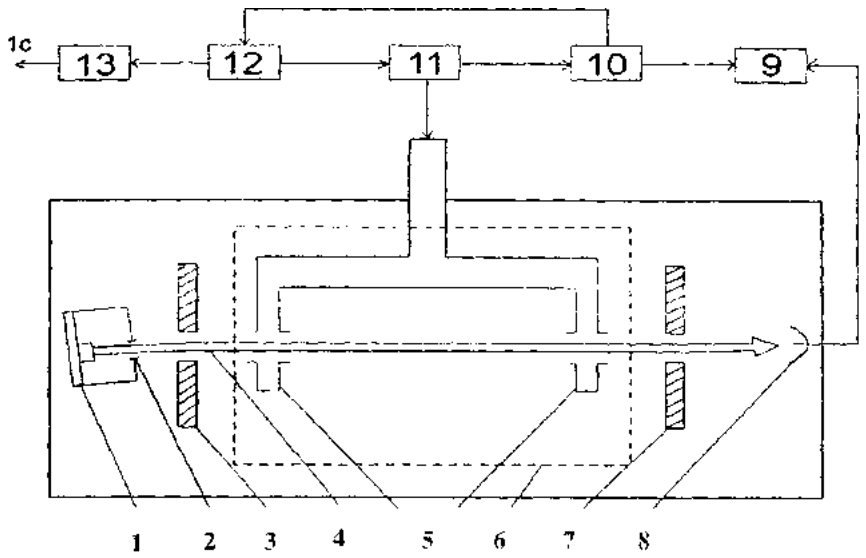
Основу первичного эталона, так же как вторичных и некоторых ведомственных эталонов времени и частоты, составляет групповой хранитель. Элементы группового хранителя (цезиевый репер и водородные хранители) оснащены аппаратурой взаимных сличений по частоте и шкале времени. Цезиевые реперы частоты воспроизводят размер секунды в соответствии с ее определением в Международной системе единиц и работают периодически (в ряде стран цезиевые реперы работают постоянно и хранят шкалу времени). Водородные мазеры выделяются среди стандартов частоты наибольшей долговременной стабильностью и работают непрерывно.

Выходные величины эталона – групповая частота и шкала времени – являются аналитическими величинами, сформированными на ансамбле хранителей путем статистической обработки результатов взаимных сличений между элементами группы. Основной особенностью эталона времени и частоты по сравнению с эталонами других величин является то, что формирование шкалы времени представляет собой непрерывный процесс.

Рассмотрим подробнее работу «сердца» эталона времени и частоты – **цезиевого репера частоты** (рис.12.2). Печь *1* содержит несколько граммов цезия-133, единственного высокостабильного его изотопа. Температура нагрева примерно 100ºС. На выходе из печи коллиматор *2* в виде системы капилляров формирует направленный пучок атомов, в котором имеются, в том числе, 16 равнонаселенных подуровней сверхтонкой структуры ($F = 3$, $m_F = -3$; $F = 3$, $m_F = -2$; $\dots F = 3$, $m_F = 3$, $F = 4$, $m_F = -4 \dots F = 4$, $m_F = 4$). Наиболее вероятная скорость атомов в пучке – 260 м/с.

Первый магнит *3* формирует сильное неоднородное магнитное поле. При прохождении этого поля атомы подвергаются действию сил, под влиянием которых группа атомов, включающая атомы состояния $F = 3$, $m_F = 0$, отклоняется в направлении оси высоковакуумной камеры. Угол отклонения составляет около 1º. Большинство же атомов ударяется о стенки камеры и поглощается специальным покрытием.

Далее пучок атомов цезия попадает в сверхвысокочастотную область взаимодействия, которая образуется резонатором *5* с двумя разнесенными плечами Расстояние между плечами в эталоне составляет примерно 1 м; оно заметно влияет на характеристики точности цезиевого репера. Для промышленно изготовляемых ведомственных исходных эталонов это расстояние существенного меньше – около 15 см. Атомы цезия последовательно подвергаются действию двух



1 – цезиевая печь, *2* – коллиматор, *3* – первый магнит, *4* – лучок атомов цезия, *5* – резонатор, *6* – магнитный экран, *7* – второй магнит, *8* – ионизатор, *9* – детектор, *10* – блок автоподстройки, *11* – умножитель частоты, *12* – кварцевый генератор, *13* – делитель частоты.

Рис. 12.2 – Схема пролетного цезиевого репера частоты

магнитных полей, осциллирующих на сверхвысокой частоте (СВЧ) t_0=9,19263177 ГГц. Поля взаимодействия разделены областью с отсутствующей осцилляцией.

Вся область взаимодействия защищена экраном *6* от влияния внешних магнитных полей. Если частота вводимой в резонаторе электромагнитной волны находится в резонансе с частотой перехода в атомах цезия, то при пролете через область взаимодействия атомы возбуждаются и переходят с подуровня $F = 3,\ m_F = 0$ на подуровень $F = 4,\ m_F = 0$.

Наиболее вероятная скорость атомов в области взаимодействия близка к 140 м/с.

Второй магнит *7* аналогичный первому, отклоняет атомы, совершившие сверхтонкий переход, в направлении ионизатора *8*. Ионизатор представляет собой металлическую проволоку, нагретую до температуры 1000ºС. Попадающие на горячую проволоку атомы цезия испаряются с нее в виде ионов Cs+. Поток ионов фильтруется с помощью масс-спектрометра (на схеме не показан), чтобы удалить из пучка ионы, излучаемые самим ионизатором.

Ионы цезия далее вызывают вторичную эмиссию электронов, которые фиксируются детектором *9*. Поток этих электронов составляет выходной сигнал, так называемой цезиевой атомно-лучевой трубки, которая состоит из совокупности устройств, находящихся в высоковакуумной камере.

Автоматизированная система управления эталона состоит из детектора *9*, блока автоподстройки *10*, умножителя частоты *11* и кварцевого генератора *12*. Выходной сигнал цезиевой атомно-лучевой трубки пропорционален вероятности того, что атомы цезия совершили требуемый переход между подуровнями своей сверхтонкой структуры. Кварцевый

генератор настраивается на частоту атомного резонанса, которой соответствует максимальный электрический ток на детекторе.

Делитель частоты *13,* который называют также синтезатором частоты, формирует выходной сигнал цезиевого репера частоты.

Классический пролетный цезиевый репер частоты с горизонтальным атомным пучком и магнитным отклонением атомов обеспечивает долговременную (более 10 дней) стабильность на уровне 10^{-14} секунды. Характеристики его точности ограничиваются шириной пика резонансной частоты, которая составляет около 50 Гц. В устройстве, использующем очень медленные атомы с лазерным охлаждением, ширина резонансного пика значительно уже (приметно 1 Гц), а стабильность – на два порядка выше.

Принцип построения подобного устройства был впервые предложен в 1953 г. Первый стандарт частоты на основе так называемого «атомного фонтана» был построен во Франции в 1995 г. Для повышения точности квантового стандарта частоты необходимо увеличить время, в течение которого каждый атом взаимодействует с установкой. Развитие техники лазерного охлаждения атомов, позволило реализовать идею «атомного фонтана».

В установке, работающей на этом принципе, облачко атомов цезия подбрасывается вертикально вверх со скоростью нескольких метров в секунду и свободно летит. Поднявшись до некоторой максимальной высоты, атомы под действием гравитационного поля Земли начинают падать вниз. Время пролета атома в фонтане на один-два порядка больше, чем в атомно-лучевой трубке, и составляет примерно одну секунду.

Охлаждение пучка атомов цезия начинается под воздействием двух встречных вертикальных лазерных лучей (доплеровское охлаждение). Окончательное замедление скорости атомов происходит в так называемой «оптической трясине», создаваемой тремя парами встречных световых пучков, имеющих равные амплитуды и взаимно перпендикулярные линейные поляризации и образующих стоячие волны («эффект Сизифа»). Среднеквадратическая скорость «холодных атомов» цезия составляет 1,5 см/с, что условно соответствует термодинамической температуре около 2 мкК. Здесь же происходит возбуждение атомов магнитным полем определенной конфигурации и их переход на более высокий подуровень.

Затем облачко холодных атомов вовлекается в движение вверх путем сдвига частот вертикальных лазеров. Оно дважды пересекает резонансную область – при движении вверх и при последующем падении. Все пространство включающее резонансную область и зону движения атомов до достижения ими высшей точки, защищено магнитными экранами.

Атомы, совершившие требуемый обратный переход, детектируются в стоячей волне образованной двумя встречными лазерными пучками. Подстройка кварцевого генератора на резонансную частоту происходит по разности количеств детектированных фотонов в двух соседних циклах.

Работа «фонтана» в отличие от других квантовых стандартов частоты не является непрерывной. Атомы подбрасываются вверх не сплошным пучком, а

отдельными облачками. За время одного цикла (1-2 с) запускается, совершает полет и подвергается измерениям одно облачко. Установка, работающая по принципу «атомного фонтана», требует сложной системы управления и обработки данных. Основные ее задачи – быстрое и точное управление частотой и интенсивностью лазерных лучей, которые должны изменяться по определенным закономерностям, и обработка сигналов фотодиодов, измеряющих число атомов данного состояния по интенсивности рассеянного ими света.

Национальные эталоны времени и частоты с фонтанным эффектом уже работают во Франции, США, Германии, Японии. К этой группе стран вскоре должна присоединиться и Россия.

Государственный первичный эталон единиц времени (секунда), частоты и национальной шкалы времени хранится во ВНИИФТРИ.

Диапазон измерений:

- времени, с $1 \cdot 10^{-10} – 1 \cdot 10^{8}$;
- частоты, Гц – $1 – 1 \cdot 10^{14}$.

Случайная погрешность – $1 \cdot 10^{-14}$, для измерения частоты РОЧМ ($1 \cdot 10^{10} – 1 \cdot 10^{14}$ Гц) – $1 \cdot 10^{-12}$. Систематическая погрешность – $5 \cdot 10^{-14}$.

12.2.3 Эталон единицы массы

За единицу массы – килограмм – в метрической системе мер была принята масса одного кубического дециметра дистиллированной воды при температуре около 4ºС (при которой вода имеет наибольшую плотность). В Международной системе единиц определение килограмма не претерпело измерений. Однако, если в метрической системе килограмм использовался как единица и массы, и силы, и веса, то в системе СИ он используется только для измерения массы (количества вещества), для измерения же силы (в том числе и силы тяжести, т.е. веса) введена самостоятельная единица – ньютон.

За единицу массы принят килограмм. Это вес 1 $дм^3$ (1 л) чистой воды при температуре 4ºС.

При более точных определениях объёма оказалось 1 л = 1,000028 $дм^3$, что является разницей в 0,28 мг между массой килограмма Архива и 1 $дм^3$ дисцилированной воды при 4ºС.

Россия в 1889 г. получила два прототипа килограмма Архива – № 12 и №26. Прототип килограмма Архива представлял собой гирю в виде пряного цилиндра высотой и диаметром 39 мм платиноиридиевого сплава, содержащего от 10,08 до 10,09%. Объём килограмма при 0ºС составлял 46,408 $см^3$.

Масса килограмма №12 в 1889 г. равнялась 1 кг+0,068 мг. По результатам сличений с эталонами Международного бюро мер и весов, проведенных в 1948-1954 гг., масса прототипа №12 равнялась 1,000000085 кг. Погрешность измерения при сличении составляет $\pm 2 \cdot 10^{-9}$ кг.

Объясняется это адсорбцией молекул из окружающей среды, оседанием пыли на поверхности гири и образованием тонкой коррозионной плёнки.

Для повышения точности воспроизведения килограмма работы ведутся

в двух направлениях. Первой, согласно рекомендации Международного бюро по мерам и весам, предусматривает меры по очистке платиноиридиевой копии международного прототипа и совершенствование конструкции весов. Второе направление связано с уточнением числа Авогадро и воспроизведением единицы массы с помощью эксперимента на оптико-рентгеновском интерферометре с использованием монокристалла кремния с точностью измеренным атомным весом.



Рис. 12.5 – Государственный первичный эталон единицы массы (килограмм)

В составе Государственного первичного эталона единицы массы ГЭТ3-84, кроме двух прототипов килограмма – эталонная гиря массой 1 кг, набор эталонных гирь массой от 1 до 500 г и эталонные весы – компараторы с наибольшими пределами взвешивания 1 кг, 200, 25 и 3 г.

Разность между массами международного и российского государственного эталонов килограмма (т.е. неисключенная систематическая погрешность последнего) составляет $2{,}3\times10^{-9}$ кг. Наименьшая относительная погрешность измерения килограмма составляет $1\cdot10^{-9}$ (при абсолютной погрешности 1 мкг для верхнего предела измерения 1 кг).

Единица измерения массы – килограмм – оказалась последней основной единицей *SI*, воспроизводимой вещественным, рукотворным эталоном, никак не связанным с естественными явлениями природы. Неизбежный износ эталонов килограмма обнаружить и оценить практически невозможно Поэтому Международный комитет мер и весов настаивает на поиске новых вариантов эталона килограмма.

В некоторых научных метрологических центрах проводится большая работа по созданию эталона килограмма, связанного с естественными явлениями или фундаментальными константами. В первую очередь здесь стоит отметить метод, согласно которому килограмм может быть определен как 1/12 киломоля углерода-12 при уточнении значения постоянной Авогадро (достигнутая погрешность метода 3×10^{-7}). Другой метод предусматривает выражение килограмма с помощью силы, развиваемой в электростатических весах. Этот метод опирается на эффект Джозефсона, значения скорости света

в вакууме, ускорения свободного падения, постоянной Планка и имеет относительную погрешность 8×10^{-8}.

Государственный первичный эталон массы (копии №12 и №26 Международного прототипа килограмма, который хранится в Международном бюро мер и весов) хранятся во ВНИИМе им. Менделеева.

Случайная погрешность компарирования $8\cdot10^{-9}$, погрешность сличения с Международным прототипом – $2{,}3\cdot10^{-9}$.

12.2.4 Эталоны единицы температуры

В 1742 г. Цельсий предложил термодинамическую шкалу, в которой расстояние по шкале между точкой таяния льда и точкой кипения воды делилась на 100 частей. Показания термометра такого типа зависели от рода применяемого термометрического вещества и от особенностей и условий теплового расширения его.

В середине XIX века английский физик В. Томсон (лорд Кельвин) показал, что можно установить термодинамическую температурную шкалу независимую от особенностей и условий теплового расширения вещества.

Термодинамическая температурная шкала

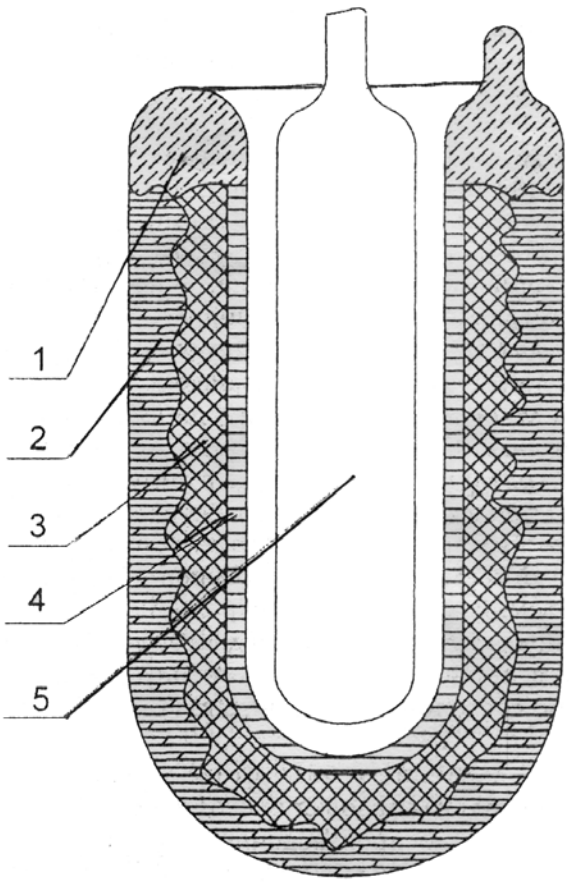
Она основывается на цикле Карно.

Если в обратном цикле Карно тело, совершающее цикл, поглощает теплоту Q_1 при температуре T_1 и отдаёт тепло Q_2 при температуре T_2, то отношение абсолютных температур T_1/ T_2 равно отношению количества тепла Q_1/Q_2. Согласно положения термодинамики это отношение не зависит от свойства рабочего тела.

Так как изменения количества тепла всегда могут быть измерены, то при помощи цикла Карно, проведенного, например, между температурой плавления льда T_0 и температурой кипения воды T_s можно, измерив количество тепла Q_s, поглощаемого рабочим веществом, определить отношение T_s/T_0. После этого можно измерить любую температуру T, если один из двух тепловых резервуаров будет иметь температуру T_0.

Установленная таким образом температурная шкала, не зависящая от термометрического вещества, называется термодинамической температурной шкалой (иногда применяют название, абсолютная шкала температур или "шкала Кельвина". Кельвин – единица термодинамической температуры – 1/273,16 часть термодинамической температуры тройной точки воды.

Тройная точка воды – 273,16 К (точно) – это точка равновесия воды в твёрдой, жидкой и газообразной фазах



1 – водяной пар, *2* – вода, *3* – лед, *4* – слой воды, *5* – колба термометра

Рис. 12.4 – Ампула тройной точки воды

На рис. 12.4 показан сосуд ампула) для образования тройной точки воды. Сосуд размещают в термостате, со всех сторон окруженный льдом (ледяная кромка). В результате длительного взаимодействия воды в ампуле со льдом в термостате внутри ампулы образуется слой льда. В верхней части ампулы собирается водяной пар таким образом, вода в ампуле одновременно находится в трёх фазовых состояниях.

Внутрь цилиндрической полости ампулы помещается газовый термометр, представляющий собой замкнутый объём. Газовый термометр снабжён двумя манометрами для точного измерения давления газа. Температура Т в первом приближении определяется по уравнению состояния идеального газа.

$$t = T - T_0,$$

где $T_0 = 273{,}15$ К.

Единица, применяемая для выражения температуры Цельсия, есть градус Цельсия, обозначенный символом ºС и равный Кельвину.

В документах Международного комитета мер и весов о Международной практической температурной шкале указывается, что, как правило, ниже 0ºС приводят температуру Кельвина и выше 0ºС – температуру Цельсия. Это позволяет избежать отрицательных значений и соответствует практике.

Метод одной реперной точки позволяет повысить точность измерения

температуры. Погрешность воспроизведения точки кипения воды составляет 0,002–0,01ºС, точка таяния льда 0,0002–0,001ºС. Тройная же точка воды в твёрдой, жидкой и газообразной фазах воспроизведена с погрешностью 0,0001ºС.

Международная температурная шкала

Измерение температуры по термодинамической шкале путем её прямой реализации с помощью газовой термометрии связано с серьёзными трудностями. Практические измерения осуществляются с помощью единой системы температурных шкал, непрерывной в диапазоне от 0,01 до 100000 К. Международная температурная шкала опирается на целый ряд значений температуры, приписанных реперными точками, соответствующим определённым фазовым переходам.

Описание температурной шкалы см. главу 1.

В 1990 г. введена международная температурная шкала ITS-90-МТШ-90. Шкала базируется на реперных точках (см. табл. 1.4). Шкала МТШ-90 постоянно совершенствуется. Она послужила созданию двух эталонов.

Государственная поверочная схема единицы температуры – Кельвина возглавляется государственными первичными эталонами единицы температуры:

– ГЭТ 35-91 для диапазона температур от 0,8 до 273,16 К, случайная погрешность К – 0,001, систематическая погрешность К – 0,003. Эталон хранится во ВНИИФТРИ;

– ГЭТ 34-98 для диапазона температур от 0 до 2500ºС, случайная погрешность, ºС – 0,00005 – 1,4, систематическая погрешность, 0,00005 – 0,3.

Хранится эталон во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

Эталон передаёт размер единицы эталонам Беларуси, Казахстана, Украины.

12.2.5 Эталон единицы силы света

Определения единицы силы света и соответствующие эталоны неоднократно менялись. Первоначальный эталон единицы силы света (свечи) представлял собой натуральную свечу определенных размеров, приготовленную из определенного материала. Далее эталонами служили лампы с жидким горючим, электрические лампы накаливания с угольной нитью. Затем был создан эталонный источник света в виде полного излучателя (модели абсолютно черного тела). Эталон имел приписанную яркость 60 кд/см^2 при температуре затвердевания платины.

В 1979 г. было принято новое определение канделы, установившее однозначную связь световых и энергетических величин. Одновременно максимальная световая эффективность Km = 683 лм/Вт фактически была возведена в ранг точной (не имеющей погрешности) матрологической константы.

Первичный фотометр создан на основе неселективного радиометра,

спектральная чувствительность которого скорригирована специальным жидкостным фильтром. Коэффициент преобразования радиометра (без фильтра) определяется путем измерения в вакууме интегрального по спектру потока излучения высокотемпературной модели абсолютно черного тела (АЧТ). Сама модель АЧТ состоит из двух коаксиальных трубок из карбида ниобия, нагреваемых в вакууме постоянным электрическим током до температуры 3000 К.

Размер единицы силы света передается эталону-копии с погрешностью, не превышающей 0,2%.

Эталон единицы силы света ГЭТ 5-90. Диапазон измерения, кд – 30–15000, случайная погрешность – $1 \cdot 10^{-3}$, систематическая погрешность – $2{,}5 \cdot 10^{-3}$.

Эталон хранится во ВНИИФТРИ.

12.2.6 Эталон силы постоянного тока

Каноническое определение ампера невозможно реализовывать в виде технического устройства. Длительное время государственный эталон ампера существовал в виде токовых весов и включал в себя:

– электродинамическую систему, состоящую из подвижной катушки кольцевой формы, имеющей две однослойные обмотки и расположенной коаксиально между двумя неподвижными катушками с однослойными обмотками;

– высокоточные равноплечные рычажные весы с дистанционным управлением, к одному плечу которых присоединена подвижная катушка, а к другому – «чашка» для установки уравновешивающего груза;

– эталонная гиря, имеющая массу 8,16044 г;

– аппаратура для передачи размера ускорения свободного падения вторичным эталонам.

Взаимодействие неподвижных и подвижной катушек, соединенных последовательно, при протекании по ним электрического тока, создаст силу, которая стремится вызвать отклонение коромысла токовых весов. Эта сила уравновешивается грузом (набором гирь), помещаемым на «чашку» другого плеча коромысла. Характеристики данного эталона: СКО 4×10^{-6}, НСП 8×10^{-6}.

В 1991 г. был утвержден новый Государственный первичный эталон единицы силы постоянного электрического тока ГЭТ 4-91, который состоит из двух эталонных установок. В диапазоне от 1×10^{-3} до 1 А значение силы тока воспроизводится путем косвенных измерений, через измерение напряжения, воспроизводимого квантовой мерой напряжения на основе эффекта Джозефсона в сверхпроводниках, и сопротивления, воспроизводимого криогенной мерой на основе квантового эффекта Холла. Таким образом, значение ампера определяется так, как это предложил А.Г. Столетов еще в 1881 г.: ток, произведенный вольтом в оме, называется ампером. Состав этой установки:

– мера постоянного напряжения;

– мера сопротивления в виде набора равноминальных резисторов,

коммутируемых сверхпроводящим переключателем;

– эталонная мера электрического сопротивления;
– сверхпроводящий компаратор постоянного тока.

Для диапазона значений силы тока от 1×10^{-6} до 1×10^{-9} А используются методы электрометрии. В составе этой установки:

– мера линейно изменяющегося напряжения, в составе которой имеется набор эталонных конденсаторов;
– средства измерения постоянного напряжения и интервалов времени;
– компаратор тока.

В новом эталоне точность воспроизведения величины 1 А повысилась за счет использования квантовых эффектов на 1,5–2 порядка.

Установка №1

Диапазон измерений, А – $1\cdot10^{-3}$ – А случайная погрешность – $3\cdot10^{-5}$–$1\cdot10^{-2}$, систематическая погрешность – $5\cdot10^{-4}$–$2{,}5\cdot10^{-2}$.

Установка №2

Диапазон измерений, А – $1\cdot10^{-16}$–$1\cdot10^{-9}$ случайная погрешность – $5\cdot10^{-8}$, систематическая погрешность – $2\cdot10^{-7}$.

Хранится эталон во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

В обзоре описана незначительная часть государственных первичных эталонов. В табл. 12.1 приведено еще характеристики 57 государственных первичных эталонов. Ряд эталонов не публикуется в открытой печати. Это военные эталоны, предназначенные для обеспечения единства средств измерений военного назначения (СИВН). Как правило военные эталоны являются вторичными. Первичные военные эталоны могут временно выполнять функции государственных эталонов. Военные эталоны являются составной частью эталонной базы Российской Федерации. Хранятся военные эталоны в ГНИИИ МО РФ.

Таблица 12.1

Характеристики государственных эталонов России

Номер по реестру	Наименование	Диапазон измерений номинальное значение	Метрологические характеристики	
			СКО	НСП
ГЭТ 1-98	ГПЭ единиц времени и частоты и национальной шкалы времени	1×10^{-10}…1×10^{8} с 1…1×10^{14} Гц	1×10^{-14}	5×10^{-14}
ГЭТ 2-98	ГПЭ единицы длины	0…1 м	2×10^{-11} м	$1{,}5\times10^{-11}$ м
ГЭТ 3-84	ГПЭ единицы массы	1 кг	8×10^{-9}	$2{,}3\times10^{-9}$
ГЭТ 4-91	ГПЭ единицы силы постоянного электрического тока	1 А, 1×10^{-3} А, 1×10^{-16}…1×10^{-9} А	5×10^{-8} 3×10^{-8}…1×10^{-2}	2×10^{-7} 5×10^{-4}…$2{,}5\times10^{-2}$
ГЭТ 5-90	ГПЭ единицы силы света	30…$1{,}5\times10^{4}$ кд	1×10^{-3}	$2{,}5\times10^{-3}$
ГЭТ 35-91	ГПЭ единицы температуры	0,8…273,16 К	1×10^{-3} К	3×10^{-3} К
ГЭТ 34-98	ГПЭ единицы температуры	0…2500 °С	5×10^{-5}…1,4°С	5×10^{-5}…0,3°С
ГЭТ 22-80	ГПЭ единицы плоского угла	0…360°	0,01"	0,02 "

Продолжение таблицы 12.1

ГЭТ 113-77	ГСЭ единицы длины в области измерений параметров шероховатости R_{max} и R_z	0,1…1000 мкм	5×10^{-3}…5×10^{-2} мкм	5×10^{-3}…5×0^{-2} мкм
ГЭТ 30-94	ГСЭ твердости по шкалам: Роквелла Супер-Роквелла	 20…10 чисел твердости 10…94 чисел твердости	 0,08 0,16	 0,25 0,5
ГЭТ 31-79	ГСЭ твердости по шкалам Виккерса	8…2000 HW	$(2…1)\times10^{-3}$	$(6…3)\times10^{-3}$
ГЭТ 33-85	ГСЭ твердости по шкалам Бринелля	8…450 HB 95…650 HBW	1×10^{-3}	3×10^{-3}
ГЭТ 161-01	ГСЭ твердости металлов по шкале Шора D	20…140 чисел HSD	Неопределенность характеризуется размахом значений ≤0, 5 числа HSD	
ГЭТ 32-85	ГПЭ единицы силы	10…1×10^{6} Н	5×10^{-6}	1×10^{-5}
ГЭТ 149-85	ГПЭ единицы крутящего момента силы	20…2500 Нм	8×10^{-5}	2×10^{-4}
ГЭТ 58-90	ГСЭ единиц длины, скорости и ускорения при колебательном движении твердого тела	1×10^{-7}…1×10^{-2} м; 1×10^{-4}…1×10^{-1} м/с; 1×10^{-3}…1×10^{3}м/с^2; (3×10^{-1}…1×10^{4} Гц)	1×10^{-3}	5×10^{-4}…1×10^{-3}
ГЭТ 150-85	ГСЭ единицы скорости воздушного потока	0,1×100 м/с	3×10^{-4}…0,2 м/с	3×10^{-4}…0,2 м/с
ГЭТ 137-83	ГСЭ единицы скорости водного потока	0,05…20 м/с	2×10^{-3}	2×10^{-3}
ГЭТ 94-00	ГПЭ единиц постоянного и гармонического линейного уско рения твердого тела и переменного плоского угла	5×10^{-5}…5×10^{2}м/с^2; 5×10^{-5}…$2,5\times10^{2}$м/с^2; (0,05…30 Гц); 1×10^{-6}…2π рад	1^{-5}…$2,5\times10^{-4}$ м/с^2; 2×10^{-5}…$2,5\times10^{-3}$м/с^2 ; $2,5\times10^{-7}$ рад	4×10^{-3}…1×10^{3}м/с^2 5×10^{-5}…1×10^{-2} м/с^2 5×10^{-7} рад
ГЭТ 108-77	ГСЭ единицы угловой скорости	5×10^{-8}…$2,5\times10^{-4}$ рад/с	2×10^{-9} рад/с	2×10^{-9} рад/с
ГЭТ 109-77	ГПЭ единицы постоянного углового ускорения	1×100 рад/с^2	3×10^{-4}	5×10^{-5}
ГЭТ 62-75	ГПЭ единицы объемного расхода газа	1×10^{-3}…$1,5\times10^{-2}$ м^3/с	8×10^{-4}	5×10^{-4}
ГЭТ 64-74	ГПЭ единицы объемного расхода жидкости	0,01…0,065 м^3/с	2×10^{-4}	7×10^{-4}
ГЭТ 23 79	ГПЭ единицы давления	5×10^{4}…1×10^{7}Па	3×10^{-6}	2×10^{-5}
1ЭТ43-73	ГСЭ единицы давления	$2,5\times10^{8}$…$1,5\times10^{9}$Па	4×10^{-5}	2×10^{-4}
ГЭТ 49-89	ГСЭ единицы давления для области абсолютных давлений	1×10^{-3}…1×10^{3}Па	3×10^{-3}	3×10^{-3}

Продолжение таблицы 12.1

ГЭТ 101-76	ГСЭ единицы давления для абсолютного давления	$2,7\times10^{2}$…$1,3\times10^{5}$ Па	0,3 Па	2 Па
ГЭТ 95-97	ГСЭ единицы давления для разности давлений	0,1…4×10^{4}Па	0,05…0,4 Па	0,05…0,8 Па
ГЭТ 18-96	ГПЭ единицы плотности жидкости	650…2000 кг/м^3	$1,2\times10^{-6}$	3×10^{-6}
ГЭТ 17-96	ГПЭ единицы кинематической вязкости жидкости	4×10^{-7}…0,1 м^2/с	$1,5\times10^{-4}$	2×10^{-3}
ГЭТ 132-99	ГПЭ единицы удельной электрической проводимости жидкости	1×10^{-3}...50 См/м	$(2...5)\times10^{-5}$	$(2…5)\times10^{-4}$
ГЭТ 54-98	ГПЭ шкалы pH	pH 3,547...10,317	1×10^{-3}...3×10^{-3}	2×10^{-3}…5×10^{-3}
ГЭТ 24-82	ГПЭ единицы температурного коэффициента линейного расширения твердых тел	5×10^{-8}...$2,5\times10^{-5}$К$^{-1}$ (90...1800 К)	2×10^{-9}...$1,5\times10^{-8}$	3×10^{-10}...3×10^{-7}
ГЭТ 59-82	ГПЭ единицы теплопроводности	0,1…20 Вт(м К) (90...1100 К)	3×10^{-3}…1×10^{-2}	6×10^{-3}…2×10^{-2}
ГЭТ 141-84	ГСЭ единицы теплопроводности твердых тел	0,1…20 Вт(м/К) (4,2…90 К)	5×10^{-3}	8×10^{-3}
ГЭТ 69-85	ГСЭ единицы теплопроводности твердых тел	0,65…172,5 Вт(мК) (60…300 К)	3×10^{-3}	$4,5\times10^{-3}$
ГЭТ 88-88	ГСЭ единицы силы электрического тока	1×10^{-3}...20А (20…1×10^{6}Гц)	5×10^{-6}…1×10^{-4}	1×10^{-5}…3×10^{-4}
ГЭТ 56-74	ГСЭ единицы силы тока высокой частоты	3...100 А	5×10^{-4}	$8,5\times10^{-4}$
ГЭТ 13-89	ГПЭ единицы электродвижущей силы	1 В	5×10^{-9}	5×10^{-9}
ГЭТ 89-75	ГСЭ единицы электрического напряжения	0,1...1 В (20...3×10^{7}Гц)	5×10^{-6}…5×10^{-5}	1×10^{-5}…3×10^{-4}
ГЭТ 27-82	ГСЭ единицы электрического напряжения	0,1...1 В (3×10^{7}...3×10^{9} Гц)	5×10^{-5}…5×10^{-3}	5×10^{-4}…2×10^{-2}
ГЭТ 14-91	ГПЭ единицы электрического сопротивления	1 Ом 6,45320175×10^{3}Ом; 1,29064035×10^{4}Ом	$2,5\times10^{-8}$	$4,5\times10^{-8}$
ГЭТ 75-87	ГСЭ единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах	50 Ом; 75 Ом	1×10^{-4}...8×10^{-4}	9×10^{-4}…6×10^{-3}
ГЭТ 15-79	ГПЭ единицы индуктивности	0,01 Гн (1×10^{3}Гц)	1×10^{-6}	5×10^{-6}
ГЭТ 25-79	ГПЭ единицы электрической емкости	0,2 пФ	2×10^{-7}	5×10^{-7}
ГЭТ 107-77	ГСЭ единицы электрической емкости	10 пФ (1×10^{6}…1×10^{8} Гц)	3×10^{-6}…3×10^{-5}	5×10^{-5}…1×10^{-4}
ГЭТ 153-86	ГСЭ единицы электрической мощности	1×10^{-2}…6×10^{3}Вт (40…2500 Гц)	5×10^{-6}…1×10^{-5}	2×10^{-5}…4×10^{-5}

Продолжение таблицы 12.1

ГЭТ 26-94	ГПЭ единицы мощности электромагнитных колебании в волноводных трактах	1×10^{-4}…0,1 Вт (3×10^{7}…$3{,}75\times10^{10}$ Гц)	1×10^{-4}	2×10^{-4}
ГЭТ 29 87	I СЭ единицы мощности электромагнитных колебаний в коаксиальных трактах	$(5…25)10^{-3}$ Вт (3×10^{7}…$1{,}8\times10^{10}$ Гц)	$(1…2)10^{-3}$	$(2…4)10^{-3}$
ГЭТ 158-96	ГСЭ единицы напряженности электрического поля	10…2×10^{3} В/м (0…2×10^{4} Гц)	0,3%	(1,4…2,6)%
ГЭТ 43-94	ГСЭ единицы напряженности электрического поля	0,2…10 В/м (3×10^{2}…1×10^{9} Гц)	5×10^{-3}	$1{,}5\times10^{-2}$
ГЭТ 44-73	ГСЭ единицы напряженности магнитного поля	2×10^{-3}…5×10^{-6} А/м (1×10^{4}…3×10^{7} Гц)	4×10^{-3}	1×10^{-9}
ГЭТ 82-85	ГСЭ единицы магнитной индукции	1×10 Тл (4,2…293 К)	1×10^{-4}	7×10^{-6}
ГЭТ 104-84	ГПЭ единицы магнитного момента	1×10^{-3}…20 Ам	0,015%	1×10^{-4}
ГЭТ 139-83	ГПЭ единицы электрической добротности	5…600 (5×10^{4}…3×10^{8} Гц)	3×10^{-4}…3×10^{-3}	5×10^{-4}…2×10^{-2}
ГЭТ 19-94	ГПЭ единицы звукового давления в воздушной среде	0,02…2,0 Па (63…1×10^{4} Гц)	0,002×0,025 дБ	0,03×0,16 дБ
ГЭТ 5 5-91	ГСЭ единицы звукового давления в воде	1…1×10^{3} Па (1×10^{-2}…1×10^{6} Гц)	5×10^{-2}	$(3…6)\times10^{-2}$
ГЭТ 47-79	ГСЭ единицы длины для спектроскопии	0,60578021 мкм	4×10^{-9}	5×10^{-10}
ГЭТ 28-91	ГПЭ единицы средней мощности лазерного излучения	0,08…0,80 Вт	3×10^{-4}	4×10^{-4}
ГЭТ 90-85	ГСЭ единицы мощности им-пульсного лазерного излучения	1×10^{-5}…1 Вт (длина волны 0,4…10,6 мкм)	$1{,}5\times10^{-2}$	$(2…3{,}5)\times10^{-2}$
ГЭТ 81-90	ГСЭ единиц координат цвета и координат цветности	1,4…108,1 0,0039…0,8338	$(1…1{,}5)\times10^{-2}$ $(2{,}5…25)\times10^{-4}$	0,05…0,20 5×10^{-4}…5×10^{-3}
ГЭТ 7-69	ГСЭ единицы массы радия	21,283 мг	5×10^{-3}	5×10^{-3}
ГЭТ 9-82	ГПЭ единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы бета-излучения	1×10^{-3}…100Гр; 1×10^{-5}…1 Гр/с	$1{,}5\times10^{-2}$	3×10^{-2}
ГЭТ 20-79	ГСЭ единицы активности бета-излучения нуклидов в бета-активных газах	5…1×10^{5} Бк; 5×10^{3}…5×10^{9} Бк/м^3	8×10^{-3}	4×10^{-3}
ГЭТ 10-82	ГПЭ единиц потока и плотности потока нейтронов	1×10^{3}…1×10^{9} с$^{-1}$; 1×10^{-5}…1×10^{10} с$^{-1}$м$^{-2}$	$(2…5)\times10^{-3}$	$(4…9)\times10^{-3}$

12.3 Учёт. Хранение эталонов и передача единицы величины от первичных до вторичных эталонов

Хранение эталонов является научной деятельностью, направленной на изучение и учёт всех возможных изменений свойств эталонов и обеспечение неизменности размера единицы, воспроизводимой и (или) хранимой эталоном.

Для обеспечения высококвалифицированного руководства этой деятельностью, в институте хранителе государственного эталона, устанавливается специальная категория должностных лиц: учёных хранителей эталонов.

Если государственный и вторичный эталоны хранятся в одном Метрологическом центре, учёный хранитель государственного эталона может являться также хранителем вторичного эталона.

Основными функциями ученых хранителей государственных эталонов являются:

наблюдение за выполнением правил хранения и применения данного эталона или совокупности эталонов;

сличение эталонов других стран, а также вторичных эталонов той же единицы с хранимым эталоном и анализ результатов сличений;

сбор и систематизация информации о работах по эталонам, проводимых в метрологических учреждениях других стран, и составление обзоров с анализом работ;

участие в исследованиях и периодической аттестации эталона и составление ежегодных отчетов о работах с эталоном и его состоянии. Подготовка предложений по дальнейшему совершенствованию эталонов и улучшению условий их хранения;

оформление документов о результатах сличений с эталонами других средств измерений;

представление директору центра эталонов, в котором хранят государственный эталон, информации о всех обстоятельствах, создающих опасность изменения размера воспроизводимой единицы;

представление научно-техническому совету центра эталонов информации о состоянии государственного эталона и вторичных эталонов, состоянии и научном уровне аналогичных эталонов других стран, результатах сличений эталонов и внесении предложений по дальнейшему их совершенствованию.

Основными функциями ученых хранителей вторичных эталонов являются:

наблюдение за выполнением Правил хранения и применения данного эталона или совокупности эталонов;

организация работ по применению эталонов в зависимости от их назначения;

участие в исследованиях и периодической аттестации эталонов и составление ежегодных отчетов о проведенных работах с эталоном и его состоянии. Подготовка предложений по улучшению условий хранения

эталона;

оформление документов о результатах сличений с эталоном других средств измерений;

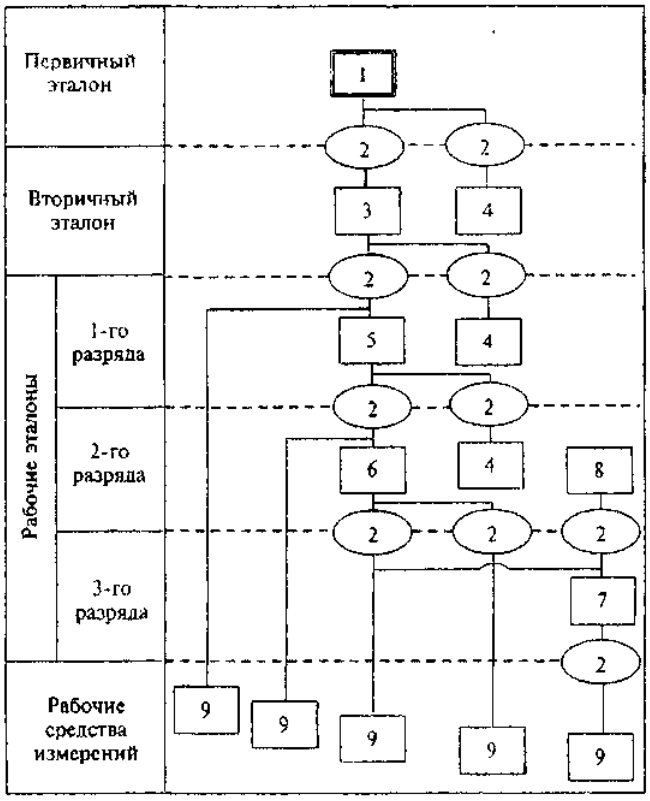
представление директору центра или руководителю органа, в котором хранят эталон, информации о всех обстоятельствах, создающих опасность для изменения размера хранимой единицы.[23]

12.4 Поверочные схемы. Построение поверочных схем.

Поверочная схема – это рекомендательный нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче участка шкалы (размера единицы) от эталона к рабочим СИ с указанием методов поверки и предельных погрешностей (ГОСТ 8.061-80). Различают **государственные** и **локальные** поверочные схемы.

Государственная поверочная схема разрабатывается государственным научным метрологическим центром – держателем соответствующего государственного эталона. Она утверждается соответствующей службой Росстандарта и оформляется в виде стандарта (ГОСТ Р или ГОСТ) и распространяется на все указанные в ней средства измерений, применяемые в стране.

На рис. 12.5 показана структура поверочной схемы передачи единицы величины от первичного эталона до рабочих средств измерений.



1 – первичный (исходный) эталон; *2* – метод поверки;
3 – вторичный эталон; *4* – эталон сравнения; *5, 6, 7* – рабочие эталоны соответствующих разрядов; *8* – рабочий эталон, заимствованный из другой поверочной схемы; *9* – рабочие средства измерений различной точности

Рис. 12.5 – Структура поверочной схемы

На рис. 12.6 показана поверочная схема соподчинённости эталонов и рабочих средств измерений. Отдельные рабочие средства измерений наивысшей точности могут поверятся по эталонам-копиям, высшей точности – по эталонам первого разряда.

Разрядные эталоны находятся в метрологических институтах Государственной метрологической службы (МС), а также в поверочных лабораториях отраслевой МС, которым в установленном порядке представлено право поверки средств измерений.

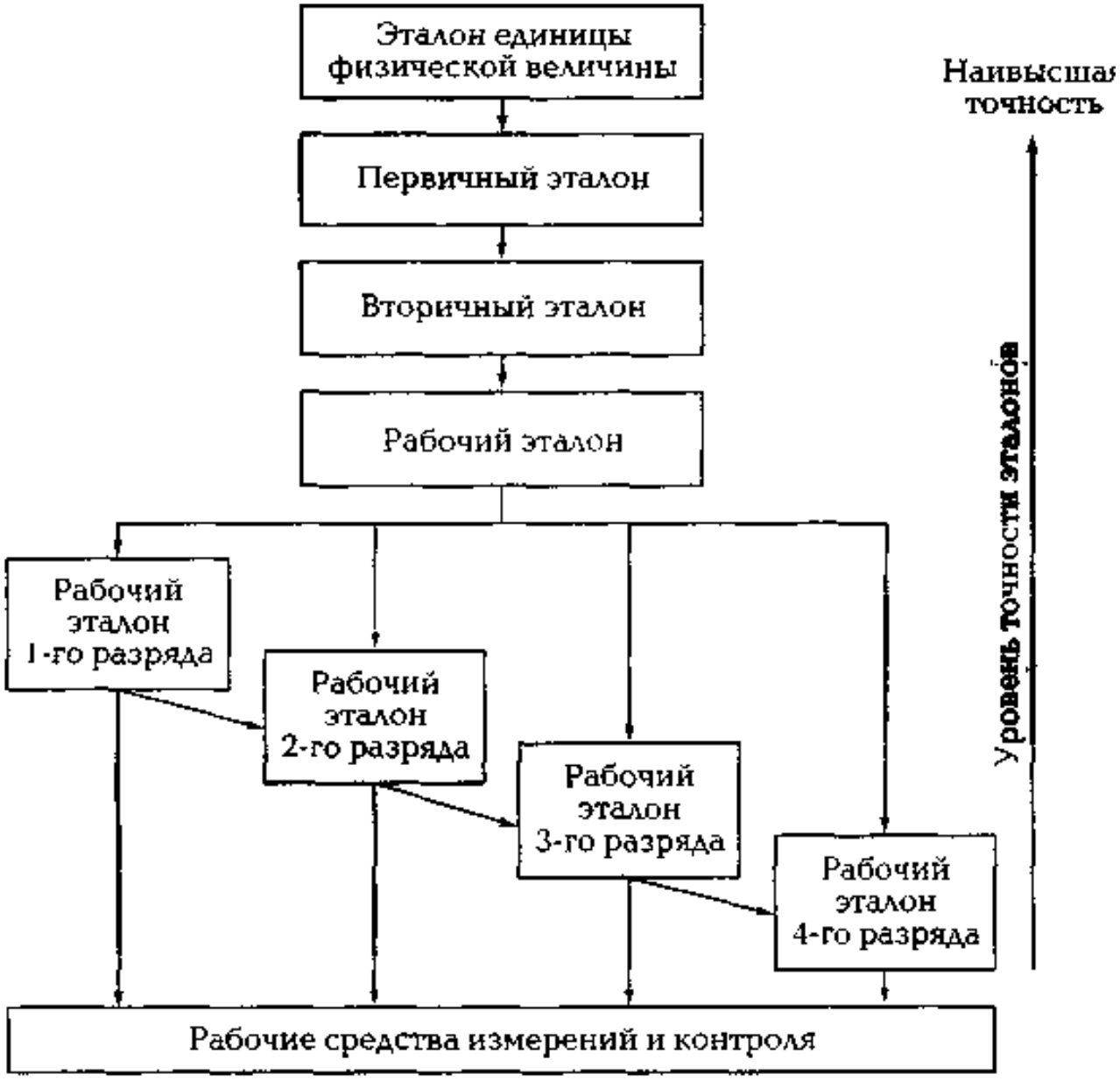


Рис. 12.6 – Схема передачи размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерения

Положение о поверочных схемах утверждено в ГОСТ 8.061-80 "ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение".

На рис. 12.7 показана поверочная схема передачи единицы длины с помощью плоскопараллельных мер длины.

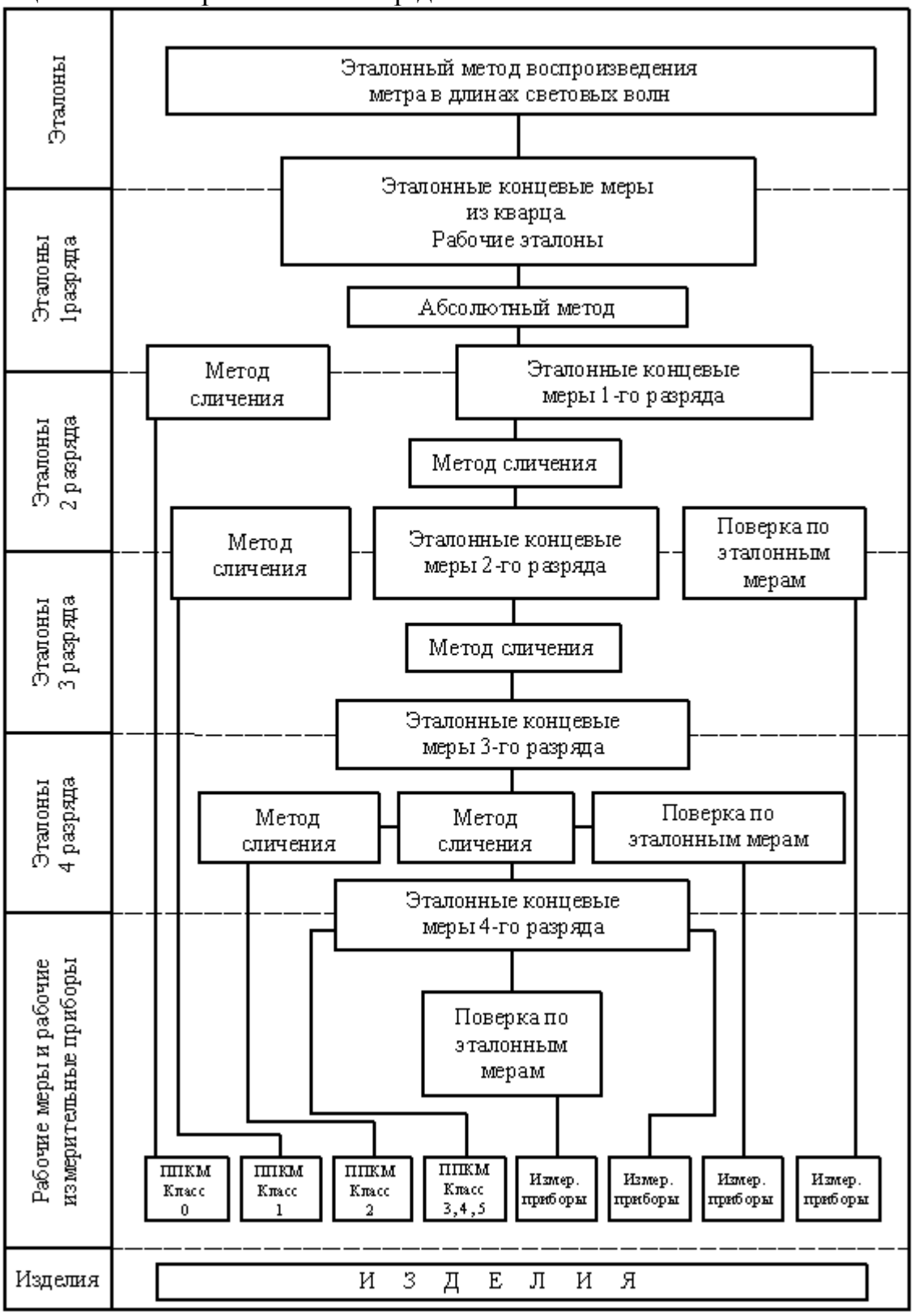


Рис. 12.7 – Поверочная схема передачи единицы длины с помощью плоскопараллельных мер длины

Плоскопараллельные меры длины нулевого класса, измерительные приборы с дискретностью 0,1–0,5 мкм поверяются по эталонным мерам 1-го и 2-го разрядам.

Локальная поверочная схема имеет ограниченную сферу распространения (отдельное предприятие). Локальная поверочная схема должна соответствовать требованиям соподчиненности средств измерений, определяемым государственной поверочной схемой.

На чертеже поверочной схемы указывают: наименования СИ и методов поверки; номинальные значения или диапазоны значений величин; допускаемые значения погрешностей СИ; допускаемые значения погрешностей методов поверки. Важным показателем достоверности передачи размера величины является соотношение погрешностей средств измерений, находящихся на соседних ступенях поверочной схемы. Желательно, чтобы это соотношение было достаточно высоким (например, 1:10). Практически приемлемым считается соотношение не хуже 1:3. Методы поверки СИ, указываемые на поверочной схеме, с целью унификации должны соответствовать одному из следующих вариантов:

- метод непосредственного сличения (т.е. без средств сравнения);
- метод сличения при помощи компаратора;
- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений.

В международных метрологических документах широко используется термин «прослеживаемость». Прослеживаемостъ определяется как неразрывная цепь сличений между средствами измерений (в том числе эталонами) с указанной неопределенностью. Измерения, выполняемые на уровне производства продукции, прослеживаются с помощью иерархической системы эталонов к национальному эталону. Ключевые сличения национальных эталонов обеспечивают прослеживаемость национальных эталонов к международным эталонам. Это достигается с помощью системы межлабораторных сличений. Результаты ключевых сличений должны быть задокументированными, доступными и прозрачными.

На рис. 12.8 показана локальная поверочная схема для средств времени и частоты.

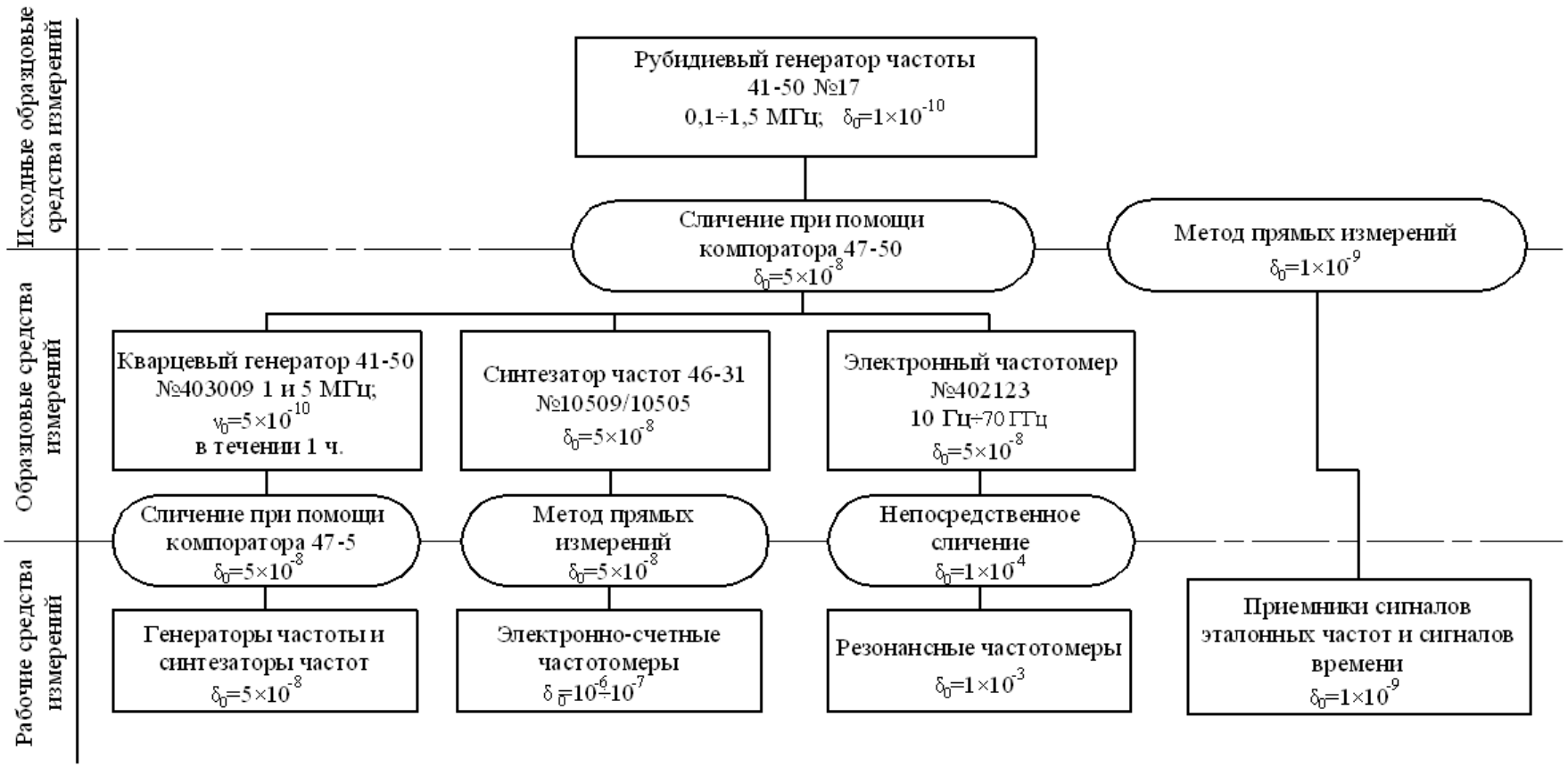


Рис. 12.8 – Локальная поверочная схема для средств времени и частоты

Локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным поверочным схемам для средств измерений тех же физических величин.

В локальных поверочных схемах указываются конкретные типы средств измерений.

Локальную поверочную схему разрабатывают в качестве нормативно-технического документ предприятия (организации) после её согласования с территориальным органом государственной метрологической службы.

Поверочную схему для средств измерении одной и той же величины, существенно отличающихся по диапазонам, условиям применения и методам поверки, а также для средств измерений нескольких физических величин необходимо разделять на части.

Поверочная схема должна включать не менее двух ступеней передачи размера единицы. [23]

Контрольные вопросы

1. Что такое эталон физической величины?
2. Классификация эталонов.
3. История создания эталонов метра и килограмма.
4. Объяснить понятие "реперные точки".
5. Что такое тройная точка воды?
6. Что такое поверочная схема?
7. Как идёт передача единицы физической величины от первичного эталона к рабочим средствам измерений?
8. Что такое локальная поверочная схема?

Глава 13 Меры длины концевые и плоскопараллельные

13.1 Классификация плоскопараллельных мер длины

Меры длины концевые плоскопараллельные, в дальнейшем меры длины, изготавливаются по ГОСТ 9038-90,стандарт распространяется на меры длины из стали до 1000 мм и из твердого сплава до 100 мм, имеющие форму прямоугольного параллелепипеда с двумя плоскими взаимно-параллельными измерительными поверхностями.

Концевые меры предназначены для использования в качестве:

– рабочих мер для регулировки и настройки показывающих измерительных приборов и для непосредственного измерения линейных размеров промышленных изделий;

– образцовых мер для передачи единицы длины от первичного эталона концевым мерам меньшей точности и для поверки и калибровки измерительных приборов.

Концевые меры изготавливаются по классам точности: 00, 0, 1, 2, 3 из стали и твердого сплава.

Концевые меры при использовании в качестве образцовых должны быть поверены в качестве образцовых 2, 3, 4 разрядов (МИ 1604), при выпуске из производства образцовые меры должны иметь отличительный знак.

Концевые меры комплектуются в наборы 1-19 общего применения от 0,5 до100 мм градацией через 1 мкм до целых миллиметров.

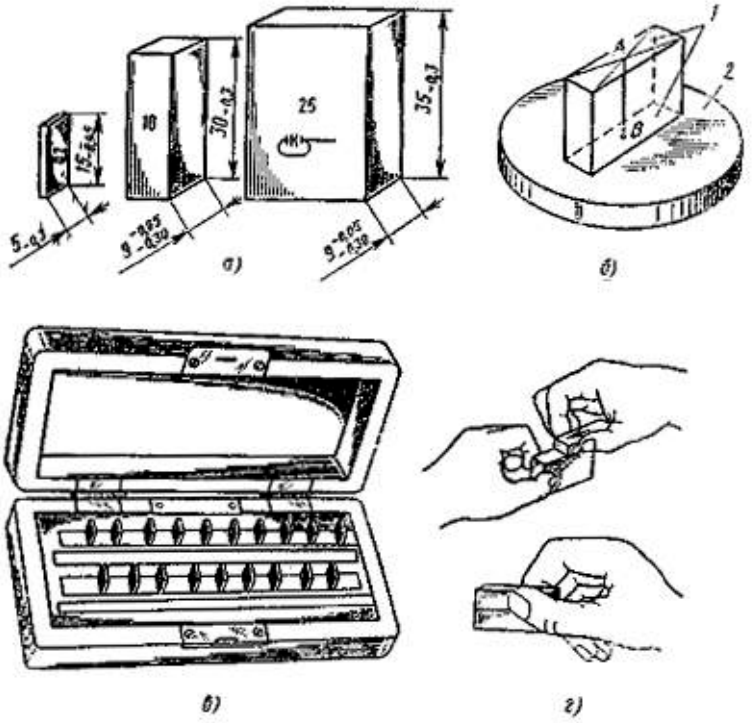
Специальные наборы № 20-36 предназначены, в основном, для поверки и калибровки измерительного инструмента и приборов.

Набор № 37 – (8 мер) – защитные (1 мм – 2 шт.; 10мм – 2 шт.; 50 мм – 2 шт.; 100 мм – 2 шт.).

Наборы 3, 10, 11, 16, 17, 20, 21 – изготавливаются как образцовые по 1, 2, 3, 4 разрядами и служат для поверки концевых мер низших разрядов и измерительного инструмента и приборов.

Набор № 9 с номинальными значениями мер от 100 до 1000 мм из 12 мер изготавливается из стали 0, 1, 2 и 3 классов точности, набор № 24 от 1 до 1000 мм изготавливается из твердого сплава 2 и 3 классов точности.

Концевые меры длины служат как одномерный измерительный инструмент, так и для передачи единицы длины и поверки (калибровки) измерительного инструмента и приборов.



а – габаритные размеры КМД; б: *1* – измерительные поверхности КМД; *2* – плоская стеклянная пластина; *в* – набор плоскопараллельных мер длины; *г* – пример притирки концевых мер длины

Рис. 13.1 – Плоскопараллельные меры длины

К концевым мерам длины поставляются наборы принадлежностей для закрепления блоков мер и удобного пользования при наружных и внутренних измерениях, проведения точных разметочных работ (рис. 13.2). По ГОСТ 4119-76 выпускаются наборы принадлежностей к концевым мерам: ПК-1, ПКО-1 полный измерительный набор для крепления КМД до 80 мм, 80 до 160 мм и с 160 до 320 мм. ПК-2 – малый измерительный набор для КМД до 80 мм снабжен стабилизатором силы прижима (рис. 13.2, *б*) и служит для проведения точных разметочных работ. В наборы входят плоскопараллельные, радиусные, центровочные и разметочные боковички (рис. 13.2, *г*), а также 3^{-x} гранная линейка длиной 200 мм.

При составлении блоков концевых мер длины свыше 200 мм для КМД с отверстиями применяется набор модели 168. В него входят столики для крепления КМД и сухари зажимные (рис. 13.3).

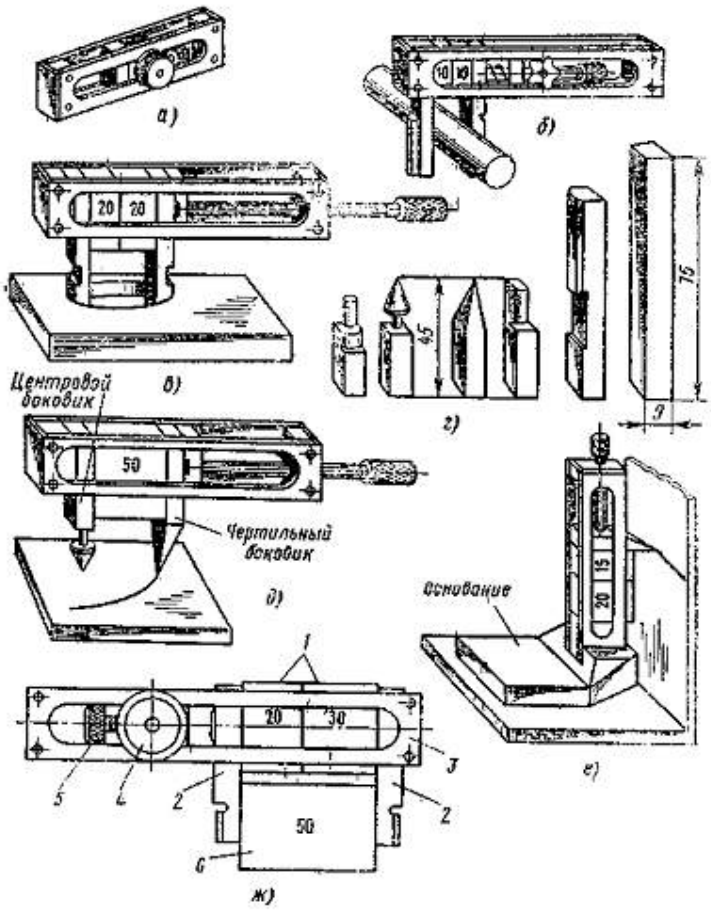
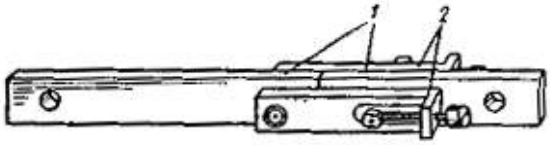


Рис. 13.2 – Набор принадлежностей к ПКМД и примеры их применения



1 – КМД; 2 – стяжки

Рис. 13.3 – Блок КМД с отверстиями, соединенных стяжками

Обозначение: набор измерительный полный ПК-1-ГОСТ 4119-76

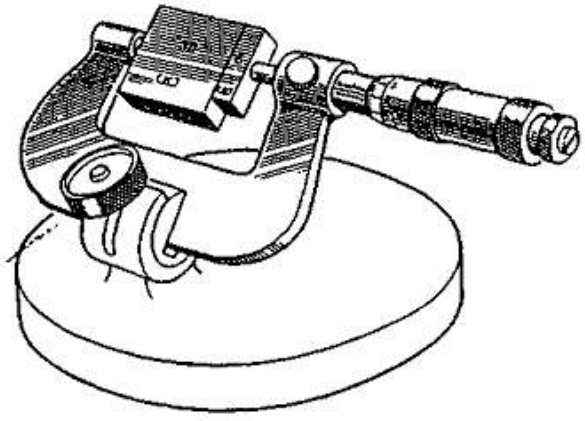


Рис. 13.4 – Поверка гладкого микрометра от 25 до 50 мм блоком из КМД

Поверка точности средств измерений с помощью КМД осуществляется БКМ или с применением специального набора № 22. Отсчитав показание поверяемого прибора, поверитель сравнивает его с длиной меры (блока) по аттестату и подсчитывает разницу между ними, которая является погрешностью поверяемого средства измерений.

При поверке (калибровке) применяют образцовые КМД. Для поверки штангенциркулей используют набор № 22 из 7 мер от 21,2 до 175 мм и набор № 21 от 5,12 до 100 мм из 20 мер для поверки микрометров гладких. Для поверки микрометров гладких. Для поверки скоб и микрометров рычажных применяется набор № 20 от 0,12 до 3,5 мм из 23 мер.

Основные параметры плоскопараллельных концевых мер длины.

Основными параметрами КМД являются:

– длина (размер) концевой меры: номинальная и действительная;

– плоскопараллельность измерительных поверхностей концевой меры;

– суммарная погрешность формы и расположения измерительных поверхностей;

– точность концевой меры – точность длины и отклонение от плоскопараллельности измерительных поверхностей, которая определяется разностью между измерительными поверхностями данной меры, измеренными в пяти точках.

Существует два метода нормирования точности концевых мер длины: метод классов точности и метод разрядов.

Класс точности меры показывает, какое отклонение имеет действительный размер данной меры от ее номинального размера.

Классы точности концевых мер – это ряды допусков на изготовление их действительных размеров в зависимости от величины их номинального размера. Помимо этого класс точности концевых мер указывает на допускаемое отклонение от плоскопараллельности мер. Классов точности при изготовлении установлено 5; 00; 0; 1; 2; и 3 (в порядке убывания точности). В эксплуатации допускаются концевые меры длины 4 и 5 классов точности.

Разряд концевых мер длины показывает, с какой погрешностью измерения производится аттестация действительного размера длины концевой меры. **Разряды** – это ряды величин погрешностей измерения, допускаемых при аттестации концевых мер длины.

При аттестации измеряют длину меры в точке «срединной длины», т.е. измеряют длину перпендикуляра, опущенного из середины одной измерительной поверхности меры на другую. В то же время определяют величину отклонения данной меры от плоскопараллельности.

Установлено четыре разряда точности при аттестации концевых мер длины – 1, 2, 3, 4 в порядке убывания точности измерения.

Притираемость измерительных поверхностей концевой меры – свойство измерительных поверхностей концевой меры, обеспечивающее прочное сцепление концевых мер между собой, а также с плоской стеклянной пластиной при прикладывании или надвигании одной концевой

меры на другую или концевой меры на пластину. Притираемость характеризуется усилием сдвига. Такое сцепление (притирание) КМД происходит благодаря высокой плоскостности и малой шероховатости.

Таблица 13.1

Класс точности концевых мер	Притираемость концевых мер к нижним стеклянным плоским пластинам диаметром 60 мм по ТУ3-3.2133	Притираемость концевых мер к друг другу	
		Из стали от 0,6 до 100мм	Из твердого сплава длиной от 0,99 до 100 мм
00 01	Без интерференционных полос и оттенков при наблюдении в белом свете	Усилие сдвига от 29,4 до 78,5 Н	–
0			Усилие сдвига от 29,4 до 98,1 Н
1; 2; 3	Без интерференционных полос. Допускаются оттенки в виде светлых пятен, наблюдаемых в белом свете		

Параметр шероховатости измерительных поверхностей концевых мер $R_z \leq 0.063$ мкм по ГОСТ 2789.

Изменение длины концевых мер в течение года вследствие нестабильности материала не должно превышать значений, приведенных в таблице 2.

Таблица 13.2

Класс точности концевых мер	Допустимые изменения длины меры (L, мм) в течение года, мкм
00 и 01	0,02+0,0002L
0	0,02+0,0005L
1; 2; 3	0,05+0,001L

Условное обозначение: КМД 1-Н2 ГОСТ 9038-90

КМД 1-КО ГОСТ 9038-90

Германская группа Гарант, входящая в Корпорацию Хофман Групп производит плоскопараллельные меры длины по DIN ENISO3650 из высокочистого керамического материала оксид циркония по классам точности 00; 0; 1 и 2, которые полностью соответствуют ГОСТ 9038-90.

Преимущества КМД из оксид циркония:

- износостойкость в 10 раз выше стальных;
- твердость в 2 раза выше стальных – 1600HV по ГОСТ 2999:
- высокая сопротивляемость щелочам, кислотам, маслу, СОЖ;
- не требует смазки после работы;
- антимагнитны;
- низкая теплопроводность;
- низкий вес (существенно для длинных концевых мер).

Представительство в России – компания Росмарк г. Москва.

13.2 Методы и средства поверки плоскопараллельных мер длины

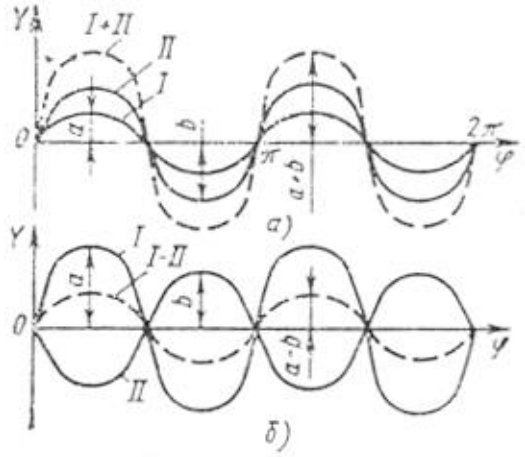
13.2.1 Общие сведения

При эксплуатации, хранении и ремонте поверка мер включает следующие операции: внешний осмотр, проверку притираемости измерительных поверхностей, определение их отклонений от плоскостности, определение отклонения длины или рабочего угла мер от номинального значения. Притираемость мер к вспомогательным стеклянным пластинам определяют по наличию интерференционных пятен и их цвету, а притираемость мер между собой – по усилию сдвига.

Перед поверкой меры промывают авиационным бензином и протирают чистой салфеткой. Уложив на специальный стол, меру выдерживают на рабочем месте не менее 5 ч. При поверке необходимо строго соблюдать нормальные условия в помещении. Результаты поверки мер, признанных годными, оформляют путем выдачи свидетельств установленной формы.

13.2.2 Основы интерференционных методов измерений

Свет распространяется в виде электромагнитных волн, поэтому параметры света, например освещенность, в каждой точке пространства непрерывно изменяются. Интерференция света – сложение когерентных световых потоков, при котором происходит усиление или ослабление суммарного светового потока. Когерентными называют волны, сохраняющие постоянную разность фаз при взаимодействии. В технике, как правило, когерентные световые потоки получают путем разложения света, идущего от одного источника, на отдельные лучи.



а – с усилением освещенности; *б* – с ослаблением.

Рис. 13.5 – Схемы сложения когерентных световых потоков

Волны, которые в точке встречи имеют разность фаз $\Delta\varphi$, кратную четному значению числа π (числу полуволн), совпадают по фазе: $\Delta\varphi=2k\pi$, где k=0, 1, 2, 3, … – любое целое число. Амплитуды таких волн складываются (рис. 13.5. *а*) и происходит усиление освещенности. Если волны колеблются в разных фазах (рис. 13.5, *б*) т. е. $\Delta\varphi=(2k+1)\pi$,то они взаимно гасятся, и освещенность уменьшается.

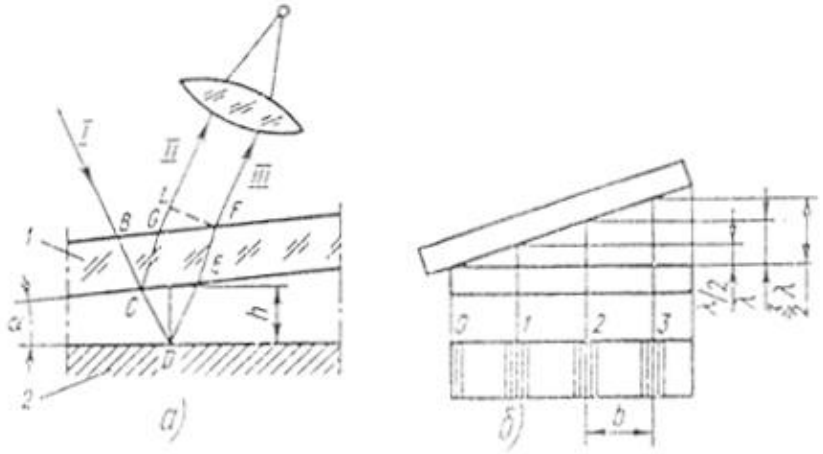
Разность фаз световых волн в точке встречи связана с оптической разностью хода ΔL световых лучей и длиной λ световых волн соотношением $\Delta\varphi=2\pi\Delta L/\lambda$. Поэтому усиление освещенности происходит в точках пространства, в которых оптическая разность хода когерентных световых волн равна четному числу полуволн:

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2\pi}\ \Delta\varphi = \frac{\lambda}{2\pi}\ 2k\pi = 2k\frac{\lambda}{2} = 0;\ 2\frac{\lambda}{2};\ \ 4\frac{\lambda}{2};\ \ 6\frac{\lambda}{2};\ ...$$

Ослабление освещенности происходит в точках пространства, в которых оптическая разность хода равна нечетному числу полуволн:

$$\Delta L=\lambda/2;\ 3\lambda/2;\ 5\lambda/2;\ 7\lambda/2;\ \ldots$$

Интерференционная картина возникает при наложении плоской стеклянной пластины *1* на зеркальную поверхность *2* под углом α, близким к нулю. Луч света *I* делится на нижней грани пластины на два луча. Отраженный луч *II* выходит из пластины, а преломленный луч *III* проходит воздушный зазор, отражается от поверхности и снова проходит стеклянную пластину. После выхода из пластины лучи *II* и *III* интерферируют. Интерференционную картину можно наблюдать визуально или через окуляр.



а – схема движения лучей; *б* – интерференционная картина.

Рис. 13.6 – Интерференция света на стеклянных пластинах

Лучи II и III проходят в пластине одинаковый путь. Оптическая разность хода лучей в воздухе ΔL´=(CD+DE-GL). При углах, близких к нулю, ΔL´=2h. На границе более плотной оптической среды с менее плотной оптической средой при отражении происходит сдвиг оптической разности хода на длину световой полуволны ΔL˝=λ/2, поэтому для лучей *II* и *III* полная разность хода ΔL= ΔL´+ ΔL˝=(2h+λ/2). Таким образом, оптическая разность хода лучей изменяется вдоль пластины.

При высоте воздушного зазора, равной целому числу полуволн, h=0; λ/2; 2λ/2; 3λ/2; и т. д., разность оптического хода лучей составит нечетное число полуволн: ΔL=λ/2; 3λ/2; 5λ/2; 7λ/2 т. д. и на пластине будут наблюдаться темные интерференционные полосы 0, 1, 2, 3, … (рис. 13.6, *б*). При высоте воздушного зазора $h = \frac{1}{2}\lambda/2;\ \frac{3}{2}\lambda/2;\ \frac{5}{2}\lambda/2;\ \frac{7}{2}\lambda/2$ и т. д., разность оптического хода составит четное число полуволн ΔL=2λ/2; 4λ/2; 6λ/2; 8λ/2

на пластине будут наблюдаться светлые полосы. Первую темную полосу, совпадающую с ребром воздушного клина, принято называть нулевой полосой, а последующие – первой, второй и т. д.

Интерференционные методы линейных измерений основаны на том, что зазор между пластиной и отражающей поверхностью можно определить как произведение длины полуволны света на номер полосы.

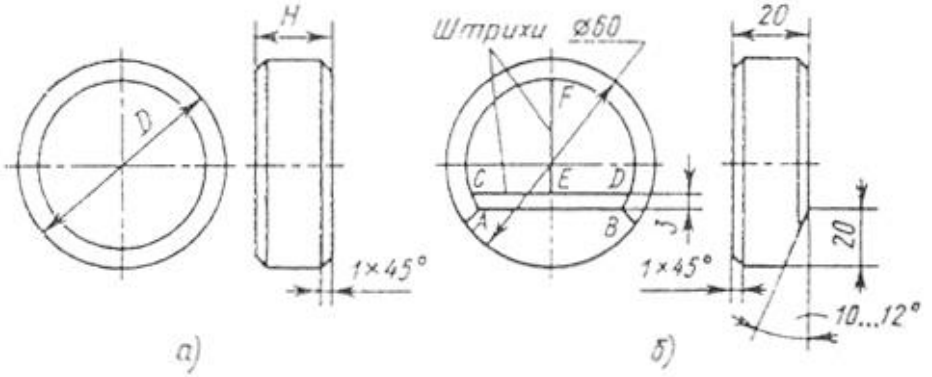
При интерференционных измерениях используют белый (сложный) или монохроматический свет. При освещении белым светом интерференционная картина по мере удаления от ребра клина расплывается: темные полосы светлеют, а светлые (радужной окраски) теряют яркость. Практически измерения в белом свете можно проводить до 6-й и 7-й полосы. Наибольшая высота измеряемого воздушного зазора составит $h = 6\frac{\lambda}{2} = 6\frac{0{,}6}{2} = 1{,}8 \approx 2$ мкм, где λ=0,6 мкм – длина волны белого света.

Ширина b интерференционных полос (см. рис. 13.6, *б*) – расстояние между серединами двух соседних полос – зависит от длины световой волны λ и угла клина α: $b = \frac{\lambda}{2\alpha}$. По ширине полос определяют угол между накладываемыми поверхностями. На этом основаны интерференционные методы контроля плоскостности поверхностей.

Монохроматический свет при технических измерениях получают, пропуская белый свет через светофильтр. Светлые полосы имеют цвет фильтра, а темные – совершенно черные. Четкость интерференционной картины сохраняется для большего числа полос, поэтому размер измеряемого зазора может быть больше 2 мкм.

13.2.3 Плоские стеклянные пластины

Плоские стеклянные пластины применяются для интерференционных измерений плоскостности и притираемости поверхностей размером до 120 мм. Пластины выпускают двух типов: нижние пластины и верхние (рис. 13.7) для притирания концевых мер длины при измерениях интерференционными методами, а также для поверки притираемости и плоскостности поверхностей концевых мер длины.



а – пластина нижняя; *б* – пластина верхняя.

Рис. 13.7 – Стеклянные пластины для интерференционных измерений

Нижние пластины выпускаются четырех типоразмеров и классов точности 1 и 2 (табл. 3). Верхние пластины имеют скос под углом 10…12˚ от ребра АВ; их выпускают одного типоразмера. На рабочую поверхность верхних пластин, имеющую допускаемую плоскостность не более 0,3 интерференционной полосы, нанесены две тонкие линии CD и EF перекрестия.

Таблица 13.3.

Основные данные нижних пластин

Тип пластины	D	H	Допуск плоскостности в интерференционных	
	мм		класс 1	класс 2
ПИ 60	60	30	0,1	0,3
ПИ 80 ПИ 100	80 100	25		
ПИ 120	120	30	0,2	0,4

13.2.4 Поверка притираемости и плоскостности мер

При поверке притираемости стеклянную пластину притирают к измерительной поверхности меры и наблюдают интерференционную картину. На поверхности концевых мер длины м угловых мер 1-го и 2-го разряда, а также мер классов точности 00 и 0 не должно наблюдаться интерференционных полос и цветовых оттенков. У концевых мер длины 3-го и 4-го разряда и классов точности 1, 2 и 3, а также у угловых мер 3-го разряда и класса точности 2 допускается появление на поверхности оттенков в виде светлых пятен.

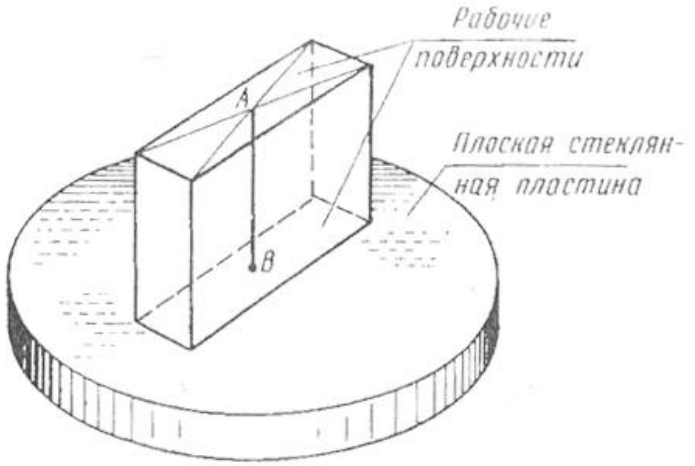
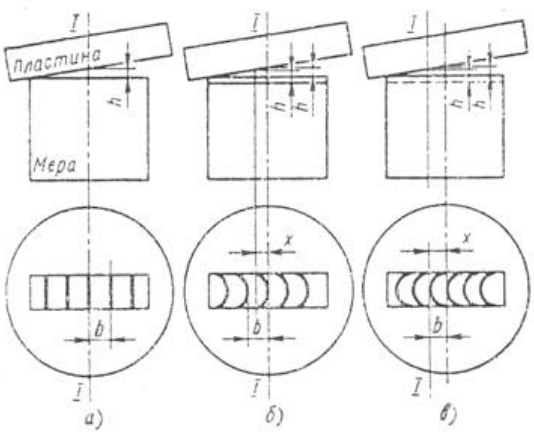


Рис. 13.8 – Притирка КМД к стеклянной пластине



а – идеальная плоскость; *б* – выпуклая плоскость; *в* – вогнутая плоскость.

Рис. 13.9 – Интерференционные картины различных поверхностей

Сила сдвига концевых мер длины, отвечающая требованиям по притираемости, составляет 29,4…78,5 Н.

Отклонение от плоскостности измерительных поверхностей концевых мер длины 3-го, 4-го и 5-го разрядов и угловых мер (кроме многогранных призм) определяют с помощью нижних стеклянных пластин. Пластину накладывают на ребро меры под углом, обеспечивающим появление интерференционной картины на поверхности меры. По характеру искривления интерференционных полос судят о плоскостности поверхности. При идеально плоской поверхности полосы будут прямыми (рис. 13.9, *а*), т. к. высота воздушного клина в сечениях, параллельных сечению I-I, постоянна. Если поверхность выпуклая (рис. 13.9, *б*), то высота воздушного клина, равная h, по краям лежит ближе к ребру меры, чем сечение I-I, и полосы будут изогнутыми к ребру клина. Отклонение от плоскостности ΔL можно определить по отношению отклонения x концов линий от серединных точек к ширине полосы b:

$$\Delta L = \pm \frac{x}{b} \frac{\lambda}{2}$$

Для выпуклой поверхности (рис. 13.9, *б*) x/b=0,5 и ΔL=-0,5·0,6/2=-0,15 мкм. Для вогнутой поверхности (рис. 13.9, *в*) полосы будут изогнуты от ребра клина: x/b=1 и ΔL=1·0,3=0,3 мкм.

Плоскостность мер поверяют в продольном и поперечном направлениях. Найденные отклонения сравнивают с допускаемыми по ГОСТ 9038-83 для концевых мер. Отклонение от плоскостности концевых мер длины 1-го и 2-го разряда и многогранных призм проверяют аналогично на интерферометрах, которые позволяют получить более четкую интерференционную картину. Для измерения отклонений от плоскостности концевых мер длины 3-го, 4-го разрядов можно также использовать измерительные приборы, например, миникаторы или микаторы с малым измерительным усилением.

13.3 Средства измерений для поверки (калибровки) плоскопараллельных мер длины

Поверка плоскопараллельных концевых мер длины осуществляется по методике МИ 1604.

Подавляющее количество машиностроительных предприятий, для обеспечения единства линейных измерений, максимально имеет исходный третий разряд. Как правило им является набор № 3.

Для передачи единицы длины от КМД третьего разряда к четвертому разряду используют стойку С-I с оптикатором с ценой деления 0,1 мкм.

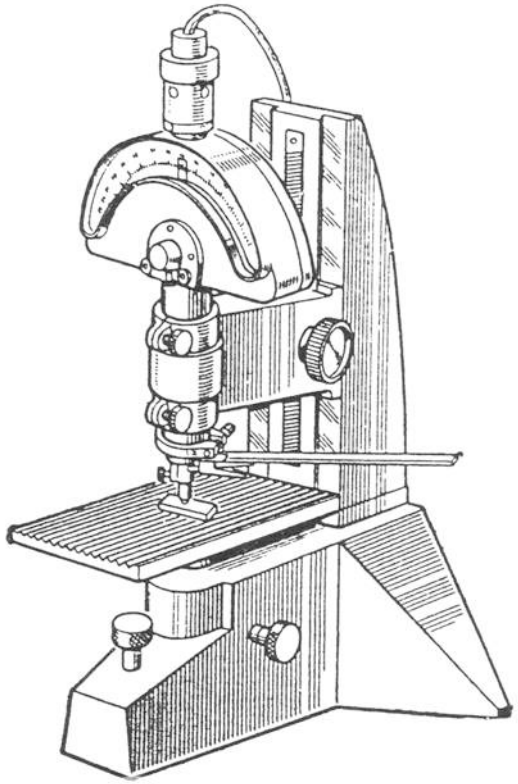


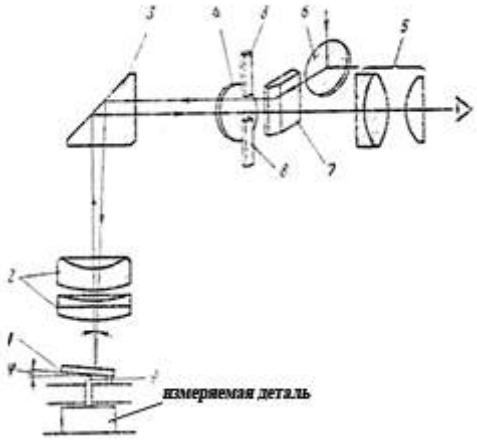
Рис.13.10 – Поверка плоскопараллельных мер длины с помощью стойки С-I и оптикатора

Подавляющее большинство плоскопараллельных мер длины в машиностроении 4 разряда и 2, 3, 4 классов точности. Их поверка (калибровка) осуществляется на вертикальном оптиметре.

Оптиметр – прибор для линейных измерений методом сравнения. В основу действия оптиметра положены законы отражения и преломления света. Оптиметры имеют цену деления 0,001 мм. Вертикальный оптиметр предназначен для контактных измерений наружных линейных размеров относительным методом.

Поверяемую концевую меру устанавливают на столик прибора под измерительный наконечник. Отклонения в размерах от образцовой меры вызовут перемещение измерительного наконечника, связанного с зеркалом оптического устройства, расположенного в трубке оптиметра. Зеркало поворачивается на шарнире на некоторый угол, и, в результате чего, шкала прибора смещается относительно неподвижного указателя, фиксируя

отклонение размера концевой меры от образцовой. Отсчет производится по шкале прибора через окуляр. Точная настройка осуществляется вертикальным перемещением столика. Вертикальный оптиметр имеет пределы измерений 0 – 180 мм. Предел показаний шкалы ±0,1 мм. Погрешность ±0,2…0,3 мкм.



1 – основание, *2* – гайка перемещения стола, *3* – стопор стола, *4* – установочные винты стола, *5* – основание стола, *6* – стол, *7* – измерительный наконечник, *8* – арретир, *9* – трубка оптиметра, *10* – винт крепления трубки оптиметра, *11* – колонка, *12* – кронштейн, *13* – винт крепления кронштейна, *14* – гайка перемещения кронштейна.

Настройка вертикального оптиметра

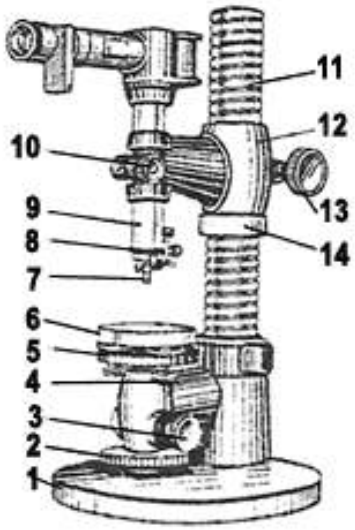


Рис. 13.11 – Оптическая схема и устройство оптиметра вертикального ИКВ

При осевом перемещении измерительного стержня *9* на некоторый угол φ отклоняется зеркало *1*. Лучи, отражаясь от отклоненного зеркала *1* под углом 2φ, снова попадают в объектив *2*, проходя призму *3*, сетку *4*, окуляр *5*, и попадают в глаз, который одновременно видит сдвинутое изображение шкалы и индекс, нанесенный на сетке. Шторки *8* ограничивают поле зрения и дают возможность видеть только зеркальное изображение шкалы, перемещающееся относительно неподвижного отсчетного индекса.

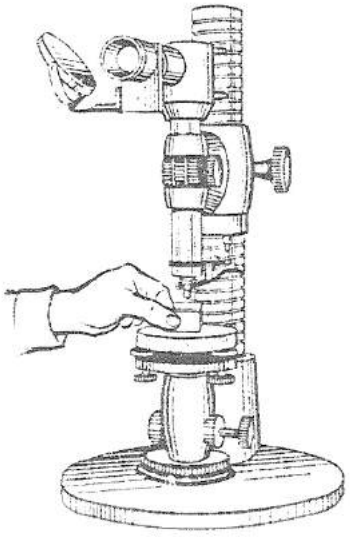


Рис. 13.12 – Установка блока концевых мер на столик



Рис. 13.13 – Чтение показаний оптиметра

Плоскопараллельные меры длины свыше 100 мм поверяют на машине длины ИЗМ-2.

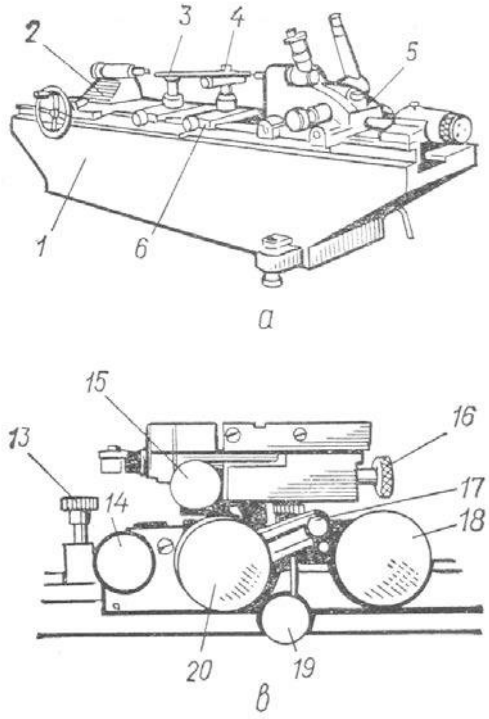


Рис. 13.14. Общий вид (а), пинольная бабка (б), предметный стол (в) и измерительная бабка измерительной машины (г):

1 – станина; 2 – пинольная бабка; 3, 4 – люнеты; 5 – измерительная бабка; 6 – предметный стол; 7 – маховик перемещения пинольной бабки; 8 – винт микрометрической подачи пиноли; 9 – зажимной винт пиноли; 10 – пиноль; 11 – регулировочный винт измерительного стержня; 12 – измерительный наконечник; 13 – упоры вертикального перемещения; 14 – маховик закрепления; 15 – маховик поворота стола вокруг вертикальной оси; 16 – маховик горизонтального (поперечного) перемещения стола; 17 – винт крепления вертикального перемещения стола; 18 – маховик поворота стола вокруг горизонтальной оси; 19 – винт крепления стола к станине; 20 – маховик вертикального перемещения; 21 – арретир; 22 – измерительный наконечник; 23 – трубка оптиметра; 24 – стопор трубки оптиметра; 25 - отсчетный микроскоп; 26 – маховик перемещения измерительной бабки; 27 – стопорный винт; 28 – зажимной винт микрометрической подачи; 29 – маховик микрометрической подачи.

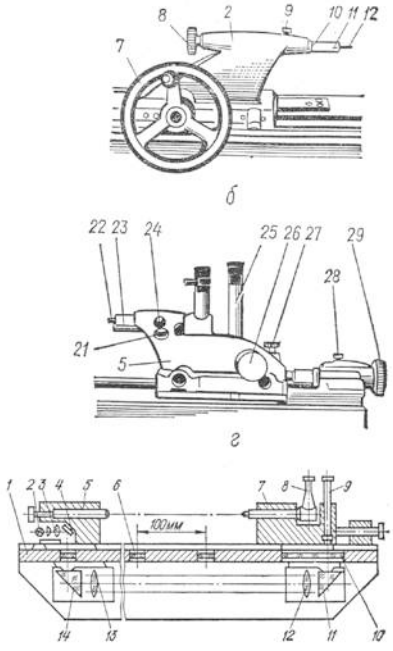
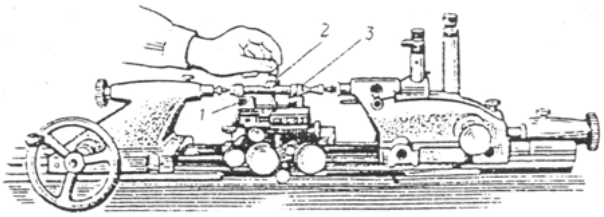
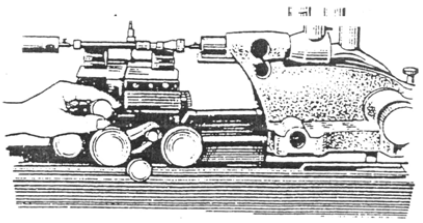


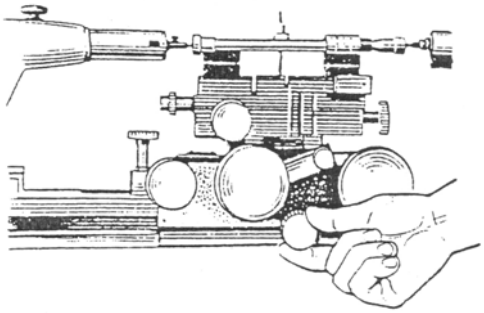
Рис. 13.15 – Оптическая схема измерительной машины



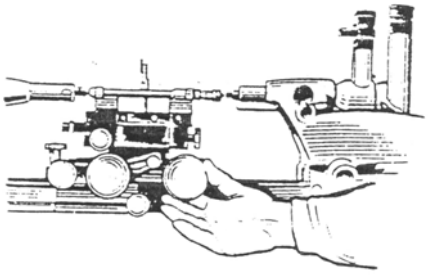
Закрепление изделия: *1* – призма, *2* – струбцина, *3* - изделие



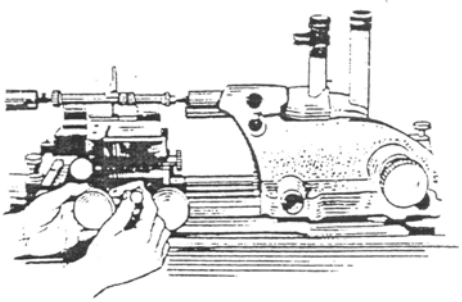
Покачивание стола вокруг вертикальной оси



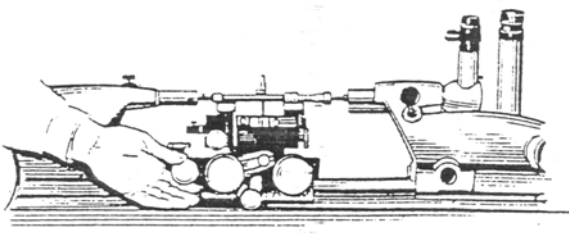
Закрепление стола на станине



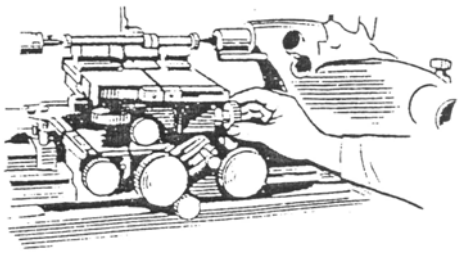
Покачивание стола вокруг горизонтальной оси



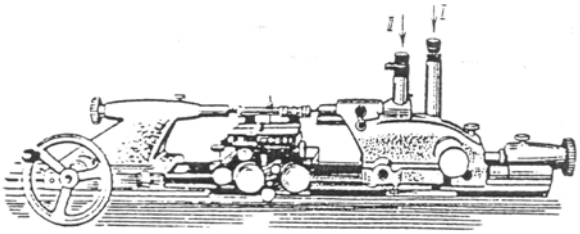
Перемещение и стопорение стола в вертикальном положении



Окончательное стопорение стола



Перемещение стола в поперечном направлении



Чтение показаний

Рис. 13.16 – Измерение (поверка) на машине длины ИЗМ-1

Измерительные оптико-механические машины предназначены для точных измерений наружных и внутренних больших линейных размеров абсолютным и относительным методами. Они используются для измерения нутромеров, концевых мер длины, калибров-пробок, скоб, колец и других точных деталей.

Конструкция измерительной машины показана на рис. 13.14 – 13.15.

а – общий вид; пинольная бабка (б); в – предметный стол; г – измерительная бабка машины.

1 – станина; 2 – пинольная бабка; 3, 4 – люнеты; 5 – измерительная бабка; 6 – предметный стол; 7 – маховик перемещения пинольной бабки; 8 – винт микрометрической подачи пиноли; 9 – зажимной винт пиноли; 10 – пиноль; 11 – регулировочный винт измерительного стержня; 12 – измерительный наконечник; 13 – упоры вертикального перемещения; 14 – маховик закрепления поворотного стола вокруг горизонтальной оси; 15 – маховик поворота стола вокруг горизонтальной оси; 16 – маховик горизонтального (поперечного) перемещения стола; 17 – винт крепления вертикального перемещения стола; 18 – маховик поворота стола вокруг горизонтальной оси; 19 – винт крепления стола к станине; 20 – маховик вертикального перемещения; 21 – арретир; 22 – измерительный наконечник; 23 – трубка оптиметра; 24 – стопор трубки оптиметра; 25 – отсчетный микроскоп; 26 – маховик перемещения измерительной бабки; 27 – стопорный винт; 28 – зажимной винт микрометрической подачи; 29 – маховик микрометрической подачи.

Оптическая схема машины – на рис. 13.17. Основные характеристики измерительной машины ИЗМ-1:

Предел измерения мм – 0…1000.

То же внутренних размеров – 13,5…150.

Цена деления шкалы, мм:

метровой – 100;

стомилиметровой – 0,1.

Трубки оптиметра – 0,001 мм.

Наибольший диаметр детали, устанавливаемой в люнетах, мм – 50.

Наибольшая высота подъема стола, мм – 50.

Вдоль станины 1 в окнах размещены образцовые оптические шкалы – метровая и миллиметровая. Метровая шкала представляет собой расположенные через 100 мм стеклянные пластины 6, на которые нанесены двойные штрихи и цифры, показывающие число дециметров. Миллиметровая стеклянная шкала 10 имеет интервал деления 0,1 мм и диапазон показаний 100 мм. Вдоль станины над метровой шкалой – измерительная бабка 7. Свет от лампы 2 через конденсор 3 и зеркало 4 освещает одну из пластин 6, которая расположена в фокальной плоскости объектива 13. Призмы 11 и 14 отклоняют ход световых лучей на 90˚. Объектив 13 направляет световой поток с изображением двойного штриха в измерительную бабку 7. Объектив 12 фокусирует изображение на шкалу 10 микроскопа 9. Целые и десятые доли миллиметра отсчитываются по шкале 10, сотые и тысячные – по шкале трубки оптиметра.

Поверка концевых мер длины до 1000 мм и аттестация калибров осуществляется как относительным методом (по мерам высшего разряда), так и абсолютным по 3, 4, и 5 классу точности. На столике устанавливают образцовую и поверяемую КМД.

Перед поверкой необходимо провести следующие действия (рис.13.17):

- закрепить меру длины (деталь) струбциной;

- закрепить стол на станине машины длины;

- переместить стол с КМД (деталью) в вертикальном направлении до ввода его в линию измерения и застопорить;

- переместить стол к КМД (деталью) в горизонтальном поперечном направлении до ввода в линию измерения;

- покачиванием вокруг вертикальной оси выверить по линии измерения в горизонтальной плоскости;

- покачивая вокруг горизонтальной оси, лежащей на линии измерения, совместить ось КМД (детали) с линией измерения в вертикальной плоскости;

- застопорить стол в этом положении;

- прочесть показания в трубке оптиметра (при абсолютном методе измерений (поверки)).

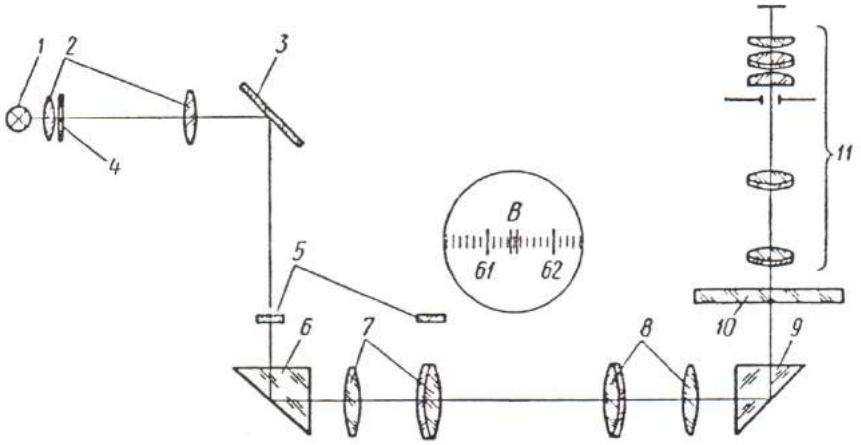


Рис. 13.17 – Оптическая схема измерительной машины ИЗМ

13.4 Измерение деталей с помощью концевых мер длины

Оптиметры вертикальные также служат для измерения наружных поверхностей точных деталей относительным методом.

Настройка прибора осуществляется по концевым мерам длины 2-5 классов точности. Для особо точных измерений используются поправки к мерам длины.

Составление блока концевых мер и расчет погрешностей.

Блок составляется из возможно меньшего числа мер, обычно не более четырех. Для этого необходимо, чтобы первая мера блока содержала последние знаки размера блока, вторая мера – последние знаки остатка и т.д.

Номинальный размер блока, мм	Номинальные размеры мер, мм	Остаток, мм	Поправки мер Δ, мкм	Действительный размер блока, мм
38,785	1,005 1,28 6,5 30,0	37,780 36,5 30,0 0	-1,7 -1,8 -4,3 -1,4	38,7794

Для каждой концевой меры добавлять со своим знаком поправки, указанные в аттестате набора. Алгебраически сложив поправки, получим суммарную поправку блока.

$\sum\Delta$ = (-0,0017-0,0018-0,0043-0,0014) = -0,0092 мм

Действительный размер блока:

$A_Д = A_Н + \sum\Delta$ = 38,785 – 0,0092 = 38,7758 мм

Правила составления блока концевых мер

Блок концевых мер образуется путем притирания концевых мер друг к другу. Перед притиркой концевые меры укладывают на салфетку и притирают авиационным бензином или марки «калоша». Перед поверкой меры длины протираются спиртом ректификат.

Концевые меры считаются притертые, если они после притирки не разъединяются. Притираемость мер длины осуществляется за счет высокого класса шероховатости рабочих поверхностей мер $R_z \leq 0.063$ мкм, высокой степенью плоскостности: 0,03 мкм для классов 00; 01 и 0-0,1 мкм – для классов 1; 2; 3, за счет диффузии молекул концевых мер.

Поверка плоскопараллельных концевых мер длины осуществляется по МИ 1604.

Примеры расчета размеров плоскопараллельных концевых мер.

Набор из 87 мер

Составить блок размером 49,48 мм	Составить блок размером 37,875 мм
1 мера – 1,48 мм остаток 48 мм 2мера – 8 мм остаток 40 мм 3 мера – 40 мм проверка: 1,48 мм + 8 мм + 40мм = 49,84 мм	1 мера – 1,005 мм остаток 36,87 мм 2мера – 1,37 мм остаток 35,5 мм 3 мера – 5,5 мм остаток 30 мм 4 мера – 30 мм проверка: 1,005 мм + 1,37 мм + 5,5мм + 30 мм = 37,875 мм

Набор из 42 мер

Составить блок размером 49,48 мм	Составить блок размером 37,875 мм
1 мера – 1,08 мм остаток 48,4 мм 2мера – 1,4 мм остаток 47 мм 3 мера – 7 мм остаток – 40 мм 4 мера 40 мм проверка: 1,08 мм + 1,4 мм + 7 мм + 40 мм = 49,84 мм	1 мера – 1,005 мм остаток 36,87 мм 2мера – 1,07 мм остаток 35,8 мм 3 мера – 1,8 мм остаток 34 мм 4 мера – 4 мм остаток 30 мм 5 мера 30 мм проверка: 1,005 мм + 1,07 мм + 1,8мм + 4 мм + 30 мм = 37,875 мм

13.5 Пути совершенствования поверки плоскопараллельных мер длины

Мировая тенденция в последние 5-7 лет – повышение надежности изделий за счет ужесточения допусков на изготовление деталей.

Для обеспечения выполнения повышенных требований, в особенности в инструментальном производстве, производстве топливной аппаратуры и ряде других производств, при передаче единицы длины используют 2 разряд КМД.

В 60-е годы прошлого столетия СССР держал лидерство в области средств для поверки концевых мер длины. Интерферометр Уверского, оптикатор О/П со стойкой С-1Уверского обеспечивали передачу единицы длины от мер 2-го разряда к низшим разрядам (рис. 13.10). Но выпуск этих приборов прекратился 30-40 лет назад.

Западные фирмы Мар, Федераль, Теза, Цейсс выпускают приборы для поверки КМД, по разработкам 20-25 летней давности и по очень высокой цене.

В последнее десятилетие появились приборы для поверки КМД, разработанные ИМЦ «МИКРО» г. С-Петербург – установки УКМ-100.

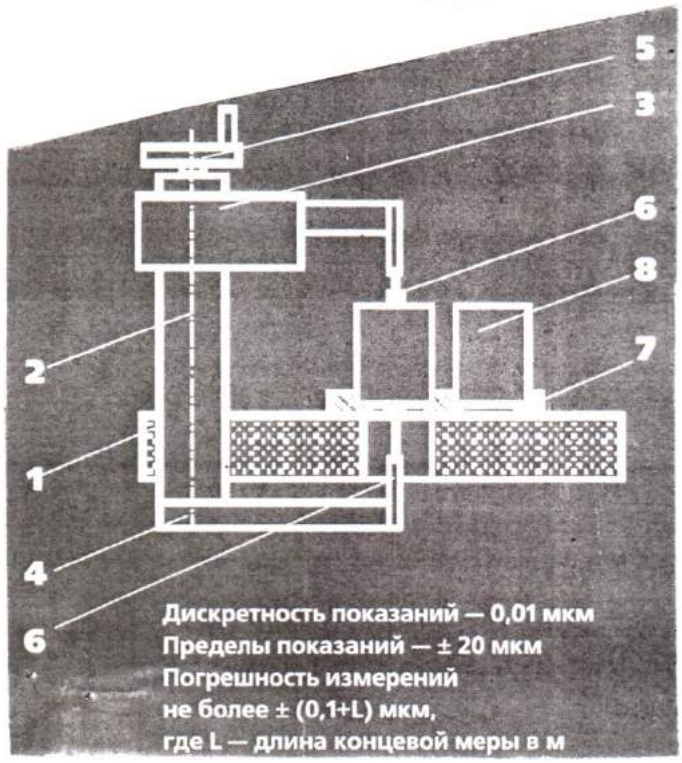


Рис. 13.18 – Схема установки УКМ-100

1 – плита гранитная. 2 – колонка с двумя кронштейнами (3 и 4), в которые вмонтировали датчики 6. Верхний кронштейн перемещается с помощью микровинта наконечником 5. Арретирование датчиков осуществляется автоматически. 7 – кассета для установки образцовой и поверяемой меры. Кассета 7 перемещается по столу согласно схеме поверки.

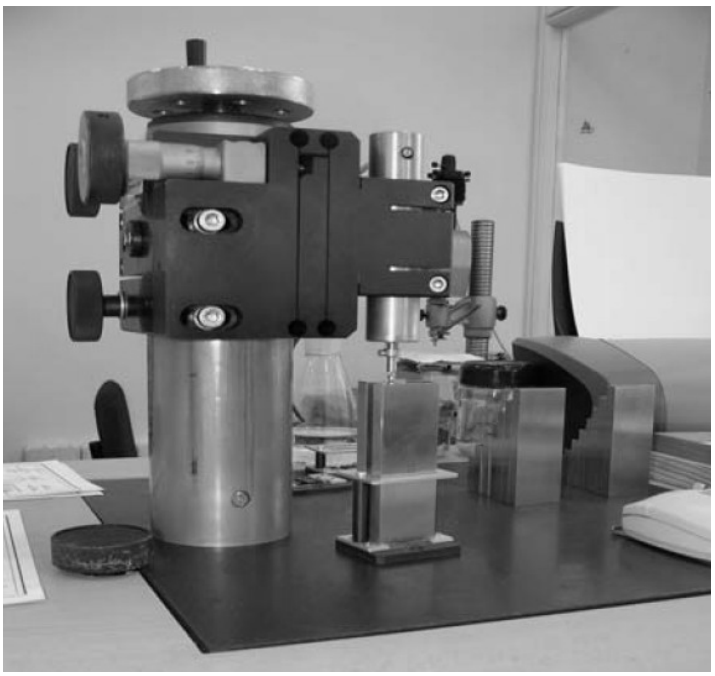


Рис. 13.19 – Установка УКМ-100 – компьютеризованное место поверителя

Пределы поверяемых мер длины 0,5-100 мм. Дискретность показаний – 0,01 мкм. Погрешность измерений не более ±(0,1+L), L – длина концевой меры в метрах.

Преимущества установки УКМ-100 перед интерферометром Уверского

1. Повышение производительности поверки на УКМ-100 примерно в 2 раза.

2. Компьютерная обработка результатов измерений и распечатка протокола.

3. Редактирование и неограниченное хранение результатов измерений, что обеспечивает прослеживание соблюдение, требований ГОСТ 9038-90 п. 2.13 по стабильности размеров мер длины в течение года, а также установление рациональных сроков межповерочных интервалов.

4. Снижение утомляемости поверителя, а следовательно уменьшение субъектной погрешности измерения.

5. Исключается необходимость доводки стола и ежесменная регулировка плоскости стола.

6. Исключается истирание мер, а следовательно увеличение сроков эксплуатации образцовых мер.

7. Не требуется высокая квалификация поверителя.

Внедрение прогрессивных методов поверки позволяет обеспечивать надежность передачи единицы длины к изделиям и снизить затраты на проведение поверки.

Контрольные вопросы

1. Что такое классы и разряды плоскопараллельных мер длины (КМД)?
2. Что такое наборы КМД и как они комплектуются?
3. Назначение КМД.
4. Что такое притираемость КМД?
5. Принцип настройки оптиметра, машины длины по КМД.
6. Средства поверки КМД.
7. Расчёт блоков КМД.

Глава 14 Средства допускового контроля

14.1 Классификация средств допускового контроля

В машиностроении средства допускового контроля являются самыми массовыми при контроле деталей в цеховых условиях.

Средства допускового контроля в машиностроении занимают обширную группу средств контроля и являются самыми массовыми средствами цехового контроля.

Средства допускового контроля делятся на группы и подгруппы.

1. Калибры:

- **калибры гладкие** для контроля отверстий и валов;
- **калибры резьбовые** для контроля метрических, конических, трапецеидальных, прямоугольных резьб, спецрезьб;
- **калибры для контроля глубин и высот**;
- **калибры контроля длины, толщины выступов и ширины канавок**;
- **конические калибры** для нормальных и специальных конусов;
- **специальные калибры контроля отверстий;**
- **шпоночные и шлицевые калибры;**
- **профильные, нормальные калибры (шаблоны);**
- **щупы;**
- **радиусные шаблоны;**
- **лекальные и поверочные линейки;**
- **угольники лекальные и слесарные;**

В связи с широким применением калибров гладких, резьбовых, конических они описаны в отдельных главах.

14.2 Калибры для контроля глубин и высот (ГОСТ 2534-77)

Для контроля линейных размеров – длины, глубины и высоты уступов – применяют предельные калибры листовые (рис. 14.1). Калибры-скобы предназначены для контроля длины изделий 10…500 мм.

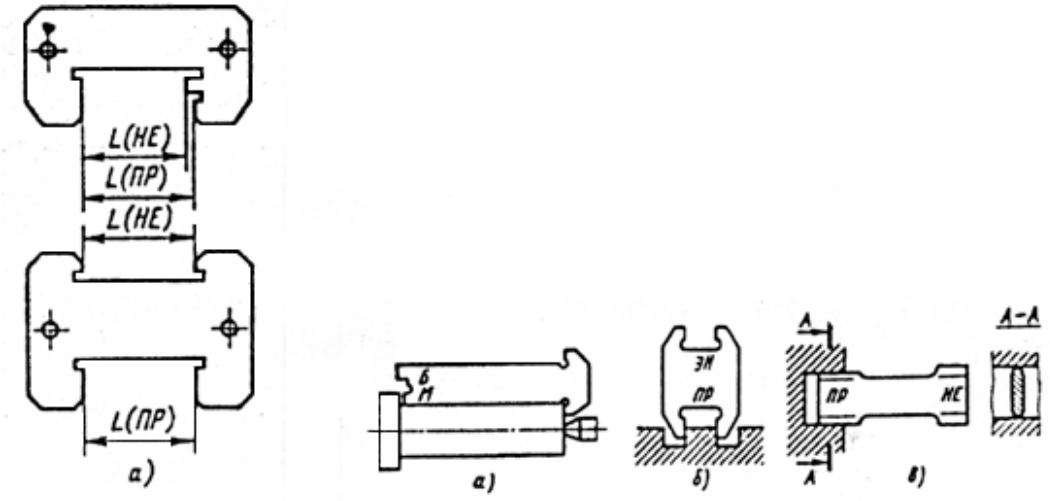
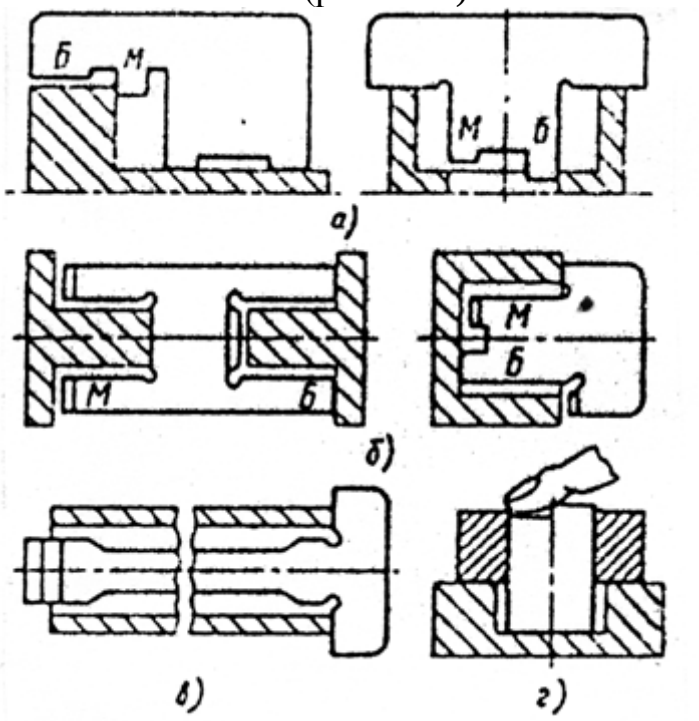


Рис. 14.1 – Калибры длины (а), толщины выступа (б), ширины канавки (в)

Основные методы контроля глубины и высоты уступов – надвиганием, на просвет, по рискам или осязаниям (рис. 14.2).



а – надвиганием; *б* – на просвет; *в* – по рискам; *г* – осязаниям

Рис. 14.2 – Калибры для контроля глубин и высот

При надвигании калибра большая сторона Б должна проходить под уступом, а малая сторона М находить на него (рис. 14.2, *а*) или наоборот.

При определении просвета между изделием и калибром (рис. 14.2, *б*) каждая сторона калибра должна иметь лезвиеобразную и плоскую грани для уменьшения погрешности контроля вследствие неровностей поверхности.

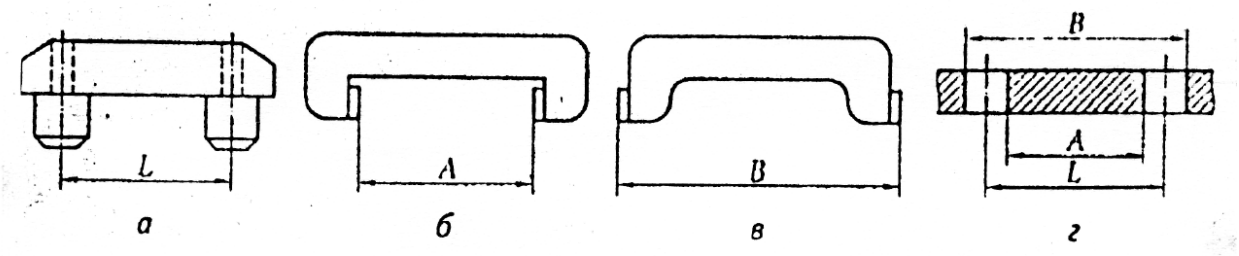
Калибры с рисками (рис. 14.2, *в*) применяют, когда допуск проверяемого размера соответствует приблизительно 0,5 мм.

Ступечато-стержневыми калибрами (рис. 14.2, *г*) контролируют по осязанию с допусками размеров до 0,01 мм.

Допуски на калибры для глубин и высот уступов определены ГОСТ 2534-77.

14.3 Специальные калибры контроля отверстий

Калибры-скобы (рис. 14.2, а) позволяют определять расстояния между осями отверстий. Применяют комплект таких калибров, с помощью которых контролируют симметричность расположения наружных и внутренних поверхностей.

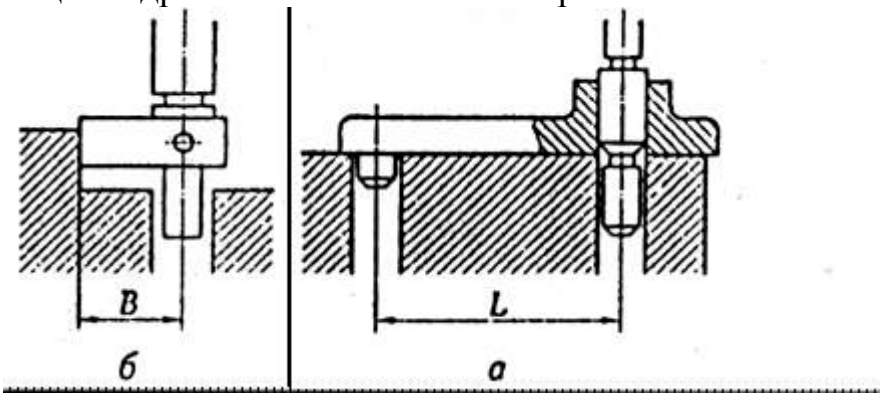


а – контроль межосевого расстояния; *б, в* – контроль симметричности расположения поверхностей; *г* – проверяемая деталь; *А* – расстояние между внутренними поверхностями отверстий; *В* – расстояния между наружными поверхностями отверстий; *L* – межосевое расстояние.

Рис. 14.3 – Калибры-скобы для контроля отверстий

Существенным недостатком скоб является отсутствие возможности их регулирования на контролируемый размер и затруднения при контроле расположения отверстий малого диаметра. Поэтому для контроля взаимного расположения отверстий и поверхностей более рационально применить штифтовые калибры.

Штифтовые калибры позволяют контролировать положение любого числа отверстий, как в прямоугольной, так и в полярной системах координат. Кроме того, при помощи этих калибров, изготавливаемых с учетом особенностей конкретной детали, возможен контроль положения отверстий относительно цилиндрической и плоской поверхностей.



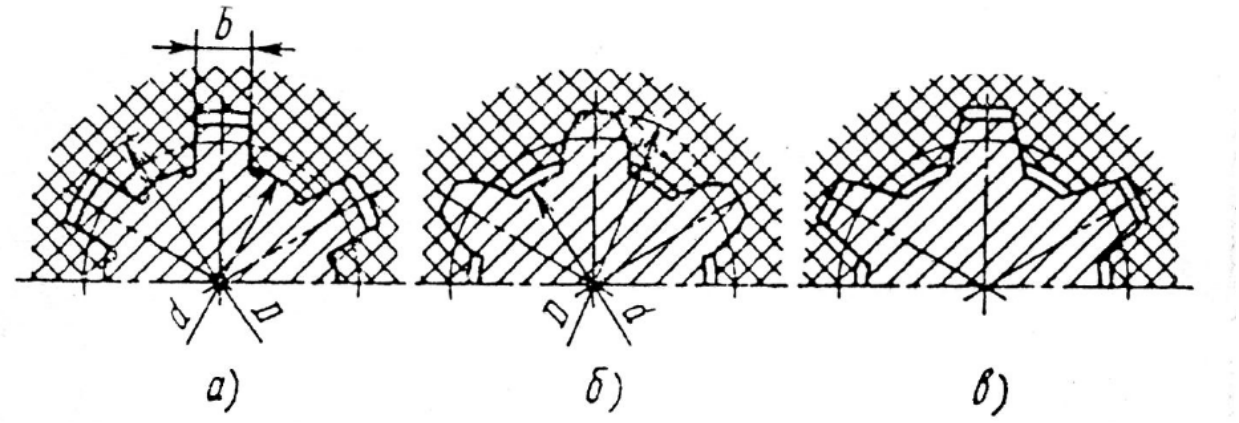
а – контроль расстояния между осями отверстий; *б* – контроль расстояния от базовой поверхности до оси отверстия; *L* и *В* – расстояния между осями отверстий и от базовой поверхности до оси отверстия соответственно.

Рис. 14.4 – Схемы контроля отклонения осей отверстий штифтовыми калибрами

14.4 Шлицевые и шпоночные калибры

14.4.1Калибры для измерения шлицевых прямобочных соединений (ГОСТ 7951-80).

Шлицевые соединения могут иметь прямобочный (рис. 14.5, *а*), эвольвентный (рис. 14.5, *б*) и треугольный (рис. 14.5, *в*) профили зубьев.



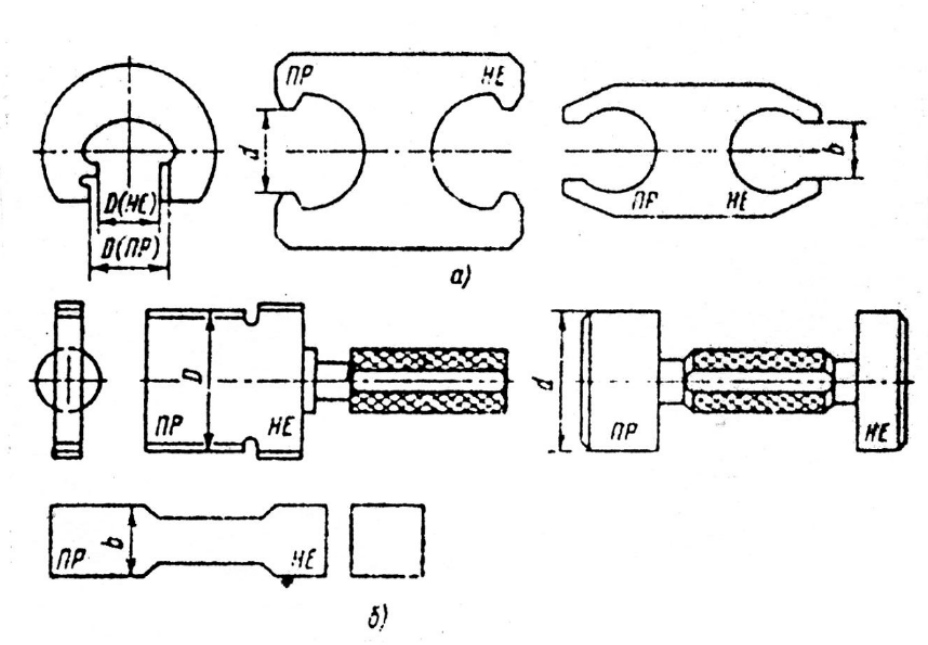
а – прямобочного; *б* – эвольвентного; *в* – треугольного.

Рис. 14.5 – Шлицевые соединения различного профиля зубьев

Центрирование вала и отверстия может осуществляться по внутреннему диаметру *d*, по наружному диаметру *D* и по боковым поверхностям зубьев.

Калибры и методы контроля делятся на дифференцированные (поэлементные) и комплексные.

Для дифференцированного контроля наружного и внутреннего диаметров и толщины зубьев наружных шлицов применяют предельные калибры-скобы, а размеров внутренних шлицов – предельные калибры-пробки.

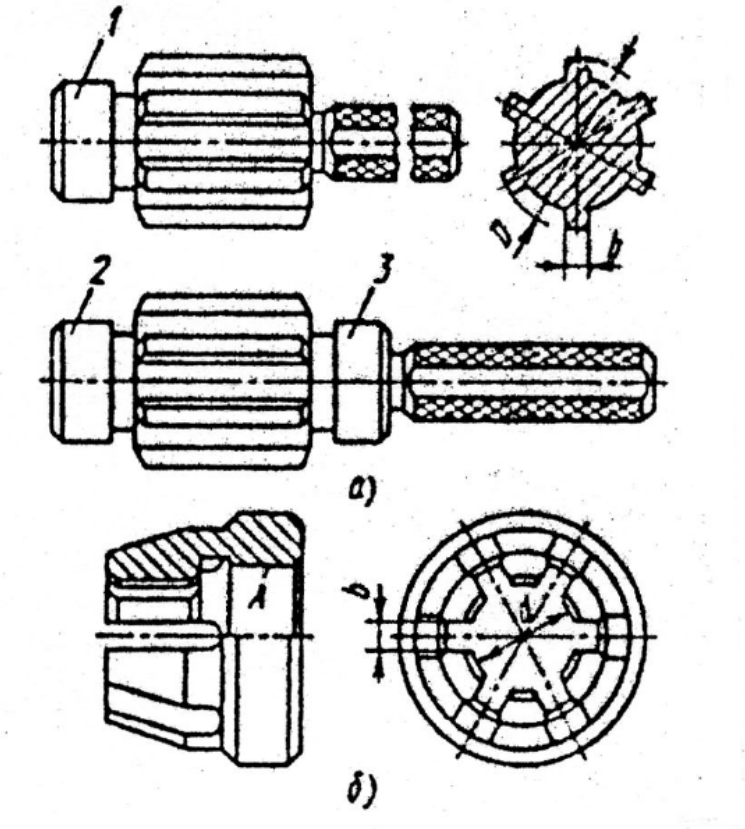


а – скобы; *б* – пробки.

Рис. 14.6 – Поэлементные калибры для шлицевых изделий

При комплексном контроле проверяют суммарные отклонения толщины зубьев валов и ширины впадин втулок проходными калибрами-пробками и калибрами-кольцами. При комплексном контроле проверяется также погрешность шага и накопленная погрешность шага.

При изготовлении калибров, накопленная погрешность шага определяется с помощью оптической головки ОДГ-5Э.



а – пробки; б – кольцо.

Рис. 14.7 – Комплексные калибры для шлицевых изделий

Калибры-пробки выпускаются с одной направляющей ***1*** для проверки изделий с центрированием по наружному диаметру и боковым сторонам и с двумя направляющими ***2*** и ***3*** для изделий с центрированием по внутреннему диаметру.

Калибры-кольца (рис. 14.7, *б*) также имеют шлицевую часть и гладкую направляющую поверхность *А*, которой и надевают на вал.

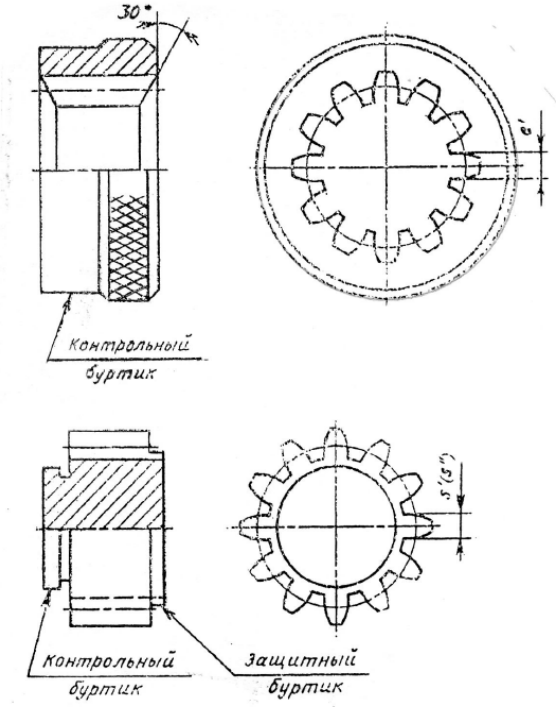
14.4.2 Калибры для контроля шлицевых эвольвентных соединений (ГОСТ 6528-53)

Контроль деталей эвольвентных шлицевых соединений аналогичен контролю деталей прямобочных шлицевых соединений. Для контроля предусмотрены поэлементные и комплексные шлицевые калибры.

Шлицевые валы контролируют четырьмя калибрами, из которых один калибр-кольцо является комплексным. Аналогично, для контроля шлицевых втулок применяют также четыре калибр-пробки, из них один калибр-пробка комплексный.

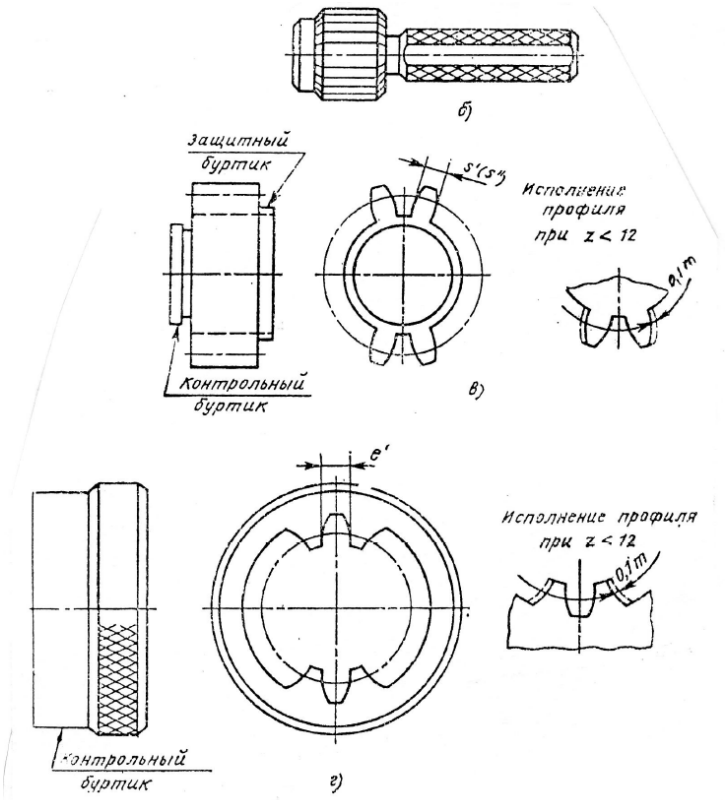
Калибры для контроля шлицевых эвольвентных соединений по ГОСТ 24969-81 распределяются следующим образом.

Шлицевые и втулки контролируются четырьмя калибрами. По одному кольцу и пробке калибры являются комплексными (рис. 14.8, *а*). Поэлементные калибры для втулок (рис. 14.8, *в*) и для валов (рис. 14.8, *г*).



а – комплексные калибры-пробки и калибры-втулки;

Рис. 14.8 – Калибры для эвольвентных шлицевых соединений



б – контр-калибр для проверки нового калибра-кольца; *в* – калибр-пробка непроходной поэлементный; *г* – калибр-кольцо непроходной поэлементный.

Рис. 14.9 – Калибры для эвольвентных шлицевых соединений

Комплексные шлицевые эвольвентные калибры выполняют со сплошным зубчатым венцом, в то время как поэлементные непроходные шлицевые калибры имеют только два расположенных друг против друга (в диаметральной плоскости) зубчатых сектора, каждый из которых имеет по два зуба (рис. 14.9, *в* и *г*). При нечетном числе зубьев один из секторов может иметь три зуба. При числе зубьев втулки или вала меньше 12, рекомендуется занизить толщину зуба со стороны нерабочих боковых поверхностей зубьев поэлементных непроходных калибра-пробки и калибра-кольца не меньше, чем на 0,1 модуля.

Калибры-пробки с одной из торцевых сторон имеют контрольный буртик, который служит для установки и центрирования калибра при проверке поэлементных погрешностей его зубьев. Со стороны, противоположной контрольному буртику, калибры-пробки с номинальным диаметром более 50 мм имеют защитный буртик, предназначенный для облегчения вдевания калибра-пробки в деталь и одновременно для его защиты.

Шлицевые эвольвентные калибры изготавливают трех степеней точности: второй – для контрольных калибров, третей и четвертой – для рабочих калибров. Калибры третей степени точности предназначены для контроля шлицевых валов и втулок шестой степени точности и более грубых, а калибры четвертой степени точности – для контроля шлицевых деталей восьмой степени точности и более грубых.

На калибре наносят обозначение шлицевого вала и втулки соответственно (по ГОСТ 6033-80), для которых предназначен данный калибр, степень точности и номер вида калибра.

Таблица 14.1

Калибры для контроля деталей эвольвентных соединений (ГОСТ 24969-81)

Номер вида	Наименование	Контролируемый параметр	Условия применения
Калибры для эвольвентных шлицевых валов			
1	Калибр-кольцо шлицевой комплексный (рис. 5.2.3.8, а)	Проходной предел (суммарное отклонение es) по толщине s зубьев вала	Должен проходить по контролируемой поверхности под действием собственной массы
4	Калибр-кольцо непроходной поэлементный (рис. 5.2.3.8, г)	Наименьшая толщина s_{min} зуба вала	Не должен проходить ни в одном из трех положений по окружности вала (например, делительной)
ПР (1)	Калибр–кольцо гладкий: проходной	Наибольший наружный диаметр $d_{a\,max}$ вала	Должен проходить под действием собственной массы
НЕ (4)	непроходной	Наименьший наружный диаметр $d_{a\,min}$ вала	Не должен проходить по валу

Продолжение таблицы 14.1

ПР (2)	Калибр–скоба гладкий: проходной	Наибольший внутренний диаметр $d_{f\,max}$ вала	Должен проходить под действием собственной массы
НЕ (3)	непроходной	Наименьший внутренний диаметр $d_{f\,min}$ вала	Не должен проходить по валу
Калибры для эвольвентных шлицевых втулок			
5	Калибр-кольцо шлицевой комплексный (рис. 5.2.3.8, б)	Проходной предел (суммарное отклонение EI) по ширине е впадины втулки	Должен проходить по контролируемой поверхности под действием собственной массы
6	Калибр-кольцо непроходной поэлементный (рис. 5.2.3.8, в)	Наибольшая ширина e_{max} впадины втулки	Не должен проходить ни в одном из трех положений по окружности втулки (например, делительной)
ПР (11)	Калибр–кольцо гладкий: проходной	Наименьший внутренний диаметр $D_{a\,min}$ отверстия шлицевой втулки	Должен проходить через отверстие под действием собственной массы
НЕ (12)	непроходной	Наибольший внутренний диаметр $D_{a\,max}$ отверстия	Не должен входить в контролируемое отверстие
ПР (11)	Калибр–скоба гладкий: проходной	Наименьший наружный диаметр $D_{f\,min}$ отверстия втулки	Должен проходить в отверстие под действием собственной массы
НЕ (12)	непроходной	Наибольший наружный диаметр $D_{f\,max}$ отверстия	Не должен входить в отверстие

Шлицевые соединения с треугольным профилем применяются в основном в приборостроении, в малонагруженных соединениях. Контроль деталей с треугольным профилем аналогичен контролю деталей с прямобочным профилем.

В связи с незначительным применением в машиностроении шлицевых соединений с треугольным профилем, калибры для этих соединений в данной главе рассматриваться не будут.

14.3 Калибры для контроля изделий со шпоночными пазами

Соединения с призматическими шпонками регламентированы ГОСТ 23360-78, встречаются после резьбовых соединений наиболее часто.

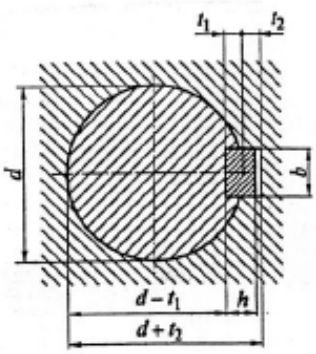
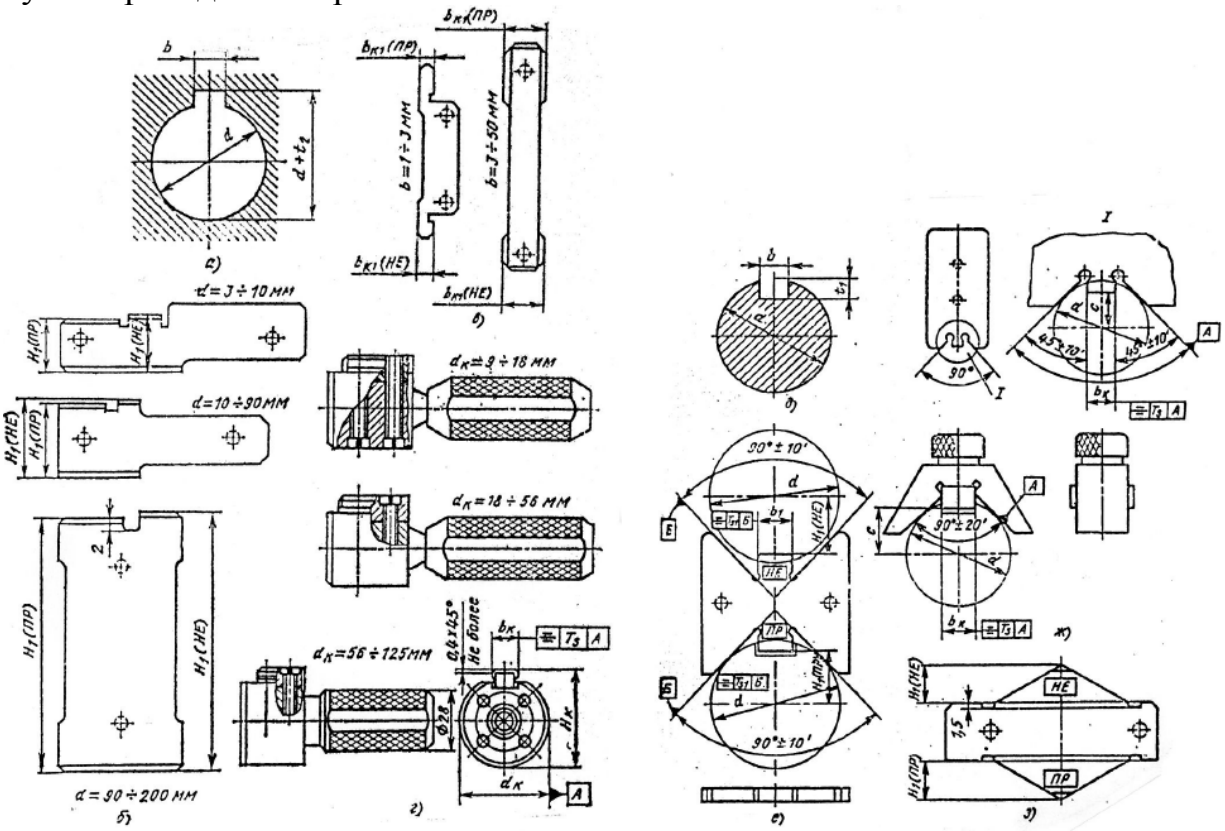


Рис. 14.10 – Шпоночное соединение

Калибры для контроля изделий со шпоночными пазами для валов и втулок приведены на рис. 14.10.



б – глубиномеры для втулок; *в* - пазовые калибры; *г* – комплексные пробки; *ж* – калибры-призмы. *е* и *з* – глубиномеры для валов.

Рис. 14.11 – Конструкции калибров для контроля втулки (*а*) и вала (*д*) с пазами

Диаметры *d* вала и *D* втулки контролируют гладкими калибрами, а ширину *b* шпоночного паза вала и втулки – пазовыми калибрами (рис. 14.11, *в*). Глубины шпоночных пазов контролируют глубиномерами (рис. 14.11, *е* и *з*). Перечисленные выше калибры, контролирующие только предельные размеры вала и втулки, называют поэлементными.

Для контроля ширины паза и отклонения паза от симметричности предусмотрены такие комплексные шпоночные проходные калибры: калибр-призма (рис. 14.11, *ж*) и калибр-пробка (рис. 14.11, *г*).

Шпоночный проходной калибр-пробку характеризуют три размера: номинальная толщина $b_к$ контрольной шпонки, размер $H_к$ и диаметр $d_к$ калибра-пробки.

Шпоночный проходной калибр-призму характеризуют два размера: толщина $b_к$ контрольной шпонки и размер c – глубина вхождения шпоночного калибра-призмы в шпоночный паз вала. Контроль изделий со шпоночными пазами с помощью комплексных проходных калибров осуществляют в следующем порядке. Шпоночный вал годен, если калибр-призма проходит в паз, прижимаясь к поверхности вала. При этом диаметр вала, ширина и глубина шпоночного паза не должны выходить за предельные размеры.

Втулка со шпоночным пазом годна, если калибр-пробка проходит в контролируемое отверстие. При этом диаметр отверстия втулки, ширина и глубина паза не выходят за предельные размеры.

14.5 Профильные, нормальные калибры (шаблоны)

Для контроля размеров и формы изделий со сложным профилем применяют нормальные профильные шаблоны.

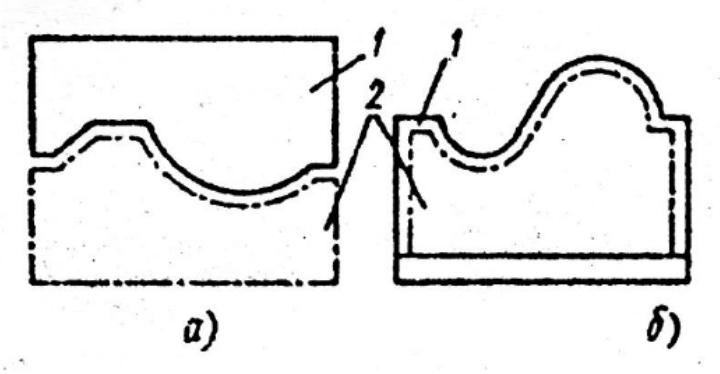


Рис. 14.12 – Профильные шаблоны

Шаблоны ***1*** могут прикладываться к проверяемому профилю изделия ***2*** (рис. 14.12, а) или накладываются на изделие ***2*** с совмещением профиля (рис. 14.12, б).

В первом случае отклонение профиля изделия от профиля шаблона Δ определяют «припасовкой на краску», если Δ приблизительно равен ±3 мкм, или методом «на просвет», если Δ приблизительно равен ±20 мкм. Во втором случае Δ измеряют с помощью индикатора, если Δ приблизительно равен ±5 мкм, или оценивают визуально, если Δ приблизительно равен ±200 мкм.

14.6 Радиусные шаблоны

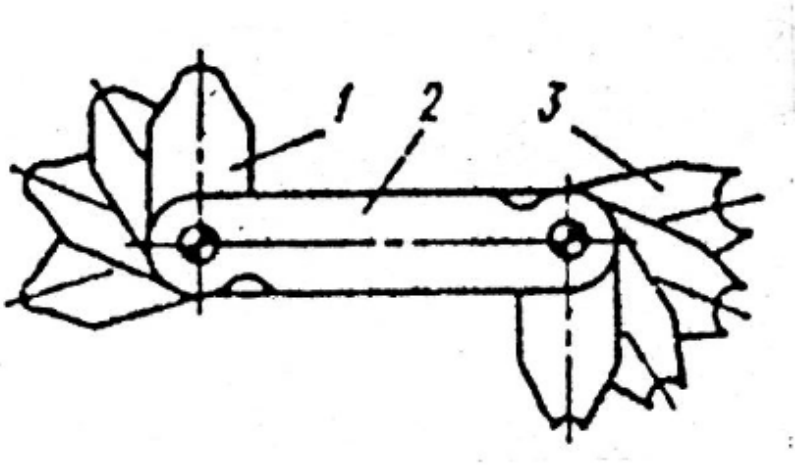


Рис. 14.13 – Радиусные шаблоны

Радиусные шаблоны (рис. 14.13) для определения радиусов закруглений от 1 до 25 мм представляют собой стальные пластины с профилем дуги окружности. Они комплектуются в наборы, состоящие из пластин с выпуклым ***1*** или вогнутым ***3*** профилем, и собираются в обойме ***2***. При контроле шаблоны, как правило, прикладываются к профилю изделия. Если в сопряжении нет зазора, радиусы изделия и шаблона равны.

14.7 Щупы

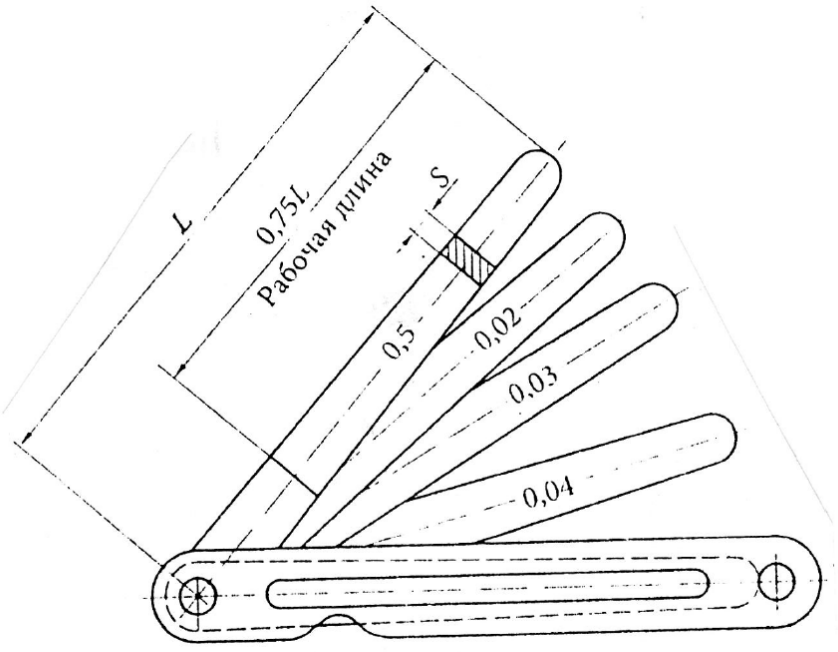


Рис. 14.14 – Набор щупов

L – длина щупа; *s* – толщина щупа (маркировка наносится на поверхности щупа).

Щупы представляют собой набор пластин определенной толщины, применяемых при проверке зазоров между поверхностями.

Выпускаемые щупы имеют номинальные размеры 0,02…1,0 мм с градацией через 0,01 и 0,05 мм. По длине различают щупы двух исполнений: 100 и 200 мм. Щупы длиной 100 мм изготавливают в виде отдельных пластин.

При определении зазора в него вводят щуп или набор из нескольких щупов. При измерении щуп должен перемещаться в зазоре с небольшим усилием, т.е. не должен проваливаться в зазор и перемещаться свободно.

При измерении зазоров щупами следует выполнять ряд правил:

– перед измерением нужно убедиться в плавности перемещения пластин щупа;

– если перемещение пластин в зазоре затруднительно, то необходимо их слегка смазать;

– величина зазора определяется суммарной толщиной набора пластин щупа, полностью вошедших в зазор по всей длине;

– при измерении зазора не следует прилагать к щупу большого усилия во избежание поломок пластин или их деформации.

14.8 Лекальные, поверочные линейки

Форма плоских деталей характеризуется прямолинейностью и плоскостностью. Отклонение от прямолинейности Δ – наибольшее расстояние от точек реального профиля ***2*** до измерительного средства ***1*** (рис. 14.15).

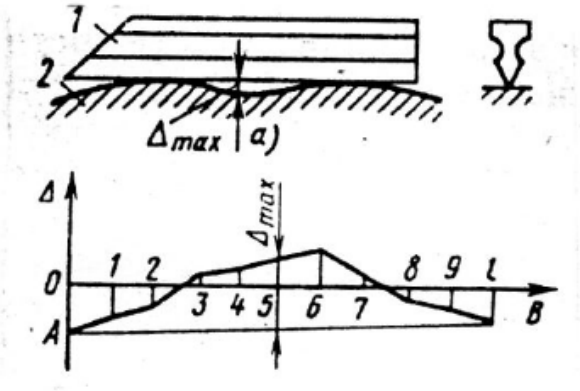


Рис. 14.15 – Метод контроля прямолинейности

Для контроля отклонений от прямолинейности и плоскостности используются лекальные и поверочные линейки.

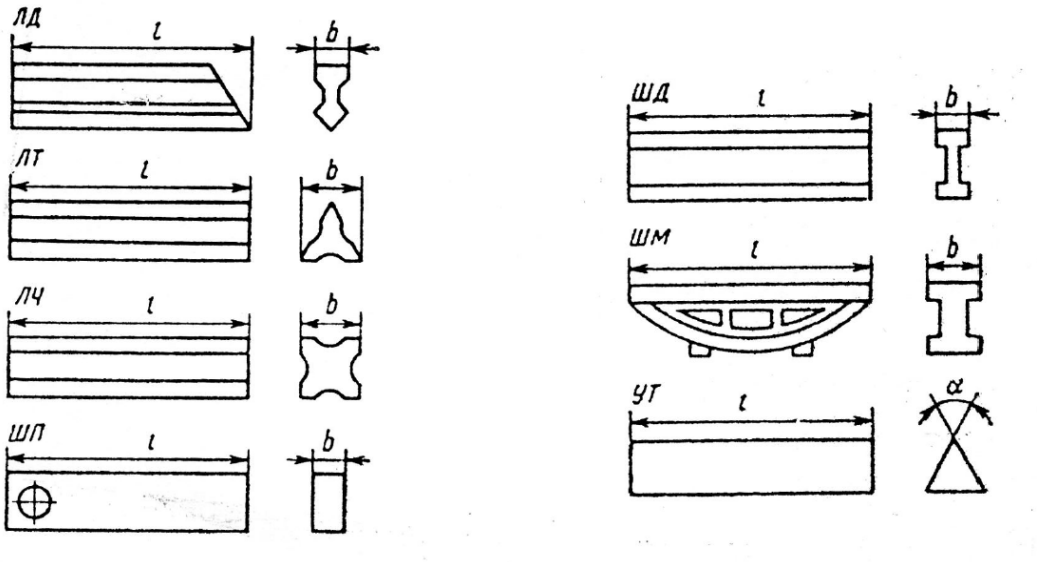


Рис. 14.16 – Поверочные и лекальные линейки

Поверочные линейки (рис. 14.16) изготавливают следующих типов:
ЛД – лекальные с двухсторонним скосом;
ЛТ – лекальные трехгранные;
ЛЧ – лекальные четырехгранные;
ШП – с широкой рабочей поверхностью прямоугольного сечения;
ШД – с широкой рабочей поверхностью двутаврового сечения;
ШМ – с широкой рабочей поверхностью, мостики;
УТ – угловые трехгранные.

Лекальные линейки впускают двух классов точности: 0 и 1. Линейки класса точности 0 применяют для проверки поверхностей 2-й и 3-й степени точности, а класса точности 1 – для 4-й степени точности.

Длина ***l*** лезвий линеек типа ЛД составляет 50…500 мм, а линеек типов ЛТ и ЛЧ – 200…500 мм.

Лекальные линейки предназначены для контроля прямолинейности методом «на просвет». Лезвие линейки ***1*** накладывают на поверхность изделия *2* (рис. 14.15). Сзади, на уровне глаз контролера, помещают источник света и наблюдают просвет между линейкой и изделием.

Отклонение от прямолинейности равно наибольшему просвету Δ_{max}, размер просвета определяют по образцу просвета.

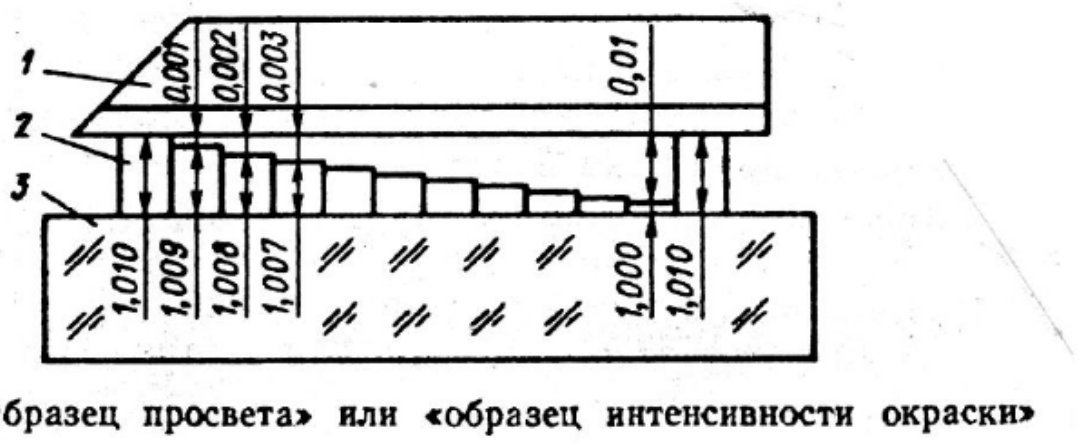


Рис. 14.17 – «Образец просвета» или «образец интенсивности окраски»

Образец просвета состоит из концевых мер длины ***2***, притертых к стеклянной пластине ***3*** и накрытой лекальной линейкой ***1***. Две крайние концевые меры имеют одинаковый размер – 1,010 мм. Между ними помещены концевые меры с убыванием на 1 мкм. При хорошей освещенности и определенном навыке контролера просвет 4 мкм можно оценить с погрешностью 1 мкм.

Линейки с широкой рабочей поверхностью выпускают трех классов точности: 0, 1 и 2. Линейки класса 0 применяют для проверки поверхностей 4-й степени точности, класса 1 – для 6-й и 7-й степени точности и класса 2 – для проверки поверхностей 7-й и 8-й степени точности.

Размеры ***l x b*** линеек различных типов имеют следующие значения:

для линеек типа ШП – 205х5…630х10 мм;

для линеек типа ШП – 400х50…3000х110 мм.

Линейки с широкой рабочей поверхностью применяются для проверки прямолинейности методом линейных отклонений и для проверки плоскостности узких поверхностей методом «на краску».

Угловые линейки типа УТ изготавливают длиной 400, 630 и 1000 мм с двумя шабренными рабочими поверхностями, образующими угол α, равный 45, 55, 60°.

По отклонениям граней от плоскостности эти линейки делят на классы точности 0, 1, 2. Угловые линейки используют для одновременного контроля плоскостности пересекающихся поверхностей 7-й и 8-й степени точности методом «на краску», например, при проверке направляющих станков типа «ласточкин хвост».

Начиная с 60-х годов прошлого века, с ростом выпуска прецизионного оборудования, координатно-измерительных машин, начался выпуск линеек типа ШП из гранита. Линейки выпускаются классами точности 00; 0; 1 с размерами 45×90×500, 50×140×750, 56×160×1600, 60×190×1250. Линейки служат для проверки поверхностей 1…4-й степени точности.

В России гранитные линейки типа ШП выпускает Ставропольский инструментальный завод.

Западные фирмы не придерживаются единого стандарта на габариты линеек.

Гранитные линейки обладают высокой износостойкостью и высокой степенью ремонтопригодности за счет использования специальных клеев.

14.9 Угольники лекальные и слесарные

Угольники поверочные 90° предназначены для проверки и разметки прямых углов изделий, для контроля изделий при сборке и монтаже и т.п.

Изготавливают угольники следующих типов: УЛ, УЛП, УЛШ, УЛЦ, УП и УШ.

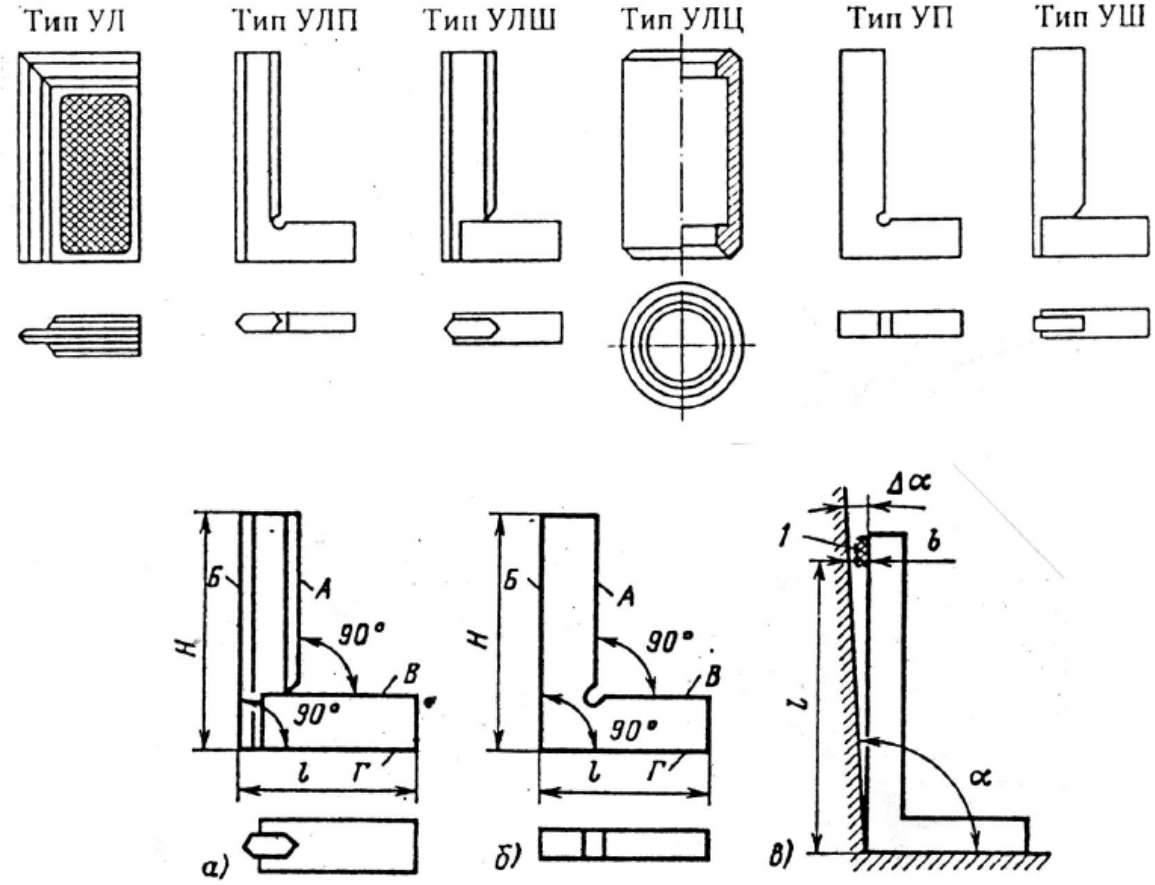


Рис. 14.18 – Поверочные и слесарные угольники

Угольники типов УЛ, УЛП, УЛШ предназначены для точных лекальных работ, имеют две острые рабочие грани, образующие прямолинейное лезвие, радиус закругления которого составляет 0,1…0,2 мм. Столь малый радиус оказывает существенное положительное влияние на точность определения просвета (при больших радиусах просвет виден хуже).

Угольник типа УЛЦ представляет отрезок вала с торцами, перпендикулярными образующей цилиндрической поверхности. Такие угольники используют при поверке других угольников, прецизионных

станков, координатно-измерительных машин, т.к. они позволяют получить точное значение угла 90°.

Угольники типов УП и УШ (рис. 18.18, *а* и *б*) применяют при слесарной обработке изделий и ремонте оборудования средней точности. Они имеют измерительные поверхности *А*, *Б* и опорные поверхности *В, Г*. Размеры поверхностей *L*×*H* измеряются в диапазоне от 60×40 до 1600×1000 мм. Угольники выпускаются трех классов точности: 0, 1 и 2.

При измерении опорная поверхность угольника плотно без зазора прижимается к поверхности изделия (рис. 14.18, *в*). По размеру зазора ***b*** между измерительной поверхностью и поверхностью изделия на расстоянии ***l*** определяют отклонение от прямого угла

$$\Delta\alpha = \mathrm{tg}\,\Delta\alpha = b / l.$$

Например, при b = 0,3 мм и l = 100 мм Δα =10’. Зазор определяют щупом ***1*** (или концевой мерой длины), или методом «на просвет», используя «образец просвета» (рис. 14.17).

При оценке просвета размером 4 мкм погрешность составит приблизительно 1 мкм, а в угловом выражении приблизительно 15".

Приложение 14.1

Средства контроля плоскостности и перпендикулярности из твердокаменных пород

1. Линейки поверочные из твердокаменных пород.

Линейки	Тип	Размер, мм	Допуск прямолинейности (плоскостности) рабочих поверхностей линейки, мкм		Изготовитель
			кл 0	кл 1	
Мостики	ШМТК	630 1000 1600 2000 2500	3,0 4,0 5,0 7,0 10,0	8,0 10,0 12,0 14,0 16,0	Ставропольский инструментальный завод
Прямоугольного сечения	ШПТК	400	2,0	5,0	
		45×90×500 50×140×750 56×160×1000 60×190×1250	1,0 1,0 1,0 2,0	2,0 2,0 2,0 4,0	Фирма JFA, Германия

2. Плиты поверочные по ГОСТ 10905-86

Размеры плит, мм	Классы точности		Сосредоточенная нагрузка, Н	Наибольший прогиб под воздействием сосредоточенной нагрузки, мкм	
	00	0		чугун	гранит
160×160	2	4	30	0,25	0,2
250×250	2,5	5	78	0,5	0,4
400×400	3	6	196	1,0	0,8
630×400	4	8	490	2,0	0,8
1000×630	5	10	980	10,0	3,5
1600×1000	6	12	2450	10,0	8,0
2000×1000	8	16	2450	10,0	8,0
2500×1600	8	16	4900	20,0	16,0

Примечание:

1. Плиты Ставропольского инструментального завода изготавливаются из серого гранита.

2. Фирмы JFA, ATORN (Германия), DURA (Италия) изготавливают плиты, линейки, угольники из черного гранита.

Износостойкость, прогиб от сосредоточенной нагрузки черного гранита ориентировочно на 15…20% выше серого гранита.

3. Размеры плит изготовления западного производства отличаются от плит по ГОСТ 10905-86.

3. Угольники поверочные по ТУ 2-034-804-82

Угольник	Тип	Размер	Отклонения, мм					
			от перпендикулярности			от прямолинейности измерительных поверхностей		
			кл 00	кл 0	кл 1	кл 00	кл 0	кл 1
Брусковый	УБТК	400×125	2,5	5,0	11,0	1,0	2,0	4,0
		630×160	4,0	7,0	14,0	1,5	3,0	6,0
		1000×320	6,0	10,0	20,0	2,0	4,0	8,0
С широким основанием	УШТК	250×160	-	3,0	8,0	-	1,2	3,0
		400×250	2,5	5,0	11,0	1,0	2,0	4,0
		630×400	4,0	7,0	14,0	1,5	3,0	6,0
		1000×630	6,0	10,0	20,0	2,0	4,0	8,0

Средства контроля плоскостности и перпендикулярности из твердокаменных пород фирмы JFA, Германия



Рис. 1 – Линейки поверочные

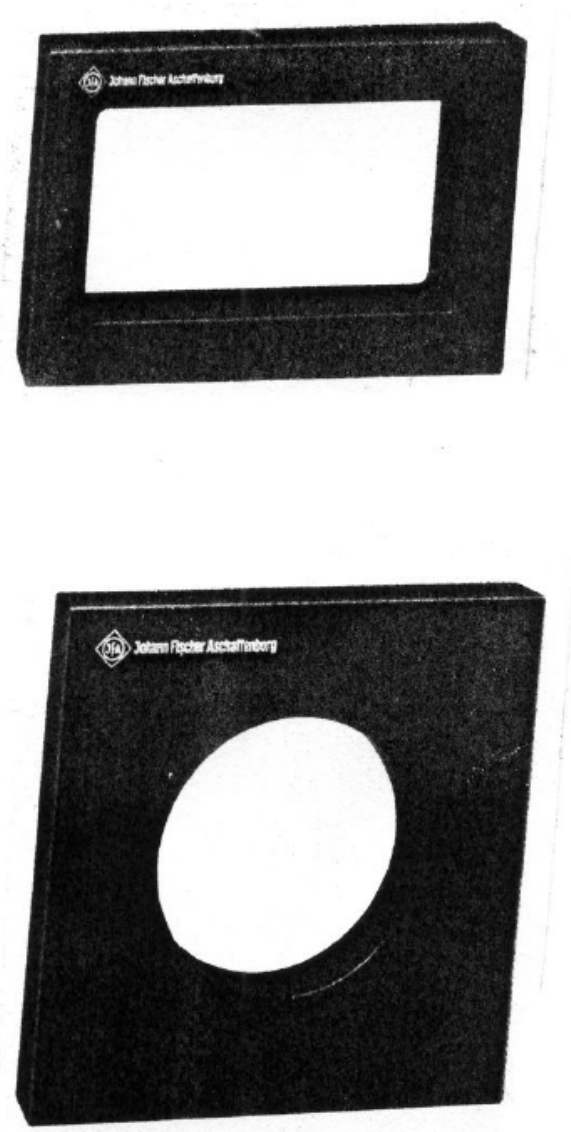


Рис. 2 – Угольники рамные

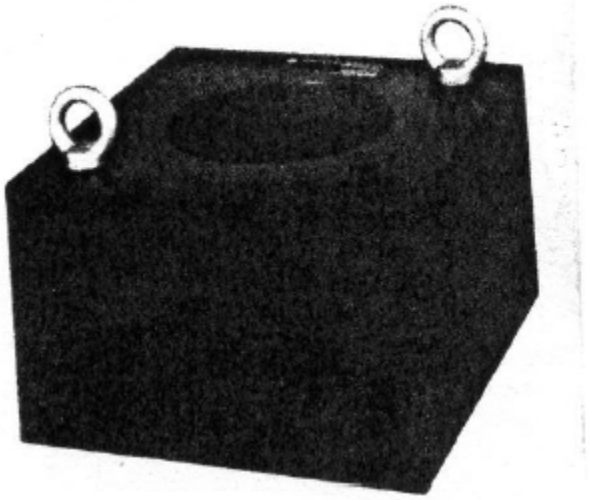


Рис. 3 – Куб поверочный

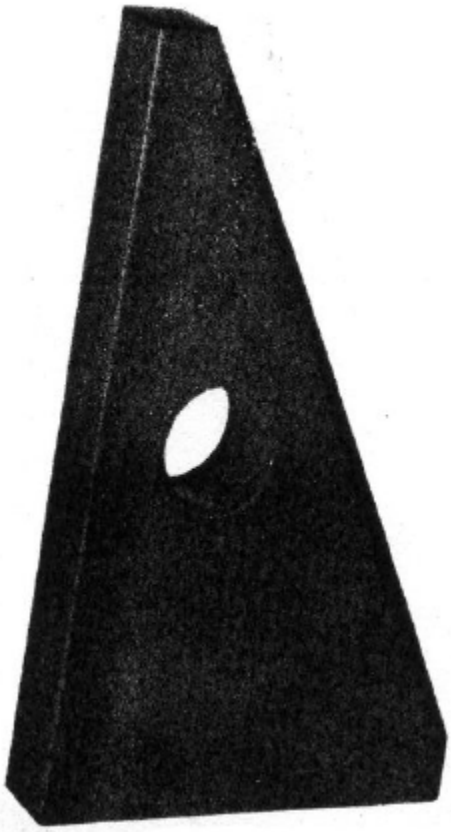


Рис. 4 – Угольник прямоугольный поверочный

Контрольные вопросы

1. На какие группы и подгруппы делятся калибры?
2. Какие виды калибров для контроля длины, глубины и высоты уступов?
3. Какие калибры применяются для контроля шлицевых соединений?
4. Какие калибры называются нормальными?
5. Шаблоны, щупы.
6. Какие типы лекальных и поверочных линеек?
7. Какие типы угольников для контроля отклонений углов?

Глава 15 Калибры гладкие

15.1 Виды калибров гладких

Калибрами называются меры, имеющие форму поверхности, противоположную (обратную) контролируемому объекту и предназначенные для проверки соответствия размеров изделий установленным допускам.

Их классификация выглядит следующим образом:

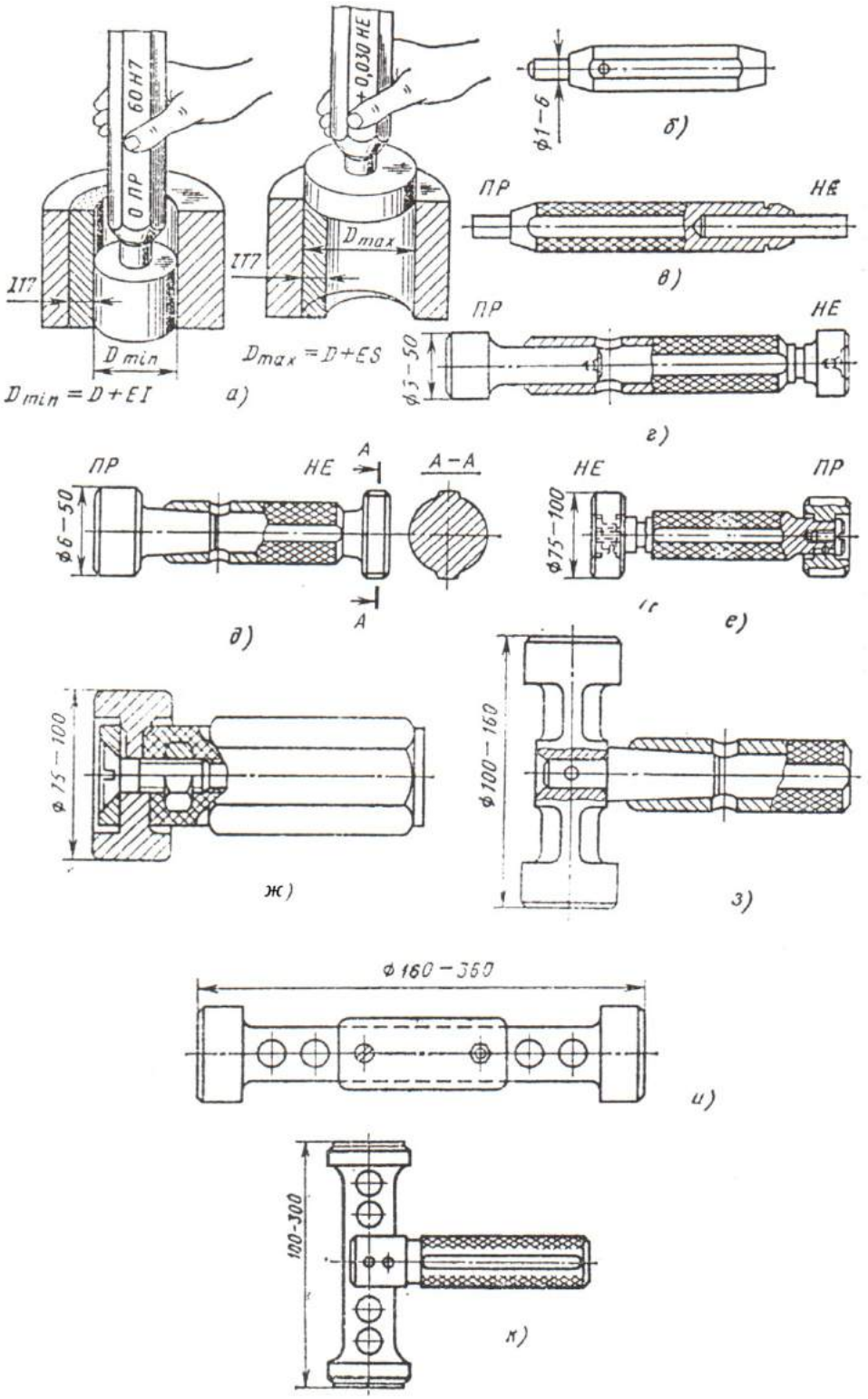
Контролируемый параметр	Для гладких цилиндрических изделий (диаметр, форма отверстий и валов)
Число одновременно контролируемых параметров	Элементные, комплексные
Условия оценки годности	Комплексные
Технологическое назначение	Рабочие, контрольные

Предельные калибры

Предельными калибрами называют калибры, размеры которых соответствуют предельным размерам контролируемых объектов. Принцип использования предельных калибров заключается в том, что их размеры соответствуют или наибольшему или наименьшему допускаемому размеру детали. Поскольку размеры детали имеют два предельно контролируемых значения (наибольшее и наименьшее), то предельные калибры используются обычно в паре. Один из них называют **проходным,** другой – **непроходным,** предельный размер, соответствующий максимуму снимаемого материала проверяемого объекта.

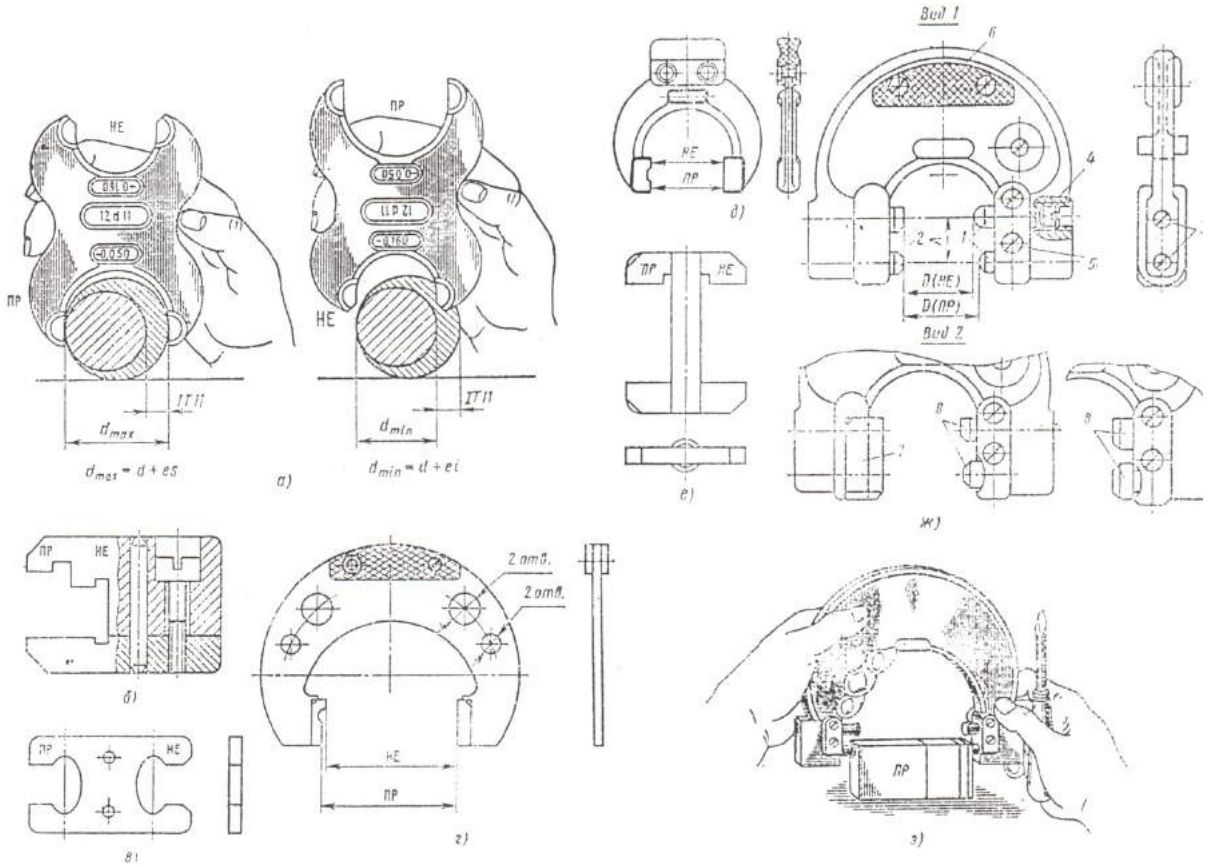
Проходным (ПР) называется калибр, контролирующий предельный размер, соответствующий максимуму материала проверяемого объекта. Это значит, что проходной калибр при контроле вала должен контролировать наибольший (предельный) допускаемый размер (в этом случае на годной детали будет максимальное количество материала). При контроле отверстий проходной калибр контролирует наименьший (предельный) допускаемый размер (в этом случае на годной детали будет также максимальное количество материала). При контроле этот калибр должен «проходить» через контролируемый элемент детали. Проходной калибр всегда ограничивает размер детали у границы исправимого брака (вал больший и отверстие меньше, чем допускаемые и можно исправить дополнительной обработкой).

Непроходной (НЕ) называется калибр, контролирующий предельный размер соответствующий минимуму материла. Непроходной калибр проверяет наименьший размер вала и наибольший размер отверстия, т. е. он ограничивает границы неисправимого брака.



б – односторонний со вставкой; *в-д* – двухсторонний со вставками ПР и НЕ; *е* – двухсторонний с насадками ПР и НЕ; *ж* – односторонний с насадкой; *з* – односторонний неполный штампованный; *и* – неполный с насадками; *к* – неполный ПР или НЕ.

Рис. 18.1 – Контроль отверстия (а) гладкими калибрами-пробками и их конструкции



б – составной; *в* – листовой; *г* – листовой односторонний; *д* – штампованный односторонний с теплоизолирующей накладкой; *е* – трубчатый двухсторонний ПР и НЕ; *ж* и *з* – регулируемый вид *1* и *2*.

Рис. 18.2 – Контроль вала (а) калибрами-скобами и их конструкции

Калибры гладкие применяются для контроля деталей, изготавливаемых по 6-16 квалитетам, и являются наиболее эффективными средствами контроля для серийного и массового производств.

Калибры гладкие для цилиндрических отверстий и валов изготавливаются по ГОСТ 24851-81, допуски на калибры гладкие до 500 мм по ГОСТ 24853-81.

Гладкие калибры для контроля валов ГОСТ 24851-81 предусматривают в виде колец и скоб. Но на практике калибр-кольца не получали широкого распространения. Калибр-скобы позволяют контролировать сложные детали без снятия со станка.

Для валов 6-8 квалитетов точности до 180 мм калибр-скобы нерегулируемые, т. е. постоянных номинальных размеров, которые не могут быть восстановлены в процессе эксплуатации калибра для компенсации его износа. Калибр-скобы для контроля валов диаметрами до 320 мм изготавливают регулируемыми (рис. 18.2 *ж*) видов *1* и *2*.

В особенности для контроля режущего инструмента выпускают калибр-скобы для валов 3-180 мм 6-12 квалитетов с пластинами из твердого сплава. Эти калибр-скобы отличаются высокой износостойкостью и большим сроком службы.

Регулируемые калибр-скобы вида *1* имеют две подвижные вставки *1* со сферическими поверхностями и две неподвижные пятки *2* с плоскими измерительными поверхностями. Калибр-скобы вида *2* имеют две подвижные вставки *8* и одну неподвижную губку-пятку *7* с плоской измерительной поверхностью. Скобу можно переналадить на другой размер или восстановить размер по мере износа вставок.

Неподвижные пятки *2* и подвижная губка-пятка *7* закреплены в корпусе скобы винтами *3*, а подвижные вставки *1* – винтами *5*. Для уменьшения температурного влияния скобы имеют накладку 6 из пластмассы.

Конструкция калибров основана на том, что проходной калибр должен быть прототипом сопрягаемой детали и определять собираемость, а непроходной – проверять каждый элемент в отдельности.

Такой принцип называется принципом Тейлора.

На практике проходной калибр короче детали или представляет собой неполный цилиндр. В первом случае не контролируется изогнутость оси, во втором случае не контролируется погрешность формы.

По технологическому назначению гладкие калибры делятся на **рабочие** и **контрольные.**

Контрольные калибры предназначены для контроля калибр-колец, которые предназначены только для контроля калибров при изготовлении (контр-калибры К-ПР и К-НЕ), а также для определения степени износа калибр-колец (контр-калибр К-И). Но на практике используются редко.

Помимо рабочих и контрольных калибров, в серийном и массовом производствах применяются **приемные калибры**. В национальных стандартах и стандартах ИСО обычно нормы точности на эти калибры не устанавливаются, а устанавливаются стандартами предприятий.

Приемный калибр – это калибр, применяемый для контроля объектов Заказчика при приемке.

Они делятся на калибры контролера, применяемый для контроля объектов работниками ОТК завода-изготовителя. На практике Заказчик и контролер ОТК пользуются одинаковыми калибрами.

На рис. 18.3 показана схема, поясняющая необходимость использования контролерами и Заказчиками изношенных рабочих калибров.

18.2 Правила пользования и маркирование калибров

При контроле отверстий и валов калибрами ПР рабочему следует пользоваться новыми калибрами, а контролеру и представителю Заказчика - частично изношенными калибрами. При контроле размера отверстия или вала калибр-пробкой НЕ с размером, близким к наименьшему предельному размеру калибра, или калибр-скобой НЕ с размером, близким к его наибольшему предельному размеру. Контролеру и представителю Заказчика следует пользоваться калибр-пробкой НЕ с размером, близким к его наибольшему предельному размеру, а калибр-скобой НЕ с размером, близким к его наименьшему предельному размеру калибр-скобы. На

практике изношенные рабочие калибры переводят в калибры ОТК и Заказчика.

ГОСТ 24851-81 не предусматривает маркировку рабочих и приемных калибров, кроме ПР и НЕ. Но стандарты предприятий предусматривают маркировку.

По мере износа рабочие калибры переводят в приемные ОТК и Заказчика. Калибры перемаркируются. В случае невозможного удаления маркировки, на ручке или нерабочей части скобы, маркировка наносится краской.

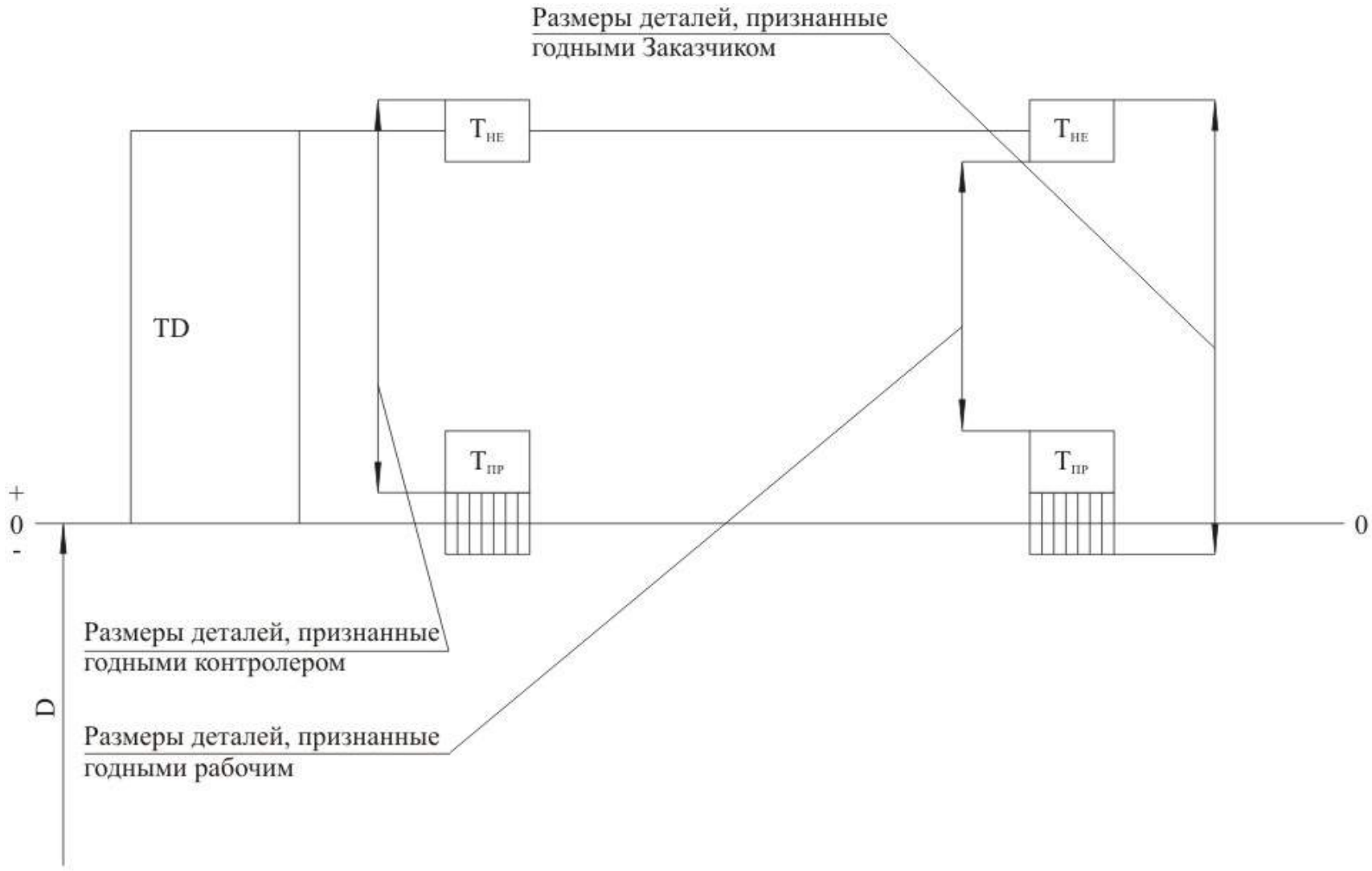


Рис. 18.3 – Схема, поясняющая необходимость использования контролерами и Заказчиком изношенных рабочих калибров

18.3 Допуски калибров

ГОСТ 24853-81 предусматривает допуски гладких калибров до 500 мм, в том числе допуски на контр-калибры для изготовления и определения износа гладких калибр-колец.

Все калибры разбиты на две группы: до 180 мм и 180-500 мм. Рассмотрим допуски на гладкие калибры до 180 мм, наиболее часто используемые в производстве. Из-за малочисленного применения гладких калибр-колец не будем их рассматривать, а также схемы допусков на контр-калибры.

Допуски на гладкие калибр-пробки и калибр-скобы разбиты на 2 группы:

- для квалитетов 6, 7 и 8;
- для квалитетов от 9 до 17.

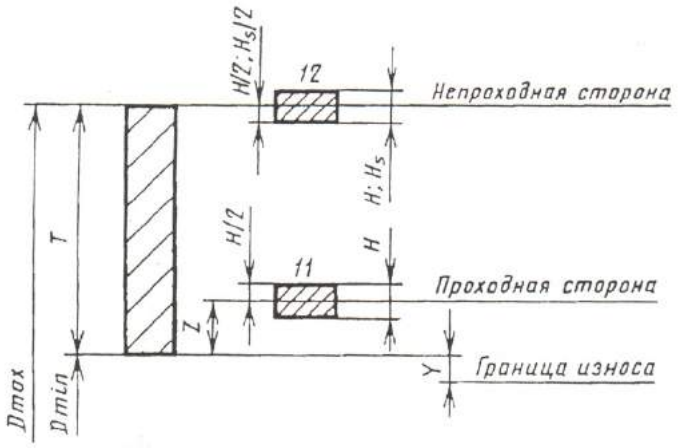


Рис. 18.4 – Поля допусков и отклонений калибр-пробок для отверстий квалитетов 6, 7 и 8

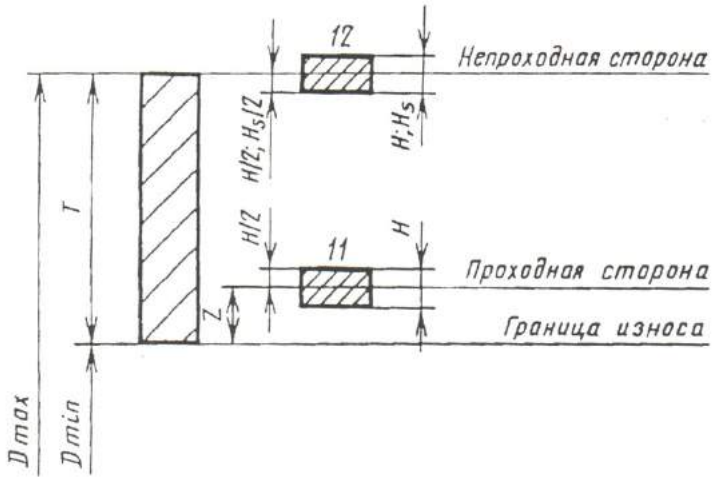


Рис. 18.5 – Поля допусков и отклонений калибр-пробок для отверстий 9-17 квалитетов

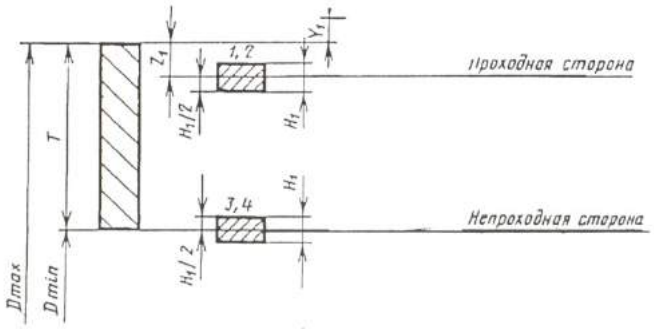


Рис. 18.6 – Поля допусков и отклонений калибр-скоб для валов 6, 7 и 8 квалитетов

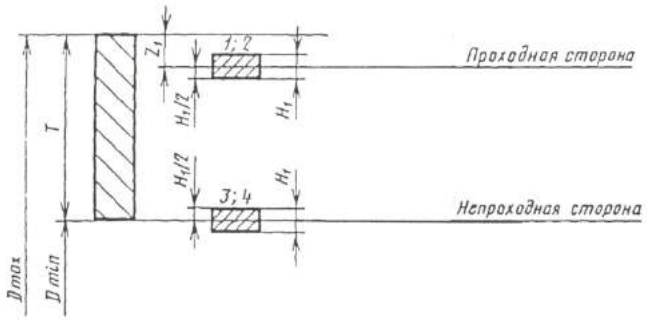


Рис. 18.7 – Поля допусков и отклонений калибр-скоб для валов 9-17 квалитетов

Примечание: номера калибров 1, 2, 3, 4, 11, 12 по стандарту ИСО/Р 1938.

18.4 Формулы и допуски калибров до 180 мм

Проходная сторона для отверстия – $D_{min} + 2 \pm \frac{H}{2}$

Проходная сторона изношенная – $D_{min} - Y$

Непроходная сторона для отверстия – $D_{max} + 2 \pm \frac{H}{2}$ или $\pm \frac{H_3}{2}$

Проходная сторона для вала – $D_{max} - Z_1 \pm \frac{H_1}{2}$

Проходная сторона для вала изношенная – $D_{max} + Y_1$

Непроходная сторона для вала – $D_{max} \pm \frac{H_1}{2}$

где:
D – номинальный размер изделия;
$D_{\max}$ – наибольший предельный размер изделия;
$D_{\min}$ – наименьший предельный размер изделия;
T – допуск изделия;

H – допуск на изготовления калибров для отверстия;

H_1 – допуск на изготовление калибров для вала;

Z – отклонение середины поля допуска на изготовление проходного калибра для отверстия относительно наименьшего предельного размера изделия;

Z_1 – отклонение середины поля допуска на изготовление проходного калибра для вала относительно наибольшего предельного размера изделия;

Y – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для отверстия за границу поля допуска изделия;

Y_1 – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для вала за границу допуска изделия

Таблица 18.1

Допуски и отклонения калибров

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм								
		До 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св.18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
		Размеры и допуски, мкм								
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4
	Y	1	1	1	1,5	2	2	3	3	3
	Z_1	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6
	H	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5
	H_1	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
7	Z; Z_1	1.5	2	2	2.5	3	3.5	4	5	6
	Y; Y_1	1.5	1.5	1.5	2	3	3	3	4	4
	H; H_1	2	2.5	2.5	3	4	4	5	6	8
8	Z; Z_1	2	3	3	4	5	6	7	8	9
	Y; Y_1	3	3	3	4	4	5	5	6	6
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12
9	Z; Z_1	5	6	7	8	9	11	13	15	18
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12
10	Z; Z_1	5	6	7	8	9	11	13	15	18
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12
11	Z; Z_1	10	12	14	16	19	22	25	28	32
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H; H_1	4	5	6	8	9	11	13	15	18

Продолжение таблицы 18.1

12	Z; Z_1	10	12	14	16	19	22	25	28	32
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H; H_1	4	5	6	8	9	11	13	15	18
13	Z; Z_1	20	24	28	32	36	42	48	54	60
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H; H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40
14	Z; Z_1	20	24	28	32	36	42	48	54	60
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H; H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40
15	Z; Z_1	40	48	56	64	72	80	90	100	110
	Y; Y_1	0								
	H; H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40
16 17	Z; Z_1	40	48	56	64	72	80	90	100	110
	Y; Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H; H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40

Примечание:

с целью ограничения числа проходных калибров-пробок размерами до 180 мм с основным отклонением диаметра контролируемого отверстия *H* рекомендуется изготовлять их для отверстий:

9 и 10 квалитета – по 9 квалитету;

11 и 12 квалитета – по 11 квалитету;

13 и 14 квалитета – по 13 квалитету;

15, 16 и 17 квалитета - по 15 квалитету.

Расчет исполнительных размеров калибров

Калибр-пробка Ø 100H7

Проходной калибр-пробка: ПР = (D_{min} + z) ± H/2

ПР = 100,0 + 0,005 = 100,005 = 100,005 мм ПР = (100,005±0,02)мм

Проходной изношенный: $ПР_{ИЗН} = D_{min} – Y$;

$ПР_{ИЗН}$ = 100 - 0,004 = 99,996 мм

Непроходной калибр-пробка: НЕ = D_{max} ± H_S/2; НЕ = (100,035±0,002) мм

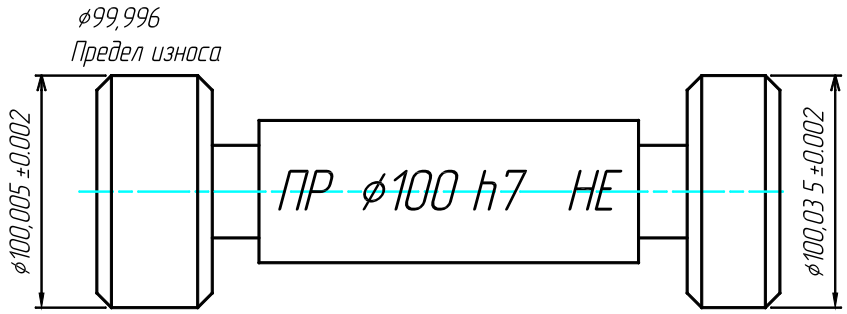


Рис. 18.8 – Калибр-скоба на размер Ø 100 H7

Калибр-скоба Ø 100 m6

$ПР_{max} = D_{max} – z_1 ± H_1/2 = 100,035 – 0,0025 + 0,002 = 100,0345$ мм

$ПР_{min} = D_{max} – z_1 = 100.035 – 0.005 = 100.03$ мм

Исполнительный размер ПР = (100,032 ± 0,0025) мм

$ПР_{ИЗН} = D_{max} + y_1 = 100,035 + 0,004 = 100,039$ мм

$НЕ_{max} = D_{min} + H_1/2 = 100,013 + 0,002 = 100,015$ мм

$НЕ_{min} = D_{min} – H_1/2 = 100,013 – 0,002 = 100,011$ мм

Исполнительный размер $НЕ = D_{min} ± H_1/2 = (100,013 ± 0,002)$ мм

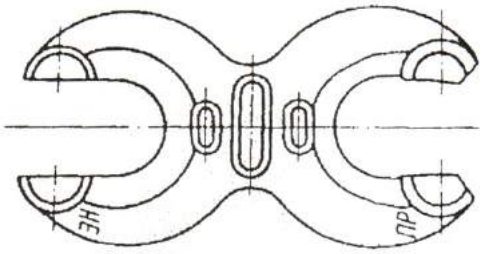


Рис. 18.9 – Скоба штампованная двусторонняя от 3 до 100 мм

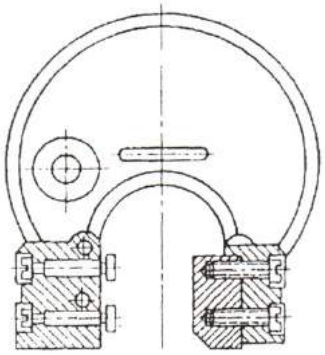


Рис. 18.10 – Скоба регулируемая от 1 до 340 мм

Пример 2. Определить исполнительные размеры калибров для контроля отверстия диаметром 25H7 ($^{+0,21}$) и контроля вала диаметром 25k6 $\binom{+0,015}{+0,002}$ мм.

Из табл. 18.2 для калибров выписывают: H = 4 мкм; Z = 3 мкм; H_1 = 4 мкм; Z_1 = 3 мкм.

Исполнительные размеры калибров подсчитывают по формулам:

Для калибров-пробок 25H7:

$ПР_{max} = D_{min} + Z + H/2 = D + EI + Z + H/2 = 25 + 0 + 0,003 + 0,002 = 25,005$ мм.

На эскизе (рис. 5.2.1.11) проставляют размер $ПР_{max} = 25,005_{-0,004}$;

$НЕ_{max} = D_{max} + H/2 = D + ES + H/2 = 25 + 0,021 + 0,002 = 25,023$ мм.

На чертеже проставляют размер $НЕ_{max} = 25,023_{-0,004}$.

Для калибров-скоб 25k6:

$ПР_{min} = D_{max} – z_1 – H_1/2 = d + es – H_1/2 = 25 + 0,015 – 0,003 – 0,002 = 25,010$ мм

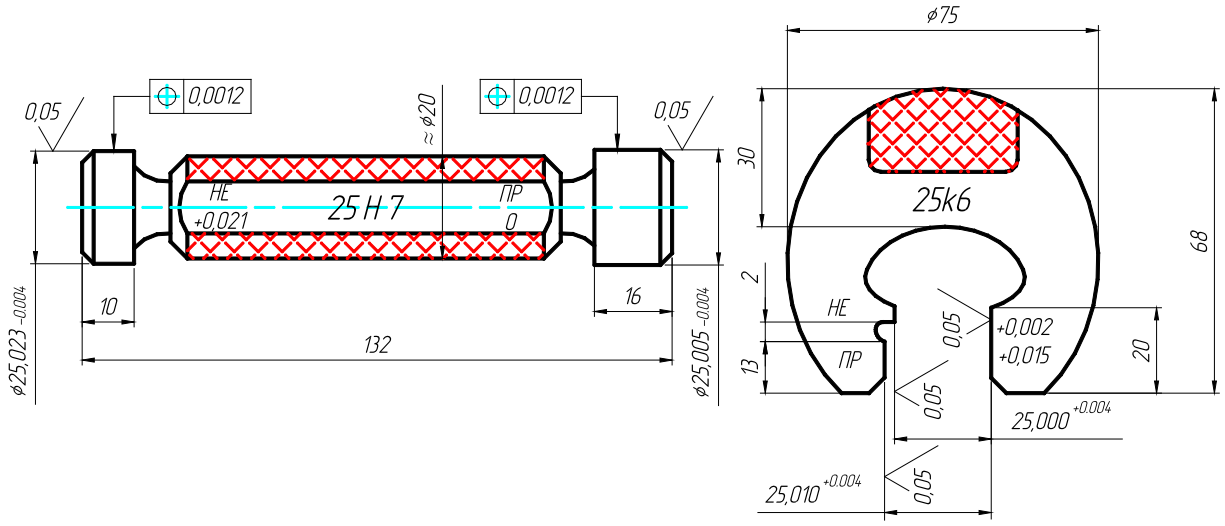


Рис. 18.11– Калибр-пробка 25H7 (а) и калибр-скоба 25k6 (б)

На эскизе (рис. 18.11) указывают размер $ПР_{min} = 25{,}010^{+0{,}004}$:

$НЕ_{min} = d_{min} – H_1/2 = d + ei – H_1/2 = 25 + 0{,}002 – 0{,}002 = 25{,}000$ мм.

На эскизе (или чертеже) проставляют размер $НЕ_{min} = 25{,}000^{+0{,}004}$.

Если регулируемые калибры-скобы применяют совместно с предельными (жесткими) калибрами, то их настраивают по исполнительным размерам с помощью КМД 2-го или 3-го классов точности по следующей методике. Исполнительные размеры калибра-скобы рассчитывают по табл. 18.2. Например, для калибра-скобы 100h10 ($_{-0{,}14}$) исполнительные размеры $ПР_{min}$ = 99,98 мм, а для $НЕ_{min}$ = 99,855 мм. В зависимости от имеющегося набора КМД рассчитывают и подбирают концевые меры длины, а затем составляют блоки КМД. В рассматриваемом примере при наборе № 2 КМД блок КМД для настройки проходной стороны регулируемого калибра-скобы содержит четыре меры (90 + 7 + 1,9 + 1,08 мм), а блок КМД для непроходной стороны – пять мер (90 + 6 + 1,8 + 1,05 + 1,005 мм). Отверткой ослабляют стопорные винты *5* (рис. 18.2 *ж*) с тем, чтобы подвижные вставки могли свободно перемещаться вдоль своих осей. Между вставками проходной стороны регулируемого калибра-скобы устанавливают составленный блок КМД (рис. 18.2 *з*) и, вращая отверткой винт *4*, добиваются нормальной силы измерения. После настройки стороны ПР закрепляют стопорный винт *5*.

Аналогично по второму блоку КМД настраивают на размер непроходную НЕ сторону регулируемого калибра-скобы.

Регулируемые калибры-скобы могут быть настроены и на другие размеры, например на предельные размеры контролируемого вала. В этом случае использование производственного допуска достигает 100 %, но быстрый износ измерительных поверхностей вставок потребует частых настроек на размер.

Приложение 18.1

ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ КАЛИБРОВ.

Исполнительные размеры калибров должны определяться по формулам, указанным в таб. 18.2.

Таблица 18.2.

Калибр		Номинальный размер изделия, мм							
		до 180				св.180 до 500			
		Рабочий калибр		Контрольный калибр		Рабочий калибр		Контрольный калибр	
		Размер	Допуск	Размер	Допуск	Размер	Допуск	Размер	Допуск
для отверстия	Проходная сторона новая	D_{min} + Z	±H/2	-	-	D_{min}+Z	±H/2 или ±H_S/2	-	-
	Проходная сторона изношенная	D_{min}-Y	-	-	-	D_{min}-Y+a	-	-	-
	Непроходная сторона	D_{max}	±H/2 или H_S/2	-	-	D_{max} - a	±H/2 или H_s/2	-	-
для вала	Проходная сторона новая	D_{max} - Z_1	±H_1/2	D_{max} - Z_1	±H_P/2	D_{max} - Z_1	±H_1/2	U_{max} - Z_1	±H_P/2
	Проходная сторона изношенная	D_{max}+Y_1	-	D_{max}+Y_1	±H_p/2	D_{max}+Y_1 - a_1	-	D_{max}+Y_1 - a_1	±H_P/2
	Непроходная сторона	D_{min}	±H_1/2	D_{min}	±H_P/2	D_{min}+a_1	±H_1/2	D_{min}+a_1	±H_P/2

Примечание. При подсчете исполнительных размеров калибров (наибольших для отверстий и наименьших для валов) необходимо пользоваться следующими правилами округления:

Округление размеров рабочих калибров (наибольших для отверстия и наименьших для валов) для изделий квалитетов 15-17 следует производить до целого микрометра;

Для изделий квалитетов 6-14 и всех контрольных калибров размеры следует округлять до величин, кратных 0,5 мкм. при этом допуск на калибры сохраняется;

Размеры, оканчивающиеся на 0,25 и 0,75 мкм следует округлять до величин, кратных 0,5 мкм, в сторону уменьшения производственного допуска изделия.

ГОСТ 24853-81

ДОПУСКИ И ОТКЛОНЕНИЯ КАЛИБРОВ.

Таблица 18.3

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм												
		до3	св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св.18 до 30	св.30 до 50	св.50 до 80	св.80 до 120	св.120 до 180	св.180 до 250	св.250 до 315	св.315 до 400	св.400 до 500
		Размеры и допуски, мкм												
6	Z	1	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	3	4	5	6	7	8
	Y	1	1	1	1.5	1.5	2	2	3	3	4	5	6	7
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	5
	Z_1	1.5	2	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	10	11
	Y_1	1.5	1.5	1.5	2	3	3	3	4	4	5	6	6	7
	H,H_1	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	4	5	7	8	9	10
	H_1	2	2.5	2.5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_p	0.8	1	1	1.2	1.5	1.5	2	2.5	3.5	4.5	6	7	8
7	z,z_1	1.5	2	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	10	11
	Y,Y_1	1.5	1.5	1.5	2	3	3	3	4	4	6	7	8	9
	a, a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	6	7
	H,H_1	2	2.5	2.5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_S	-	-	1.5	2	2.5	2.5	3	4	5	7	8	9	10
	H_P	0.8	1	1	1.2	1.5	1.5	2	2.5	3.5	4.5	6	7	8
8	Z,Z_1	2	3	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	18
	Y,Y_1	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	9	9	11
	a, a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	9
	H	2	2.5	2.5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H_S,H_P	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	4	5	7	8	9	10
9	Z,Z_1	5	6	7	8	9	11	13	15	18	21	24	28	32
	Y,Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	9
	H	2	2.5	2.5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H_S,H_P	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	4	5	7	8	9	10
10	Z,Z_1	5	6	7	8	9	11	13	15	18	24	27	32	37
	Y,Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	11	14
	H	2	2.5	2.5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H_S,H_P	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	4	5	7	8	9	10
11	Z,Z_1	10	12	14	16	19	22	25	32	32	40	45	50	55
	Y,Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	15	15	20
	H	4	5	6	8	9	11	13	18	18	20	23	25	27
	H_S	-	-	4	5	6	7	8	12	12	14	16	18	20
	H_P	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	5	5	7	8	9	10
12	Z,Z_1	10	12	14	16	19	22	25	32	32	45	50	65	70
	Y,Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	20	30	35
	H, H_1	4	5	6	8	9	11	13	18	18	20	23	25	27
	H_S	-	-	04	5	6	7	8	12	12	14	16	18	20
	H_P	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	5	5	7	8	9	10

Квалитеты допусков изделий	Обозначение размеров и допусков	Интервалы размеров, мм													Допуск на форму калибра
		до 3	св.3 до 6	св.6 до 10	св.10 до 18	св18 до 30	св.30 до 50	св.50 до 80	св.80 до120	св.120 до180	св.180 до250	св.250 до315	св.315 до 400	св.400 до 500	
		Размеры и допуски, мкм													
13	$Z.Z_1$	20	24	28	32	36	42	48	54	60	80	90	100	110	
	$Y.Y_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	35	45	55	IT5
	H, H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	IT5
	H_S	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	
	H_P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	IT2
14**	$Z.Z_1$	20	24	28	32	36	42	48	54	60	100	110	125	145	
	Y,Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	55	70	90	
	H, H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	IT5
	H_S	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	IT5
	H_P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	IT2
15"	$Z.Z_1$	40	48	56	64	72	80	90	100	110	170	190	210	240	
	Y,Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	90	110	140	
	H, H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	IT5
	H_S	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	IT5
	H_P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	IT2
16** 17	$Z.Z_1$	40	48	56	64	72	80	90	100	110	210	240	280	320	
	Y,Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a,a_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	140	180	220	
	H, H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	IT5
	H_S	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	IT5
	H_P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	IT2

*Для размеров св.6 мм

** Для размеров св.1 мм.

Примечания:

1. Числовые значения стандартных допусков – ГОСТ 25347.
2. Исполнительные размеры рабочих калибров – по ГОСТ 21401.
3. С целью ограничения числа проходных калибров-пробок размерами до 180 мм с основным отклонением диаметра контролируемого отверстия Н рекомендуется изготовлять их для отверстий:

9 и 10 квалитета – по 9 квалитету;

11 и 12 квалитета – по 11 квалитету;

13 и 14 квалитета – по 13 квалитету;

15, 15 и 17 квалитета – по 15 квалитету;

с основным отклонением D для отверстий;

9 и 10 квалитета – по 9 квалитету;

с основным отклонением В для отверстий;

11 и 12 квалитета – по 11 квалитету.

Контрольные вопросы

1. Какие виды гладких калибров?
2. Объясните назначение рабочих калибров, калибров ОТК и Заказчика на схемах допусков.
3. Построение полей допусков гладких калибров в зависимости от квалитетов точности.

4. Как рассчитать поле допуска калибра гладкого?
5. Как рассчитать поле допуска калибр-скобы?

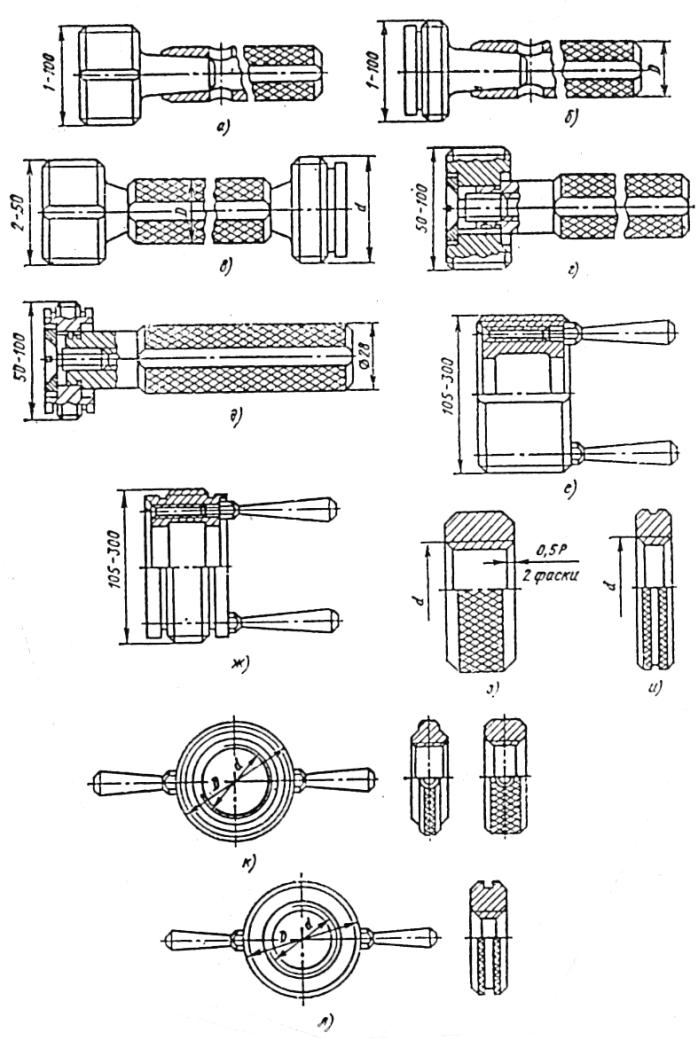
Глава 16 Калибры для метрической резьбы

16.1 Виды калибров для метрической резьбы

Наибольшую применяемость в производстве имеет резьбовые калибры.

Резьбовые калибры относятся к комплексным средствам допускового контроля.

Типы резьбовых калибров.



а – калибр-пробка проходная односторонняя; *б* – калибр-пробка непроходная односторонняя; *в* – калибр-пробка двухсторонняя (ПР и НЕ); *г* – калибр-пробка проходная с насадкой; *д* – калибр-пробка непроходная с насадкой; *е* – калибр-пробка проходная с ручками; *ж* – калибр-пробка непроходная с ручками; *з* – калибр-кольцо проходное; *и* – калибр-кольцо непроходное; *к* – калибр-кольцо проходное с ручками; *л* – калибр-кольцо непроходное с ручками.

Рис. 16.1 – Типы резьбовых калибров

Резьбовые калибр-пробки для метрической резьбы выпускаются нескольких типов: двухсторонние калибры с вставками, проходные и непроходные, односторонние до 100 мм (рис. 16.1 *а, б*), двухсторонние до 5 мм (рис. 16.1 *в*), однопредельные с насадкой от 50 до 100 мм (рис. 16.1 *г, д*), калибры с ручками от 105 до 300 мм (рис. 16.1 *е, ж*), жесткие калибр-кольцо

от 1 до 300 мм(рис. 16.1 *з, и, к, л*). Непроходные кольца имеют проточку. В кольцо диаметром 105-300 мм ввинчиваются ручки, облегчающие работу контролёра.

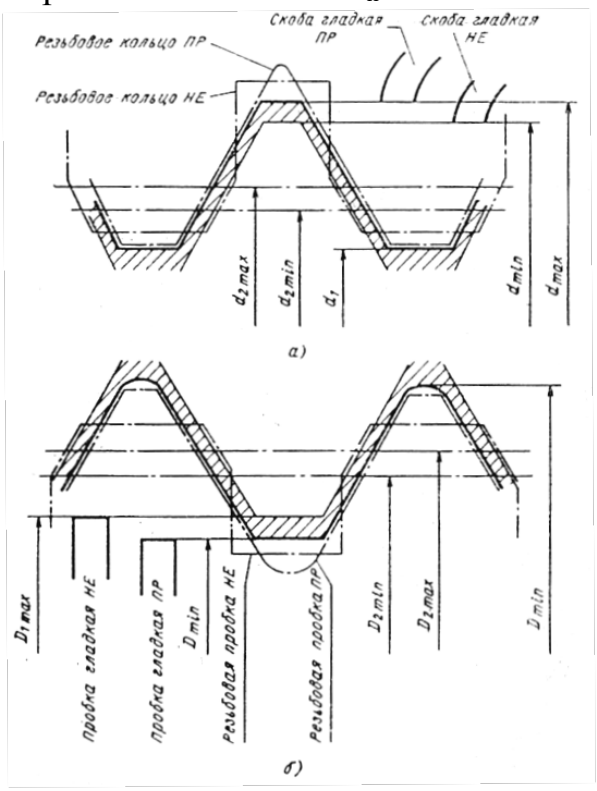
Регулируемые калибр-кольцо описаны в разделе 2.4 (рис. 2.9 *б*).

Для контроля отдельных участков наружной резьбы применяют скобы, не требующие длительной операции свинчивания.

Калибры резьбовые изготавливаются по ГОСТ 2016-86 и 24939-81.

16.2 Назначение и характеристика калибров для метрических резьб по ГОСТ 18107-72.

Принципиальная схема проверки резьбы калибрами показана на рис. 16.2. Для контроля наружного диаметра болта d и внутреннего диаметра гайки D, применяют гладкие предельные калибры: скобы для болтов и пробки для гаек. Средние диаметры болта d_2 и гайки D_2, а также внутренний диаметр болта d_1 и наружный диаметр гайки D проверяют одновремённо с проверкой погрешности половины угла профиля $\Delta\alpha/2$ и накопленной на длине свинчивания погрешностью шага ΔP_n.



а – болта; *б* – гайки.

Рис. 16.2 – Схема проверки резьбы калибрами

Проходными резьбовыми калибрами при полном свинчивании их с деталями устанавливают, что погрешности $\Delta\alpha/2$ и ΔP_n скомпенсированы погрешностью среднего диаметра, а также то, что для болта размер d_1 не более установленного предельного размера, а для гайки 'размер D не менее установленного предельного размера. Проходными калибрами, таким образом, проверяют резьбу комплексно.

Непроходными калибрами проверяют средние диаметры болта и гайки и устанавливают, что размер d_z не меньше, а размер D_z не больше установленных предельных размеров.

Проходные резьбовые калибры в соответствии с принципом Тейлора (принципом подобия) имеют полный профиль и длину, примерно равную длине свинчивания резьбы, а непроходные калибры имеют укороченный профиль.

Полный профиль – профиль резьбы калибров, боковые стороны которого соответствуют боковым сторонам проверяемой резьбы (рис. 16.3 и 16.4). Форма и размеры канавок b_1 и b_2 приведены в табл. 3.

Укороченный профиль – профиль резьбы калибров, боковые стороны которого меньше боковых сторон проверяемой резьбы (рис. 16.5).

Укороченный профиль получают у. пробок путем уменьшения наружного диаметра и прорезания канавки у впадин по внутреннему диаметру резьбы, у колец и скоб – путем увеличения внутреннего диаметра и прорезания канавки у впадин по наружному диаметру резьбы.

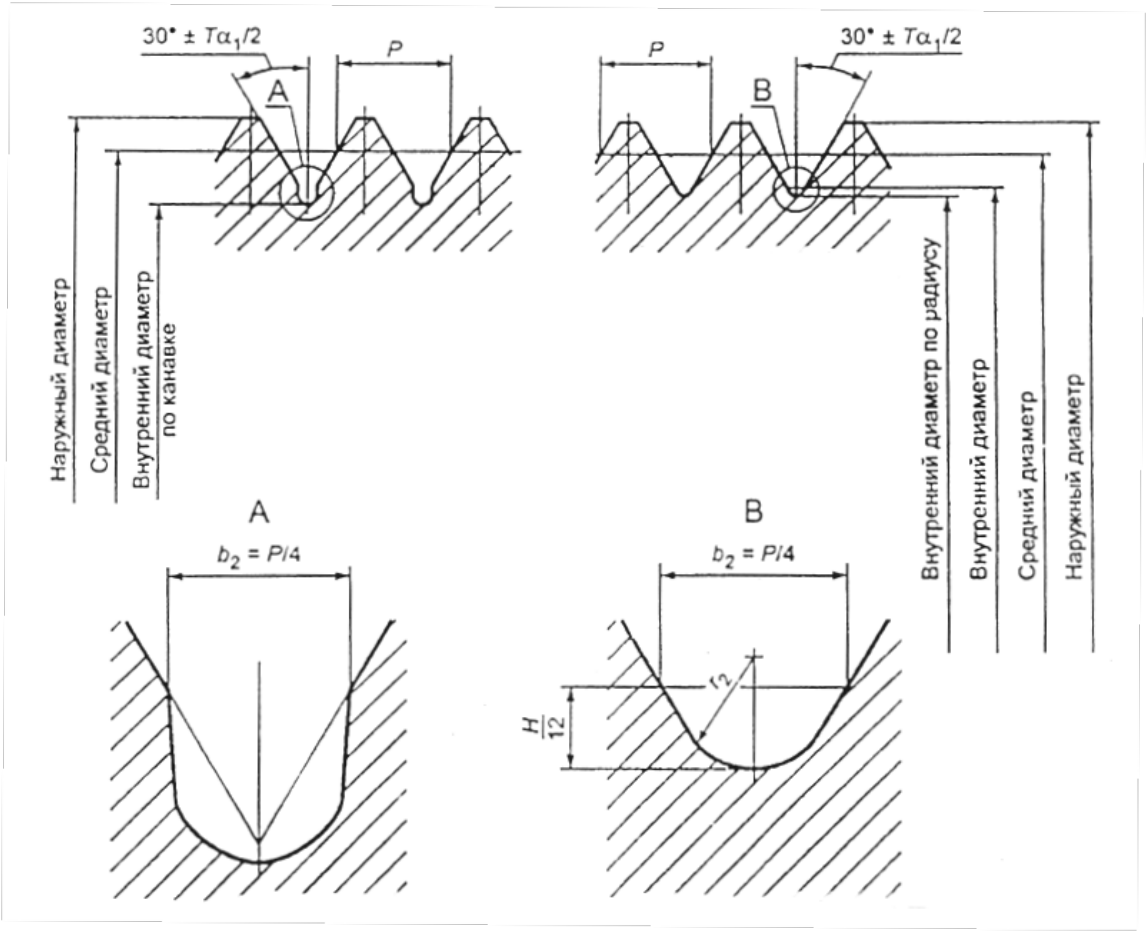


Рис. 16.3 – Полный профиль резьбы калибр-пробок по ГОСТ 249977-2004 ПР (21), КПР-ПР (2), У-ПР (5), У-ПР (8), У-НЕ (10), КНЕ-ПР (12), КНЕ-НЕ (13), У-НЕ (15), КИ-НЕ (16), КПР-НЕ (29), К-И (30)

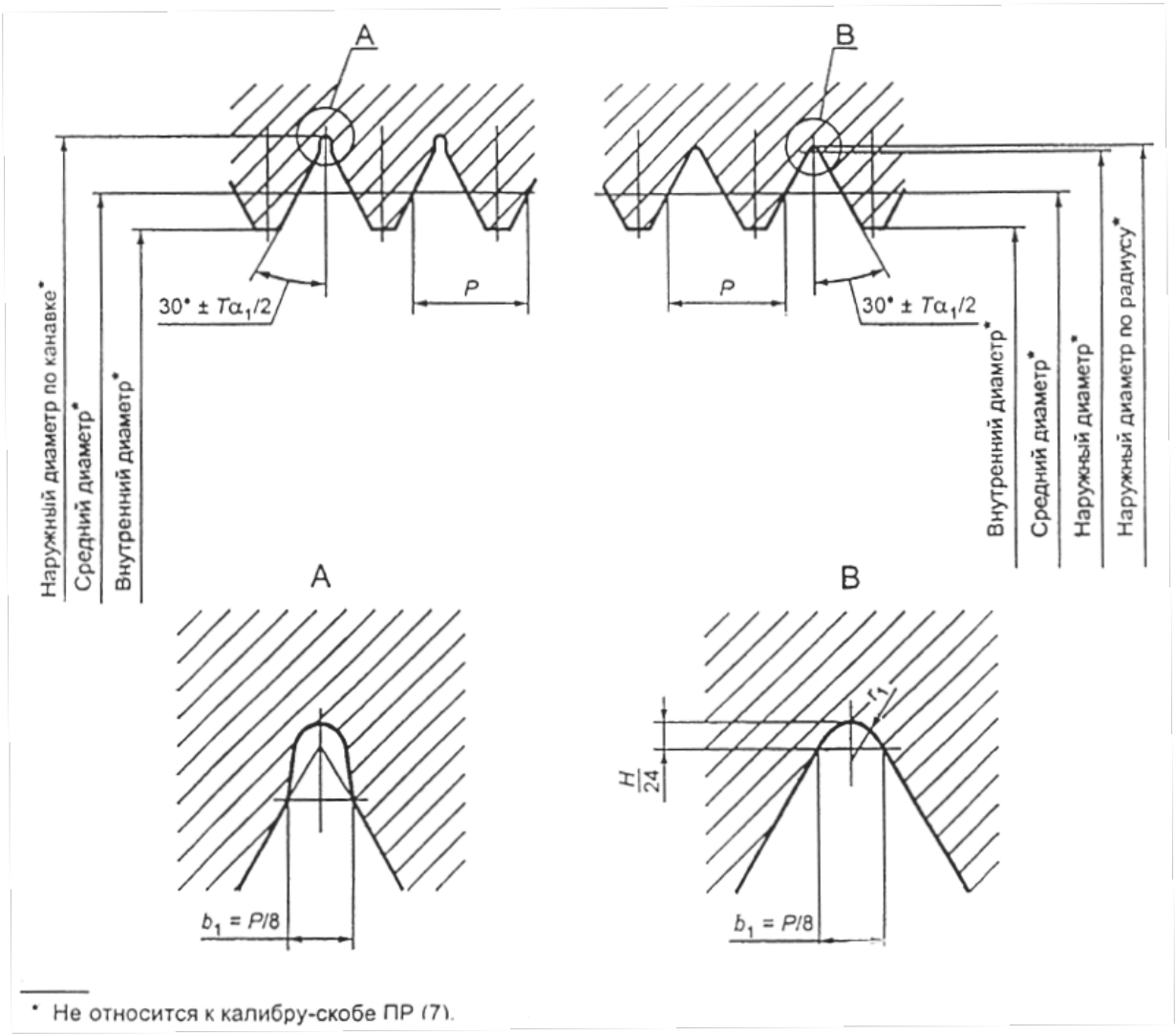


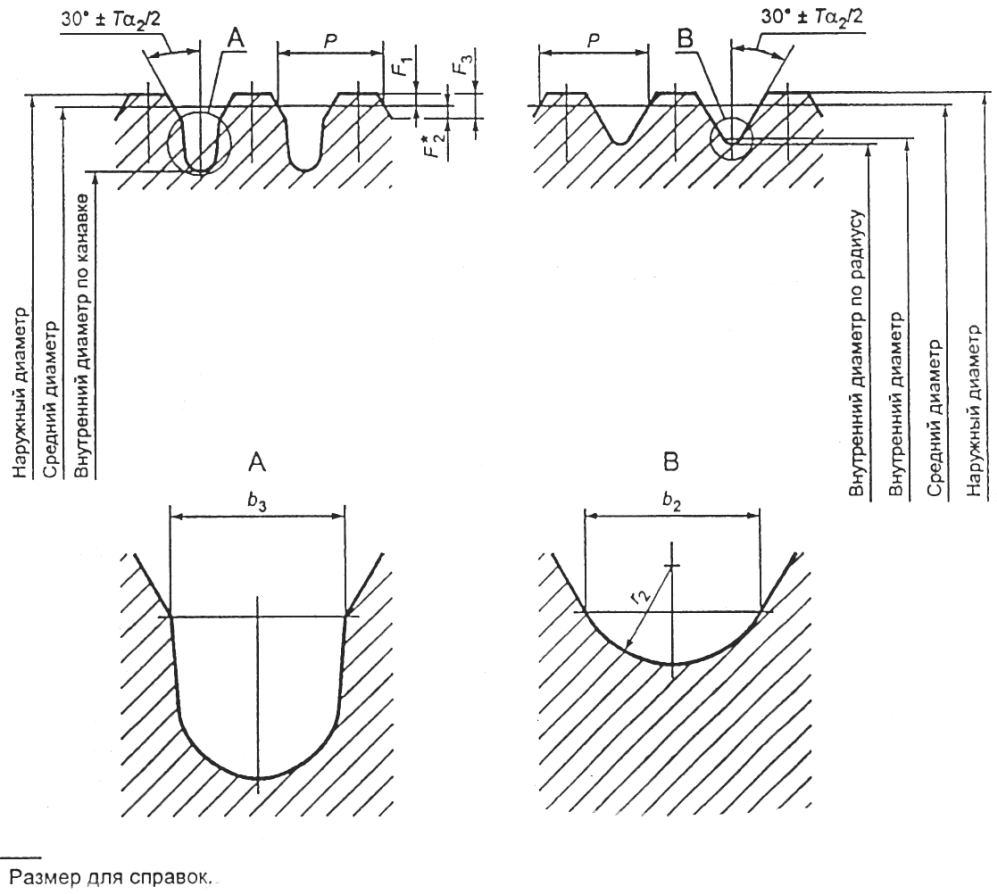
Рис. 16.4 – Полный профиль калибр-колец видов ПР (1), ПР (4) и калибр-скобы вида ПР (7)

Размеры $в_1$, $в_2$, r_1 и r_2 должны соответствовать указанным в таблице 1.

Таблица 16.1 В миллиметрах

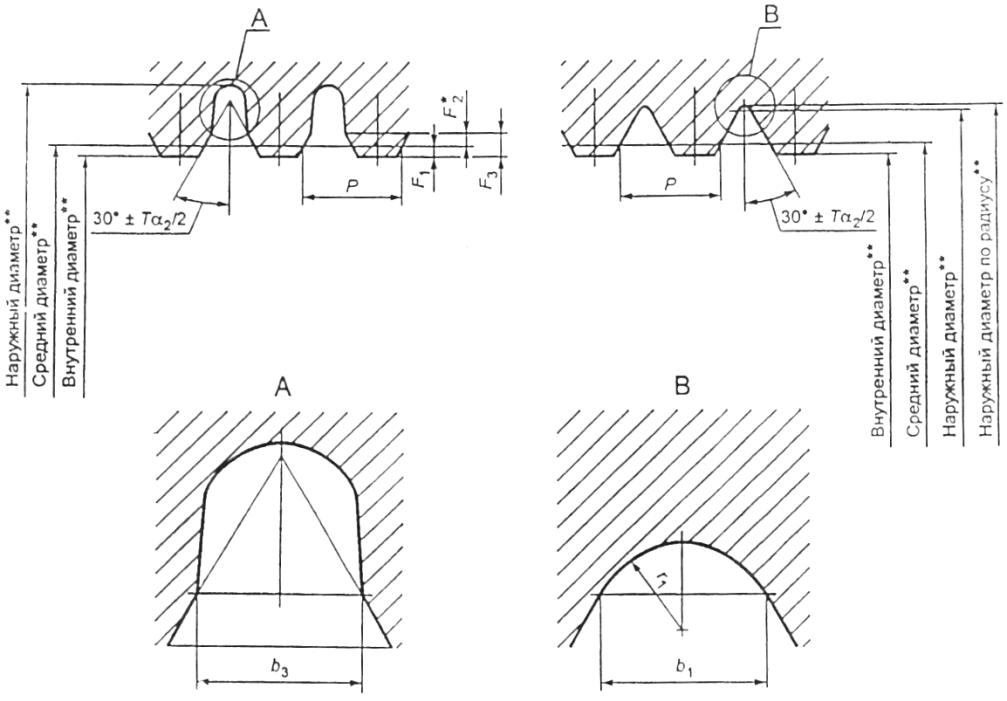
Шаг P	$b_{1max}=P/8$	$r_{1max}=0,072$ $P=H/12$	$b_{2max}=P/4$	$r_{2max}=0,144\ P$	$H/24$
0,20		0,014		0,029	0,007
0,25		0,018	r_{2max}	0,036	0,000
0,30		0,022		0,043	0,011
0,35		0,025		0,050	0,012
0,40		0,029		0,058	0,014
0,45		0,032	0,15	0,065	0,016
0,50		0,036	0,17	0,072	0,018
0,60		0,043		0,086	0,022
0,70		0,050		0,100	0,025
0,75		0,054	0,15	0,110	0,27
0,80	r_{1max}	0,058	0,20	0,110	0,029
1,00		0,072	0,25	0,14	0,036
1,25	0,15	0,090	0,31	0,180	0,045
1,50	0,19	0,108	0,37	0,210	0,054
1,75	0,22	0,126	0,44	0,250	0,063
2,00	0,25	0,144	0,50	0,290	0,072
2,50	0,32	0,180	0,61	0,360	0,090
3,00	0,40	0,217	0,75	0,430	0,108
3,50	0,48	0,253	0,88	0,500	0,126
4,00	0,50	0,288	1,00	0,580	0,144
4,50	0,55	0,325	1,10	0,650	0,162
5,00	0,60	0,361	1,25	0,720	0,180
5,50	0,70	0,397	1,40	0,790	0,198
6,00	0,80	0,433	1,50	0,860	0,217
8,00	1,00	0,576	2,00	1,152	0,289

Примечание: 1. Значение $F_1=0,1P$. 2. Высота размера канавки $в_3$ и её несоосности допускается контролировать высоту профиля t_3.



* Размер для справок.

Рис. 16.5 – Укороченный профиль резьбы для калибр-пробок видов КПР-НЕ (3), К-И (6), НЕ (22), ПР (34)



* Размер для справок.
** Не относится к калибру-скобе НЕ (9).

Рис. 16.6 – Укороченный профиль калибр-колец видов НЕ (11); ПР (27) и калибр-скоб – НЕ (9) и ПР (26)

Укороченный профиль резьбы калибров должен выполняться с канавкой $в_3$ и размерами F_1, F_2 и F_3 указанных на рисунках 16.5, 16.6 и в таблице 2.

Таблица 16.2 В миллиметрах

<table>
<tr><td rowspan="2">Шаг P</td><td rowspan="2">F_1=0,1P</td><td colspan="3">F_2</td><td rowspan="2">F_3</td><td colspan="2">B_3</td></tr>
<tr><td>0,2P</td><td>0,15P</td><td>0,1P</td><td>Номин.</td><td>Пред. откл.</td></tr>
<tr><td>0,20
0,25
0,30
0,35
0,40
0,45
0,50
0,60
0,70
0,75
0,80
1,00</td><td>0,020
0,025
0,030
0,035
0,040
0,045
0,050
0,060
0,070
0,075
0,080
0,100</td><td rowspan="12">–</td><td rowspan="12">–</td><td rowspan="12">–</td><td>от 0,05 до 0,07
»0,06»0,09
»0,07»0,11
»0,08»0,13
»0,09»0,15
»0,10»0,16
»0,12»0,18
»0,14»0,22
»0,16»0,26
»0,20»0,30
»0,20»0,30
»0,20»0,40</td><td colspan="2" rowspan="12">r_{1max}, r_{2max} соответственно</td></tr>
<tr><td>1,25</td><td>0,125</td><td rowspan="4">0,25
0,30
0,30
0,40</td><td>»0,25»0,50</td><td rowspan="11">0,30
0,40
0,45
0,50
0,80
1,00
1,10
1,30
1,70
1,90
2,10
2,30
3,10</td><td>±0,04</td></tr>
<tr><td>1,50</td><td>0,150</td><td>»0,30»0,55</td></tr>
<tr><td>1,75</td><td>0,175</td><td rowspan="3">0,375
0,450
0,525
0,600</td><td>»0,40»0,65</td><td rowspan="2">±0,04</td></tr>
<tr><td>2,00</td><td>0,200</td><td>»0,45»0,75</td></tr>
<tr><td>2,50</td><td>0,250</td><td>»0,50»0,80</td></tr>
<tr><td>3,00</td><td>0,300</td><td rowspan="5">–</td><td>»0,50»0,90</td><td>±0,04</td></tr>
<tr><td>3,50</td><td>0,350</td><td rowspan="5">–</td><td>»0,65»1,10</td><td rowspan="5">±0,04</td></tr>
<tr><td>4,00</td><td>0,400</td><td>»0,75»1,25</td></tr>
<tr><td>4,50</td><td>0,450</td><td rowspan="5">0,45
0,50
0,55
0,60
0,80</td><td>»0,75»1,25</td></tr>
<tr><td>5,00</td><td>0,500</td><td>»0,75»1,25</td></tr>
<tr><td>5,50</td><td>0,550</td><td>»0,85»1,35</td></tr>
<tr><td>6,00</td><td>0,600</td><td>»0,95»1,45</td></tr>
<tr><td>8,00</td><td>0,800</td><td>»1,35»1,70</td></tr>
<tr><td colspan="8">Примечание:
1. Вместо размеров b_3 и отклонения S допускается контролировать высоту F_3.
2. Среднее значение F_3 равно F_1±0,2P при P≤2 мм, F_1=0,15P при 2 мм <P<4,5 мм, F_1=0,1P при P≥4,5 мм.</td></tr>
</table>

Отклонение от симметричности в канавке $в_3$ (рис. 16.7) не должно быть более предельного отклонения размера $в_3$ приведенного в таблице 2. Предельное отклонение ширины канавки $в_3$ может быть увеличено на 2 (S-X), если действительное смещение X меньше, чем допуск на смещение S.

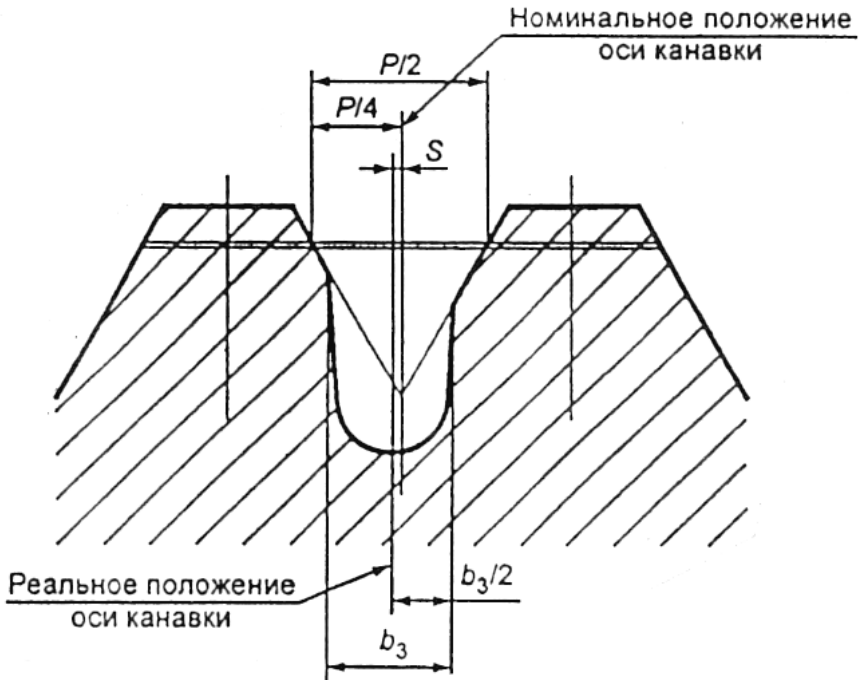


Рис. 16.7 – Схема отклонения симметричности *S* относительно средины канавки

Профиль ролика калибр-скоб НЕ (9) и ПР (26) должен быть выполнен так, чтобы он соприкасался только с двумя соседними боковыми сторонами контролируемой разьбы (рис. 16.8, *а*). Для резьбы с шагом до 0,5 мм контакт между роликами и резьбой должен происходить на расстоянии не боле *SP* (рис. 16.8, *б*).

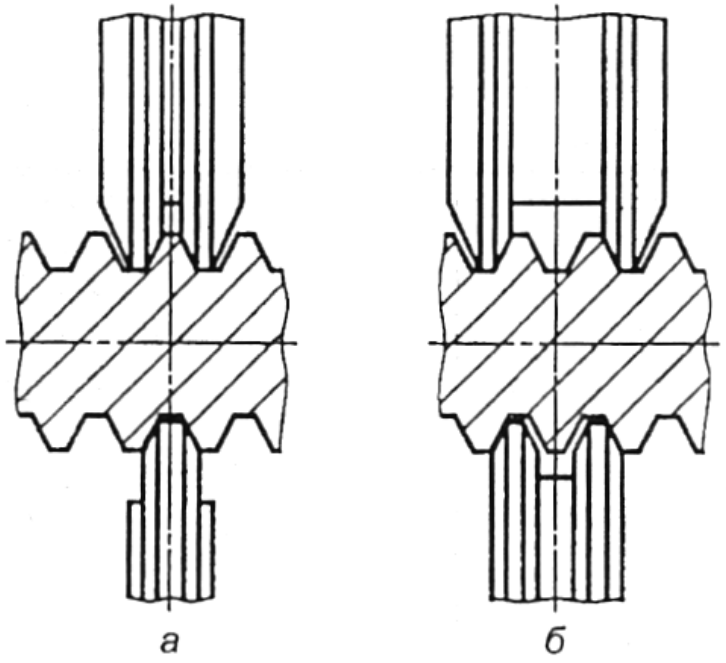


Рис. 16.8 – Схемы профиля ролика калибров-скоб

Назначение и характеристики калибров для метрических резьб по ГОСТ 18107-72.

Таблица 16.3

Наименование	Условное обозначение	Профиль резьбы	Проверяемый элемент резьбы	Признак годности проверяемых размеров.
1	2	3	4	5
А. Калибры для гаек (внутренняя резьба)				
Проходная рабочая резьбовая пробка (или проходная сторона двухсторонней резьбовой пробки.	ПР (21)	Полный	Наружный приведенный средний диаметр гайки.	Калибр должен свободно ввинчиваться в проверяемую гайку
Непроходная резьбовая пробка (или непроходная сторона двухсторонней резьбовой пробки	НЕ (22)	Укороченный	Средний диаметр гайки	Калибр как правило, не должен ввинчиваться в гайку или "закусывать". Допускается ввинчивание до двух оборотов.
Проходная гладкая пробка	–	–	Внутренний диаметр гайки	Калибр должен свободно проходить
Непроходная гладкая пробка	–	–	Внутренний диаметр гайки	Калибр, как правило, не должен проходить. Допускается вхождение на один шаг.
Б. Калибры для болтов (наружная резьба)				
Проходное резьбовое кольцо или скоба	ПР (1) ПР (7) ПР (4)	Полный	Внутренний и приведенный средний диаметры	Калибр должен свободно ввинчиваться на проверяемый болт
Непроходное резьбовое кольцо или скоба	НЕ (11) НЕ (9) НЕ (14)	Укороченный	Средний диаметр болта	Калибр, как правило, не должен проходить по резьбе
Проходная гладкая скоба	–	–	Наружный диаметр	Калибр должен свободно проходить
Непроходная гладкая скоба	–	–	Наружный диаметр болта	Калибр не должен проходить. Допускается прохождение через первый виток
В. Контрольные калибры				
Проходная резьбовая контрольная пробка для нового нерегулируемого проходного резьбового кольца	КПР-ПР (2)	Полный	Средний и наружный диаметры кольца	Контр. калибр должен свинчиваться. Применяется для установки по ним рабочих регулируемых скоб ПР

Продолжение таблицы 16.3

Непроходная резьбовая контрольная пробка для нерегулируемого проходного кольца	КПР-НЕ (3)	Укороченный	Средний диаметр кольца	Контр. калибр не должен ввинчиваться. Применяется для установки рабочих скоб НЕ.
Непроходная резьбовая пробка для контроля на износ нерегулируемого проходного резьбового кольца (скобы)	К-И (6)	Укороченный	–	Контр. калибр не должен свинчиваться с проверяемым кольцом (скобой). Допускается частичное свинчивание, но не более на один оборот с каждой стороны кольца
Проходная резьбовая контрольная пробка для нового нерегулируемого проходного резьбового кольца (скобы)	КНЕ-ПР (12)	Полный	–	Контр. калибр должен свинчиваться. Применяется для установки по ним скоб ПР
Непроходная резьбовая контрольная пробка для нового нерегулируемого проходного резьбового кольца (скобы)	КНЕ-НЕ (13)	Полный	–	Контр. калибр не должен свинчиваться с проверяемым кольцом (скобой). Применяется для установки скоб НЕ
Пробка для контроля износа нерегулируемого и регулируемого непроходного кольца.	КИ-НЕ (16)	Полный	–	Контр. калибр не должен свинчиваться с проверяемым кольцом (скобой). Допускается частичное свинчивание, но не более одного оборота с каждой стороны
Установочная пробка для регулируемого проходного резьбового кольца	У-ПР (8)	Полный	Средний и наружный диаметры кольца или скобы	Контр. калибр должен свинчиваться с кольцом ПР (резьбовая скоба проходит)

Продолжение таблицы 16.3

Установочная пробка для регулируемого непроходного резьбового кольца	У-НЕ (15)	Укороченный	–	Контр. калибр должен свинчиваться с кольцом НЕ (резьбовые скобы не проходят)

Примечание:

1. Номера калибров по ГОСТ 24997-2004
2. Характеристика калибров дана для калибров и контр. калибров, находящихся в эксплуатации.

16.3 Допуски резьбовых калибров

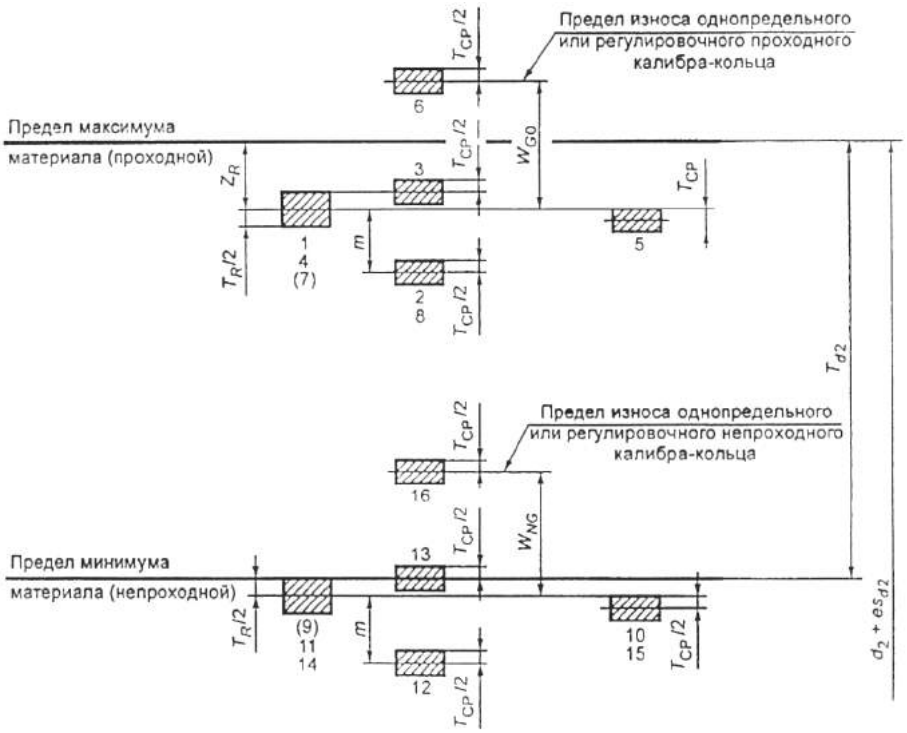


Рис. 16.9 – Схема полей допусков среднего диаметра калибров для контроля наружной резьбы по ГОСТ 16093-2004

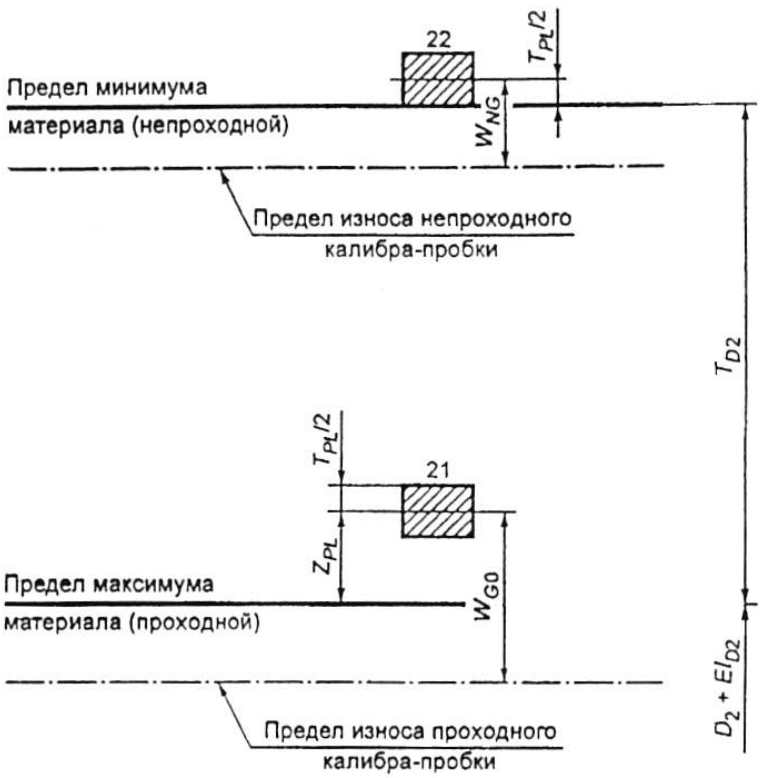


Рис. 16.10 – Схема полей допусков среднего диаметра калибров для внутренней резьбы по ГОСТ 16093-2004

16.4 Допуски гладких калибров

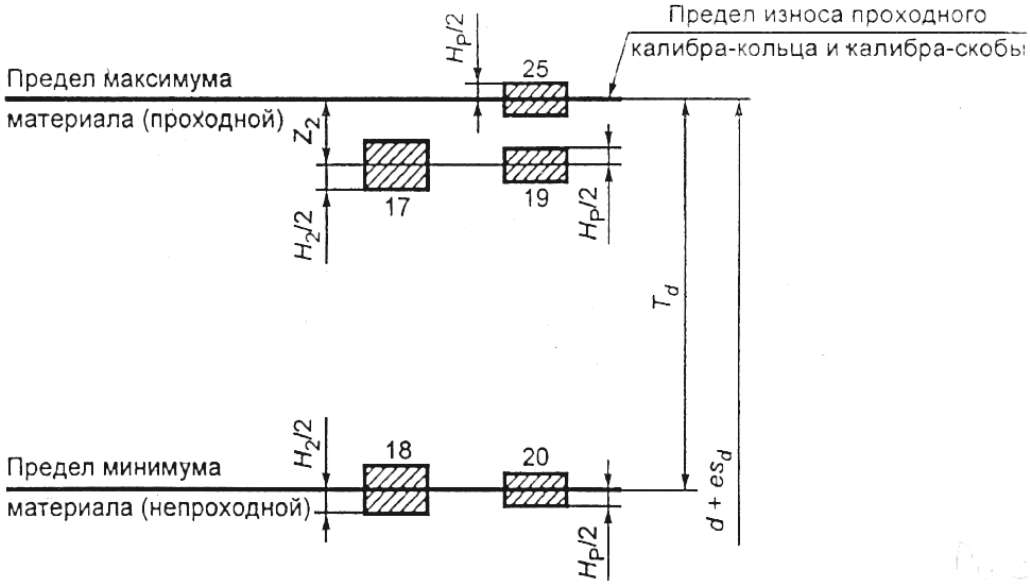


Рис. 16.11 – Допуски и величины, определяющие положение полей допусков гладких калибров для контроля наружной резьбы



Рис. 16.12 – Допуски и величины, определяющие положение полей допусков гладких калибров для контроля внутренней резьбы

Контрольные вопросы

1. Какие виды калибров для контроля резьбы?
2. Какие виды калибров резьбовых для гаек и болтов?
3. Какие контрольные калибры применяются для проверки рабочих калибров?
4. Как располагаются поля допусков резьбовых калибров?

Глава 17 Средства и методы измерения угловых величин

При выполнении геометрических измерений, контроль угловых величин занимает, после линейных, второе место по объемам измерений.

Условно угловые величины можно разбить на 3 группы:

–контроль наклонов от одной секунды до 90º;

–контроль прецизионных углов косвенным методом на синусных линейках от 5 минут до 45º с точностью до 4 секунд;

–контроль углов абсолютным и относительным методом универсальным измерительным инструментом – угломерами от 0 до 320º с точностью 2 минуты.

Углы изделий измеряют тремя основными методами:

–методом сравнения с жесткими контрольными инструментами – угловыми мерами, угольниками, конусными калибрами и шаблонами;

–абсолютным геометрическим методом, основанном на использовании приборов с угломерной шкалой;

–косвенным тригонометрическим методом, который заключается в определении линейных размеров, связанных с измерением углов тригонометрической функцией.

К универсальным средствам измерения углов относятся конусные, оптические и индикаторные угломеры.

17.1 Угловые меры

Угловые меры предназначены для хранения и передачи плоского угла от рабочего эталона до изделий.

Угловые меры изготавливают в виде прямых призм и применяют для контроля углов, а также для градуировки угломерных инструментов и приборов.

I – угловые плитки с одним рабочим углом и срезанной вершиной;

II – остроконечные угловые плитки с одним рабочим углом;

III – угловые плитки с четырьмя рабочими углами, которые выбирают так, чтобы две стороны плитки были параллельными;

IV – угловые плитки в виде шестигранной призмы с неравномерным шагом;

V – угловые плитки в виде многогранной призмы с равномерным шагом, имеющей 8 или 12 граней.

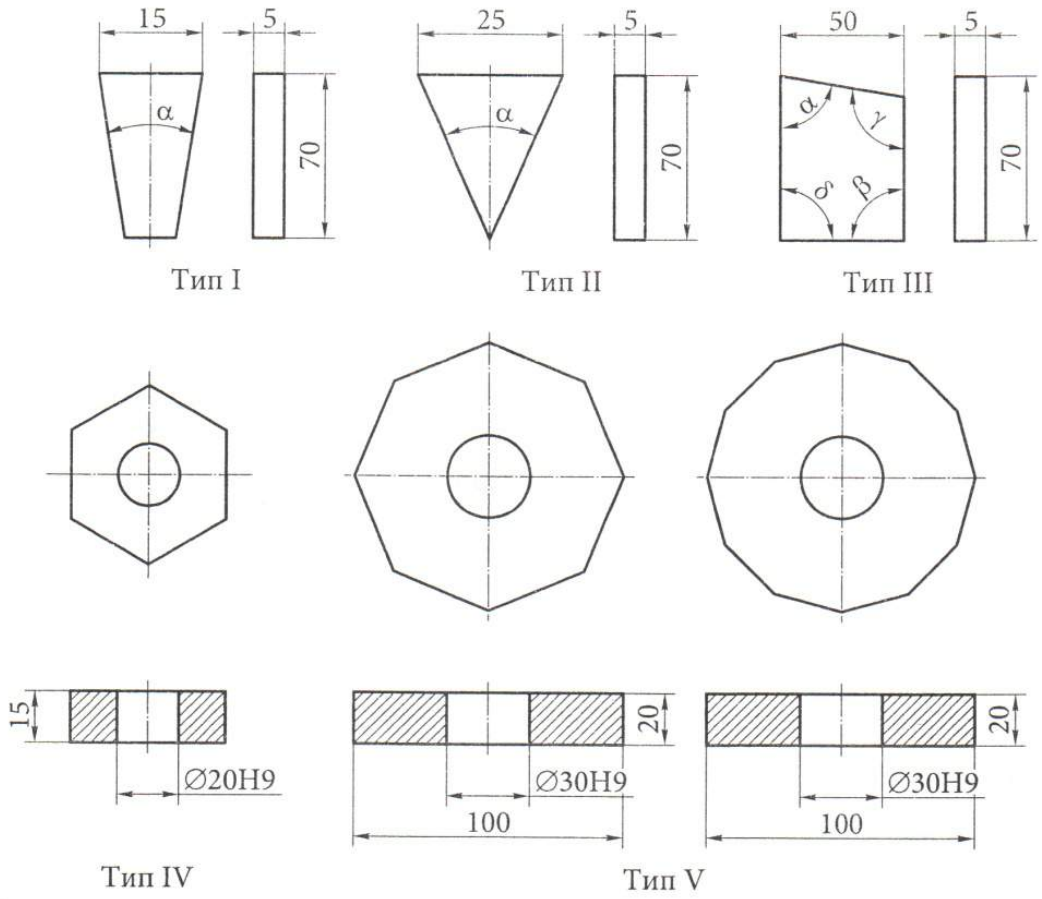


Рис. 17.1 – Угловые меры

Угловые меры аналогичны рассмотренным ранее плоскопараллельным концевым мерам длины. Их выпускают в виде наборов по ГОСТ 2875-75 с градацией через 2º и 1º, а также 1′ и 15″.

Наборы содержат угловые плитки с различными номинальными значениями углов. Угловые меры изготавливают четырех классов точности 00; 0; 1; 1; 2. Для осуществления поверки аттестуются на разряды: 1; 2; 3; 4.

Угловые призматические меры комплектуются в наборы, каждый из которых имеет определенное количество мер.

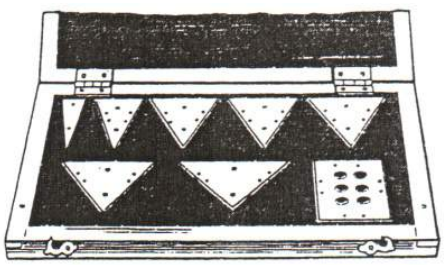


Рис. 17.2 – Набор угловых мер

Выбор угловых мер для составления их в блоки производят аналогично выбору концевых мер – в последовательной ориентации на последние цифры размера блока.

Примеры выбора угловых мер

Составить блок размером 71º28´	Составить блок размером 63º34´
1-я мера 15º08´	1-я мера 15º04´
Остаток 56º20´	Остаток 48º30´
2-я мера 15º20´	2-я мера 15º30´
Остаток 41º	Остаток 33º
3-я мера 11º	3-я мера 13º
Остаток 30º	Остаток 20º
4-я мера 30º	4-я мера 20º
Проверка: 15º08´+15º20´+11º+30º=71º28´	Проверка: 15º04´+15º30´+13º+20º=63º34´

Размеры угловых мер набора из 33 шт.

Номинальное значение углов	Градация угловых мер	Число мер
От 10 до 20º	1º	11
» 30 » 70º	10º	5
45º		1
От 15º10´ до 15º50´	10´	5
» 15º01´ » 15º09´	1´	9
80º; 81º; 100º; 99º	1º	1
90º; 90º; 90º; 90º	1º	1

Проверка угла производится методом световой щели.
При проверке угла изделия используют 1-2 угловые меры.

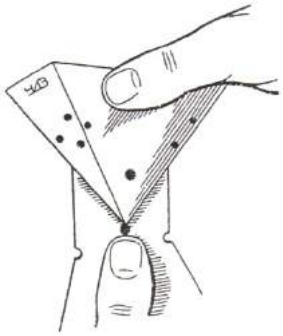
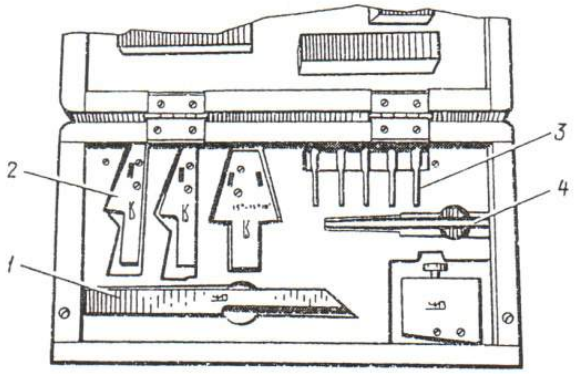


Рис. 17.3 – Проверка углового шаблона

Для использования блока угловых мер применяют принадлежности к угловым мерам.

Принадлежности к угловым мерам

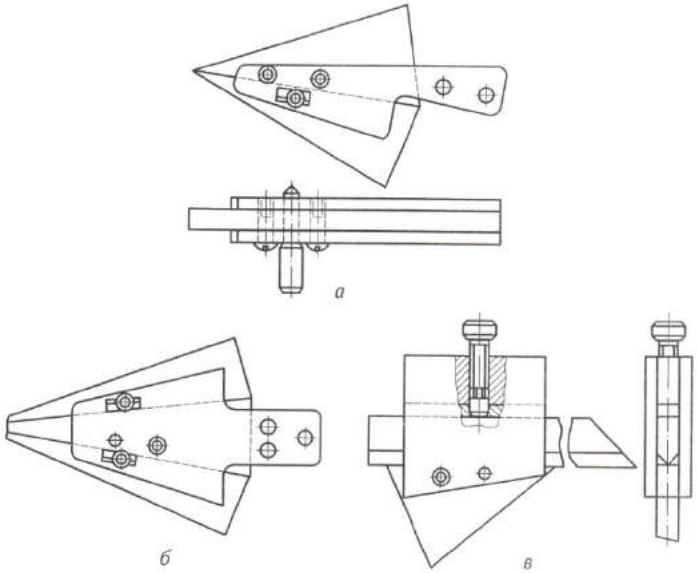
Принадлежности предназначены для надежности соединения мер в блоки и крепления угловых мер с линейкой. Принадлежности комплектуются в наборы.



1 – линейка, *2* – державка, *3* – клиновый штифт, *4* – отвертка

Рис. 17.4 – Набор принадлежностей к угловым мерам

Перед сборкой блока угловых мер их притирают друг к другу соединяя в блок, применяя принадлежности. Сборка блока осуществляется с использованием винтов и штифтов. Штифты вставляют в отверстия плиток и державок. Державки позволяют соединить в блок 2 или 3 угловые меры. Для получения дополнительных углов применяют специальные державки с лекальными линейками. Контроль углов с применением мер производит на просвет.



а – для соединения двух мер; *б* – для соединения трех мер; *в* – с лекальной линейкой.

Рис. 17.5 – Державки для угловых мер

Угловые меры, согласно ГОСТ 2875-75 комплектуются в наборы: № 1 – из 93 плиток; № 2 – из 33 плиток; № 3 – из 8 плиток; № 5 – из 7 плиток; № 6 – из 4-х плиток; № 7 – из 3-х плиток и № 8 – набор принадлежностей. К наборам № 1 и № 2 прилагается лекальная линейка, комплект принадлежностей для крепления мер и лекальной линейки в блоках и отвертка.

Метод контроля с помощью угловых мер – метод сравнения.

Примеры использования принадлежностей к угловым мерам.

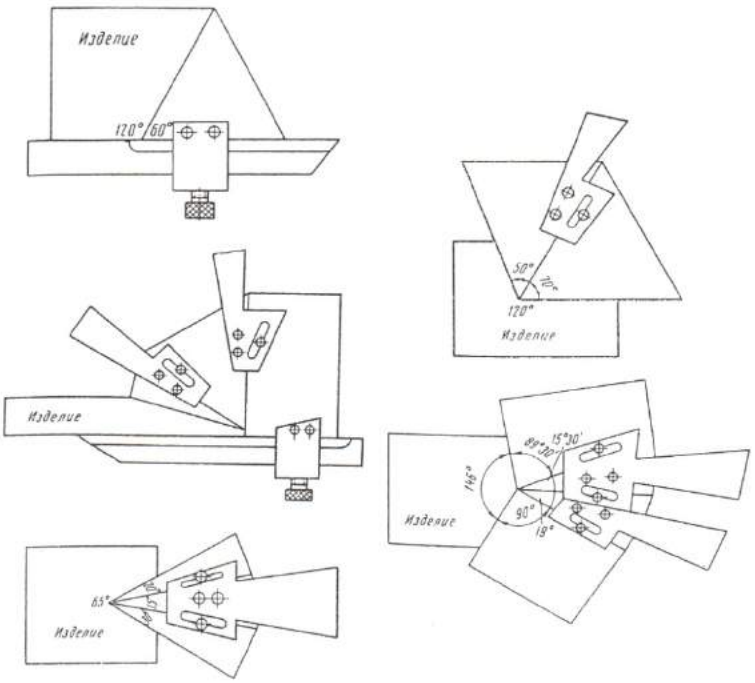


Рис. 17.6 – Примеры контроля углов изделий с помощью блоков угловых мер

17.2 Угломерные универсальные средства измерений – угломеры

Угломеры делятся на следующие виды:

–измерение наружных углов – угломер УН;

–измерение наружных и внутренних углов – УМ;

–угломер оптический;

–угломер контроля режущего инструмента – 2 УРИ;

–маятниковый угломер 3 УРИ.

17.2.1 Угломер УМ

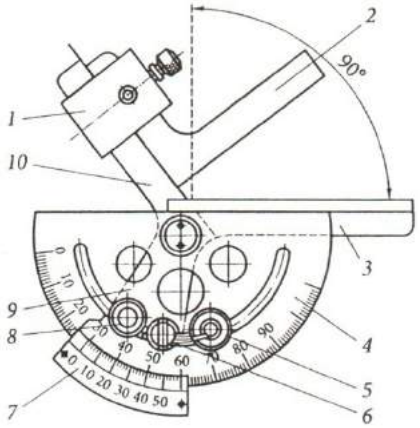


Рис. 17.7 – Угломер УМ

Угломер УМ состоит из основания *4* (рис. 17.7), сектора *9*, нониуса *7*, подвижной линейки *10*, линейки *3*, угольника *2*, державки угольника *1*.

На основании нанесена градусная шкала.

Нониус может иметь деления 2, 5 и 15′. Подвижная линейка *10* с секто-

ром *9* и ниусом может поворачиваться на оси и фиксироваться в момент измерения винтами *5* и *8*.

Измерительная подвижная линейка с сектором может перемещаться с помощью винта *6* и микрометрической подачи. На подвижной линейке крепится угольник *2* при помощи державки *1*.

Угломер обеспечивает измерения в диапазоне 0…180º. При измерении углов более 90º необходимо снимать с угломера угольник, а к показаниям, полученным по отсчетным шкалам прибавлять 90º. Погрешность в зависимости от цены деления ниуса будет составлять ±2, ±5 и ±15′ соответственно.

При работе с угломером типа УМ необходимо:

– убедится в плавности перемещения сектора угломера;

–убедится в точности установки угломера на ноль;

–при измерении прочно удерживать угломер за корпус;

–обеспечить плотное прилегание измерительной поверхности к поверхности детали (без просвета и перекоса);

–обратить внимание на достигаемую точность измерения, которая выбита на ниусе.

17.2.2 Угломер УН

Угломер УН предназначен для измерения наружных и внутренних углов.

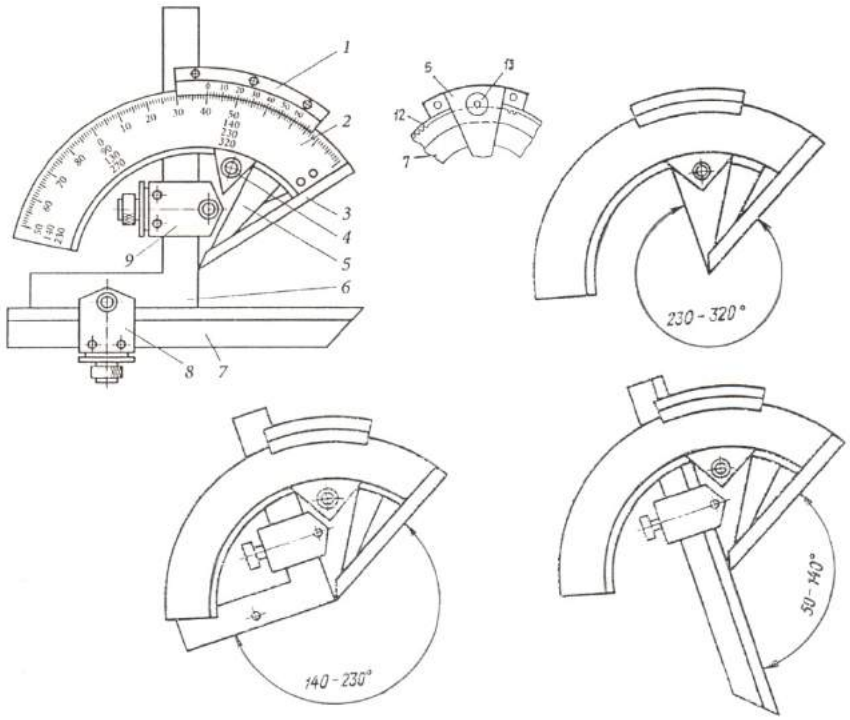


Рис. 17.8 – Угломер УН и схемы измерения углов

Угломер типа УН (рис. 17.8) состоит из основания *2* с нанесенной по окружности градусной шкалой, жестко соединенного с линейкой *3*, которая имеет доведенную наружную поверхность.

По основанию перемещается сектор *5* с ниусом *1* и стопором *4*. К сектору при помощи державки *9* крепится угольник *6* со съемной линейкой *7*.

Крепление линейки к угольнику осуществляется державкой *8*. В задней части угломера имеется зубчатый сектор *12*, который через шестеренку-трибку связан с маховичком *13*. В свою очередь ось трибки связана с сектором *5*. Поворачивая маховичек *13*, через зубчатую пару смещаем сектор относительно основания.

Угломер позволяет измерять углы в диапазоне 0…50º, 50…140º, 140…230º и 230…320º.

Измерение углов 0…50º осуществляется с установленным угольником и линейкой. Измерение углов 50…140º – без угольника, 140…230º – с угольником без линейки и углов 230…320º – без линейки и угольника.

Угломеры УН и УМ изготавливаются по ГОСТ 5378-66.

17.2.3 Угломер оптический

Угломер оптический изготавливается по ГОСТ 11197-73.

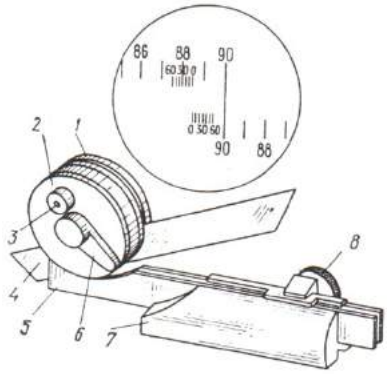


Рис. 17.9 – Оптический угломер

Оптический угломер (рис. 17.9), предназначенный для измерения углов 0…180º, состоит из корпуса *2*, с которым жестко связана сдвоенная линейка *5*. Сменная линейка *4* поворачивается и перемещается в продольном направлении. Съемная подставка *7* с зажимным винтом *8* используется при измерении углов цилиндрических или конических поверхностей.

При измерении линейку *4* выдвигают на длину, которая обеспечивает полноту охвата поверхности изделия, и стопорят поворотом рычага *6*. Рабочие грани линеек *4* и *5* прижимают к плоскости изделия, образующим измеряемый угол, и поворотом контактного кольца *1* фиксируют установленное положение. Отсчет осуществляют с помощью лупы *3*. В лупу видны основная градусная шкала, а также прямая и обратная минутные шкалы с ценой деления 5′. Отсчет выполняют по делению градусной шкалы, находящемуся в пределах минутной шкалы. На рис. 17.9 показан отсчет, равный 88º30′. Допускаемая погрешность оптического угломера составляет ±2′30″, а при измерениях с подставкой 7 - ±5′.

Характеристики угломеров

Угломер	Тип	Цена деления шкалы нониуса	Пределы измерений	Допустимая погрешность (мин)
С нониусом	УН	2′, 5′	0-180º, 50-140º (наружные углы), 140-230º, 230-320º (внутренние углы)	±2′ (при i=2′) ±5 (при i=5′)
	УМ		0-90º (с угольником) 90-180º (без угольника)	
Оптический	УО УО-2	10′ 5′	0-180º	±5′ ±2,5′

Методы поверки угломеров по ГОСТ 13006-67. Показания угломеров поверяют по угловым мерам 4 разряда или 2 класса точности.

17.3 Угломерный измерительный инструмент для контроля режущего инструмента

17.3.1 Угломер 2 УРИ

Угломер 2 УРИ предназначен для измерения передних и задних углов заточки многолезвийного инструмента с равномерным шагом зубьев от 5 до 75 мм – зенкеров, разверток, протяжек, фрез и т. п. Погрешность измерения равна 1º.

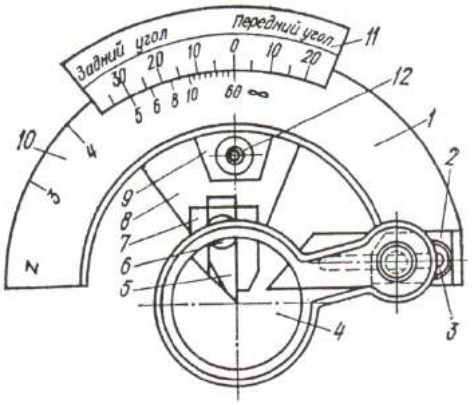
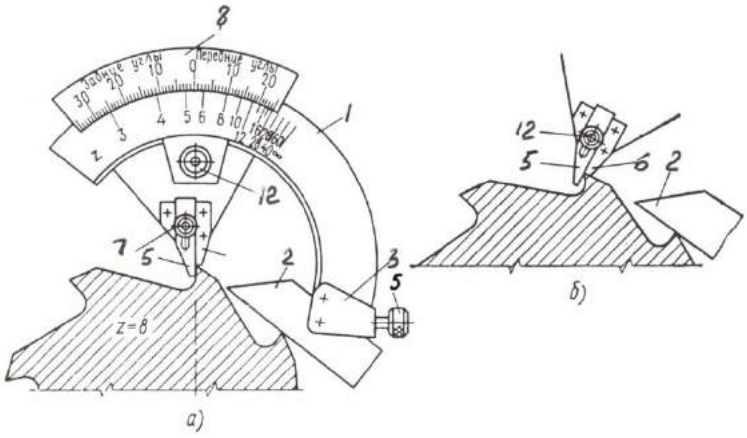


Рис. 17.10 – Угломер 2 УРИ

Угломер *2* УРИ (рис. 17.10) состоит из дугообразного корпуса, на котором нанесены штрихи *10*, числа зубьев z=3, 4, 5, … ∞. По корпусу перемещается сектор *8*. На секторе нанесена градусная шкала *11*, от нуля влево – для задних углов в пределах 35º, вправо – для передних углов в пределах 25º. На секторе *11* закреплена планка *7*, в пазах которой перемещается измерительная линейка *5*, зажатая винтом. На правом конце дугообразного корпуса *1* в державке *3* винтом зажимается опорная линейка *2*, и при необходимости лупа *4*.

Угломер устанавливают рабочими гранями планки *7* и опорной линейки *2* на вершины двух соседних зубьев инструмента. При измерении переднего угла заточки сектор поворачивают до совпадения линейки *5* с передней гранью зуба. Измерение переднего угла (рис. 17.10, *а*). При измерении задне-

го угла грань планки *6* должна совпасть с задней гранью зуба (рис. 17.10, *б*). В установленном положении сектор стопорится винтом *12*.



а – переднего; *б* – заднего

Рис. 17.11 – Измерение углов угломером 2 УРИ

Углы заточки отсчитывают относительно штриха, соответствующего числу зубьев проверяемого инструмента. Так, если число зубьев фрезы z=8 (рис. 17.11, *а*), то передний угол заточки равен 10º. В зависимости от величины передней грани линейка *5* перемещается по направляющим планки *7*.

При измерении протяжек отсчет углов осуществляется относительно штриха с индексом ∞.

17.3.2 Угломер 3 УРИ

Основное назначение маятникового угломера 3 УРИ – измерение углов режущего инструмента – резцов.

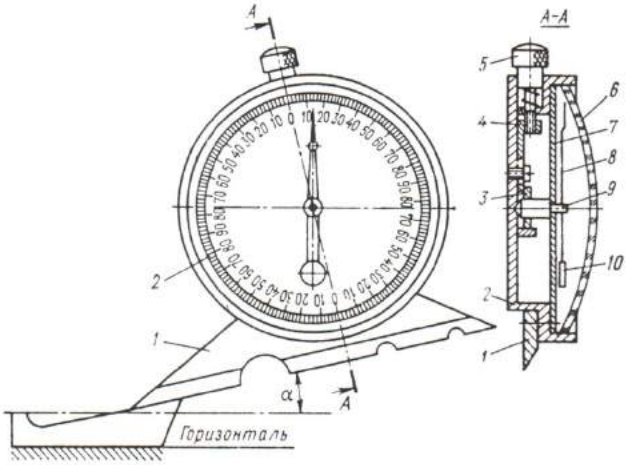


Рис. 17.12 – Угломер 3 УРИ

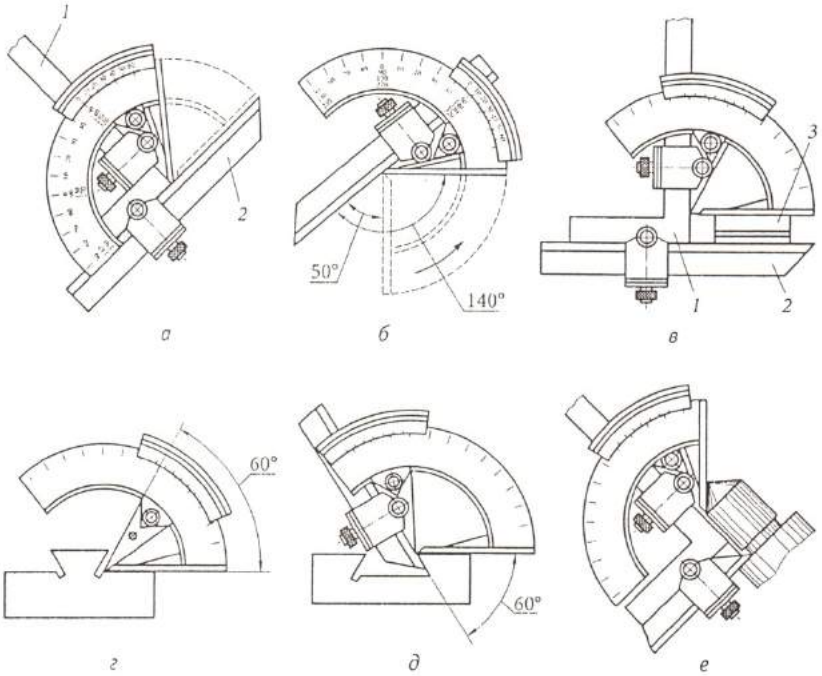
Угломер имеет корпус *2* с опорной линейкой *1*. Внутри корпуса на свободно вращающуюся ось *9* насажена тормозная шайба *3* и стрелка *8* с грузом – отвесом *10* на конце. На диске *7* нанесена круговая шкала с ценой деления 2º. Шкала разбита на *4* участка от 0 до 90º. Тормоз *4* обеспечивает фиксацию оси со стрелкой в любом положении. Стекло *6* закрывает шкалу и стрелку. При измерении режущий инструмент устанавливают боковой поверхностью

на плиту, выверенную по горизонтали с помощью уровня. Угломер накладывают опорной линейкой на проверяемую поверхность и освобождают стрелку нажатием тормозной кнопки *5*. Когда стрелка установится в вертикальном положении под действием отвеса, тормозную кнопку отпускают и выполняют отсчет. Основная погрешность показаний равна ±1º.

Поверка угломеров осуществляется по методикам поверки: угломер *2* УРИ – 1585-86 и 3 УРИ – 1382-86.

17.4 Примеры измерения углов универсальным инструментом

17.4.1 Измерения угломером УН



а – измерение угла наружного до 50º. При измерениях используется угольник *1* и линейка *2*. *б* – измерение угла наружного до 140º. Используется с угломером лекальная линейка. *г, д* – измерение наружных и внутренних углов в труднодоступных местах, *в* – при измерении углов у деталей, имеющих сложные контуры, возникает необходимость в установке угломера на заданную длину прямолинейного контура. Это осуществляется с помощью блока концевых мер длины *3*, который располагают на счетной линейке *2*, а основание угломера перемещают по угольнику *1* так, чтобы измерительная линейка касалась блока концевых мер длины. *е* – пример измерения наружного конуса.

Рис. 17.13 – Измерения угломером УН

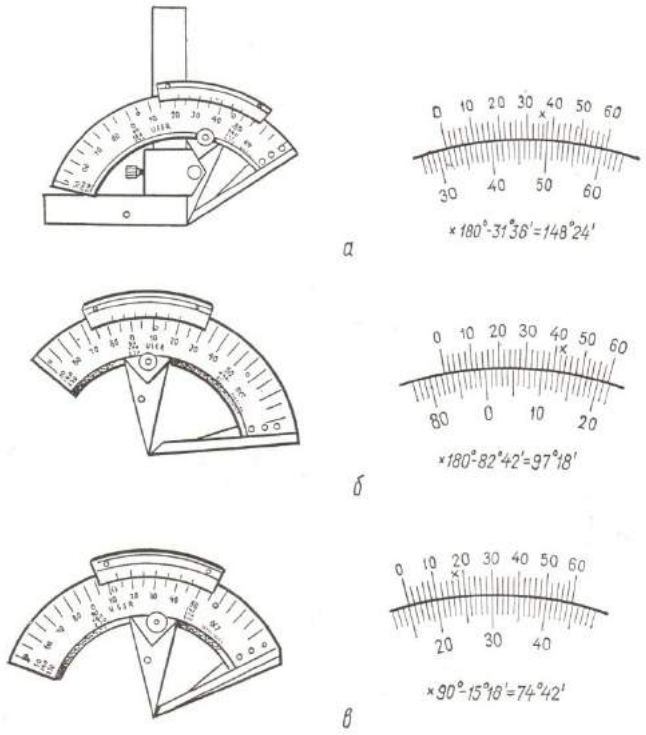
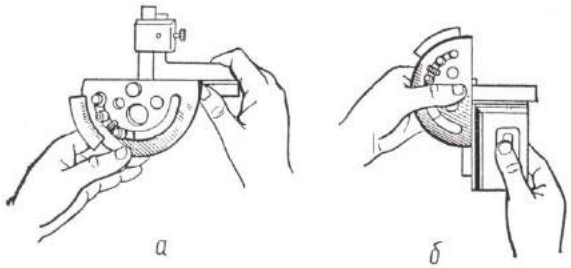


Рис. 17.14 – Примеры отсчета показаний угломера УН

17.4.2 Примеры измерения и отсчета показаний угломером УМ

При измерении углов от 0 до 90º с помощью угломера УМ на подвижной линейке устанавливают угольник (рис. 17.14, *а*). При измерении углов от 90 до 180º применяется угломер без угольника и к показаниям шкалы прибавляют 90º (рис. 17.14, *б*).



а – до 90º; б – от 90º до 180º

Рис. 17.15 – Настройка угломера УМ на измерения углов

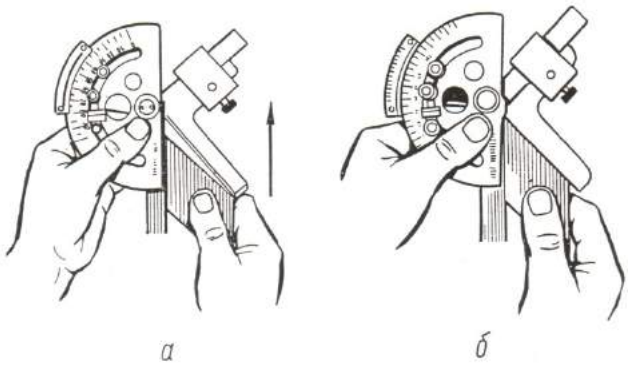


Рис. 17.16 – Измерение угла угломером УМ

При измерении незакрепленной детали ее следует поддерживать правой рукой и перемещать, слегка прижимая к измерительной поверхности основной линейки (рис. 17.15, *а*) до полного соприкосновения детали со второй измерительной поверхностью угломера (рис. 17.15, *б*).

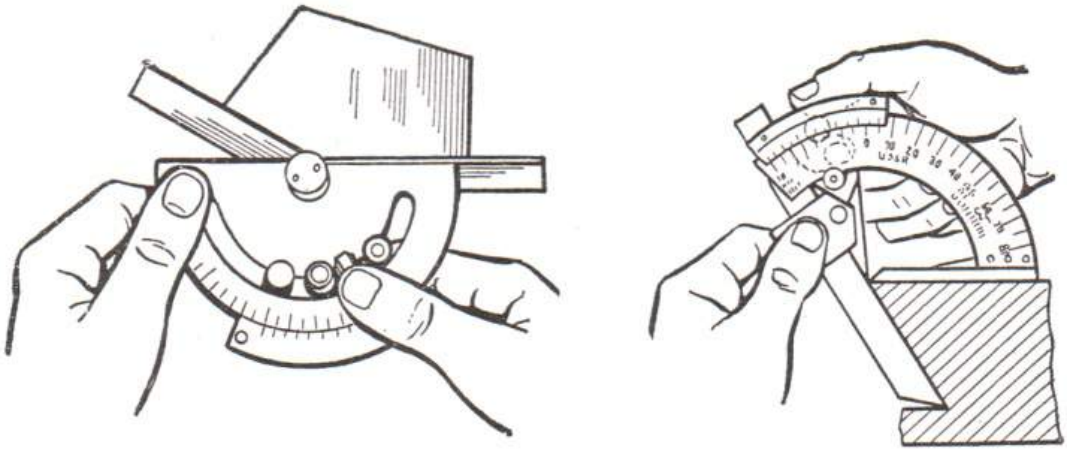
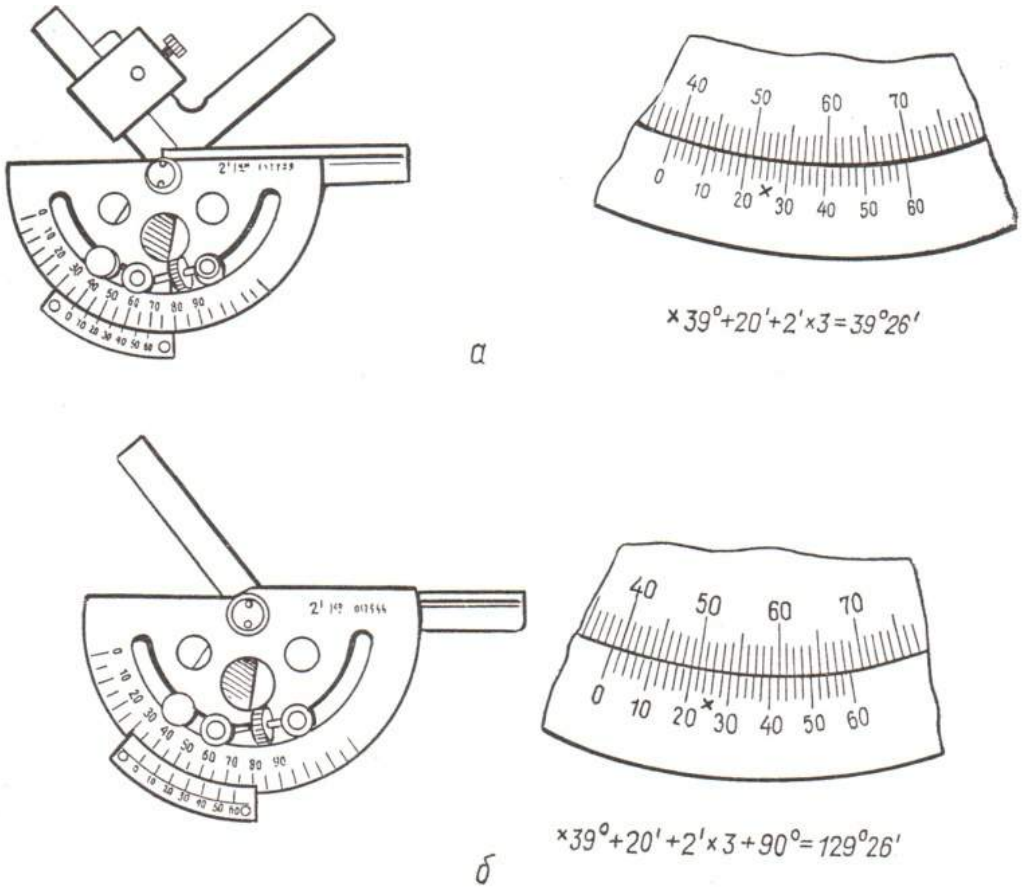


Рис. 17.17 – Измерение угломером УМ закрепленной детали



а – угол до 90º; *б* – угол больше 90º

Рис. 17.18 – Отсчет показаний измерений угломером УМ

17.4.3 Примеры измерения оптическим угломером

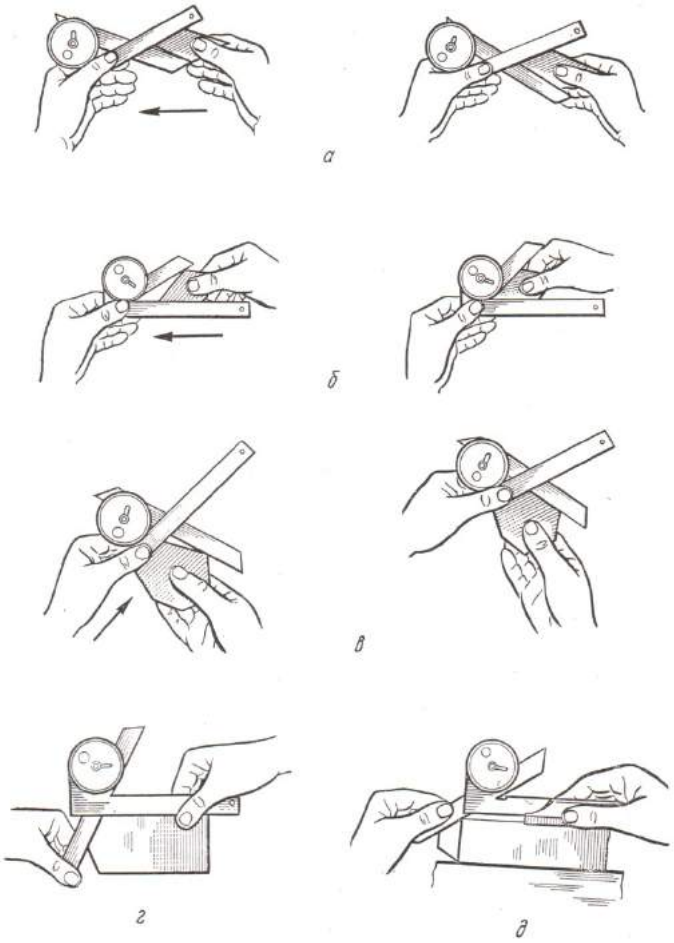


Рис. 17.19 – Примеры контроля углов оптическим угломером

Для отсчета показаний окуляр прикладывается к глазу и окно для подсветки шкал лимба и нониуса направляется в сторону источника света. В поле зрения угломера типа УО-2 (рис. 17.9) видны шкалы: лимба и минутная. Шкала лимба имеет 4 сектора по 90º с ценой деления 1º. Деления шкалы оцифрованы от 0 до 90º через 2º. Минутная шкала нанесена в 2 ряда с ценой деления 5′, оцифрована от 0 до 60′ через 30′. Отсчет производится по делению шкалы лимба, находящемуся в пределах минутной шкалы.

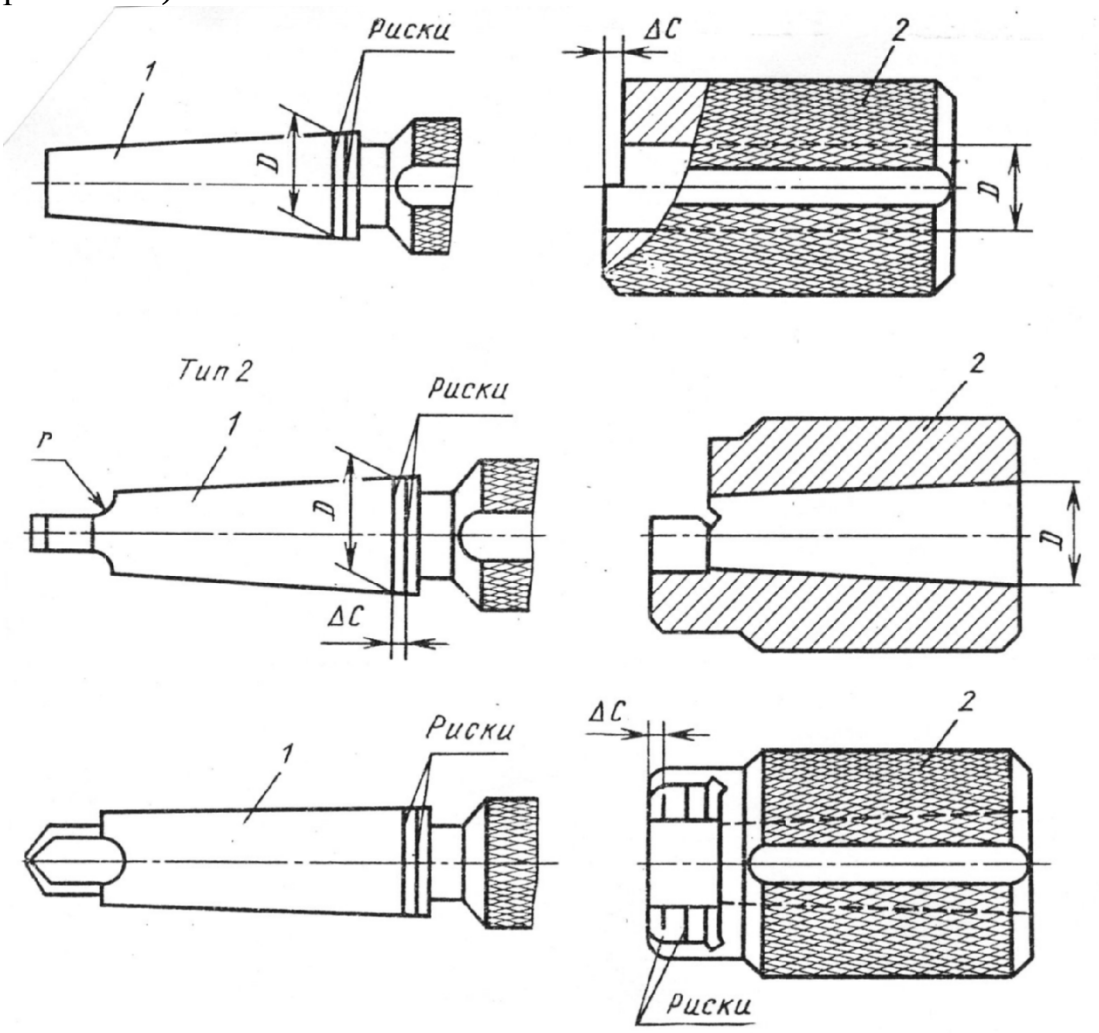
При отсчете показаний необходимо учитывать следующее. Чем измеряемый угол меньше 90º, то прибор показывает действительную величину этого угла. Чем измеряемый угол больше 90º, то прибор показывает величину дополнительного угла. Величина измеряемого угла при этом определяется по формуле: $\alpha_2=180^º-\alpha_1$, где α_1 – отсчет по шкалам лимба и нониуса, например: $\alpha_2=180^º-89^º45'=90^º15'$.

17.4 Методы контроля и измерения конусов

Контролируют качество основных элементов конусов инструмента и конусов общего назначения при помощи конусных калибр – пробок и втулок.

Требования к конструкции калибров для контроля конусов регламентируется ГОСТ 2849-94.

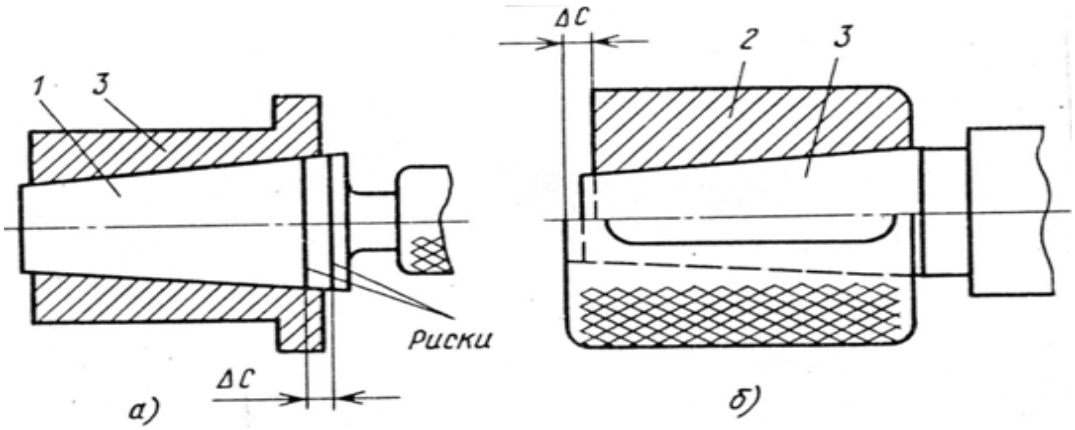
Калибры для контроля наружных и внутренних конусов представляют собой конические пробки и втулки, имеющие риски или уступы, расстояние ΔС между которыми равно допустимому отклонению базового расстояния (см. рис. 17.20).



1 – пробка; *2* – втулка.

Рис. 17.20 – Калибры для контроля наружных и внутренних конусов

Контроль гладких конических деталей калибрами широко распространен в машиностроении. Для контроля деталей с внутренним конусом используют гладкие конические калибр – втулки (см. рис. 17.21).



1, 2 – калибры; *3* – внутренний и наружный конусы.

Рис. 17.21 – Калибры-пробки (*а*) и калибр-втулки (*б*)

При контроле торец детали должен находится между рисками или торцами калибра, расположенными на расстоянии ΔС друг от друга, измерение которого связано с допуском на диаметр и углом конуса следующей зависимостью (например для внутреннего конуса):

$$\Delta C = \Delta D_B / 2\mathrm{tg}\,\alpha,$$

где ΔС – изменение базового расстояния детали с внутренним конусом;

ΔD_B – допускаемое отклонение большого диаметра внутреннего конуса;

α – половина угла конуса детали.

Контроль конусных поверхностей калибров (втулок) осуществляют при помощи конусных контркалибров (пробок) путем припасовки их на краску. Крап-лаком или берлинской лазурью, смешанными с маслом или вазелином, пропитывают губку, вкладывают в марлю, свернутую в два-три слоя, на контркалибр наносят слой краски толщиной в 2-3 мкм (в зависимости от степени точности и размера калибра). Затем вводят контркалибр во втулку и с небольшим усилием поворачивают на 3/4 или полный оборот. На наружной поверхности пробки краска должна быть снята не менее, чем на 90% площади.

Измерение длин до рисок, размеров между рисками и уступом, ограничивающих предельные размеры диаметров калибров и контркалибров, осуществляют при помощи микроскопов, концевых мер длины и индикаторов со стойками, установленных на точной контрольной плите кл 0;1.

Измерение наружных диаметров конусных калибров рационально производить с помощью мерных роликов и точных измерительных инструментов (рычажных микрометров и рычажных скоб). Базовые торцы конуса и образующие должны иметь высокую степень обработки. Контроль должен производиться на контрольной плите.

Изделие с наружном конусной поверхностью ***1*** устанавливается на плиту ***2***, где к ее нижней части прилегают два ролика одинакового размера ***3*** (обычно используют ролики от роликовых подшипников), размер $\boldsymbol{l_1}$ между роликами ***3*** измеряют гладким или рычажным микрометром. Затем на плиту с обеих сторон от изделия устанавливают концевые меры ***4*** размером ***h***, на

которые ставят ролики ***3***, соприкасающиеся с изделием ***1***, и измеряют вторично расстояние l_2 между ними; зная размеры ***h***, l_1 и l_2 определяют конусность по формуле

$$tg = \frac{\propto}{2} = \frac{l_2 - l_1}{2h}$$

а значение **α** находят по таблице тригонометрических функций.

По такому же принципу измеряют конусность с помощью двух калиброванных колец с заранее известными диаметрами ***D*** и ***d***, толщиной ***h***. После надевания колец на конус измеряют размер ***H*** и определяют тангенс угла по формуле

$$2tg = \frac{\propto}{2} = \frac{D - d}{H - h}$$

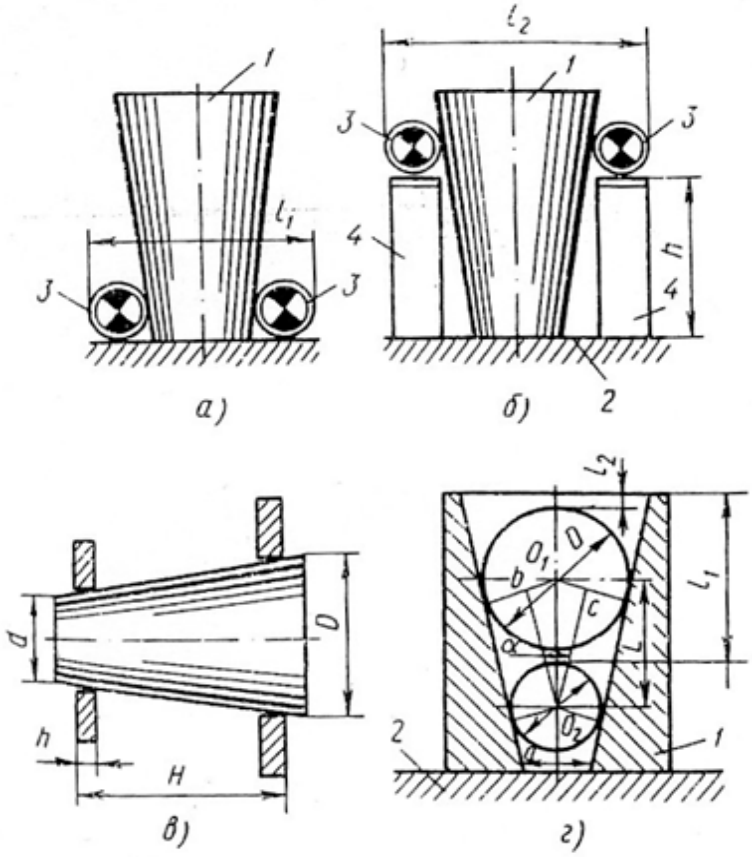


Схема измерения угла конуса с помощью калиброванных роликов (*а* и *б*), колец (*в*) и шариков (*г*)

Рис. 17.22

Угол внутреннего конуса определяют с помощью двух шариков, диаметры которых заранее известны, и глубиномера. Втулку *1* ставят на плиту *2*, закладывают внутрь шарик малого диаметра ***d*** и измеряет глубиномером l_1, затем закладывают шарик большего диаметра ***D*** и измеряют размер l_2.

Конусность втулки определяют по формуле

$$2sin\frac{\propto}{2} = \frac{2(D - d)}{2(l_1 - l_2) - (D - d)}$$

Размеры l_1 и l_2 в зависимости от требуемой точности измеряют простыми или рычажными микрометрами, угловые размеры конусных калибров (пробок) – синусными линейками.

Приложение 17.1

Нормальные конусности по ГОСТ 8593-81

Конусность К	Угол наклона α	Примеры применения
1:300	0˚6′32,5″	Крепежные детали неразборных соединений, подвергающиеся вибрациям и ударной переменной нагрузке. Конические оправки
1:200	0˚17′11,3″	
1:100	0˚34′22,6″	Крепежные детали неразборных соединений, подвергающиеся вибрациям и спокойной переменной нагрузке; клиновые шпонки; коническая оправка
1:50	1˚8′45,2″	Конические штифты; установочные шпильки; концы насадных рукояток
1:30	1˚54′34,9″	Конусные шейки шпинделей
1:20	2˚51′51,1″	Метрические конусы в шпинделях станков; оправки
1:15	3˚49′5,9″	Конические соединения деталей при осевых нагрузках; соединения поршней со стоками; посадочные места для зубчатых колес
1:12	4˚46′18,8″	Закрепительные втулки шарико- и роликовых подшипников; конуса Морзе (ГОСТ 14034-74)
1:10	5˚43′29,3″	Конические соединения деталей при нагрузках, перпендикулярных и параллельных оси; концы валов электрических и других машин; регулируемые втулки подшипников шпинделей
7:24	8˚18′20″	Оправки для горизонтально-фрезерных станков (ГОСТ 15067-75); патроны цанговые для крепления режущего инструмента (ГОСТ 26539-83)
1:5	11˚25′16,3″	Легко разъемные соединения деталей при нагрузках, перпендикулярных и параллельных оси; конические фрикционные муфты
1:3	18˚55′28,7″	
1:1,886	30˚	Фрикционные муфты приводов, зажимные цанги
1:0,886	60˚	Центровые отверстия
1:652	75˚	Внутренний конус нажимных гаек в соединениях труб высокого давления; наружные центры инструментов до 10 мм
1:0,5	90˚	Конусы вентилей и клапанов; центровые отверстия для тяжелых работ; потайные головки заклепок до 10 мм
1:0,289	120˚	Потайные головки заклепок ø 2…5 мм; внутренние фаски резьбовых отверстий; конусы под набивку сальников; дроссельные клапаны

Приложение 17.2

Конусности наружных и внутренних конусов применяемых в машиностроении

Тип конусов	Обозначение конуса	Конусность	Угол конуса 2α	Угол наклона α
1	2	3	4	5
Метрические	4 6 80 100 120 140 160 200	1:20	2˚51′52″	1˚25′56″
Нормальные общего назначения	120 110 90 75 60 45 30 1:1,5 1:3 1:5 1:6 1:7 1:10 1:15 1:30 1:50 1:80 1:100 1:200 1:300 1:500 1:800 1:1000	1:0,289 1:0,350 1:0,500 1:0,652 1:0,866 1:1,207 1:1,866 1:1,5 1:3 1:5 1:6 1:7 1:10 1:15 1:30 1:50 1:80 1:100 1:200 1:300 1:500 1:800 1:1000	120˚ 110˚ 90˚ 75˚ 60˚ 45˚ 30˚ 36˚52′12″ 18˚55′28″ 11˚25′18″ 9˚31′36″ 8˚10′16″ 5˚43′30″ 3˚49′06″ 1˚54′34″ 1˚08′46″ 0˚42′58″ 0˚34′24″ 0˚17′10″ 0˚11′26″ 0˚06′54″ 0˚04′16″ 0˚03′26″	60˚ 55˚ 45˚ 37˚30′ 30˚ 22˚30′ 15˚ 18˚26′06″ 9˚27′44″ 5˚42′39″ 4˚45′48″ 4˚05′08″ 2˚51′45″ 1˚54′33″ 0˚57′17″ 0˚34′23″ 0˚21′29″ 0˚17′12″ 0˚08′35″ 0˚05′43″ 0˚03′27″ 0˚02′08″ 0˚01′43″
Нормальные специального назначения	7:24 7:48 7:64 1:16 1:8 1:12 1:24	7:24 7:48 7:64 1:16 1:8=12,5% 1:12 1:24	16˚35′40″ 8˚20′26″ 6˚15′38″ 3˚34′48″ 7˚09′10″ 4˚46′20″ 2˚23′12″	8˚17′50″ 4˚10′13″ 3˚07′49″ 1˚47′24″ 3˚34′35″ 2˚23′10″ 1˚11′36″

Тип конусов	Обозначение конуса	Конусность	Угол конуса 2α	Угол наклона α
1	2	3	4	5
Дюймовые	200 250 300 350 400 450 500 600 800 1000	3/4′ на 1 фут=1:16	3°34′48″	1°47′24″
	1½″ на фут ½″ на фут 1″ на фут	1:8 1:24 1:12	7°09′10″ 2°23′12″ 4°46′20″	3°34′35″ 1°11′36″ 2°23′10″
	0,239 0,299 0,375	0,04183	2°23′44″	1°11′52″

Конуса Морзе

Номер Морзе	Нормальные		Укороченные ГОСТ 9953-82		Конусность	Угол конуса 2α	Угол наклона α
	D	L	Обознач.	D_1			
0	9,045	49	B7	7,067		2°58′56″	1°29′28″
			1:19,212		1:19,212		
			B10	10,094	0,05205		
			1:20,047				
1	12,065	52	B12	12,065	1:20,047	2°51′28″	1°25′44″
			1:20,047		0,04988		
2	17,780	64	B16	15,733	1:20,020	2°51′42″	1°25′51″
			1:20,020		0,04995		
3	23,825	79	B18	17,780	1:19,922	2°52′44″	1°26′16″
			1:20,020		0,050196		
4	31,267	100	B22	21,793		2°58′32″	1°29′16″
			1:19,922		1:19,254		
			B24	23,825	0,05194		
			1:19,922				
5	44,399	126	B32	31,267	1:19,002	3°00′54″	1°30′27″
			1:19,254		0,05263		
6	63,348	174	B45	44,399	1:19,180	2°59′12″	1°29′36″
			1:19,002		0,05214		

Приложение 17.3

Уклоны и соответствующие им углы

Обозначение уклона	Углы конусных изделий (см. рис. 9.13)		Углы наклонных плоскостей (см. рис. 9.14)
	Угол наклона конуса α	Угол конуса 2α	
1:3	18˚26′05″	36˚52′10″	18˚26′05″
1:5	11˚18′36″	22˚37′12″	11˚18′36″
1:6	9˚27′44″	18˚55′28″	9˚27′04″
1:7	8˚55′50″	17˚51′40″	8˚55′50″
1:8	7˚07′30″	14˚15′00″	7˚07′30″
1:10	5˚42′38″	11˚25′16″	5˚42′38″
1:12	4˚45′48″	9˚31′36″	4˚45′48″
1:15	3˚48′50″	7˚37′40″	3˚48′50″
1:16	3˚34′35″	7˚09′10″	3˚34′35″
1:20	2˚51′45″	5˚43′30″	2˚51′45″
1:24	2˚23′08″	4˚46′16″	2˚23′08″
1:30	1˚54′33″	3˚49′06″	1˚54′33″
1:50	1˚08′46″	2˚17′32″	1˚08′46″
1:80	0˚42′58″	1˚23′56″	0˚42′58″
1:100	0˚34′23″	1˚08′46″	0˚34′23″
1:200	0˚17′12″	0˚34′24″	0˚17′12″
1:300	0˚11′27″	0˚22′54″	0˚11′27″
1:500	0˚06′52″	0˚13′44″	0˚06′52″
1:800	0˚04′19″	0˚08′38″	0˚04′19″
1:1000	0˚03′27″	0˚06′54″	0˚03′27″

17.6 Измерение точных углов синусными линейками

17.6.1 Типы синусных линеек

Синусные линейки ГОСТом 4046-80 предусмотрены 3-х типов: ЛС (рис. 17.23, *а*), ЛСО (рис. 17.23, *б*), ЛСО с центрами (рис. 17.23, *в*) класс точности 1 и 2.

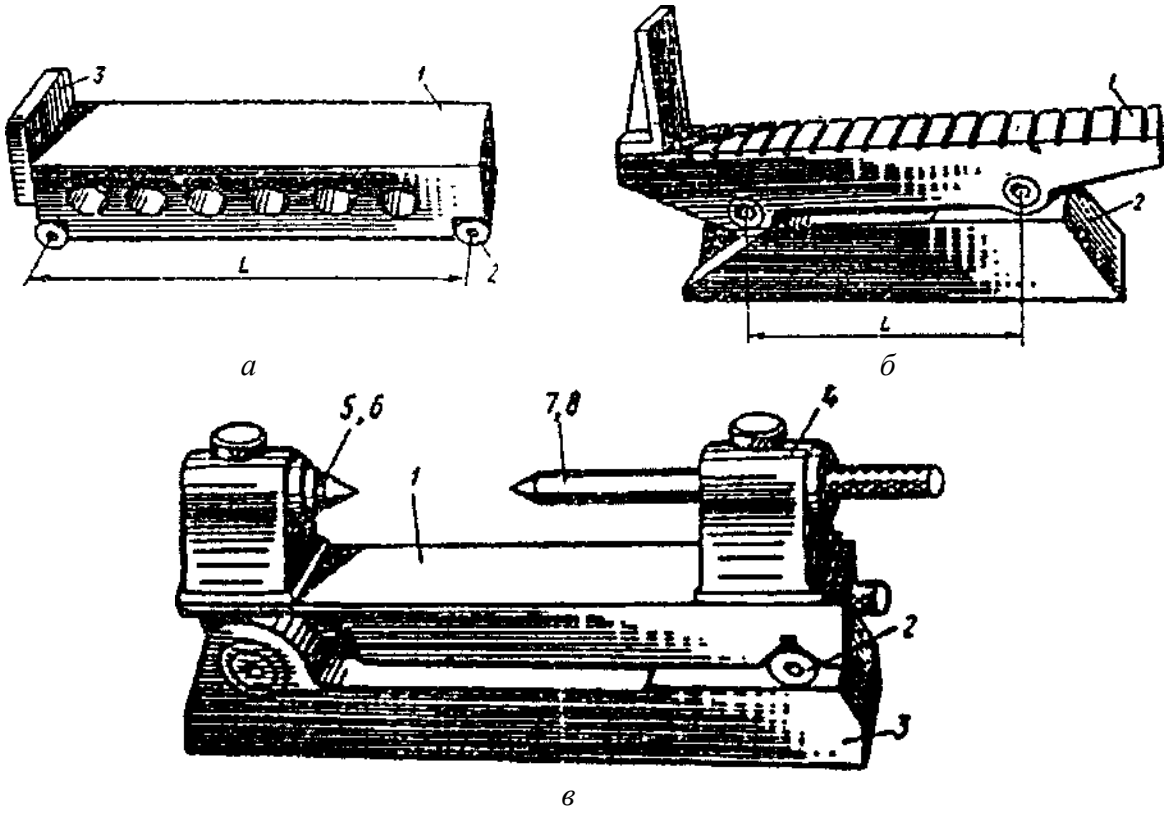


Рис. 17.23 – Типы синусных линеек

Синусная линейка ЛС без опорной плиты с одним наклоном состоит из столика *1*, двух роликов *2*, опорной планки *3*.

Важнейшим элементом всех синусных линеек является расстояние между роликами – *L*.

Синусная 'линейка ЛСО с опорной плитой и одним наклоном состоит из длинного стола *1* (*L*=300 мм), соединенного с опорной плитой *2*. Такая конструкция обеспечивает безопасность работы при измерении угла большего или равного 30° и изделий больших размеров.

Синусная линейка с центрами относится к типу ЛСО, она предназначена для измерения углов конусных изделий и концентричности диаметров цилиндрических и конусных поверхностей относительно общей оси изделия. Кроме основных деталей (столика *1*, роликов *2*, и опорной плиты *3*) линейка имеет передвижные и неподвижные бабки *4* с направляющими втулками, два сменных центра *5, 6* и две сменные центровые оправки *7, 8* с наружными и внутренними центрами, которые посменно хранятся в специальных гнездах столика и опорной плиты.

Синусная линейка (рис. 17.24) с магнитным устройством *2* относится к типу ЛСД с двумя наклонами. Отечественной промышленностью не освоена.

Линейка состоит из двух синусных линеек (расстояние между ролика-

ми L = 100...200 мм), установлены одна на другую и соединены между собой так, что оси роликов одной линейки перпендикулярны осям роликов другой. Линейка предназначена для измерения двух углов изделия 3 с одной установки. При установке БКМ под один из роликов каждой линейки соответственно измеряемым углам, плоскости *А* и *Б* должны быть параллельны.

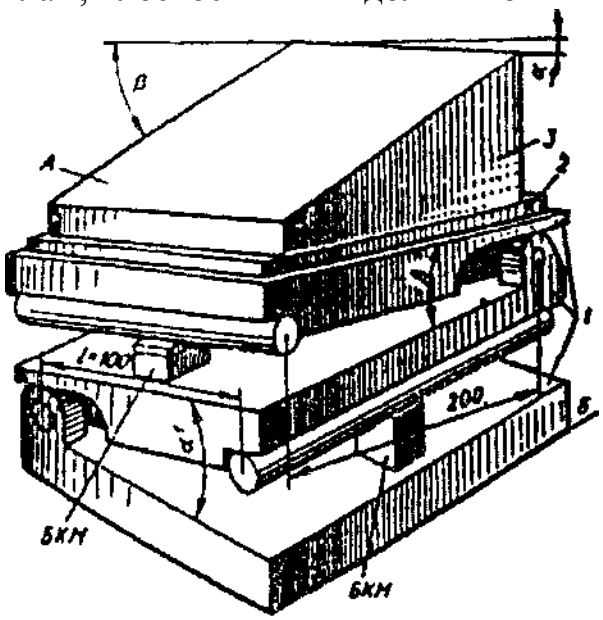


Рис. 17.24 – Синусная двухнаклонная линейка с магнитным устройством.

Фирма «ATORN», Германия производит синусные линейки по типу ЛСД – с магнитным столом, тип 24351. Поворот стола в поперечном сечении 0...45º. Расстояние между роликами, мм – 55, 85, 135.

Тип 24352 – без магнитного стола, с поворотом в продольном и поперечном сечении 0...30º. Расстояние между роликами (продольном/поперечном, мм) – 160/115; 240/145; 285/160; 335/160; 385/210.

Допускаемые погрешности линеек при установке их на углы до 45° при температуре окружающей среды (20±3) °С и относительной влажности 80% не должны превышать указанных в таблице 17.1.

Таблица 17.1

L, *l*, мм	Предел допускаемой погрешности (±) для линеек типов											
	ЛС				ЛСО				ЛСД			
	классов точности											
	1	2	1	2	1	2		2	1	2	1	2
	При установке на угол											
	до 30°		св. 30° до 45°		до 30°		св. 30° до 45°		до 30°		св. 30° до 45°	
100	5"	8"	6"	10"	6"	9"	8"	12"	8"	12"	10"	15"
150	-	-	-	-	-	-	-	-				
200	4"	6"	5"	8"	5"	8"	6"	10"	6"	9"	8"	13"
300												
500									-	-	-	-

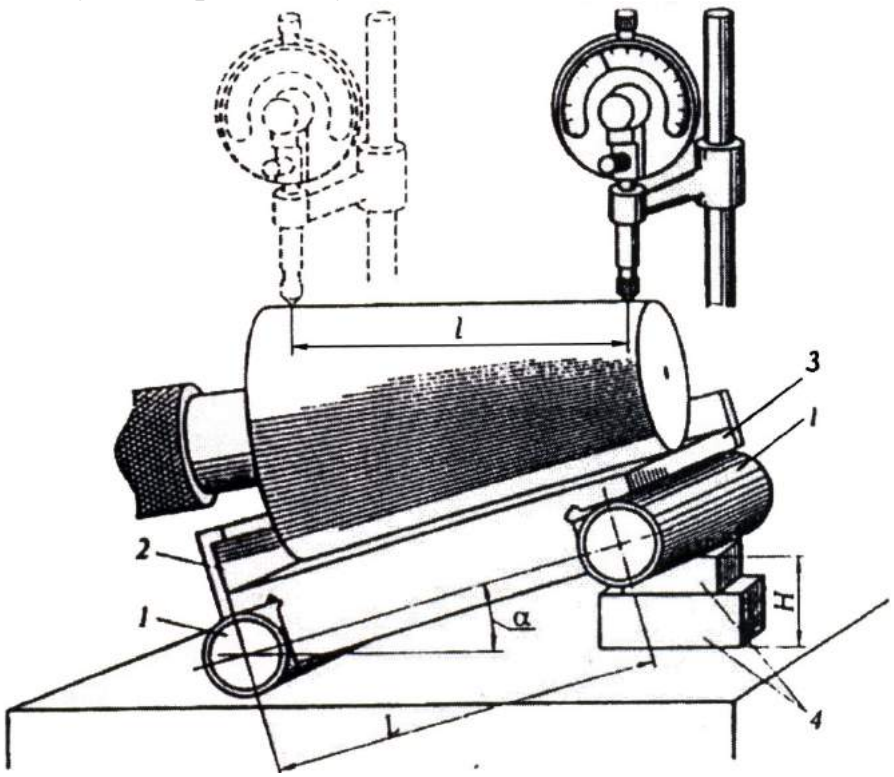
17.6.2 Тригонометрический метод контроля конусов на синусных линейках

Измерение углов на синусной линейке называют тригонометрическим. Этот метод заключается в определении размера блока концевых мер (БКМ), установке изделия на синусную линейку, проверке точным прибором (индикаторной головкой с ценой деления 1...2 мкм) параллельности верхней образующей (угол) поверхности изделия основанию установки, т.е. контрольной плиты.

Размер блока концевых мер определяют по формуле:

$$\text{БКМ} = L \cdot \sin \alpha$$

где L – длина синусной линейки (расстояние между осями роликов);
$\sin \alpha$ – синус измеряемого угла.



1–Ролики; *2*–упорная планка; *3*–плита; *4*–концевые меры длины; *L*–расстояние между осями роликов (базовое расстояние синусной линейки); *l*–расстояние между точками измерения; *H*–высота блока концевых мер длины; α – угол наклона линейки (половина угла конуса)

Рис. 17.25 – Схема установки и контроля конусной калибр-пробки на синусных линейках

Пример расчета блока концевых мер (БКМ):

Угол 2°51'52". Синусная линейка с расстоянием между роликами – 250 мм. Необходимо определить БКМ.

По таблице тригонометрических функций находим функцию синуса 2°51'. Она равна 0,04972. Функцию синуса 52" определяем методом интерполяции: 60" = 0,00029, 52" = x.

x = 0,00029 · 52/60 = 0,01508/60 = 0,00025

Затем складываем функции угла – 2°51'52" это соответствует 0,04997. Подставив значение функции синуса в формулу, получим:

БКМ = L · sin α = 250 · 0,04997 = 12,4925 мм.

Рассчитанный и составленный БКМ устанавливаем под один из роликов синусной линейки.

Целесообразно определять БКМ с помощью данных, рассчитанных заранее (приложение А).

17.6.3 Способы установки изделий на синусной линейке

В зависимости от сложности конфигураций или систем координат изделий применяют различные способы установки их на синусные линейки различных типов. В отдельных случаях при установке применяются в качестве вспомогательных баз или упоров точные параллели, призмы, ролики или шарики.

Установка изделия для измерения общего угла конусного калибра (рис. 17.26).

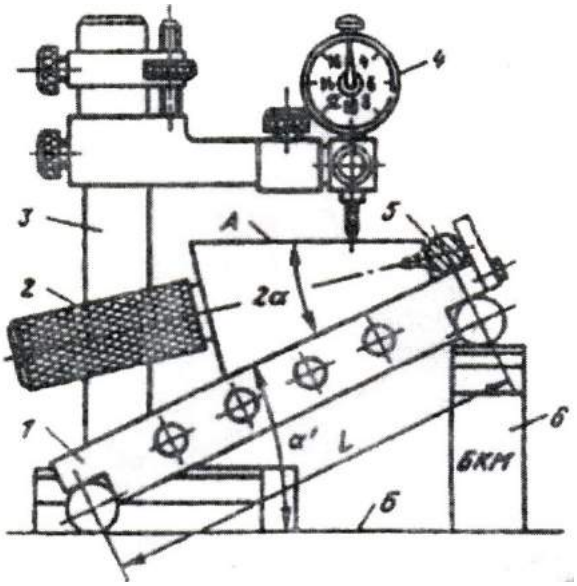


Рис. 17.26 – Измерение калибра на синусную линейку

Синусная линейка *1* установлена на точной контрольной плите. БКМ *6*, рассчитанный на измеряемый угол изделия, установлен под ролик синусной линейки. Калибр *2* установлен на синусную линейку и торцом малого диаметра конуса упирается в ролик *5*. Параллельность поверхности *А* плите *Б* проверяется индикатором *4*, установленного в стойке *3*. Стойка перемещается на плите. Таким образом проверяется отклонение угла 2α.

Установка центра на синусную линейку для измерения угла 60°

(рис. 17.27)

Если изделие имеет прямой и обратный конусы, как у центра, а углы измеряются синусной линейкой типа ЛС, необходимо из угла 60° вычесть угол конуса хвостовика, найти половину разности и, для определения БКМ,

функцию синуса полученного угла умножить на длину синусной линейки *L*:

$$60° = 59°59'60" – 2°51'42" = 57°08'18"$$

БКМ = $L \cdot \sin 28°34'09"$(половина приведенного угла конуса)

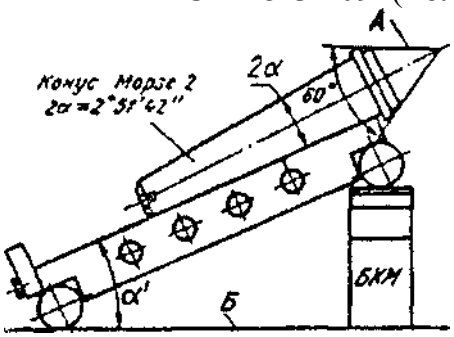


Рис. 17.27

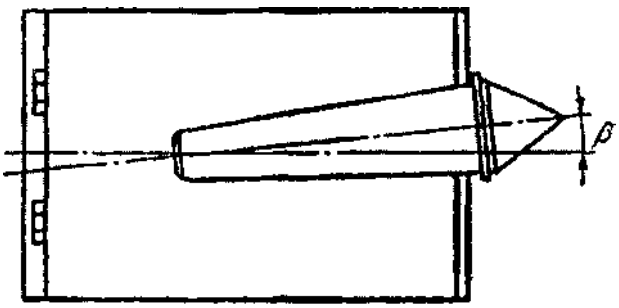


Рис. 17.28

Способы установки центров на синусной линейке

Рассчитанный БКМ ставят под ролик синусной линейки. Угол 28°34'09" равняется углу α, измеряют индикатором путем проверки параллельности верхней образующей (угол 30°) поверхности *А* к плоскости *Б*.

При пользовании синусной линейкой ЛС можно столкнутся с рядом существенных недостатков:

–возможна неустойчивая установка изделий (одна рука должна удерживать на линейке изделие, другая управлять индикаторной стойкой);

–возможно образование угла β (рис. 17.28), отрицательно влияющего на точность измерения;

–нет возможности измерять укороченные конусы с углами >30°;

–увеличение затрат времени на измерение вследствие дополнительных расчетов при измерении углов прямых и обратных конусов и перестановки изделий с линейки на центры для проверки концентричных поверхностей.

17.6.4 Измерение углов наружных конусов на синусной линейке с центрами

Способ измерения углов наружных конусов на синусной линейке с центрами более рационален. Наличие центров позволяет устанавливать на линейку изделия с конусами и цилиндрическими поверхностями, при этом отпадает необходимость применять вспомогательные средства измерения (призмы, параллели, ролики, центры для проверки биения).

Данный способ более безопасен в работе, удобен, обеспечивает высокую точность измерения углов (3...5') с одновременной проверкой концентричности поверхности изделий.

На синусной линейке *с* центрами измеряют половину угла конуса α (рис. 17.29). Изделие *3*, имеющее конусную и цилиндрическую поверхности, установлено в центре синусной линейки *1*.

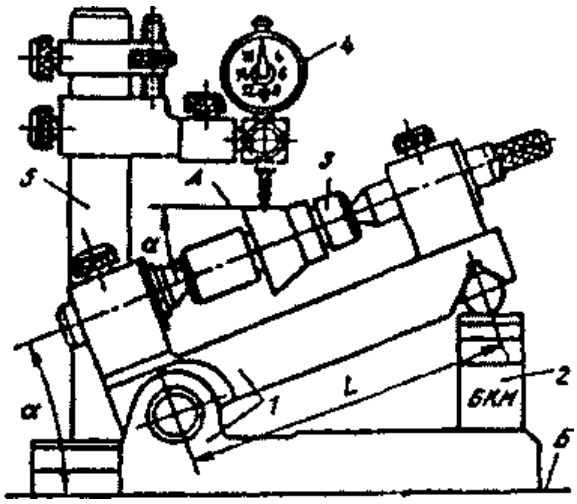


Рис. 17.29

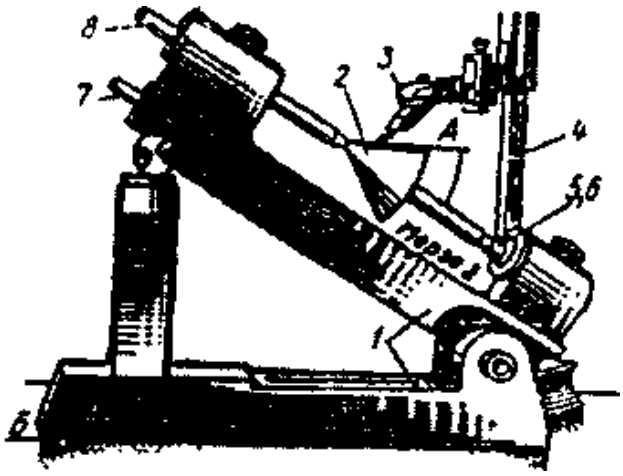


Рис. 17.30

Способы установки наружных конусов в синусных линейках с центрами

БКМ 2 рассчитан (или определен по таблицам приложения А) соответственно измеряемому углу α и поставлен под ролик синусной линейки. Параллельность поверхности изделия *А* и плоскости *Б*, концентричность поверхности изделия проверяется индикатором *4*, перемещаемым стойкой *5*. Проверяемый угол считается годным, если отклонение от параллельности поверхностей *А* и *Б* находится в пределах допуска, обозначенного на чертеже, или нормативной документации.

Особенно удобно на синусной линейке *1* с центрами измерять углы изделий с прямыми и обратными конусами, как изделия *2* на рис. 17.30. Не прибегая к дополнительным расчетам, угол 30° прямого конуса измеряют путем проверки параллельности поверхностей *А* и *Б* индикатором *3*, перемещаемым стойкой *4*. Для проверки угла обратного конуса Морзе *2* достаточно поменять местами центры *5* и *6* и центровые оправки *7* и *8*, вставить в центры изделие, определить по таблице Приложения 1 БКМ, соответствующий половине угла конуса Морзе *2*, поставить его под .ролик синусной линейки и проверить индикатором параллельность поверхности образующей конуса и плоскости Б.

Производительность измерения углов конусных изделий на синусной линейке с центрами с использованием данных табл. Приложения А повышается в 5...6 раз.

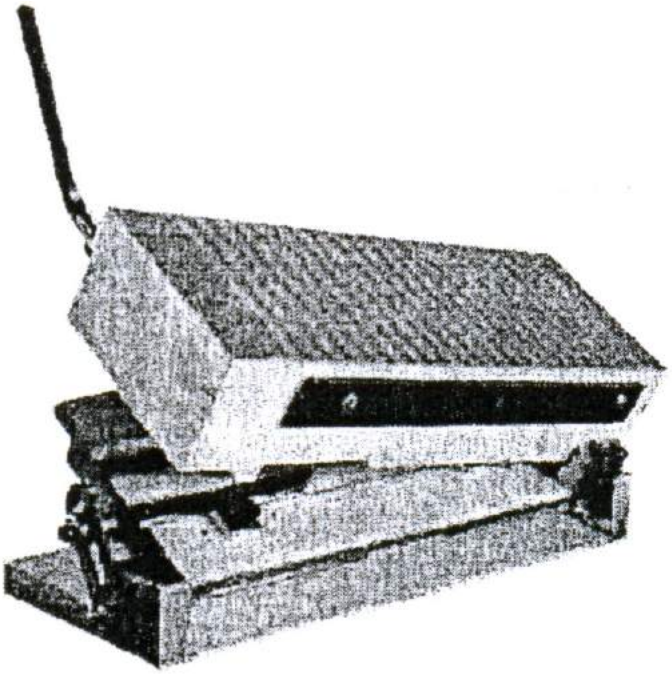


Рис. 17.31 – Синусная магнитная плита

При контроле деталей машин, шаблонов с углами в двух плоскостях целесообразно применять синусные магнитные плиты 2С.7208-0003 Читинского станкостроительного завода (рис. 17.31). Магнитная плита имеет наклон в продольной и поперечной плоскости 0...45^0. Допуск на измеряемый угол должен быть 30" и грубее.

При использовании упоров, призм, точных параллелей повышается точность и производительность контроля на синусных магнитных плитах.

17.6.5 Определение угловых размеров конусов и наклонных плоскостей по конусности или уклону

Угловые размеры конусов и наклонных плоскостей часто обозначаются на чертежах в виде отношений: разности диаметров, разности радиусов или толщин плоских изделий к их длине.

Отношение разности диаметров конуса к его длине называется конусностью. Обозначение конусности на чертеже см. рис. 17.32.

Конусность $к$ определяется по формуле

$$к = (D-d)/L = 2tg\alpha \qquad (1)$$

где D и d – диаметры конуса;

L – длина конуса;

$2\ tg\ \alpha$ – тангенс общего угла конуса.

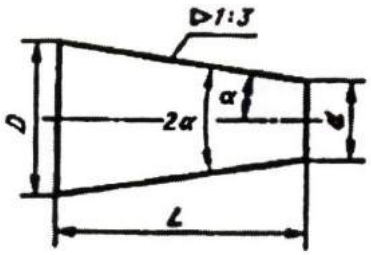


Рис. 17.32

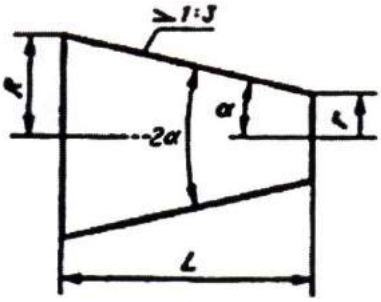


Рис. 17.33

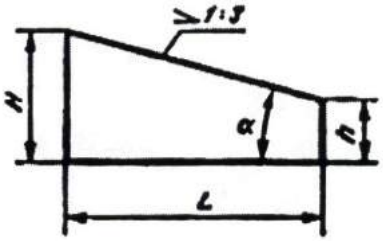


Рис. 17.34

Примеры обозначения конусов, уклонов на чертежах

Отношение разности радиусов или толщин плоских изделий к их длине называется уклоном.

Обозначение на чертежах уклонов см. на рис. 9.13 и 9.14; в формулах уклон обозначают буквами: *N* – для конусов; *У* – для плоских изделий. Уклоны определяют по формулам:

$$N = (R - r) / L = tg\ \alpha \qquad (2)$$

где *R* и *r* – радиусы конуса;
L – длина конуса;
tg α – тангенс угла конуса.

$$У = (H - h)/L = tg\ \alpha \qquad (3)$$

где *H* и *h* – ширина на концах изделия.

Расчет углов конуса по конусности:

к = (*D* – *d*) / *L* = (20 - 10) / 30 = 1/3 = 2*tg* α; (для примера условно выбраны *D*=20 мм, *d*=10 мм, *L*=30 мм) 2*tg* α = 1/3 = 0,33333; *tg* α = 0,33333/2 = 0,16666.

По таблице тригонометрических функций (приложение А) находят функцию тангенса, ближайшую *к* полученной. Она равна 0,16644 и соответствует углу 9°27'. Для более точного определения угла находят разность значений функции и составляют пропорцию:

$$0{,}16666 - 0{,}16644 = 0{,}00022;$$

$$0{,}00030/60'' = 0{,}00022/x''$$

где 0,00030 – разность значений функций, приходящихся на 1', равную 60".

Решаем уравнение относительно *x*":

$$x'' = 60'' \cdot 0{,}00022/0{,}00030 = 44''$$

После сложения функции углов получают *x* = 9°27'44"; 2α = 18°55'28". Расчет угла конуса или наклонной плоской по уклону:

$$У = (H–h)/L = (15–5)/30 = 1/3 = tg\ \alpha = 0{,}33333.$$

Угол наклона таким же образом отыскивается по таблице тригономет-

рических функций.

Стандартные конусности и соответствующие углы целесообразно определять по заранее рассчитанным данным (приложение 17.2), а уклоны по таблице приложения 8.3. В таблице приложения А приведены размеры БКМ на различные углы стандартных конусов.

17.6.6 Измерение угловых шаблонов

Угловые размеры шаблонов и контршаблонов измеряют обычно при помощи проекторов, микроскопов, угломеров, а точные углы крупногабаритных шаблонов – синусными линейками с помощью индикаторов и концевых мер длины (рис. 17.35).

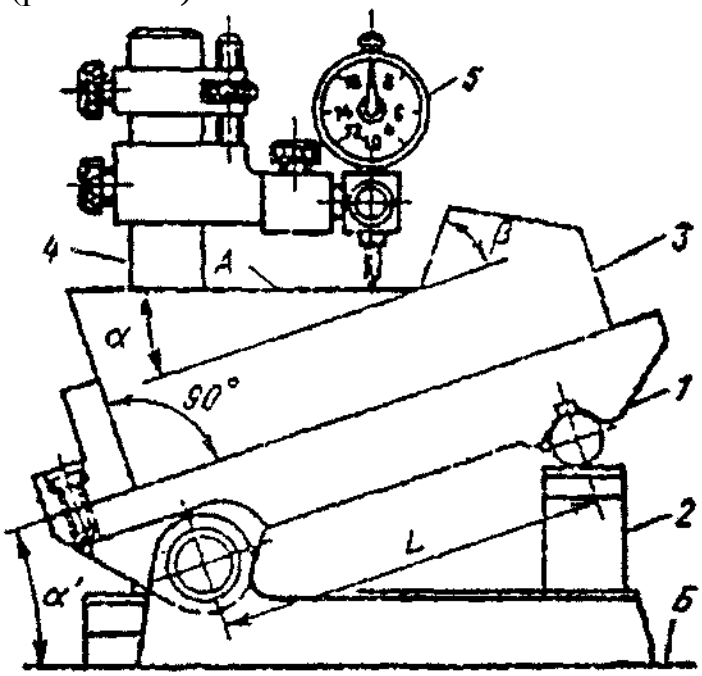


Рис. 17.35 – Измерение шаблона на синусной линейке

На синусной линейке *1* с БКМ *2* измеряют угол α шаблона *3*. БКМ, рассчитанный или определенный по таблицам приложения 8.1 и 8.2 соответственно измеряемому углу и длине синусной линейки α' = α. Для проверки точности этого равенства необходимо стойкой *4* переместить индикатор *5* по поверхности *А* и плоскости *Б*. Эти показания индикатора характеризуют величину допуска.

В отсутствии синусной линейки или, если габариты шаблона (детали) не позволяют использовать синусную линейку, используют угольники и высотомеры или блоки концевых мер и стойки с индикаторами. Измерив линейные размеры углов (уклонов) тригонометрическим методом, определяют углы. При этом методе контроля применяются угольники магнитные Читинского станкозавода (рис. 17.36).

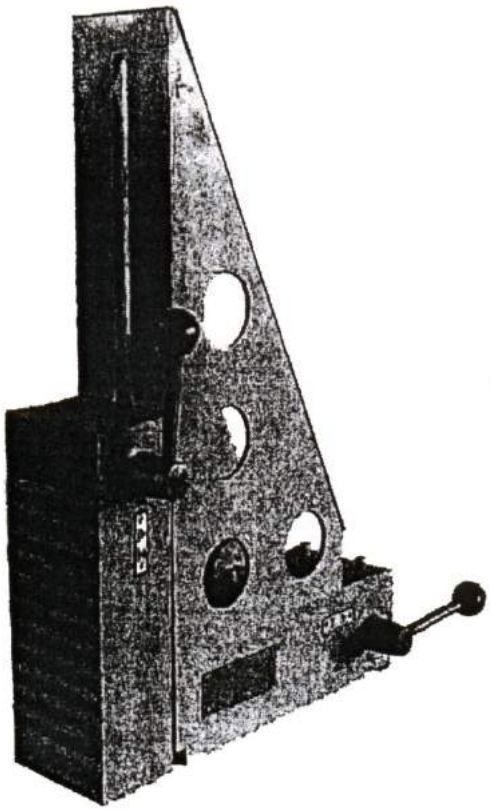


Рис. 17.36 – Угольник магнитный. Модель 0897-8017

Использование магнитного угольника при контроле повышает производительность контроля в 2...4 раза.

17.6.7 Таблицы для определения размеров блоков концевых мер (БКМ) для нормальных конусов

В таблицах приложений А приведены параметры БКМ на широкий диапазон углов различных изделий, измеряемых синусными линейками. Пользуясь этими таблицами в процессе изготовления и контроля специального инструмента с угловыми размерами, слесари-инструментальщики, шлифовщики, контролеры инструментальных цехов и метрологических служб имеют возможность работать более производительно.

Таблица приложения А предназначена:

а) для определения углов стандартных и специальных конусов по конусности;

б) для определения размера БКМ соответственно измеряемым углам на синусных линейках с расстояниями между роликами 100, 200, 250, 300 мм.

В настоящее время ряд европейских фирм выпускает синусные линейки с расстояниями между роликами в мм: 55; 85; 115; 135; 145; 160; 210.

В таблице приложения А приведены расчеты БКМ для нормальных конусов по ГОСТ 8593-81.

Примеры расчета БКМ

1. По чертежу углы конуса обозначены конусностью 1:17. Определить

углы конуса.

В таблице приложения А находим конусность 1:20 и соответственно определяем углы конуса: α=1º25'56"; 2α=2°5'52". Измерение изделия будет производиться на синусной линейке с *L*=100 мм. Необходимо определить БКМ.

В пересечении координат α=1°25'56" – 100 находим размер БКМ, равный 2,4990 мм.

Приложение А

Размеры БКМ для стандартных конусов с учетом межцентровых расстояний между роликами синусных линеек отечественного производства и западных производителей синусных линеек

Конусность	Угол конуса		БКМ при длине синусной линейки, мм							
	Обозначение	Значение	55	85	100	115	135	145	160	200
1	α 2α	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1:20	α	1°25'56"	1,3585	2,0995	2,4990	2,8405	3,3345	3,5815	3,952	4,9981
	2α	2°51'52"	2,7484	4,2474	4,9970	5,7466	6,7460	7,2457	7,9952	9,9940
1:8	α	3°34'35"	3,43085	5,3022	6,2379	7,1736	8,4212	9,0450	9,9806	12,4758
	2α	7°09'10"	6,8485	10,8542	12,4520	14,3198	16,8102	18,0554	19,9232	24,9040
1:16	α	1°47'24"	1,7180	2,6551	3,1236	3,5921	4,2117	4,5292	4,9978	6,2472
	2α	3°34'48"	3,4343	5,3076	6,2442	7,1808	8,4297	9,0541	9,9907	12,4884
1:12	α	2°23'10"	2,2896	3,5384	4,1628	4,7872	5,6198	6,0361	6,6608	8,3256
	2α	4°46'20"	4,5758	7,0720	8,3197	9,5680	11,2320	12,0640	13,3120	16,6394
1:24	α	1°11'36"	1,1453	1,7700	2,0824	2,3948	2,8112	3,0195	3,3318	4,1648
	2α	2°23'12"	2,2901	3,5394	4,1638	4,7886	5,6214	6,0378	6,6624	8,3276
1:30	α	0°57'17"	0,9271	1,4327	1,6662	1,9384	2,2755	2,4440	2,6969	3,3324
	2α	1°54'34"	1,8323	2,8305	3,3314	3,8295	4,4955	4,8285	5,3280	6,6628
1:50	α	0°34'23"	0,5500	0,8500	1,0001	1,1500	1,3500	1,4502	1,6000	2,0002
	2α	1°08'46"	1,1001	1,7000	2,0002	2,3000	2,7000	2,9000	3,2000	4,0004
1:80	α	0°21'29"	0.4730	0,7310	0,6250	0,9890	1,1610	1,2470	1,3760	1,2500
	2α	0°42'58"	0,6875	1,0625	1,2500	1,4375	1,6875	1,8125	2,0000	2,5000
1:100	α	0°17'12"	0,2749	0,4248	0,4998	0,5748	0,6747	0,7247	0,7997	0,9996
	2α	0°34'24"	0,5500	0,8500	1,006	1,1500	1,3500	1,4500	1,6000	2,0012
1:200	α	0°08'35"	0,1374	0,2124	0,2499	0,2874	0,3374	0,3624	0,4000	0,4998
	2α	0°17'10"	0,2744	0,4240	0,4988	0,5736	0,6734	0,7233	0,7981	0,9976
1:300	α	0°05'43"	0,0912	0,1409	0,1657	0,1907	0,2238	0,2404	0,2653	0,3314
	2α	0°11'26"	0,1829	0,2827	0,3326	0,3825	0,4490	0,4823	0,5322	0,6652
1:500	α	0°03'27"	0,0550	0,0850	0,1000	0,1150	0,1350	0,1450	0,1600	0,2000
	2α	0°06'54"	0,1101	0,1700	0,2001	0,2301	0,2701	0,2900	0,3200	0,4002
1:800	α	0°02'08"	0,0340	0,0527	0,0619	0,0713	0,0837	0,0899	0,0992	0,1238
	2α	0°04'16"	0,0680	0,1054	0,1237	0,1426	0,1674	0,1798	0,1984	0,2474
1:1000	α	0°01'43"	0,0275	0,0425	0,0498	0,0575	0,0675	0,0725	0,0800	0,0996
	2α	0°03'26"	0,0548	0,0847	0,0996	0,1145	0,1345	0,1444	0,1594	0,1992
1:0,500	α	45°	38,8910	60,1044	70,7110	81,3177	95,4600	102,5310	113,1376	141,4220
1:0,86	α	30°	27,5000	42,5000	50,000	57,5000	67,5000	72,5000	80,0000	100,0000
1:1,866	α	15°	14,2351	21,9997	25,8820	29,7643	34,9407	37,5289	41,4112	51,7640
	2α	30°	27,5000	42,5000	50,000	57,5000	95,4600	72,5000	80,0000	100,000
1:1,207	α	22°30'45°	21,0474	32,5278	38,2680	44,0082	51,6618	55,4886	61,2288	76,5360
	2α		38,8910	60,1044	70,7110	81,3177	95,4600	102,5310	113,1376	141,4220
1:1,5	α	18°26'06"	17,3926	26,8795	31,6229	36,3663	42,6909	45,8532	50,5966	63,2458
	2α	36°52'12"	33,0004	51,0000	60,008	69,0009	81,0011	87,0012	96,0013	120,0016
1:3	α	9°27'44"	9,0421	13,9742	16,4403	18,9063	22,1944	23,8384	26,3044	32,8805
	2α	18°55'28"	17,8379	27,5676	32,4325	37,2974	43,7839	47,0271	51,8920	64,8650

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1:5	α	5°42'39"	5,4730	8,4583	9,9508	11,4435	13,4337	14,4288	15,9214	19,9017
	2α	11º25'18"	10,8915	16,8326	19,8027	22,7734	26,7340	28,7144	31,6848	39,6054
1:6	α	4°45'48"	4,5673	7,0586	8,3042	9,5498	11,2107	12,0411	13,2867	16,6084
	2α	9°31'36"	9,1027	14,0678	16,5504	19,0330	22,3430	23,9981	26,4806	33,1008
1:7	α	4°05'08"	3,9187	6,0562	7,1249	8,1936	9,6186	10,3311	11,3998	14,2497
	2α	8°10'16"	7,8170	12,0808	14,2127	16,3446	19,1871	20,6084	22,7403	28,4255
1:10	α	2°5145"	2,7466	4,2447	4,9937	5,7429	6,7416	7,2410	7,9901	9,9875
	2α	5°43'30"	5,4856	8,47972	9,9755	11,4718	13,4670	14,4645	15,9608	19,9410
1:15	α	1°54'33"	1,8320	2,8314	3,3309	3,8307	4,4969	4,8300	5,3296	6,6619
	2α	3°49'06"	3,6624	5,6602	6,6589	7,6579	8,9897	9,6556	10,6544	13,3178
7:24	α	8°17'50"	7,9371	12,2664	14,4312	16,5957	19,4819	20,9250	23,0896	28,8623
	2α	16°35'40"	15,7082	24,2760	28,5603	32,8440	38,5560	41,4120	45,6960	57,1206
7:48	α	4°10'13"	3,9998	6,1815	7,2722	8,3631	9,8176	10,5448	11,6357	14,5446
	2α	8°20'26"	7,9783	12,3301	14,5056	16,6819	19,5831	21,0337	23,2096	29,0111
7:64	α	3°07'49"	3,0034	4,6419	5,4607	6,2802	7,3724	7,9184	8,7376	10,9213
	2α	6°15'38"	5,9980	9,2696	10,9054	12,5412	14,7223	15,8128	17,4486	21,8107
Дюймовые конусы										
1½" на 1 фут=1:8	α	3°34'35"	3,4308	5,3022	6,2379	7,1736	8,4212	9,0450	9,9806	12,4758
	2α	7°09'10"	6,8485	10,5840	12,4518	14,3196	16,8100	18,0551	19,9229	24,9037
1" на 1 фут=1:12	α	2°23'10"	2,2896	3,5384	4,1628	4,7872	5,6198	6,0361	6,6608	8,3257
	2α	4°46'20"	4,5758	7,0720	8,3197	9,5680	11,2320	12,0640	13,3120	16,6391
1" на 1 фут=1:16	α	1°47'24"	1,7180	2,6551	3,1236	3,5921	4,2117	4,5292	4,9978	6,2472
	2α	3°34'48"	3,4343	5,3076	6,2442	7,1808	8,4297	9,0541	9,9907	12,4884
½" на 1 фут=1:24	α	1°11'36"	1,1453	1,7700	2,0824	2,3948	2,8112	3,0195	3,3318	4,1648
	2α	2°23'12"	2,2901	3,5394	4,1638	4,7886	5,6214	6,0378	6,6624	8,3276
0,04183	α	1º11'52"	1,1495	1,7765	2,0901	2,4035	2,8215	3,0305	3,3440	4,1802
	2α	2°23'44"	2,2984	3,5522	4,1793	4,8059	5,6417	6,0596	6,6864	8,3585
Конусы Морзе										
0	α	1°29'28"	1,4314	2,2121	2,6025	2,9929	3,5134	3,7736	4,1640	5,2050
	2α	2°58'56"	2,8612	4,4217	5,2020	5,9823	7,0227	7,5429	8,3232	10,4041
1	α	1º25'44"	1,3713	2,1193	2,4933	2,8673	3,3660	3,6153	3,9893	4,9865
	2α	2°51'28"	2,7420	4,2377	4,9855	5,7333	6,7304	7,2290	7,9768	9,9710
2	α	1°25'51"	1,3732	2,1222	2,4966	2,8712	3,3705	3,6202	3,9947	4,9933
	2α	2°51'42"	2,7458	4,2435	4,9923	5,7411	6,7396	7,2388	7,9877	9,9846
3	α	1°26'16"	1,3798	2,1324	2,5087	2,8850	3,3867	3,6376	4,0139	5,0175
	2α	2°52'32"	2,7591	4,2640	5,0165	5,7690	6,7723	7,2739	8,0264	10,0329
4	α	1°29'16"	1,4282	2,2072	2,5967	2,9862	3,5055	3,7652	4,1547	5,1935
	2α	2°58'32"	2,8548	4,4119	5,1805	5,9691	7,0072	7,5262	8,3048	10,3809
5	α	1°30'27"	1,4471	2,2364	2,6310	3,0257	3,5519	3,8150	4,2096	5,2621
	2α	3°00'54"	2,893	4,4710	5,2601	6,0490	7,1010	7,6270	8,4160	10,5202
6	α	1°29'36"	1,4333	2,2151	2,6064	2,9969	3,5181	3,7787	4,1696	5,2115
	2α	2°59'12"	2,8654	4,4283	5,2098	5,9913	7,0332	7,5542	8,3357	10,4196

Конус-ность	Угол конуса		БКМ при длине синусной линейки, мм						
	обозначение	Значение	210	240	250	285	300	335	385
1	2	3	12	13	14	15	16	17	18
1:20	α 2α	1°25'56" 2°51'52"	5,187 10,4937	5,928 11,9928	6,2476 12,4928	7,0395 14,2414	7,4971 14,9913	8,2745 16,7400	9,5095 19,2384
1:8	α 2α	3°34'35" 7°09'10"	13,0996 26,1492	14,9710 29,8848	15,5948 31,1300	17,7780 35,4882	18,7137 37,3560	20,8970 41,7142	24,0159 4,9402
1:16	α 2α	1°47'24" 3°34'48"	6,5596 13,1128	7,4966 14,9861	7,8190 15,6150	8,9023 17,7960	9,3708 18,7326	10,4641 20,9181	12,0259 24,0402
1:12	α 2α	2°23'10" 4°46'20"	8,7419 17,4720	9,9907 19,9680	10,4071 20,7992	11,8640 23,7120	12,4884 24,9600	13,9454 27,8720	16,0268 32,0320
1:24	α 2α	1°11'36" 2°23'12"	4,3730 8,7444	4,9978 9,9936	5,2060 10,4095	5,9348 11,8674	6,2472 12,4990	6,9760 13,9494	8,0172 16,0314
1:30	α 2α	0°57'17" 1°54'34"	3,5397 6,9930	4,0453 7,9920	4,1655 8,3386	4,8038 9,4905	4,9986 9,9942	5,6466 11,1555	6,4894 12,8205
1:50	α 2α	0°34'23" 1°08'46"	2,1000 4,2000	2,4000 4,8000	2,5003 5,0006	3,3500 5,7000	3,0000 6,0000	3,3500 6,7000	3,8500 7,7000
1:80	α 2α	0°21'29" 0°42'58"	1,8060 2,6250	2,0640 3,0000	1,5625 3,1251	2,4510 3,5625	1,8750 3,7500	2,8810 4,1875	3,3110 4,8125
1:100	α 2α	0°17'12" 0°34'24"	1,0496 2,1000	1,2000 2,4000	1,2495 2,5015	1,4244 2,8500	1,4994 3,0018	1,6743 3,3500	1,9242 3,8500
1:200	α 2α	0°08'35" 0°17'10"	0,5248 1,0475	0,6000 1,1971	0,6248 1,2471	07122 1,4216	0,7497 1,4964	0,8372 1,6710	0,9621 1,9204
1:300	α 2α	0°05'43" 0°11'26"	0,3482 0,6985	0,3979 0,7982	0,4144 0,8314	0,4725 0,9479	0,4971 0,9978	0,5554 1,1142	0,6383 1,2805
1:500	α 2α	0°03'27" 0°06'54"	0,2100 0,4200	0,2400 0,4800	0,2501 0,5002	0,2850 0,5700	0,3000 0,6003	0,3350 0,6700	0,3850 0,7700
1:800	α 2α	0°02'08" 0°04'16"	0,1302 0,2604	0,1488 0,2976	0,15471 0,3093	0,1767 0,3534	0,1857 0,3712	0,2077 0,4154	0,2387 0,4774
1:1000	α 2α	0°01'43" 0°03'26"	0,1050 10,2092	0,1200 0,2390	0,1244 0,2489	0,1425 10,2839	0,1494 0,2987	0,1675 0,3337	0,1925 0,3835
1:0,500	α	45°	148,4931	169,7064	176,7775	201,5264	212,1330	236,8819	1272,2374
1:0,86	α	30°	105,0000	120,0000	125,0000	142,5000	150,0000	167,5000	192,5000
1:1,866	α 2α	15° 30°	54,3522 105,0000	62,1168 120,0000	164,7050 425,000	73,7637 142,5000	77,6460 150,0000	86,7047 167,5000	99,6457 192,5000
1:1,207	α 2α	22°30' 45°	80,3628 148,4931	91,8432 169,7064	95,6700 176,7775	109,0638 201,5264	114,8040 212,1330	128,1978 236,8819	147,3318 272,2374
1:1,5	α 2α	18°26'06" 36°52'12"	66,4081 126,0017	75,8950 144,0019	79,0572 150,0020	90,1253 171,0023	94,8687 180,0024	105,9367 201,0027	121,7482 231,0031
1:3	α 2α	9°27'44" 18°55'28"	34,5246 68,1082	39,4566 77,8380	41,1007 81,0813	46,8548 92,4326	49,3208 97,2976	55,0749 108,6489	63,2950 124,8651
1:5	α 2α	5°42'39" 11°25'18"	20,8969 41,5863	23,8822 47,5272	24,8771 49,5067	28,3601 56,4386	29,8525 59,4081	33,3355 66,3400	38,3110 76,2416
1:6	α 2α	4°45 '48" 9°ЗГ36"	17,4388 34,7558	19,9301 39,7210	120,7605 41,3760	23,6670 47,1686	24,9125 49,6512	27,8191 55,4438	31,9712 63,7190

1	2	3	12	13	14	15	16	17	18
1:7		4°05'08" 8°10'16"	14,9623 29,847	17,1000 34,1105	17,8122 35,5318	20,3060 40,5062	21,3746 42,6382	23,8684 47,6125	27,4309 54,7189
1:10		2°51'45" 5°43'30"	10,4870 20,9486	11,9851 23,9412	12,4844 24,9387	14,2323 28,4302	14,9785 29,9265	16,72,92 33,4179	19,2261 38,4057
1:15		1°54'33" 3°49'06"	6,9951 13,9839	7,9944 15,9816	8,3374 16,6472	9,4934 18,9782	9,9928 19,9767	11,1589 22,3077	12,8244 25,6372
7:24		8°17'50" 16°35'40"	30,3051 59,9760	34,6344 68,5440	36,0779 71,4008	41,1284 81,3960	43,2935 85,6810	48,3439 95,6760	55,5594 109,996
7:48		4°10'13" 8°20'26"	15,2718 30,4626	17,4535 34,8144	18,1807 36,2639	20,7260 41,3421	21,8168 43,5167	24,3622 48,5951	27,9984 55,8481
7:64		3°07'49" 6°15'38"	11,4681 22,9013	13,1064 26,1730	13,6517 27,2634	15,5639 31,0804	16,3820 32,7161	18,2944 36,5331	21,0249 41,9858
Дюймовые конусы									
1½" на 1 фут=1:8		3°34'35" 7°09'10"	13,1000 26,1488	14,9710 29,8843	15,5948 31,1296	17,7780 35,4876	18,7137 37,3555	20,8970 41,7135	24,0159 47,9394
1" на 1 фут=1:12		2°23'10" 4°46'20"	8,7419 17,4720	9,9907 19,9680	10,4071 20,7992	11,8640 23,7120	12,4885 24,9590	13,9454 27,8720	16,0268 32,0320
¼" на 1 фут=1:16		1°47'24" 3°34'48"	6,5596 13,1128	7,4966 14,9861	7,8190 15,6105	8,9023 17,7960	9,3748 18,7326	10,4641 20,9181	12,0259 24,0402
½" на 1 фут=1:24		1°11'36" 2°23'12"	4,3730 8,7444	4,9978 9,9936	5,2060 10,4095	5,9348 11,8674	6,2472 12,4914	6,9760 13,9494	8,0172 16,0314
0,04183		1°11'52" 2°23'44"	4,3890 8,7759	5,0160 10,0296	5,2253 10,4482	5,9565 11,9102	6,2703 12,5378	7,0015 13,9997	8,0465 16,0892
Конусы Морзе									
0		1°29'28" 2°58'56"	5,4652 10,9242	6,2460 12,4848	6,5063 13,0051	7,4171 13,0050	7,8076 15,6061	8,7184 17,4267	10,0196 20,0277
1		1°25'44" 2°51'28"	5,2359 10,4696	5,9839 11,9652	6,2332 12,4638	7,1059 14,2087	7,4796 14,9566	8,3526 16,7014	9,5992 19,1942
2		1°25'51" 2°51'42"	5,2431 10,4838	5,9921 11,9815	6,2416 12,4807	7,1156 14,2280	7,4899 14,9769	8,3639 16,7242	9,6123 19,2204
3		1°26'16" 2°52'32"	5,2683 10,5347	6,0209 12,0396	6,2718 12,5412	7,1498 14,2970	7,5262 15,0494	8,4041 16,8053	9,6585 19,3135
4		1°29'16" 2°58'32"	5,453 1 10,9001	6,2321 12,4572	6,4918 12,9762	7,4006 14,7929	7,7902 15,5714	8,6989 17,3882	9,9973 19,9834
5		1°30'27" 3°00'54"	5,5251 11,046	6,3144 12,6240	16,5776 13,1502	7,4984 14,9910	7,8872 15,7802	8,8139 17,6210	10,1294 20,2510
6		1°29'36" 2°59'12"	5,4726 10,9406	6,2544 12,5035	6,5160 13,0245	7,4271 1 14,8479	7,8192 15,6294	8,7301 17,4528	10,0331 20,0577

Контрольные вопросы

1. Что собой представляют угловые меры?
2. Какие типы угломеров используются в машиностроении?
3. Какие типы конусных калибров используются для контроля углов?
4. Какие методы применяются при измерении наружных и внутренних конусов?
5. Какие типы синусных линеек используются при контроле конусов?
6. Какие методы используются при контроле углов на синусных линейках?

Глава 18 Методы контроля метрической резьбы, резьбовых калибров и метчиков

В резьбовых соединениях – болт, винт, шпилька и гайка, резьбовая втулка и т.п. среднего класса точности, контроль резьбы осуществляется двумя методами:

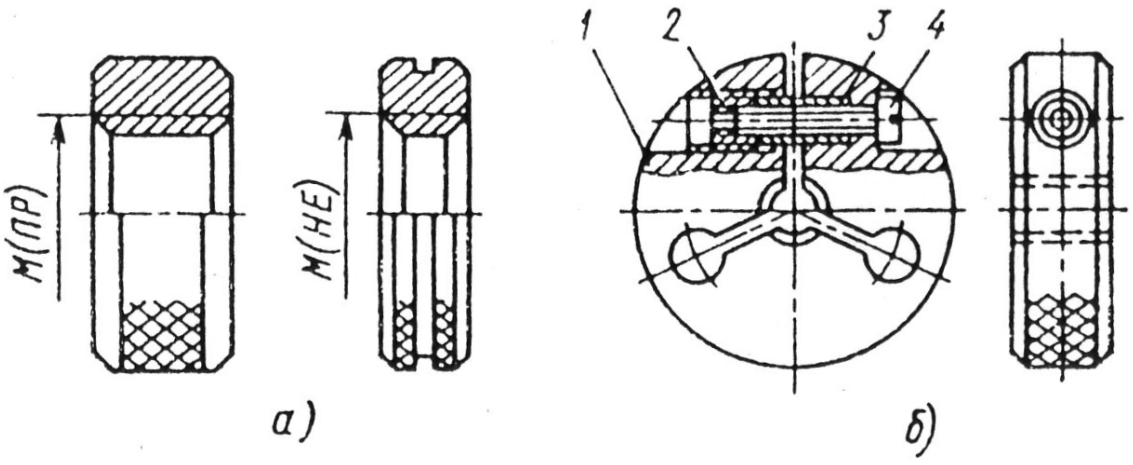
- комплексным;
- дифференцированным.

18.1 Комплексный метод

Заключается в том, что на один из параметров резьбовой поверхности назначают комплексный допуск, ограничивающий одновременно погрешности нескольких других параметров. Этим параметром, как правило, является приведенный средний диаметр резьбы. Контролируется этот параметр резьбовыми калибрами.

Комплект рабочих предельных резьбовых калибров состоит из проходного (ПР) и непроходного (НЕ) калибров. Для контроля наружных резьб (болты, шпильки) используются резьбовые кольца, скобы, для контроля резьбовых отверстий – калибр – пробки (ПР), (НЕ).

В целях повышения срока службы резьбовых колец, их делают регулируемыми. При изнашивании кольца износ может быть компенсирован сжатием с помощью пары винтов до требуемого размера.

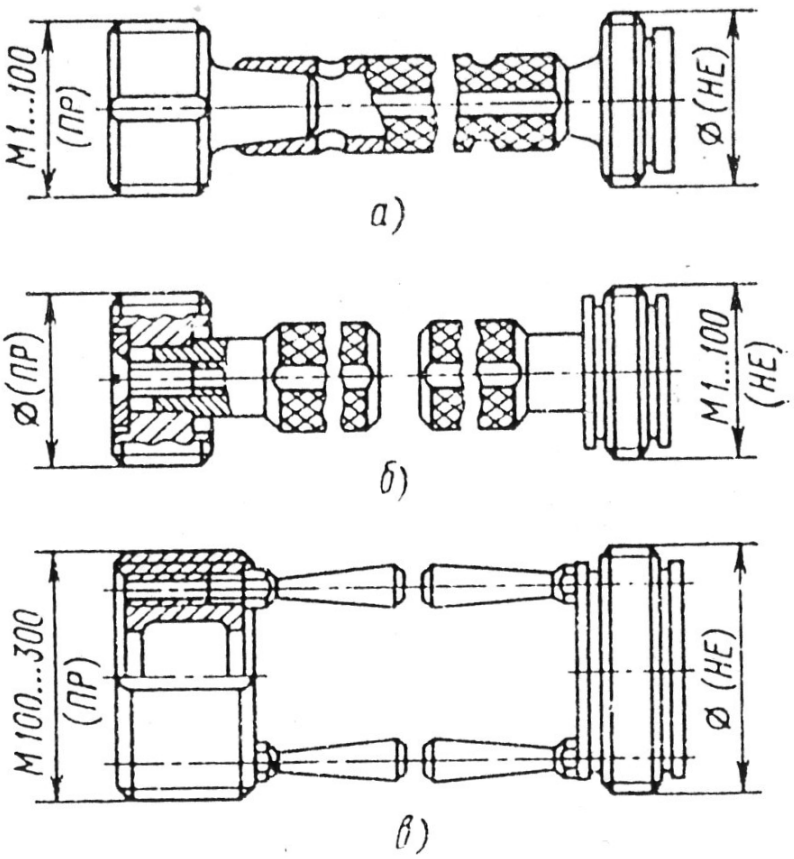


а – жесткие однопредельные; *б* – регулируемые

Рис. 18.1 – Резьбовые калибр-кольца

Регулируемые калибр – кольца (рис. 18.1) имеют резьбовую пробку ***2***, которой через втулку ***3*** сжимают кольцо ***1*** до требуемого размера. Винтом ***4*** фиксируют установленный размер. На непроходном калибр – кольце выполняется проточка.

Жесткими резьбовыми калибрами осуществляется контроль резьб от 1 до 300 мм. В резьбовые отверстия диаметром 105…300 мм вворачиваются ручки, облегчающие работу.



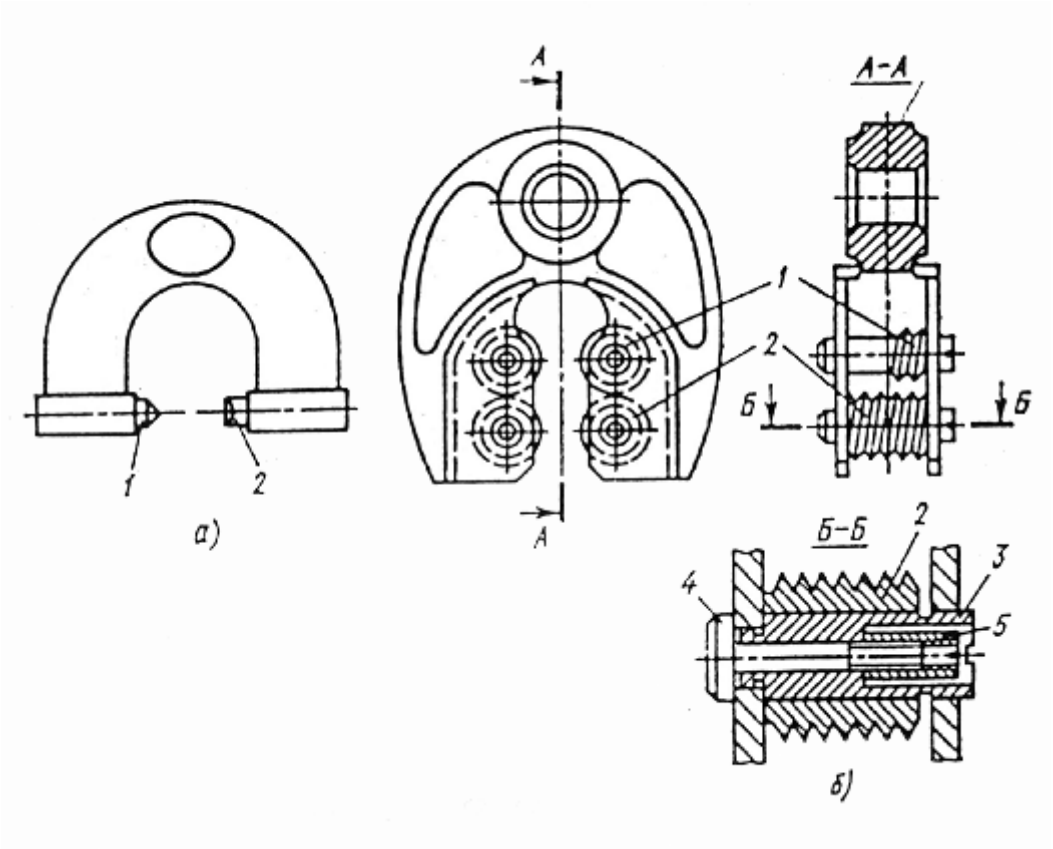
а – двухсторонние; *б* – однопредельные; *в* – с ручками

Рис. 18.2 – Резьбовые калибр-пробки

Значительное сокращение времени контроля достигается при использовании роликовых регулируемых резьбовых скоб. Ролики свободно вращаются на цапфах, что уменьшает их износ и повышает долговечность скоб.

Роликовые скобы имеют две пары роликов: первую устанавливают на размер проходной стороны калибра, вторую на размер непроходной (см. рис. 18.3).

Для контроля точных классов внутренней резьбы применяются гладкие калибры для контроля внутреннего диаметра *D*.



а –жесткие; *б* – роликовые регулируемые.

Рис. 18.3 – Резьбовые скобы

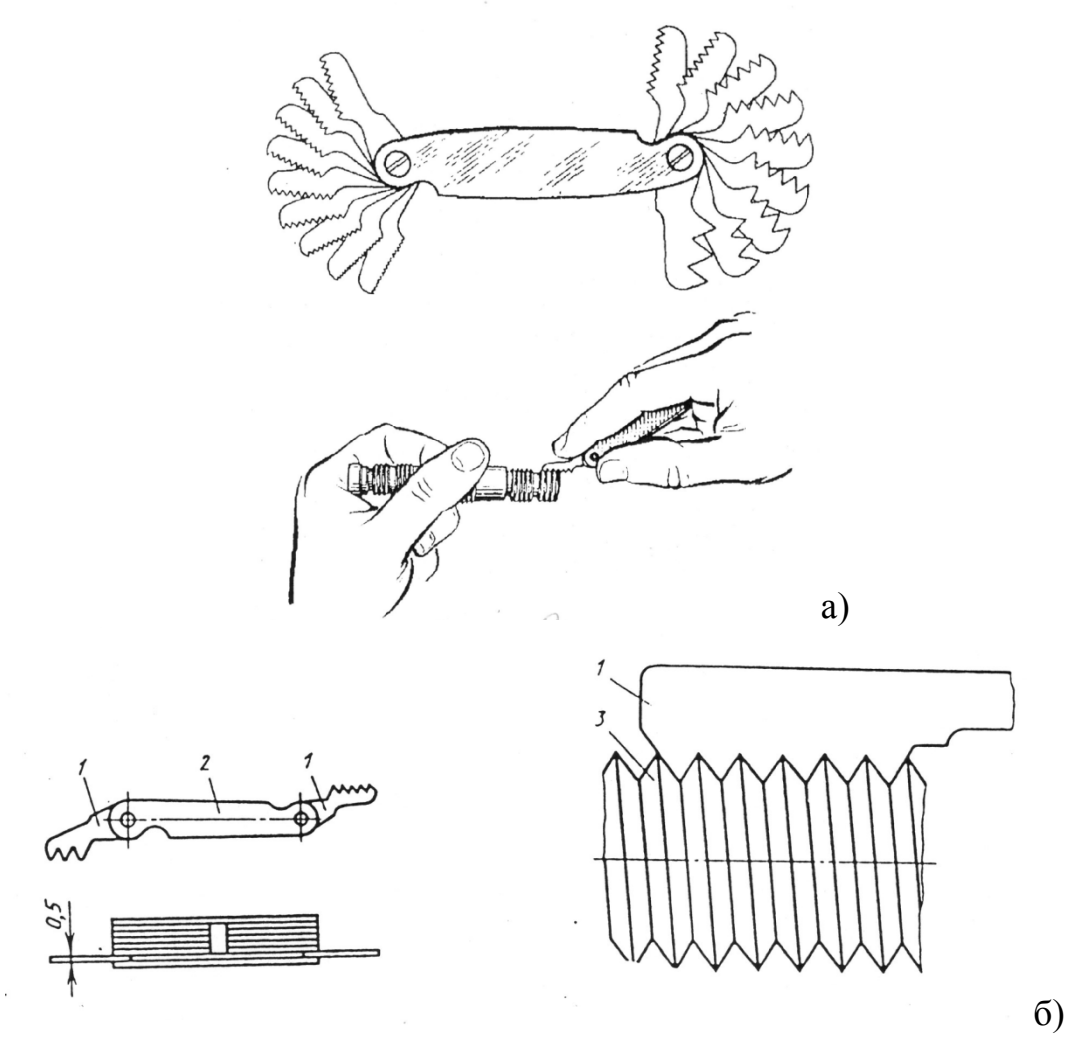
Ролики ***1*** и ***2*** посажены на эксцентричные валики ***3***. Поворот валиков дает возможность изменять расстояние между осями роликов в пределах 0,6…1 мм. Установленный размер фиксируется винтом ***4*** и гайкой ***5***.

18.2 Дифференцированный контроль резьбы

Дифференцированный контроль резьбы применяют в тех случаях, когда допуски назначены на каждый отдельный параметр резьбовых деталей. В этом случае измерение каждого параметра производят с помощью шаблонов или универсального измерительного инструмента и приборов.

18.2.1 Контроль шага

Проверку номинального шага резьбы готовой детали или числа ниток на дюйме производят с помощью стандартных резьбовых шаблонов (резьбомеров), которые выпускают наборами (по ГОСТ 519-77) в обоймах для метрической резьбы с шагом 0,4…6 мм включительно, для дюймовых резьб с числом ниток на один дюйм – 4…28. При наложении резьбомера (рис. 18.4) на профиль резьбы детали для повышения точности контроля используют возможно большую длину резьбы.



а – стандартным шагомером; *б* – шаблоном.

Рис. 18.4 – Контроль шага резьбы

18.2.2 Контроль среднего диаметра наружной резьбы

Для измерения среднего диаметра резьбы среднего и грубого класса точности применяют резьбовые микрометры. По ГОСТ 4380-78 выпускаются микрометры трех типов.

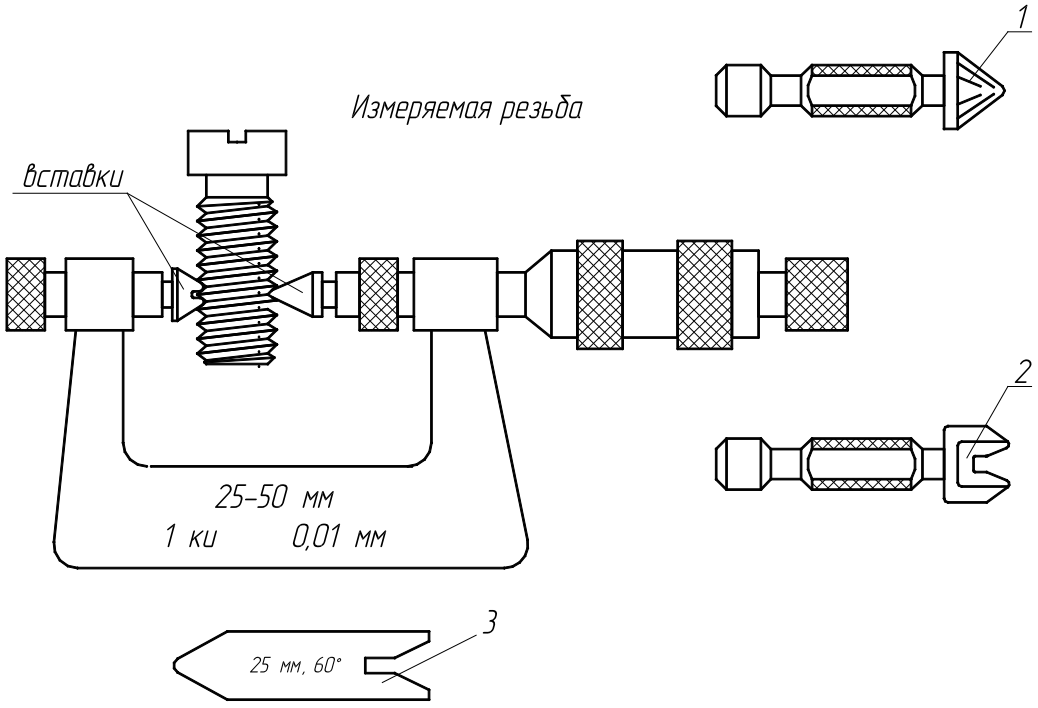
Микрометры типа МВМ со вставками для метрической резьбы.

Таблица 18.1 В миллиметрах

Пределы измерений	Шаги
0 – 25	0,4 – 3
25 – 50	0,7 – 5
50 – 75	1; 1,5; 2
75 – 100	3 – 6
100 – 175 через 25	1,5 – 6
175 – 200	1 – 6
200 – 350 через 25	3 – 6

Микрометры типы МВМ со вставками для трубной резьбы. Пределы измерений 0 – 175 мм со вставками для шагов в миллиметрах и числом ниток на дюйм от 0,907 (28) до 2,309 (11).

Микрометры типа МВТ со вставками для трапецеидальной резьбы от 0 до 345 мм со вставками для шагов 1,5 – 12 мм.



1, 2 – вставки; *3* – установочная мера.

Рис. 18.5 – Микрометр МВМ для контроля резьбы

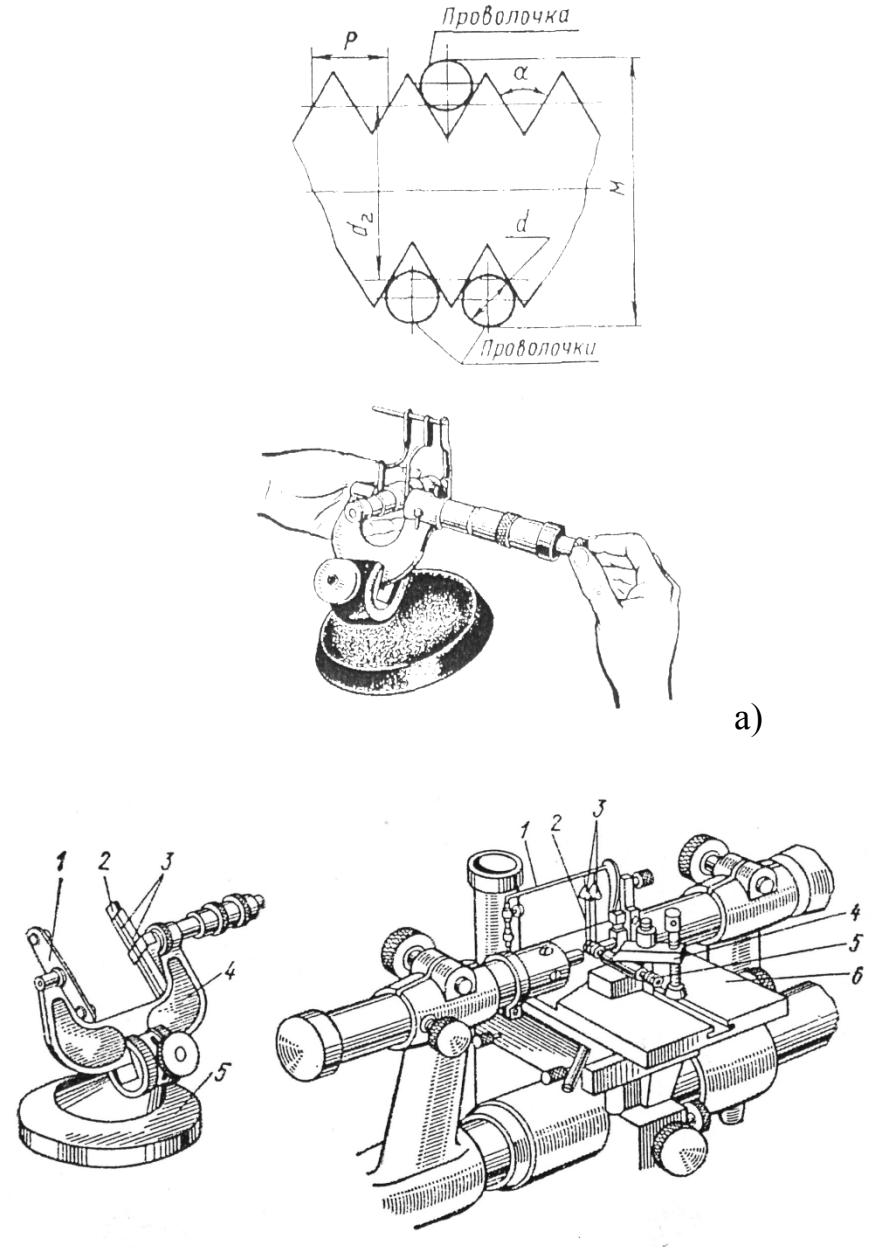
Кроме вставок микрометры свыше 25 мм комплектуются мерами для установки микрометра на «0».

18.2.3 Методы контроля среднего диаметра резьбы

В зависимости от шага устанавливаются вставки. Согласно Приложению 7.3 находится средний диаметр резьбы. Отклонение (Td_2) для класса 6g определяется по этому же приложению. Допуск отсчитывается в «минус» от величины среднего диаметра d_2. Для других посадок и классов точности допуск определяется по ГОСТ 16093-2004.

Контроль среднего диаметра резьбы по методу 3-х (2-х) проволочек.

Резьбы классов точности (3h4h), 4g, 4h, (5h4h), 5g6g, 5h6h по среднему диаметру предпочтительно контролируются по методу трех проволочек.



а, б – с помощью микрометра: *1, 2* – спецвставки, *3* – проволочки, *4* – микрометр; *в* – с помощью оптиметра горизонтального: *1* – подвеска, *2, 3* – проволочки, *5* – калибр, *6* – столик оптиметра.

Рис. 18.6 – Контроль резьбы по методу 3-х проволочек

Более точным методом измерения среднего диаметра резьбы является косвенный метод трех проволочек (рис. 18.6). Во впадины резьбы закладывают три проволочки и измеряют размер M. Диаметр проволочек $d_п$ выбирают в зависимости от типа резьбы и шага. Для метрической резьбы средний диаметр вычисляют по формуле:

$$d_2 = M - 3d_п + 0{,}866P + c; \quad (1)$$

для дюймовой резьбы:

$$d_2 = M - 3{,}1657d_п + 0{,}96P + c; \quad (2)$$

для трапецеидальной резьбы:

$$d_2 = M - 4{,}8637d_n + 1{,}866P + c; \qquad (3)$$

где c – поправка, учитываемая при точных измерениях.

Для метрической резьбы значения $3d_n$ и $0{,}866P$ в зависимости от шага приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 В миллиметрах

Шаг резьбы P, мм	d_n, мм	$3d_n$, мм	$0{,}866P$	Шаг резьбы P, мм	d_n, мм	$3d_n$, мм	$0{,}866P$
0,35	0,202	0,606	0,3031	2	1,155	3,465	1,7320
0,4	0,231	0,693	0,3464	2,5	1,443	4,329	2,1650
0,5	0,289	0,867	0,4330	3	1,732	5,196	2,5980
0,75	0,404	1,212	0,6062	3,5	2,021	6,063	3,0310
0,8	0,462	1,386	0,6928	4	2,309	6,927	3,4640
1	0,577	1,731	0,8660	4,5	2,598	7,794	3,8920
1,25	0,722	2,166	1,0825	5	2,887	8,661	4,3300
1,5	0,866	2,598	1,2990	5,5	3,175	9,525	4,7630
1,75	1,010	3,030	1,5155	6	3,464	10,392	5,1960

В зависимости от требуемой точности размер М можно измерить микрометрами гладкими МК, на оптиметрах или длинномерах.

Метод двух проволочек (рис. 18.7) используют для измерения диаметров (более 100 мм) резьб малой длины, но он сложен и его применяют редко, т.к. вносятся дополнительные погрешности перекоса детали.

Кроме методов контроля тремя и двумя проволочками, существует метод контроля одной проволочкой. Он применяется для резьбовых валов, ходовых винтов большой длины.

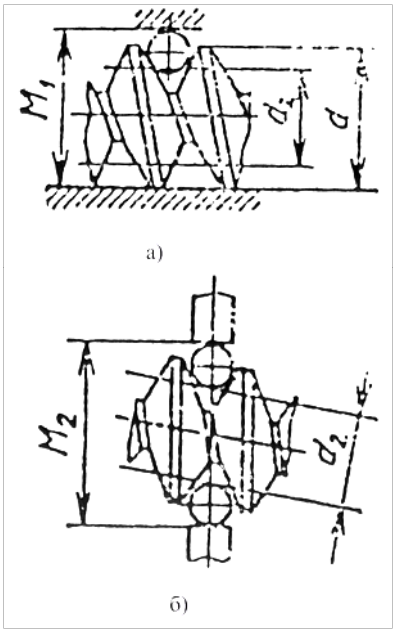


Рис. 18.7 – Контроль резьбы двумя и одной проволочкой

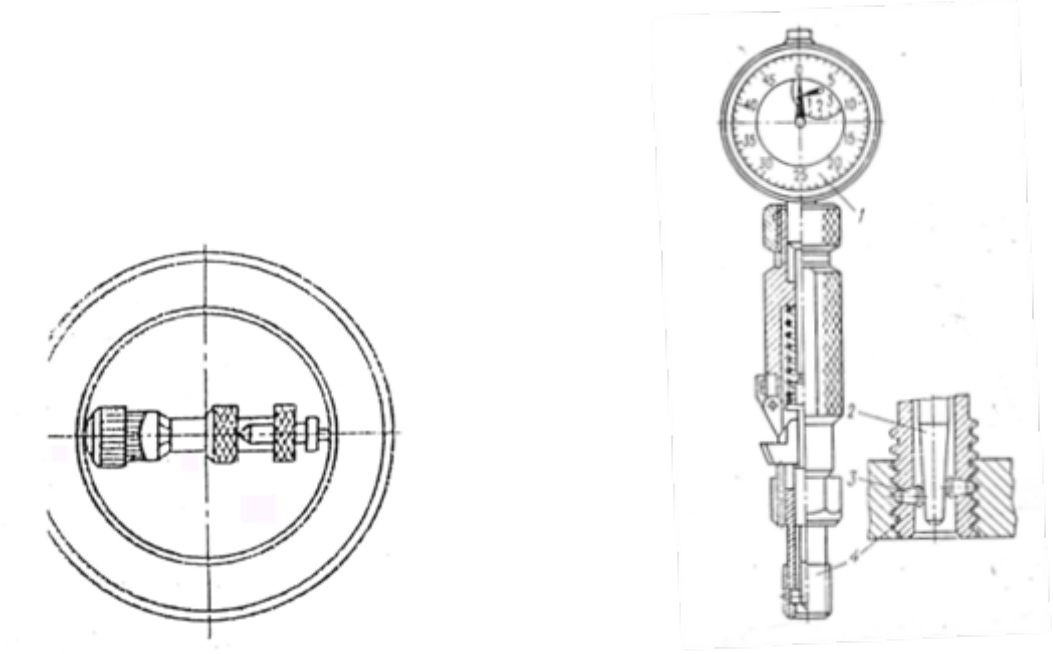
Формулы для расчета среднего диаметра d_2 по измеряемой величине М

Тип резьбы	Метод проволочек		
	трех	двух	одной
Метрическая	$d_2 = M - 3dD_0 + 0{,}866P$ (6)	$d_2 = M_2 - P_2/8(M_2 - dD_0) - 3dD_0 + 0{,}866P$ (8)	$d_2 = 2M_1 - 3d - 3dD_0 + 0{,}866P$ (10)
Дюймовая	$d_2 = M - 3.165dD_0 + 0{,}9605P$ (7)	$d_2 = M_2 - P_2/8(M_2 - dD_0) - 3{,}1657dD_0 + 0{,}9605P$ (9)	$d_2 = 2M_1 - 3.1657dD_0 + 0{,}9605P$ (11)

Примечание: P – шаг резьбы, мм; dD_0 – диаметр проволочек или роликов, мм. По ГОСТ 2475-88 диаметр проволочек (роликов) обозначается dD_0. На практике принято обозначение d_n, d_p.

18.2.4 Контроль параметров внутренней резьбы

В основном контроль деталей производится рабочими калибрами, а контроль в мелкосерийном и единичном производстве можно производить при помощи штихмасов с резьбовыми вставками (рис. 2.17, *а*) и индикаторных приборов с раздвижными полупробками или сферическими вставками (рис. 18.8).



а) б)

Рис. 18.8 – Приборы для измерения среднего диаметра внутренней резьбы

Индикаторный прибор имеет сменную резьбовую пробку ***4*** с шариковыми вставками ***3***. При измерениях пробку ввинчивают в проверяемую резьбу. Коническая игла ***2***, связанная со стержнем индикатора ***1***, раздвигает вставки ***3*** до контакта с профилем резьбы. Прибор устанавливают на ноль по аттестованному резьбовому калибру или по приспособлению для настройки на ноль приборов с шариковыми вставками (рис. 18.9).

Концевые меры ***1*** закладываются в струбцину ***2***, под специально сделанными с вырезами для шариков боковиками ***3***. Размер блока рассчитывается по формуле:

$$l = d_2 + H - (a + b) \qquad (4)$$

где d_2 и H – теоретический средний диаметр и высота резьбы, a и b – постоянные боковиков, маркируемые на их поверхности.

Под один из боковиков подкладывают БКМ, равный половине шага, т.е. $P/2$.

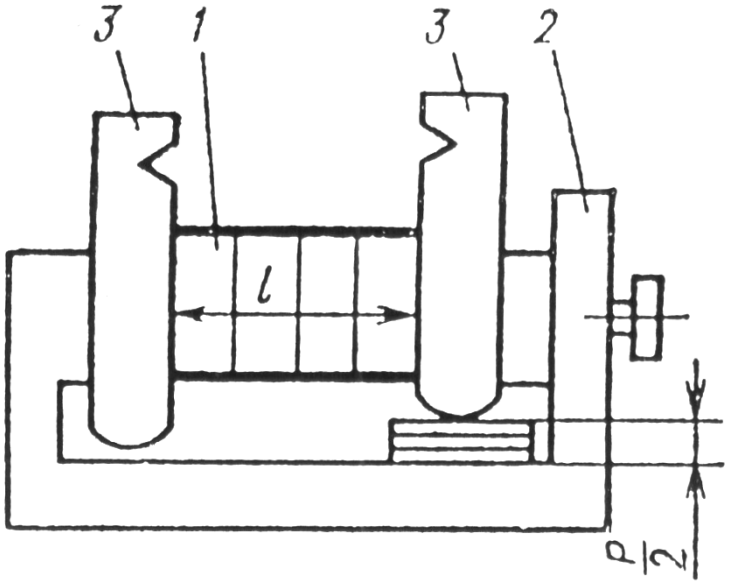


Рис. 18.9 – Приспособление для настройки на нуль приборов с шариковыми вставками

Измерение внутренней резьбы с шариковыми наконечниками аналогично измерению собственно среднего диаметра проволочками. Наивыгоднейшие диаметры шариков рассчитываются по тем же формулам. Точность измерения связана с точностью применяемых контрольных приборов. Измерение резьб при помощи шариковых вставок возможно только при диаметре резьбового отверстия свыше 18 мм.

18.2.5 Измерение параметров резьбы на оптико-механических приборах

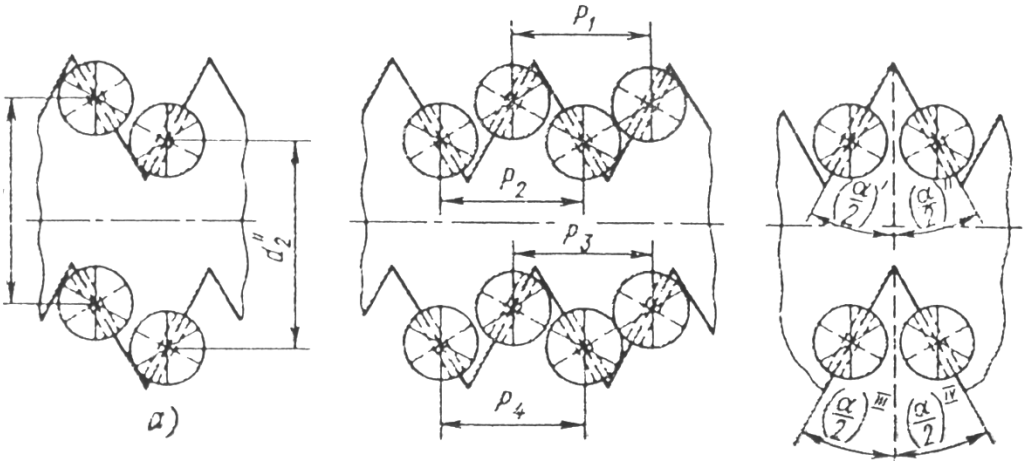
В большинстве случаев оптико-механические приборы (инструментальные, универсальные микроскопы, проекторы) используют для контроля наружных резьб как теневым методом, так и в проходящем свете.

При контроле наружных резьб диафрагму осветителя микроскопа выбирают в зависимости от среднего диаметра резьбы. Колонку микроскопа наклоняют на угол подъема резьбы, который рассчитывается по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = P / \pi d_2 \qquad (5)$$

С помощью оптико-механических приборов контролируют:

– средний диаметр резьбы как в проходящем свете, так и с помощью измерительных ножей.



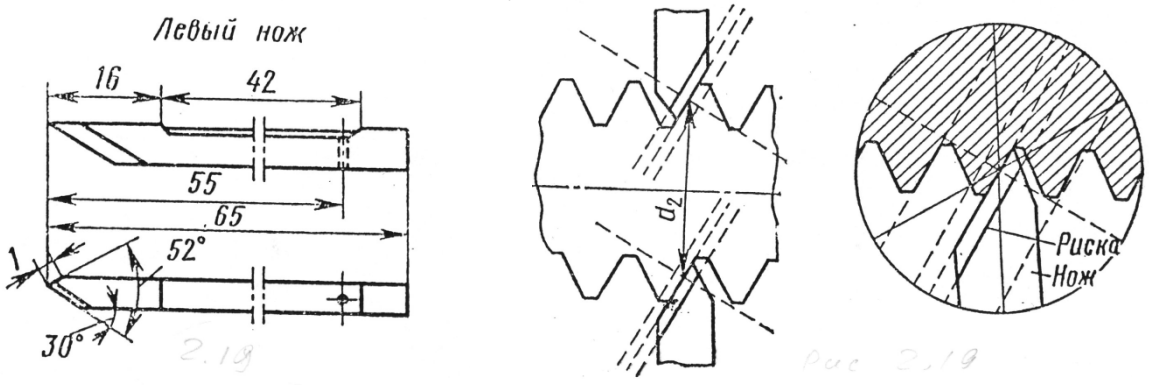
а – среднего диаметра; *б* – шага; *в* – угла профиля.

Рис. 18.10 – Схемы измерений параметров резьбы на микроскопах

При более точных измерениях среднего диаметра резьбы с шагом $P>0{,}5$ мм применяют приспособление, называемое измерительными ножами.

Измерительные ножи (рис. 22.10, *а*) устанавливают в державках на опорных пластинах на каретке микроскопа. Высота опорных пластин, прилагаемых к микроскопу, должна быть такой, чтобы для данного экземпляра микроскопа поверхность ножа располагалась в плоскости, лежащей на высоте центров. Лезвие каждого ножа должно касаться без просвета поверхности резьбы в ее осевом сечении.

На верхней поверхности каждого ножа нанесена риска, расположенная на расстоянии 0,3 мм от лезвия – для ножей, применяемых для измерения резьб с шагом свыше 1,5 мм. Эти расстояния называют рабочими размерами ножей – им соответственно равны расстояния между боковыми штрихами: линиями бб’ или вв’ и средней линией аа’, или линиями дд’ или линиями 22’ и линией 00’, расположенными на окулярной сетке микроскопа.



а) *б*)

Рис. 18.11 – Схема измерения среднего диаметра на микроскопе с помощью измерительных ножей

Таким образом, при измерении изображенные риски ножа совмещаются с изображением боковой штриховой линии, а изображение лезвия ножа должно совпадать с изображением центральной линии (рис. 22.11, *б*).

18.2.6 Измерение профиля резьбы

Универсальные и инструментальные микроскопы комплектуются револьверными головками с радиусным или метрическим угловым профилем (рис. 22.12). Совмещая профиль револьверной головки с реальным профилем резьбы, определяем шаг резьбы.

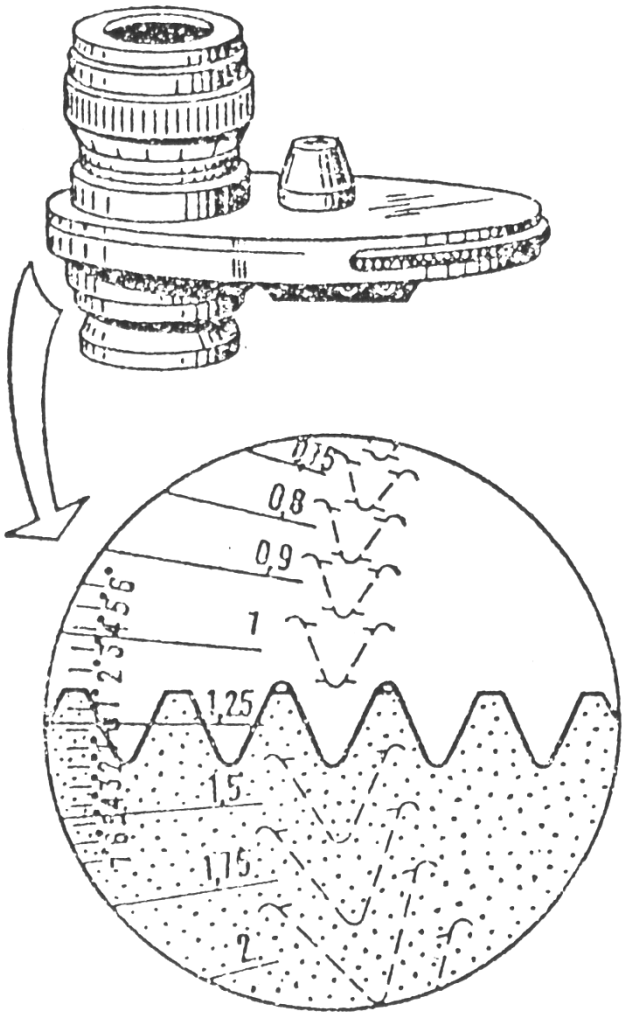


Рис. 18.12 – Контроль шага резьбы с помощью револьверной головки микроскопа.

Аналогичный метод контроля на проекторах. Только на экран проектора накладывается калька с профилем резьбы.

Существует ряд других методов контроля резьбы, которые применяются на предприятиях в зависимости от существующих средств контроля на предприятии.

Приложение 18.1

Длины свинчивания (ГОСТ 16093-2004), мм

Шаг P	Длины свинчивания для групп			Номинальный ø резьбы d	Шаг P	Длины свинчивания для групп		
	S	N	L			S	N	L
1	до 3	св 3 до 9	св 9	св 22,4 до 45	1	до 4	св 4 до 12	св 12
1,5	до 5	св 5 до 15	св 15		1,5	до 6,3	св 6,3 до 19	св 19
1	до 3,8	св 3,8 до 11	св 11		2	до 8,5	св 8,5 до 25	св 25
1,25	до 4,5	св 4,5 до 13	св 13		3	до 12	св 12 до 36	св 36
1,5	до 5,6	св 5,6 до 16	св 16	св 45 до 90	1,5	до 7,5	св 7,5 до 22	св 22
1,75	до 6	св 6 до 18	св 18		2	до 9,5	св 9,5 до 28	св 28
2	до 10	св 10 до 24	св 24		3	до 15	св 15 до 45	св 45

Приложение 18.2

Диаметры и шаги метрической резьбы (по ГОСТ 8724-2002)

Наружный диаметр для ряда d резьбы			Шаги, мм	
1	2	3	крупные	мелкие
5			0,8	0,5
		(5,5)	-	0,5
6			1	0,75; 0,5
8			1,25	1; 0,75; 0,5
		9	(1,25)	1; 0,75; 0,5
10			1,5	1,25; 1; 0,75; 0,5
		11		1; 0,75; 0,5
12		1,5	1,75	1,5; 1,25; 1; 0,75; 0,5
	14		2	1,5; 1,25; 1; 0,75; 0,5
		15; 17	-	1,5; (1)
16			2	1,5; 1; 0,75; 0,5
20	18; 22		2,5	2; 1,5; 1; 0,75; 0,5
24	27		3	2; 1,5; 1; 0,75
		25		2; 1,5; (1)
		(26)	-	1,5
		(28)	-	2; 1,5; 1
30	33		3,5	(3); 2; 1,5; 1; 0,75
		(32)	-	2; 1,5
		35; (38)	-	1,5
36	39	-	4	3; 2; 1,5; 1
		40	-	(3); (2); 1,5
42	45		4,5	(4); 3; 2; 1,5; 1
		50	-	(3); (2); 1,5; (4)
48	52		5	3; 2; 1,5; 1
		55	-	(4); (3); 2; 1,5
56			5,5	4; 3; 2; 1,5; 1
		58	-	(4); (3); 2; 1,5
	60		(5,5)	4; 3; 2; 1,5; 1
		62		(4); (3); 2; 1,5
	68		6	4; 3; 2; 1,5; 1
64		65	-	(4); (3); 2; 1,5; (6)
		70	-	(4); (3); 2; 1,5
	76		-	6; 4; 3; 2; 1,5; 1
72; 80		75	-	(4); (3); 2; 1,5
		(78); (82)	-	2
90	85		-	6; 4; 3; 2; 1,5

1. Предпочтительное применение первого ряда диаметров, потом второго и третьего в последнюю очередь.

2. Диаметры и шаги в скобках желательно не использовать.

18.3 Расчет и измерение резьбовых калибров и метчиков

18.3.1 Методы контроля резьбы измерительными проволочками

Наиболее точным методом контроля резьбовых калибров является метод измерения 3-х проволочек. Для реализации этого метода нет необходимости применения высокоточного и дорогостоящего оборудования. Наиболее простой с применением скобы рычажной СР и концевых мер длины или микрометра рычажного. Более точным является метод с применением стойки С-1 и применением головки ИГП (оптиметра с БКМ).

Сущность данного метода заключается в следующем. Три проволочки равного диаметра закладываются во впадины резьбы и точным прибором (оптиметром), настроенным по БКМ, измеряют размер М, равным размеру БКМ.

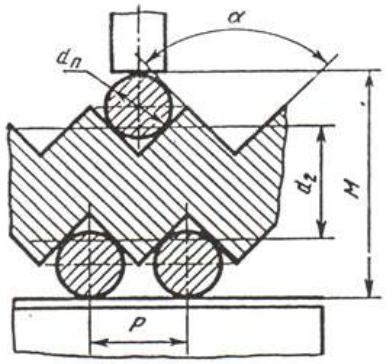


Рис. 18.13 – Схема измерения размера М

По формуле определяется размер М:

$$M = d_2 + d_n\left(1 + \frac{1}{sin\frac{\alpha}{2}}\right) - \frac{PCtg\frac{\alpha}{2}}{2} - C \qquad (6)$$

где d_2 – средний диаметр калибра; d_n – диаметр проволочек; α – угол профиля резьбы; P – шаг резьбы; C – суммарная поправка.

$$C = C_1+C_2+C_3+C_4+C_5,$$

где C_1 – поправка, учитывающая действительное отклонение угла профиля Δα или половины угла профиля $\Delta\alpha_1$, $\Delta\alpha_2$; вводится, если проволочки не наивыгоднейшего диаметра;

C_2 – поправка, учитывающая действительное отклонение шага ΔР;

C_3 – поправка, учитывающая действительное отклонение диаметров проволочек Δd_n. Ее вводят в результат измерения, если проволочки не соответствуют по классу точности требований МИ 1904-88. Рекомендации по поверке калибров резьбовых цилиндрической метрической резьбы.

C_4 – поправка, учитывающая расположение проволочек под углом к оси резьбы, отличающимся от 90˚ на величину угла подъема резьбовой канавки;

C_5 – поправка, учитывающая контактные деформации проволочек, наконечников и калибра под действием измерительного усилия.

$$C = [(0{,}5_n - 0{,}3P)] + [0{,}9\Delta P] + \left[1{,}5\left(\Delta d_1 + \frac{\Delta d"_n + \Delta d'''_n}{2}\right)\right] +$$

$$+ \left[-\frac{0{,}07599P^2 n^2 d_n}{(d_2 - 0{,}866P + d_n)(d_2 - 0{,}866P + 1{,}5d_n)}\right] \qquad (7)$$

где цифровые и буквенные выражения в квадратных скобках формулы для расчета поправок C_1, C_2 и C_3;

n – число заходов резьбы.

На практике применяют заранее рассчитанные поправки на проволочки. Примечание: В данной работе рассмотрены метрические и конические резьбы с углом 60˚.

Таблица 18.3

Поправка С на проволочки в зависимости от шага и диаметра проволочек

Шаг резьбы	Диаметр проволочки $d_{по}$	Поправка C	Шаг резьбы P	Диаметр проволочки	Поправка C
0,25	0,144	0,216	2,0	1,155	1,733
	0,142	0,210		1,157	1,739
0,4	0,231	0,346	2,5	1,443	2,164
	0,232	0,350	3,0	1,732	2,598
0,5	0,289	0,434	3,5	2,021	3,029
0,5	0,291	0,440	4,0	2,309	3,464
0,6	0,346	0,518	4,5	2,598	3,897
0,7	0,404	0,606	5,0	2,887	4,330
0,75	0,433	0,650		2,886	4,328
0,8	0,462	0,693	5,5	3,175	4,762
1,0	0,577	0,865		3,177	4,768
1,25	0,722	1,084	6,0	3,464	5,196
1,5	0,866	1,299		3,468	5,208
1,75	1,010	1,514			
	1,008	1,508			

Формула размера М для практических расчетов выглядит следующим образом:

$$M = d_2 + 3d_n - 0{,}866P - C$$

Значение произведений $3d_n$ и $0{,}866P$ в зависимости от шага приведены в таблице 18.4.

Таблица 18.4.

Значение произведений постоянных величин $3d_n$ и $0{,}866P$, мм для метрических резьб

Шаг резьбы P, мм	d_n, мм	$3d_n$	$0{,}866P$
0,25	0,144	0,432	0,2165
0,4	0,231	0,693	0,3464
0,5	0,289	0,867	0,4330
0,6	0,346	1,038	0,5196
0,7	0,404	1,212	0,6062
0,75	0,433	1,299	0,6495

Продолжение таблицы 18.4

0,8	0,462	1,386	0,6928
1,0	0,577	1,731	0,8660
1,25	0,722	2,166	1,0825
1,5	0,866	2,598	1,2990
1,75	1,010	3,030	1,5155
2,0	1,155	3,465	1,7320
2,5	1,443	4,329	2,1650
3,0	1,732	5,196	2,5980
3,5	2,021	6,063	3,0310
4,0	2,309	6,927	3,4640
4,5	2,598	7,794	3,8970
5,0	2,887	8,661	4,3300
5,5	3,175	9,525	4,7630
6,0	3,464	10,392	5,1960

Для дюймовой и трубной резьб размер M рассчитывают по формуле

$$M = d_2 + 3{,}1657d_n - 0{,}9605P - C$$

$$\left\{[(0{,}6d_n - 0{,}35P)\Delta\alpha] + [1{,}0\Delta P] + \left[-1{,}6\left(\Delta d_n' + \frac{\Delta d_n'' + \Delta d_n'''}{2}\right)\right] + \left[-\frac{0{,}07599P^2n^2d_n}{(d_2 - 0{,}9605P + 2{,}1657d_n)(d_2 - 0{,}9605P + 1{,}7040d_n)}\right]\right\} \quad (9)$$

где цифровые и буквенные выражения в квадратных скобках – поправки C_1, C_2 и др.;

n – число заходов резьбы.

Произведения $3{,}1657d_n$ и $0{,}9605P$ в зависимости от шага различных резьб приведены в таблице 18.5.

Таблица 18.5.

Произведения постоянных величин $3{,}1657d_n$ и $0{,}9605P$, мм, унифицированных дюймовых резьб с углом профиля 60°

Шаг резьбы P		Диаметр проволочек d_n, мм	$3{,}1657d_n$	$0{,}9605P$	Шаг резьбы P		Диаметр проволочек d_n, мм	$3{,}1657d_n$	$0{,}9605P$
Ходы/ дюймы	мм				Ходы/ дюймы	мм			
80	0,3175	0,183	0,5793	0,3050	16	1,5875	0,917	2,9029	1,5248
72	0,3528	0,204	0,6458	0,3389	14	1,8143	1,048	3,3177	1,7426
64	0,3969	0,229	0,7249	0,3812	13	1,9538	1,128	3,5709	1,8766
56	0,4536	0,262	0,8294	0,4357	12	2,1167	1,222	3,8685	2,0331
48	0,5292	0,306	0,9687	0,5083	11	2,3091	1,333	4,2199	2,2179
44	0,5773	0,333	1,0542	0,5545	10	2,5400	1,467	4,6441	2,4397
40	0,6350	0,367	1,1618	0,6099	8	3,1750	1,833	5,8027	3,0496
36	0,7055	0,407	1,2884	0,6776	7	3,6286	2,095	6,6321	3,4853
32	0,7937	0,458	1,4499	0,7623	6	4,2333	2,444	7,7370	4,0661
28	0,9071	0,524	1,6588	0,8713	5	5,0800	2,933	9,2850	4,8793
24	1,0583	0,611	1,9342	1,0165	4½	5,6444	3,259	10,3170	5,4214
20	1,2700	0,733	2,3205	1,2198	4	6,3500	3,666	11,6055	6,0992
18	1,4111	0,815	2,5800	1,3554					

18.3.2 Измерение среднего диаметра резьбовых калибров (пробок) с конической резьбой

Конические калибры методом 3-х проволочек измеряют с помощью клина.

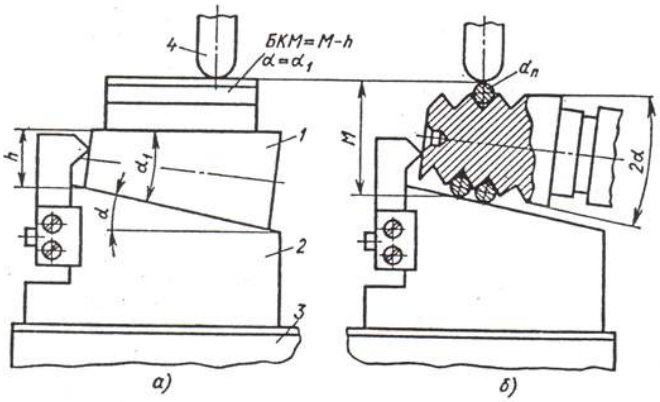


Рис. 18.14 – Измерение конических калибров с помощью клина

Способ измерения с помощью клина (рис. 18.14) заключается в следующем.

Клин *1* с точным размером *n* и угловым размером $\alpha_1=2\alpha$ калибра ставят на приспособление *2* с наклонной плоскостью (угол наклона α_1). Затем приспособление вместе с клином ставят на столик вертикального оптиметра *3*. БКМ, равный M-h, ставят на клин, как показано на рисунке, и по нему настраивают оптиметр на нуль при помощи наконечника *4*, после настройки (рис. 18.14, *а*) клин и БКМ убирают, а конусный калибр с углом 2α и две измерительные проволочки ставят на их место, третью проволочку $d_п$ вводят под наконечник оптиметра, при этом нулевая настройка может меняться. Измеряемый размер выполнен точно, если отклонение от нулевой настройки оптиметра не превышает допуск на средний диаметр калибра по чертежу (рис. 18.14 *б*).

Способ измерения среднего диаметра конического калибра в центрах.

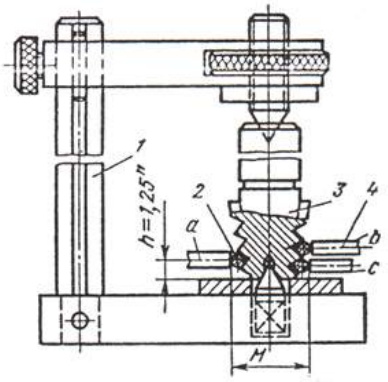


Рис. 18.15 – Измерение конического калибра в центрах

Способ измерения основан на постоянном размере *n*. Средний диаметр калибра *3* обычно рассчитывают в плоскости *n*, отстоящей от торца малого

диаметра конуса на расстоянии 31,75 мм или 1,25″. При измерении среднего диаметра с помощью измерительных проволочек *2* размер *M* рассчитывают также в плоскости *n*. Измеряют размер *M* рычажным микрометром *4*. Так как калибр конусный, делают два замера: результат первого замера равен *ab*; второй замер *ac*. Окончательный результат измерения равен среднеарифметическому результату двух измерений, т. е. $M = (ab + ac)/2$.

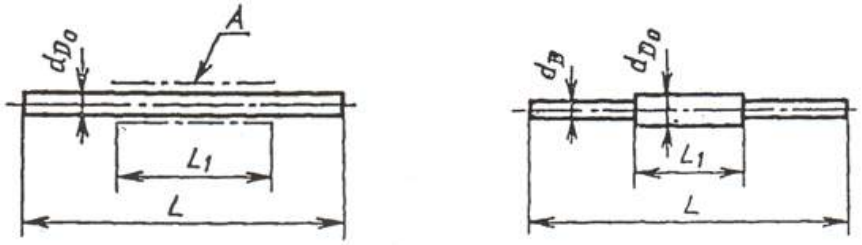
Этот способ наиболее удобен для измерения мелких калибров, т. к. приспособление *1* позволяет надежно устанавливать их в вертикальном положении.

Размер *M* и поправочный коэффициент *C* при использовании первого и второго способов рассчитывают по формулам для дюймовых и трубных резьб. Произведения величин $3{,}1657d_{\text{п}}$ и $0{,}9605P$ в зависимости от шага резьбы и угла профиля определяют по таблице 18.5.

18.3.3 Проволочки и ролики для измерения среднего диаметра резьб (ГОСТ 2475-88)

Стандарт распространяется на проволочки и ролики для измерения среднего диаметра резьбы, а также для измерения толщины зубьев и ширины впадин шлицевых валов и втулок с эвольвентным профилем.

1. Типы, основные размеры и допуски. Проволочки и ролики изготавливаются следующих типов:



$d_{D_0} - d_D \geqslant 0{,}01$ мм

Рис. 18.16 – Проволочки

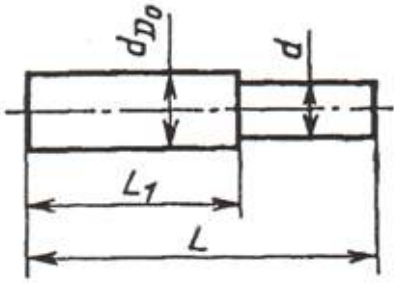
I – проволочки гладкие – от 0,045 до 0,346 мм;

II – проволочки ступенчатые – от 0,115 до 4,980 мм

Примечание:

1. А – рабочая часть поверхности проволочки типа I должна располагаться посередине проволочки на длине *L*.

2. По ГОСТ 2475-88 обозначение диаметра проволочки (ролика) d_{D_0}, на практике и в расчетных формулах обозначение $d_{\text{п}}$.



$d_{D_0} - d \geqslant 0{,}4$ мм

Рис. 18.17 – Тип III – ролики

от 5,176 до 35,00 мм

Номинальные диаметры проволочек и роликов d_{Do} для измерения среднего диаметра наружной резьбы в зависимости от шага приведены в таблице *4* для метрической резьбы и дюймовой резьбы 60º – в таблице 18.6.

Таблица 18.6.

Номинальные диаметры проволочек d_{Do} для метрической резьбы

Размеры в мм

Шаг *P*	Вид резьбы и угол профиля						
	метрическая α=60˚			Шаг *P*	метрическая α=60˚		
	d_{Do}	d_{Dmax}	d_{Dmin}		d_{Do}	d_{Dmax}	d_{Dmin}
0,075	0,045	0,054	-	0,7	0,404	0,485	0,354
0,08	0,048	0,058	0,040	0,75	0,433	0,520	0,379
0,09	0,052	0,062	0,045	0,8	0,462	0,554	0,405
0,1	0,058	0,070	0,051	1,0	0,577	0,692	0,506
0,125	0,073	0,088	0,063	1,25	0,722	0,866	0,632
0,15	0,088	0,106	0,076	1,5	0,866	1,039	0,758
0,175	0,101	0,121	0,089	1,75	1,010	1,212	0,885
0,2	0,115	0,138	0,102	2,0	1,155	1,386	1,011
0,225	0,130	0,156	0,114	2,5	1,443	1,732	1,264
0,25	0,144	0,172	0,127	3,0	1,732	2,078	1,516
0,3	0,173	0,208	0,152	3,5	2,021	2,425	1,769
0,35	0,202	0,242	0,0177	4,0	2,309	2,771	2,021
0,4	0,231	0,277	0,203	4,5	2,598	3,118	2,274
0,45	0,260	0,312	0,228	5,0	2,887	3,464	2,527
0,5	0,289	0,347	0,253	5,5	3,175	3,810	2,779
0,6	0,346	0,415	0,304	6,0	3,464	4,157	3,032

Таблица 18.7.

Номинальные диаметры проволочек для унифицированной (дюймовой) резьбы α=60˚

Размеры в мм

Число шагов на длине 24,5 мм	Унифицированная (дюймовая) резьба α=60˚			Число шагов на длине 24,5 мм	Унифицированная (дюймовая) резьба α=60˚		
	d_{Do}	d_{Dmax}	d_{Dmin}		d_{Do}	d_{Dmax}	d_{Dmin}
80	0,183	0,220	0,161	16	0,917	1,100	0,803
72	0,204	0,245	0,179	14	1,048	1,258	0,917
64	0,229	0,275	0,201	13	1,128	1,354	0,988
56	0,262	0,314	0,230	12	1,222	1,466	1,070
48	0,306	0,367	0,268	11	1,333	1,600	1,167
44	0,333	0,400	0,292	10	1,467	1,760	1,284
40	0,367	0,440	0,321	9	1,629	1,955	1,426
36	0,407	0,488	0,357	8	1,833	2,200	1,605
32	0,458	0,550	0,402	7	2,095	2,514	1,834
28	0,524	0,629	0,459	6	2,444	2,933	2,139
27	0,543	0,652	0,475	5	2,933	3,520	2,567
24	0,611	0,733	0,535	4½	3,259	3,911	2,852
20	0,733	0,880	0,642	4	3,666	4,399	3,209
18	0,815	0,978	0,713				

Для каждого конкретного вида резьбы и шага значения d_{Do}, приведенные в таблице 18.6-18.7, являются предпочтительными к применению.

Допускается применять проволочки и ролики других диаметров в пределах значений d_{Dmax}, d_{Dmin}, выбирая их из числа предпочтительных.

d_{Do} – номинальный диаметр проволочки или ролика, который в процессе измерения резьбы обеспечивает точки касания A_o с измеряемым профилем на уровне среднего диаметра.

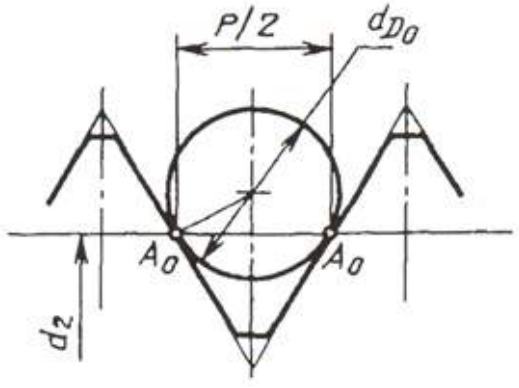


Рис. 18.18 – Положение проволочки (ролика) d_{Do} в профиле резьбы

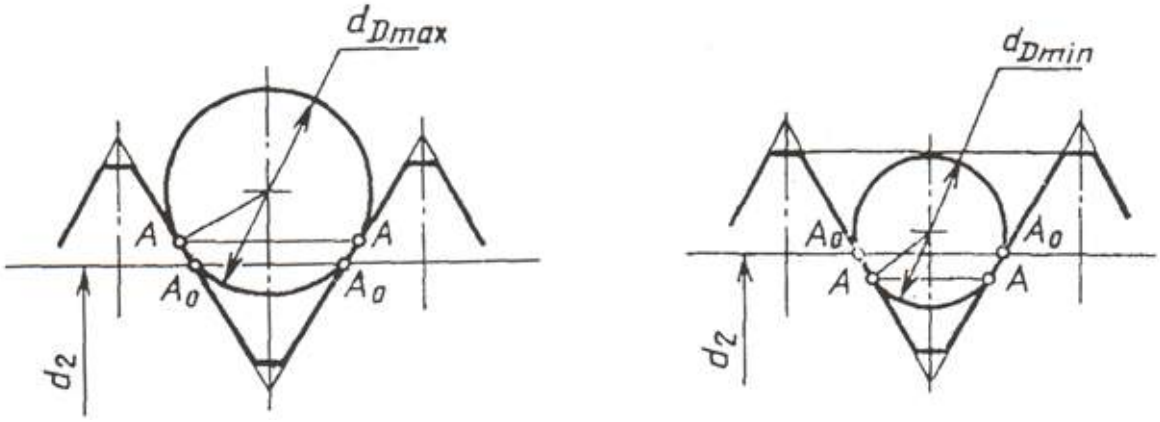


Рис. 18.19 – Положение проволочки (ролика) d_{Dmax}, d_{Dmin} в профиле резьбы

d_{Dmax}; d_{Dmin} – предельные значения диаметра проволочки (ролика), при которых точки касания A со стороны профиля резьбы удалены от точек касания A_o (обеспечиваемых проволочками диаметров d_{Do}) на максимально допустимое расстояние (рис. 18.19).

При применении проволочек и роликов предпочтительного диаметра d_{Do} погрешность измерения минимальная.

Формулы для определения диаметров проволочек и роликов для метрической и унифицированной (дюймовой) резьбы с углом α=60˚.

$d_{Do} - 0{,}5774P$;

$d_{Dmax} - 1{,}2\ d_{Do}$;

$d_{Dmin} - 0{,}5052P$.

Номинальные диаметры проволочек и роликов d_{Do} для измерения параметров шлицевых соединений с эвольвентным профилем приведены в таблице 18.8.

Таблица 18.8.

d_{Do}, мм							
1,00	2,00	3,25	5,00	7,00	12,00	20,00	35,00
1,25	2,25	3,50	5,25	8,00	14,00	22,00	
1,40	2,50	4,00	5,50	9,00	15,00	25,00	
1,50	2,75	4,25	6,00	10,00	16,00	28,00	
1,75	3,00	4,50	6,50	11,00	18,00	30,00	32,00

Числовые значения предельных отклонений d_{Do} проволочек и роликов в зависимости от классов точности 0 и 1, не должны превышать указанных в таблице 18.9.

Таблица 18.9.

Интервалы диаметров d_{Do}, мм	Предельные отклонения, мм	
	Класс точности 0	Класс точности 1
До 4,980	±0,3	±0,5
от 5,176 до 8,690	±0,4	
от 10,353 до 26,069	±0,5	±1,0
от 28,000 до 35,000	-	

Отклонение формы рабочей поверхности проволочки и ролика должны находиться в пределах допуска.

Конструкция проволочек обеспечивает возможность их применения с приспособлениями для подвешивания или установки на приборе.

18.3.4 Измерение среднего диаметра метчиков

Метчики, в зависимости от назначения, степени точности, обрабатываемого материала изготавливаются 3-х пёрых, 4-х пёрых и 5-ти пёрых.

Средний диаметр метчиков с четным числом перьев и нормальной степенью точности измеряют аналогично резьбовым изделиям с наружной резьбой. Метод контроля описан в главе 2 (рис. 18.5) с помощью микрометров МВМ. Измерения 3-х, 5-ти пёрых метчиков осуществляются с помощью прибора РМ, предназначенного для контроля среднего диаметра метчиков от 3 до 33 мм, имеет цену деления 0,01 мм и основную погрешность показаний не более ±0,02 мм.

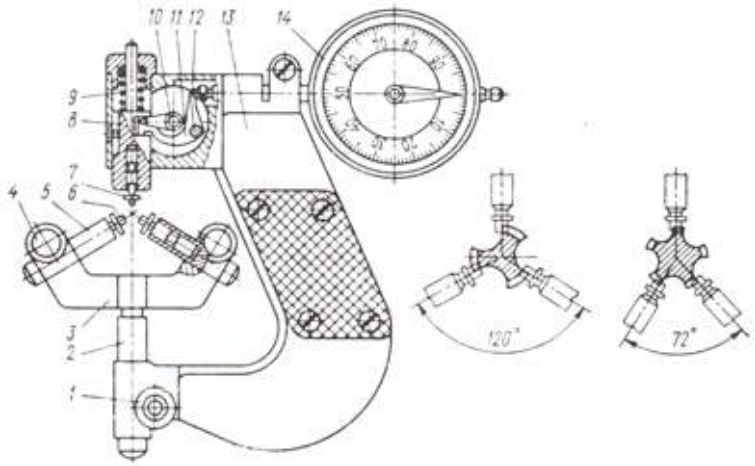


Рис. 18.19 – Прибор для измерения среднего диаметра метчиков

В корпусе *13* установлен индикатор *14*, стержень которого через рычаг *11*, поворачивающийся на оси *12*, связан с подвижной шкалой *8*. В скалку устанавливается призматическая вставка *7*. Пружина *9* создает измерительное усилие. В корпусе винтом *1* крепится передвижная ножка *2* с вилкой *3*, на которой гайками *4* зажимаются валики *5* с клиновыми вставками *6*. К прибору прикладываются 6 комплектов вставок для резьб с различными шагами.

Перед измерением валики *5* устанавливают на вилке *3* по делениям, нанесенным на валиках так, чтобы оси вставок *6* пересекались на оси подвижной скалки.

Прибор приводят в рабочее положение по аттестованному метчику или резьбовому калибр-пробке. Подняв скалку *8* рукояткой рычага *10*, на нижние вставки укладывают впадинами образцовое изделие и затем опускают призматическую вставку на вершину витка резьбы. Индикатор устанавливают на нуль в тот момент, когда при легком покачивании и поворачивании калибра его показания будут минимальными. При измерении среднего диаметра метчики устанавливают так, чтобы оси вставок проходили через их режущие кромки. При небольшом покачивании метчика отсчитывают наибольшие по-

казания индикатора. Средний диаметр определяют по формуле $D_{ср}=(D_0+kA)$, где D_0 – средний диаметр образцового изделия; A – показания индикатора (±); k=1 – коэффициент для трехканавочного метчика; k=1,342 – коэффициент для пятиканавочного метчика.

Для более точных резьб, а также для контроля среднего диаметра калибров резьбовых применяют метод одной проволочки (рис. 18.6).

Приспособление с центрами устанавливают на столик оптиметра или стойку с-1 с головкой ИГП.

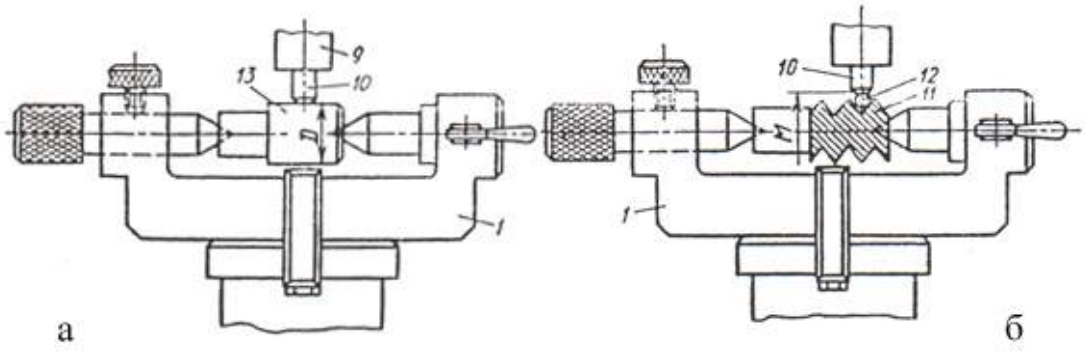


Рис. 18.20 – Схема контроля среднего диаметра резьбы по методу одной проволочки

Прибор с помощью наконечника *10* (рис. 18.9, *а*) настраивается на нуль при помощи установочной меры *13*. Диаметр установочной меры равен величине M, который рассчитывается по формуле

$$M_1=d_1+3d+3d_n-0{,}866P, \qquad (10)$$

где d – номинальный диаметр резьбы, d_2 – средний диаметр резьбы, d_n – диаметр проволочки, P – шаг резьбы.

Затем установочную меру снимают с приспособления *1*, а на его место ставят метчик (резьбовой калибр). Во впадину резьбы метчика, которая находится под торцом наконечника, вставляют измерительную проволочку *12*, которая, касаясь наконечника, приподнимает его и приводит в движение стрелку прибора. Положение стрелки (совпадение стрелки с нулевой настройкой прибора по установочной мере или отклонение от нее) указывает на предельное отклонение измеряемого размера, которое не должно превышать предельных отклонений на средний диаметр резьбы.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы контроля резьбы?
2. Что из себя представляют комплексный и дифференцированный методы контроля резьбы?
3. Какие существуют методы контроля среднего диаметра резьбы?
4. Какие методы используются для контроля конических калибров?
5. Типы проволочек и роликов для контроля резьбы.

Глава 19 Методы контроля погрешности формы и расположения поверхностей

19.1 Отклонения от формы цилиндрических поверхностей

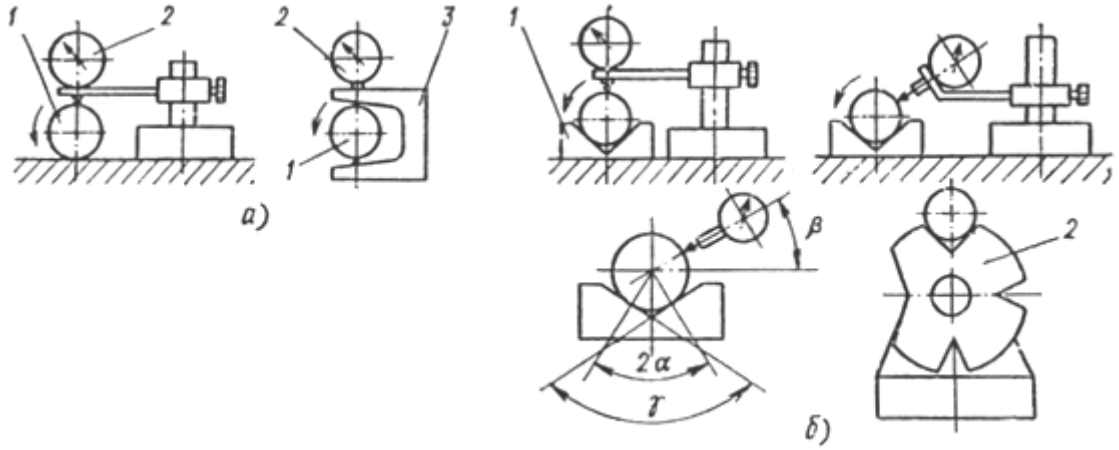
При определении отклонений от круглости используют три способа измерений:

– **разностный**, при котором определяют разность между последовательными значениями размеров исследуемого профиля изделия с помощью двух- и трехконтактных приборов;

– **прецизионного вращения,** при котором профиль сечения деталей сравнивается с траекторией точного кругового движения;

– **сравнение с образцовой поверхностью** на основе явления интерференции.

Разностный способ реализуется в двух- и трёхконтактных устройствах (рис. 19.1), в которых исследуемая деталь вращается оператором или специальным устройством между измерительными наконечниками и опорными плоскостями.



а –двухконтактными устройствами; *1* – изделие; *2* – измерительная головка; *3* – скоба; *б* – трехконтактные устройства; *α, β, γ* – основные углы устройства; *1* – призма с постоянным углом раскрытия; *2* – призма с различными углами раскрытия.

Рис. 19.1 – Схемы измерения отклонений от круглости

Двухконтактные приборы позволяют выявить огранку с четным числом граней и овальность (рис. 19.1, *а*) к двухконтактным приборам относятся стойки

С-I, С-II, С-IV с индикатором или индикаторной головкой, оптиметры.

Трехконтактные устройства представляют собой комбинацию призмы с заданным углом раскрытия и измерительной головкой, колебание показаний измерительного устройства при повороте изделия связано с величиной огранки и коэффициентом воспроизведения *К*, зависящим, в свою очередь от числа граней сечения деталей и углов α и β (рис. 19.1, *б*).

В связи с тем, что трёхконтактный способ наиболее распространён в цеховых условиях рассмотрим его более подробно исследуя зависимость

углов призмы, числа граней и коэффициента *К*.

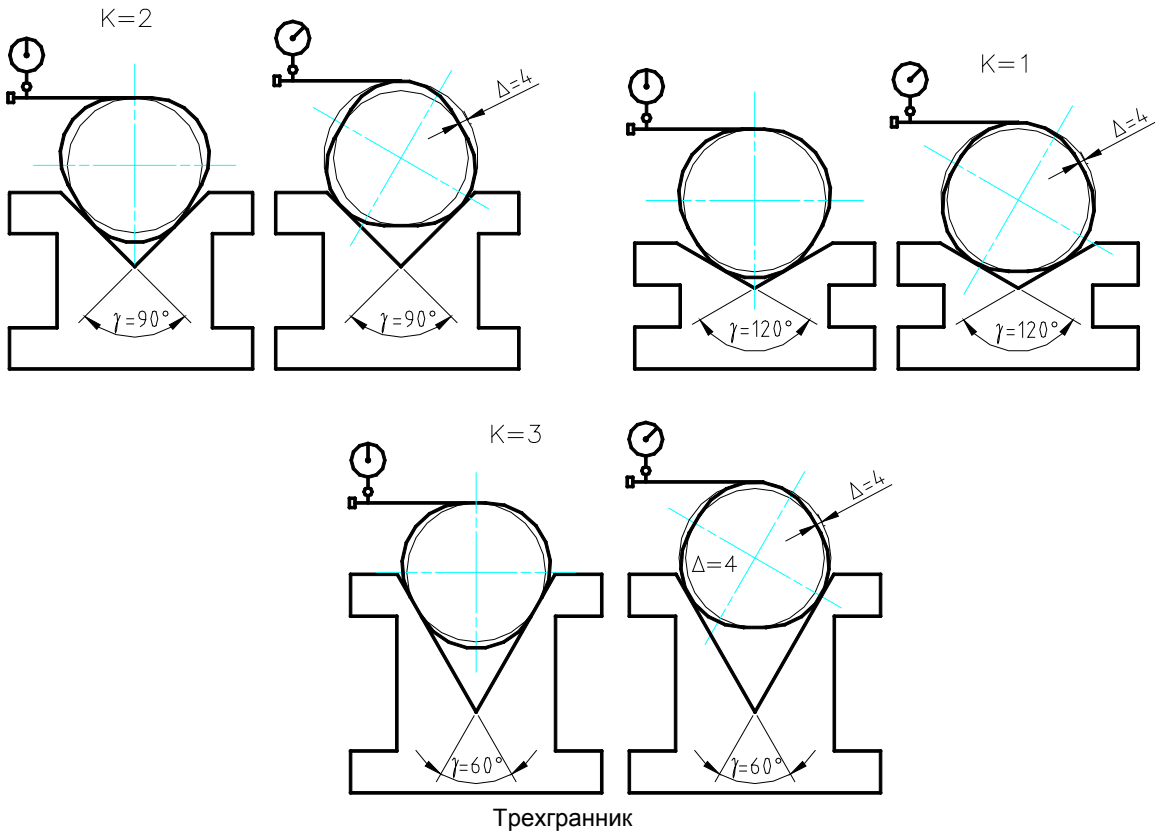


Рис. 19.2 – Контроль 3^{х} гранника в призме с углами 60^{о}, 90^{о} и 120^{о}

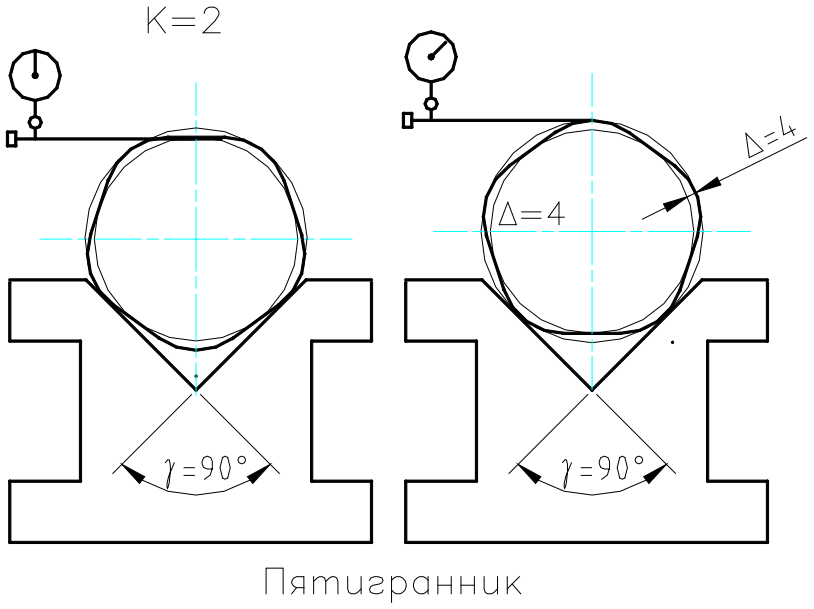


Рис. 19.3 – Контроль пятигранника в призме 90^{о}

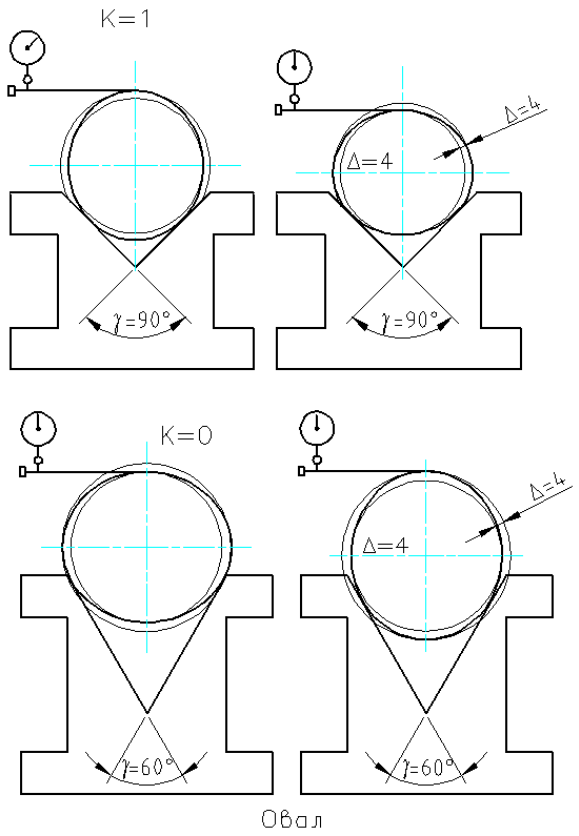


Рис. 19.4 – Контроль овала в призме 60º и 90º

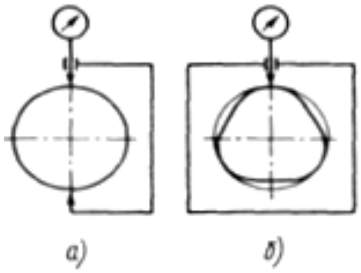
Как видно из схем контроля деталей с огранкой и овальных, при одной и той же величине погрешности формы Δ, в зависимости от угла призмы γ, коэффициент показаний индикатора *К* – разный. Для овала, при угле призмы γ=60º, при любой величине Δ, коэффициент *К* будет равен "0".

При разработке технологического процесса механообработки и проектировании контрольной оснастки важно знать какая огранка или овал образуется на детали. Для контроля наиболее удобно, когда показание индикатора соответствует величине погрешности формы.

Δ=*К*=1. Это достигается изменением угла призмы γ и угла наклона к горизонтальной оси детали β. При неопределённости получения огранки проектируются приспособления с поворотной призмой (рис. 21.1, *б*). При наладке техпроцесса обработки детали контролируются в лаборатории способом прецизионного вращения, а затем определяется угол призмы, в которой будет осуществляться контроль в цеховых условиях.

Таблица 19.1 – Значение коэффициента *К* воспроизведения огранки и овальности

Число граней изделия, овал	Значение *К* при угле призмы			
	60°	90°	108°	120°
3	3,00	2,00	1,60	1,00
5	0		1,20	2,00
7		0	1,30	
9	3,00		0	1,00
овал	0	1,00	1,45	1,60



а) двухконтактным методом; *б*) трёхконтактный метод.

Рис. 19.5 – Схемы контроля от формы цилиндрических поверхностей

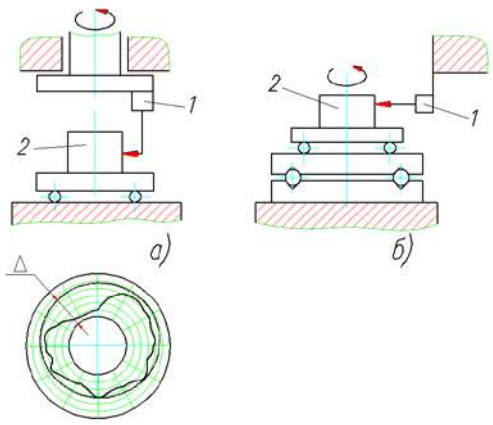
Овальность определяют по наибольшей разности диаметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Изделие (вал) поворачивают между измерительными поверхностями универсального прибора (микрометра, рычажной или индикаторной скобы) или на стойке с индикаторной головкой (рис. 19.1, *а* и 19.5, *а*).

В массовом производстве огранку эффективно контролировать в кольце (рис. 19.5, *б*). Огранка, независимо от числа граней определяется по показанию индикатора без переводного коэффициента *К*.

19.2 Способы прецизионного вращения определения отклонений формы

Более точным методом является определение погрешности формы – отклонения от круглости является метод относительного прецизионного вращения измерительного наконечника или измеряемой детали с записью отклонений на диаграммном диске (ГОСТ 17353-71). Измерительные устройства называются **кругломерами.**

Кругломеры предназначены для измерения отклонения от круглости. При измерении просходит непрерывное ощупывание цилиндрической поверхности по окружности. Кругломеры выпускают двух типов: КН – с вращающимся измерительным наконечником; КД – с вращающимся изделием.



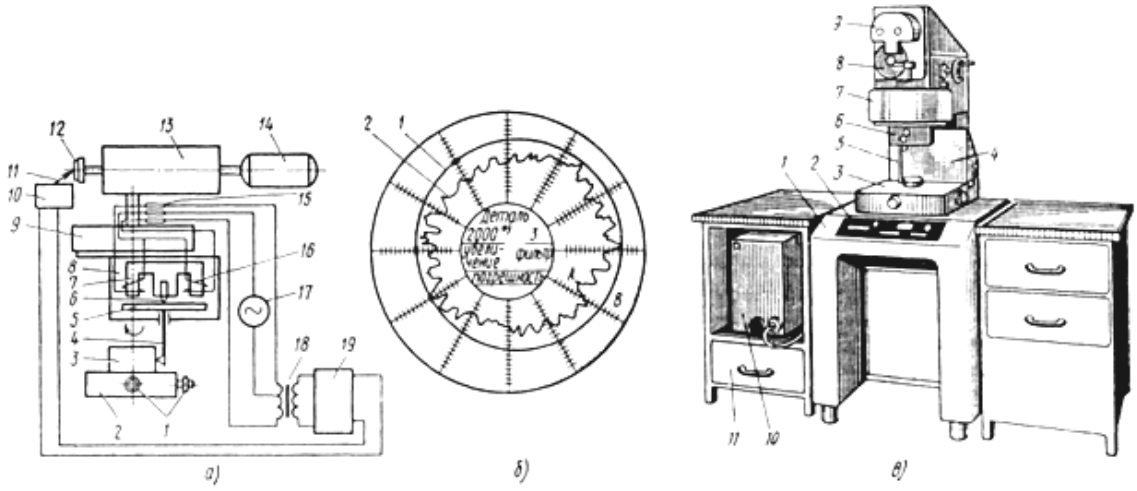
а – кругломер КН – вращающийся шпиндель; *б* – кругломер КД – вращающаяся деталь.

Рис. 19.6 – Схемы контроля круглости

На рисунке 19.6 1 – датчик, 2 – деталь.

На круговой диаграмме разность между вписанной и описанной округлостью – отклонения от круглости Δ.

На рис. 19.7 показан кругломер мод.255, изготовленный заводом "Калибр" г.Москва.



а–схема; *б*–круглограмма; *в*–внешний вид кругломера.

Рис. 19.7 – Кругломер

У кругломера с вращающимся наконечником (рис. 19.7, *а*) проверяемое изделие *3* установлено на предметном столе *2*. Стол перемещается в двух взаимно перпендикулярных направлениях микрометрическими головками *1*. Прецизионный шпиндель *9*, ось которого имеет радиальные биения порядка сотых долей микрометра, приводится во вращение приводом *14* через коробку скоростей *13*. На шпинделе закреплен индуктивный датчик *8* со щупом *4*. При вращении шпинделя измерительный наконечник щупа скользит по поверхности изделия и вызывает колебания щупа вследствие отклонений формы изделия. В результате происходят колебания якоря *5* относительно опоры *6*, изменяющие зазор между якорем и сердечником *7* индукционных катушек *16*, которые через вращающиеся токосъемные кольца *15* со щетками связаны с первичной обмоткой трансформатора *18*.

Питание электрической схемы осуществляется генератором звуковой частоты *17*. Колебания зазора между якорем и сердечником приводят к изменению напряжения на выходе трансформатора. Сигнал усиливается электронным блоком *19* и подается на записывающее устройство *10*. Запись осуществляется пером *11* на бумаге, закрепленной на электротермическом диске *12*, вращающемся синхронно со шпинделем. После одного оборота диска на бумаге записывается круглограмма проверяемого поперечного сечения изделия.

На круглограмме (рис. 19.7, *б*) нанесено 12 радиусных линий со штрихами, интервал между делениями составляет 2 мм. Цена деления круглограммы зависит от увеличения прибора и типа наконечника.

Например, при увеличении 2000^x цена делений равна 0,001 мм. В центре круглограммы указывается увеличение прибора, номер электрического фильтра и погрешность. Электрические фильтры позволяют изменять частоту неровностей поверхности, записываемых на круглограмме.

Для определения отклонения от круглости на круглограмму наносят прилегающую окружность *1*, касающуюся выступающих точек записанного профиля *2*. Отклонение от округлости равно наибольшему расстоянию по радиусу от круглограммы до прилегающей окружности. На рис. 19.7, *б* наибольшее расстояние $A \cdot B$ = 6,6 делений шкалы, а отклонение от круглости поверхности при цене делений 0,001 мм равно 6,6 мкм. При работе используют прозрачные шаблоны с концентрическими окружностями, нанесенными через 2 мм, и радиальной шкалой. Шаблоны накладывают на круглограмму, что позволяет быстро определить прилегающую окружность и оценить отклонение от круглости.

Кругломеры обеспечивают контроль изделий с верхним пределом наружных и внутренних диаметров проверяемых поверхностей 100, 160, 250, 400, 630 и 1000 мм. Нижний предел внутреннего диаметра составляет не менее 3 мм.

Кругломер 255 (рис. 19.7, *в*) широко применяется в промышленности. Станина прибора состоит из основания *1* и колонны *4*; она служит для размещения панели управления *2* и всех механических узлов: предметного стола *3*, шпинделя *7* с датчиком *6* и щупом *5*, шпиндельной коробки с приводом *9* и записывающего устройства *8*. Электронный блок *10* установлен в тумбочке *11*.

Проверяемое изделие устанавливают в центре стола симметрично концентрическим окружностям, нанесенным на его поверхности. Щуп датчика приводят в соприкосновение с изделием и перемещениями стола центрируют изделие, вращая шпиндель сначала вручную, а затем от привода. Перед измерением переключают частоту вращения шпинделя на 15 об/мин, устанавливают нужное увеличение прибора и требуемый фильтр. Закрепляют диаграммный диск в записывающее устройство и перо выводят на середину. Для снятия круглограммы нажимают кнопку "запись" на панели управления 2. Запись автоматически отключается, когда шпиндель совершит один оборот. Сняв круглограмму, осуществляют ее обработку.

Альтернативой кругломеру мод.255 завода "Калибр" Москва служит кругломер "АбрисК7" НПП "Абрис" г. Пенза.

Кругломер "Абрис К7" предназначен для измерения отклонений расположения формы и волнистости поверхностей деталей. Отклонение формы цилиндрических деталей можно измерить как в радиальном, так и в тангенциальном направлениях.

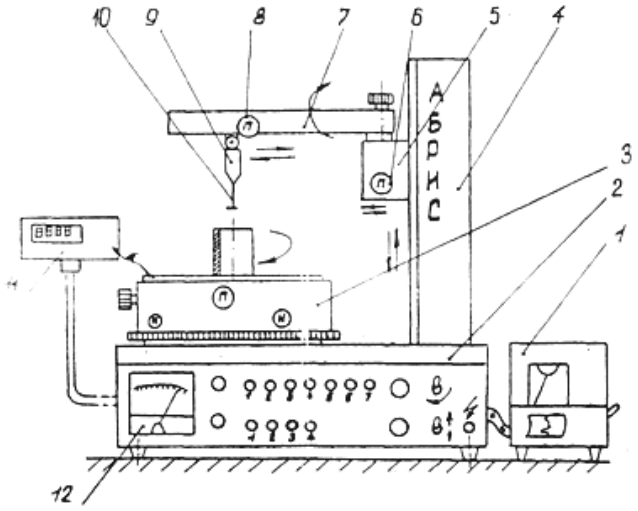


Рис. 19.8 – Конструктивная схема кругломера

На кругломере можно измерять размеры наружных и внутренних поверхностей деталей диаметром и высотой до 250 мм в цеховых условиях. Предел допускаемой суммарной погрешности не превышает ±10% при максимальном вертикальном увеличении 20000^{X}. Кругломер надежен в работе и прост в эксплуатации. Для работы кругломера не требуется отдельного помещения и привлечения квалифицированного обслуживающего персонала. В зависимости от требования к измерению измерительная информация может представляться на профилограмме или на показывающем приборе, которым снабжен кругломер.

По желанию оператора измерительная информация может отображаться на дисплее персонального компьютера, на котором эта же информация подвергается анализу. Возможность подключения компьютера предусмотрена в конструкции кругломера. При работе кругломера с ЭВМ возможность анализа технологического процесса изготовления детали расширяется вплоть до выдачи письменных рекомендаций по его регулированию. Значительное сокращение времени измерения обеспечивается за счет лишь предварительного центрирования детали на измерительном столе. Остаточная величина несоосности стола и измеряемой детали устраняется электронным блоком прибора путем режекции первой гармоники из результата измерения.

Конструктивно (см. рис. 19.18) кругломер выполнен в виде плоской станины *2*, на которой расположен стол *3* эталонного вращения. Под эталонный вращением понимают вращение стола с минимальной величиной осевого и радиального биений, являющихся основными характеристиками точности кругломера. Для первого класса точности кругломеров эти величины не должны превышать соответственно значений 0,08 и 0,05 мкм.

С правой стороны оси стола на станине расположена жестко закрепленная колонна *4*, снабженная направляющей вертикального перемещения. Погрешность вертикального перемещения кругломера "Абрис К7" не превышает 1,5 мкм. Такая малая величина погрешности позволяет осуществлять измерение отклонений формы к волнистости цилиндрических

деталей в осевой направлении. По вертикальной направляющей колонны: от электропривода перемещаются ползун *5* с закрепленной на нем горизонтальной траверсой *7*. Измерительный преобразователь *9* со сменным щупом *10* в горизонтальном направлении перемещается механизмом грубо-точного подвода, управляемого ручками *6* и *8*. На измерительном столе *3* размещены три ручки для нивелирования *Н*, расположенные под углом 120° в нижней части юбки стола, и две ручки перемещения *П*. Ручками нивелирования осуществляют установку столешницы перпендикулярно оси вращения стола, а ручками перемещения центрируют (совмещают) ось измеряемой детали с осью вращения стола. Точность центрирования детали на столе прибора оценивают по амперметру *12*, а измерительную информацию считывают либо с показывающего *II*, либо с записывающего *I* приборов.

Из западных образцов наиболее широкое применение на предприятиях России получили кругломеры фирмы "Тейлор Гобсон" Англия. Талиронд-200 предназначен для цеховых условий. Талиронд 73 и Талеронд 3 – лабораторные приборы, которые используются не только для производственных измерений, но являются звеном передачи единицы круглости от эталонных мер круглости.

19.3 Методы контроля погрешности формы в осевом направлении

Конусообразность определяется по диаметрам изделия, измерением по краям продольного сечения.

Бочкообразность и седлообразность – по краям и середине.

Изогнутость измеряется вращением детали на двух опорах под наконечником индикатора (рис. 17.9). Значение изогнутости равно полуразности наибольшего и наименьшего показания индикатора.

Отклонение от цилиндричности является суммарной величиной погрешности формы, как в поперечном, так и в продольном сечениях.

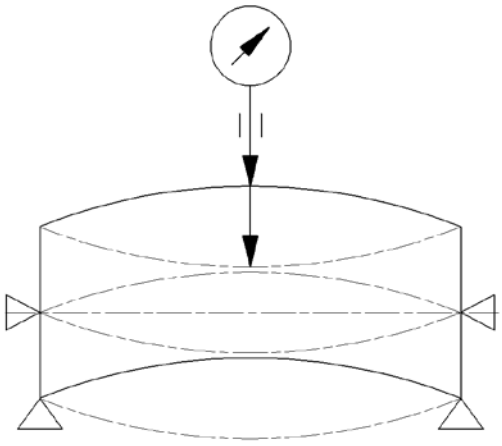


Рис. 19.9 – Схема контроля изогнутости

Фирма "ПАТ" Германия разработала прибор для контроля внутреннего диаметра гильзы двигателей внутреннего сгорания. В автоматическом

режиме датчиками производится сканирование как в поперечном, так и в осевом сечениях. Математическая обработка результатов измерений позволяет получить величину минимальной и максимальной цилиндричности и объёмное графическое изображение внутренней поверхности гильзы.

19.4 Методы контроля погрешности плоских поверхности

19.4.1 Контроль прямолинейности

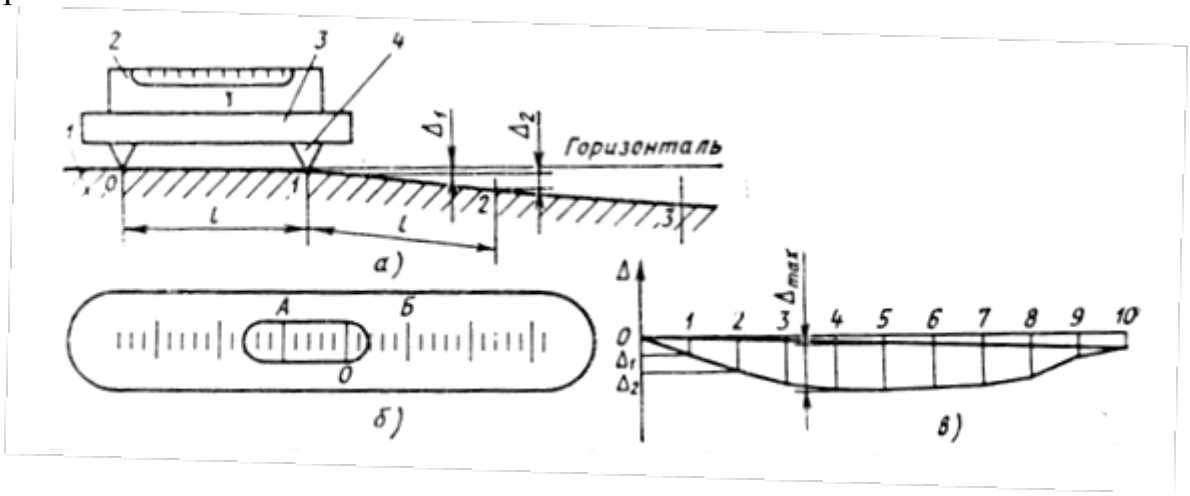
Форма плоских деталей характеризуется прямолинейностью и плоскостностью. Наиболее простой метод – контроль прямолинейности осуществляется с помощью лекальных линеек "на просвет".

В главе 17 описаны методы и средства контроля прямолинейности "на просвет" (рис. 17.15 и 17.16, 17.19). На рис. 17.17 показан "образец просвета".

Для плоских деталей где невозможно осуществить контроль "на просвет" используют лекальные линейки или линейки брусковые поверочные (рис. 1 приложение 17.1 и набор щупов (рис. 17.14).

19.4.2 Контроль прямолинейности уровнем

Проверяемую поверхность изделия 1 (рис.21.10) устанавливают грубо в горизонтальное положение.



а–установка уровня; *б*–отсчет по ампуле; *в*–диаграмма измерений.

Рис. 19.10 – Контроль прямолинейности уровнем

На поверхности в заданном направлении наносят отметки 0, 1, 2, 3,…, 10 с интервалом l =0,1 проверяемой длины. Уровень *2* закрепляют на поставке *3* с опорами *4*, расстояние между которыми равно выбранному интервалу l. Подставку последовательно устанавливают на участки 0-1, 1-2, 2-3 и т.д. Отклонение от прямолинейности поверхности обуславливает различный наклон её отдельных участков относительно горизонтальной линии, проведённой через точку 0, принятую за начало отсчёта.

Наклон участка поверхности определяют по уровню (рис 19.10, *б*). Отсчёты выполняют по смещению пузырька относительно штрихов *А* и *Б* на ампуле уровня, которые расположены симметрично относительно нуль-

пункта на расстоянии один от другого, равном длине пузырька. Показание уровня равно алгебраической полу сумме обоих отсчётов. Отсчёт считается положительным, если пузырёк смещается по ходу перемещения уровня, что соответствует подъёму поверхности. На рис. 19.10, *б* отсчёт $n = -0,5(3+3,2) - 3,1$ деления шкалы.

Смещение по вертикали смежных точек поверхности

$$\Delta_i = C \cdot n_i \cdot l, \qquad (1)$$

где C – цена деления шкалы ампулы, мм/м.

l – длина поверхности, м

Результаты измерений сводят в таблицу и по ней строят график (рис. 19.10, *в*) отклонений точек поверхности от горизонта. Через первую и последнюю точки графика проводят прямую линию, учитывающую общий наклон поверхности. Отклонение от прямолинейности поверхности равно наибольшему отклонению Δmax точек графика от прямой линии.

19.5 Контроль плоскостности

Для контроля плоскостности существует несколько способов.

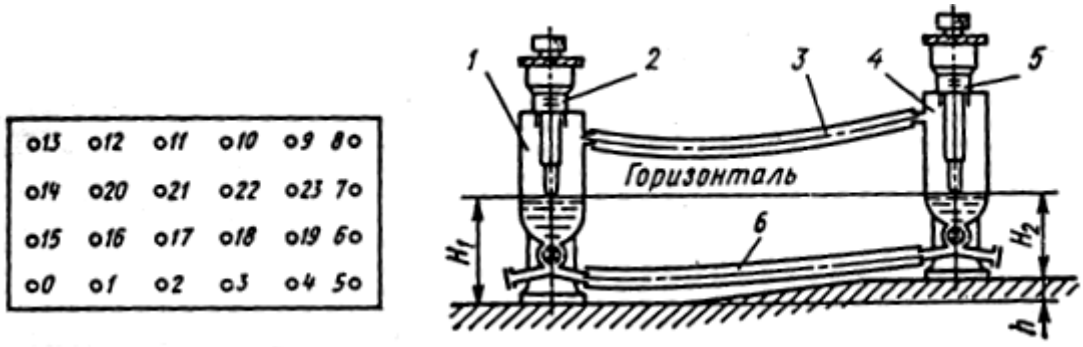
19.5.1 Контроль "на краску"

Метод контроля плоскостности "на краску", в основном применяют для контроля плит поверочных и разметочных. Рабочую поверхность покрывают тонким слоем краски. Рекомендуется применять типографскую краску №219 или берлинскую лазурь и турбулентную синь, разведенные в машинном масле. Толщина слоя краски для плит класса точности 00 рекомендуется 0,4…1 мкм; класса 0 – 0,6…1,6 мкм; класса 1 – 1,0…2,5 мкм и класса 2 – 2,5…10 мкм. Толщину слоя краски контролируют по "образцу интенсивности окраски" или "образцу просвета" (рис. 17.17).

Окрашенную плиту накладывают на проверяемую поверхность и слегка перемещают. Отклонение от плоскостности определяют по числу пятен в квадранте со стороной 25 мм, оставшихся на выступающих частях проверяемой поверхности. Для подсчёта используют пластины с окном 25×25 мм. проверка "на краску" не позволяет определить значение неплоскостности. По числу пятен судят о степени точности поверхности. При хорошей плоскостности пятна располагаются равномерно, и чем больше пятен, тем меньше неплоскостность.

19.5.2 Измерение плоскостности уровнями

Измерение плоскостности осуществляется аналогично контролю прямолинейности. На рис. 19.11 показана схема перемещения уровня по плоскости.



а–схема измерения; *б*–уровень гидростатический.

Рис. 19.11 – Схема измерения плоскостности уровнем

Схема перемещения уровня по плоскости показана на рис. 19.11, *а*. Сначала измерения проводят по замкнутому контуру в точках 0, 1, 2, 3, …, 15,0. Затем проверяют точки 15, 16, ….6 и 14, 20, 21, 22, 23, 7. Уровень перемещают последовательно на все участки поверхности. Показания отсчитывают на обоих концах пузырька при двух положениях уровня, отличающихся на 180º. Результирующее показание определяют по четырём отсчётам. При обработке результатов измерений учитывают наклон поверхности, как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Таким же способом измеряют плоскостность уровнями брусковыми, рамным, электронным.

19.5.3 Контроль плоскостности гидростатическим уровнем

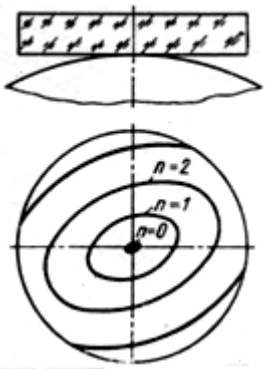
Гидростатическим уровнем контроль плоскостности производится аналогично. Различие состоит в том, что в точку о0 устанавливают головку1 (рис. 19.11, *б*). Перемещается головка *4* согласно схемы рис. 19.11, *а*. В этом случае снимаются показания с микрометрической пары головки *4*.

При измерении автокаллиматором прибор устанавливается в точку 0. По схеме рис. 19.11, *а* перемещается марка (зеркало с перекрестием). Луч света от автокаллиматора попадает на перекрестие и возвращается назад в автокаллиматор, где считываются отклонения.

После получения результатов измерений математически вычисляется прилегающая плоскость и определяется величина Δ.

19.5.4 Контроль плоскостности с помощью плоских стёкол

В разделе описаны плоские и плоскопараллельные стёкла (рис. 19.12). С их помощью определяется плоскостность прецизионного измерительного инструмента, приборов (плоскопараллельные меры длины, пятки микрометров гладких, предметные столики приборов). Такой метод называется интерференционный.



1–стеклянная пластина; *2*–измеряемая поверхность.

Рис. 19.12 – Контроль плоскостности интерференционным методом

По ГОСТ 9038-90 для плоскопараллельных концевых мер длин классов точности 00, 01, 0 –плоскостность 0,03 мкм. На стеклянной пластине отсутствуют интерференционные полосы и оттенки. Для ППКМ классов 1, 2 и 3 – плоскостность 0,1 мкм. На пластине отсутствуют интерференционные полосы. Допускаются оттенки в виде светлых пятен.

Для микрометров гладких по ГОСТ 6507-90 плоскостность измерительных пяток и микровинта – 0,6 мкм по 1 классу и 0,9 мкм – по 2 классу.

При наложении стеклянной пластины на измеряемую поверхность должно наблюдаться две или три полосы (рис. 19.12). Одна полоса 0,3 мкм.

Плоские пластины ПИ-60, ПИ-80, ПИ-100, ПИ-120 (60–120 диаметр пластины) описаны в главе 16 (рис. 16.8. Характеристика пластин в таблице 16.3 главы 16).

Контроль радиального и торцевого биений

Методы контроля биений описаны в главе 24. На рисунках 24.33 и 24.35 показаны примеры контроля радиального биения, а на рисунках 24.34 и 24.39 –торцевого биения.

19.6 Средства контроля отклонений от прямолинейности, плоскостности плоских деталей

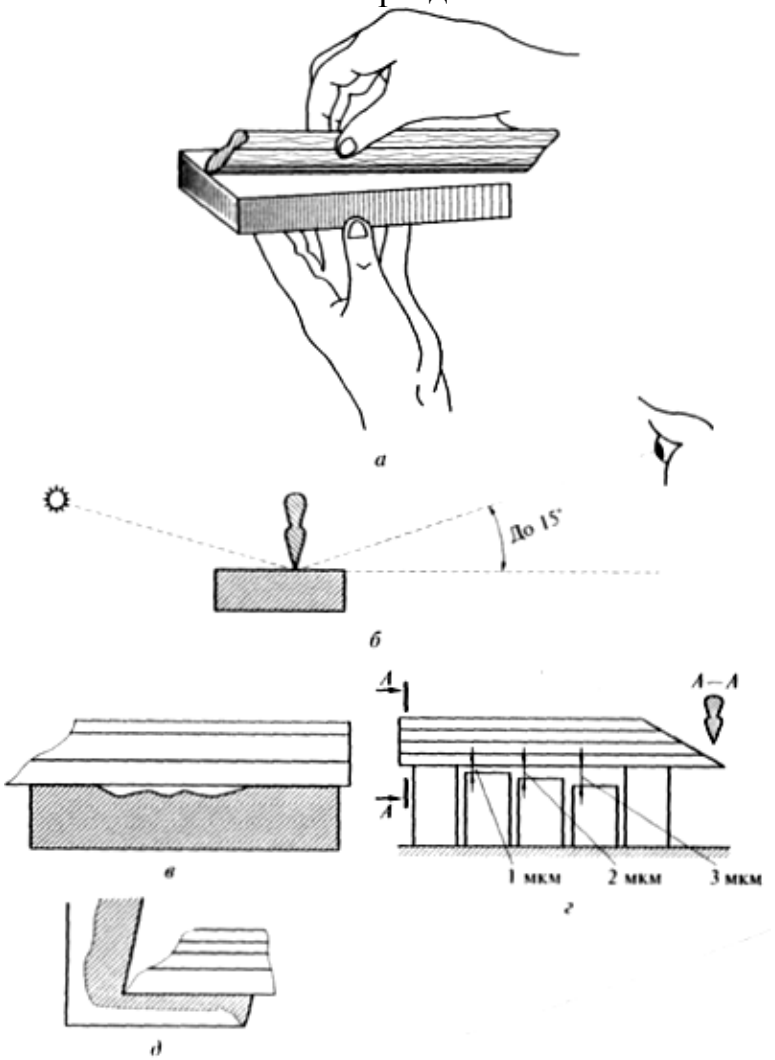
При измерении отклонений от прямолинейности и плоскостности широко применяют различные механические устройства, в которых носителем исходных прямых, относительно которых определяют отклонения, являются поверочные линейки, плиты, натянутая струна, оптико-механические приборы – автокалиматоры, в которых исходной прямой служит луч света и уровни: брусковые, рамные, гидростатические, электронные, оптические, уровни с микрометрической подачей ампулы. Для измерения уклонов используются оптические квадранты.

Рассмотрим наиболее используемые средства измерения прямолинейности и плоскостности.

19.6.1 Линейки лекальные и поверочные

Контроль отклонений от прямолинейности поверочными линейками выполняются одним из трех методов: "на просвет" (рис. 19.13 *а* и *б*), методом "линейных отклонений" (рис. 19.13 *в* и *г*) или "на краску".

Поверочные линейки описаны в разделе 5.2.



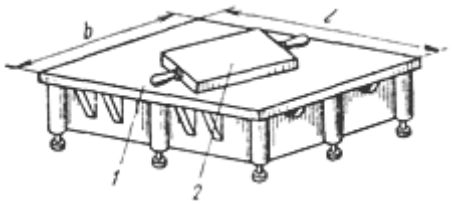
а и *б* –контроль "на просвет"; *в* и *г*–определение линейных отклонений; *д*–контроль отклонений в углах.

Рис. 19.13 – Контроль отклонений прямолинейности поверочными линейками

19.6.2 Плиты поверочные

Плиты поверочные выпускают двух исполнений: I–с ручной шабровкой рабочих поверхностей классов 00, 0 и 1, II–с механически обработанными поверхностями классов точности 1, 2, 3. Плиты классов 00 и 0 применяют для проверки плоскости поверхностей особо точных деталей, а классов 1 и 2 – точных деталей. Плиты класса 3 применяют для разметки.

Плиты (рис. 19.14) изготавливают из чугуна и из твёрдокаменных пород – гранита, диорита, диабаза. Характеристики плит в приложении 5.2.



1–чугунные; *2*–из горной породы.

Рис. 19.14 – Плиты поверочные

19.6.3 Уровни

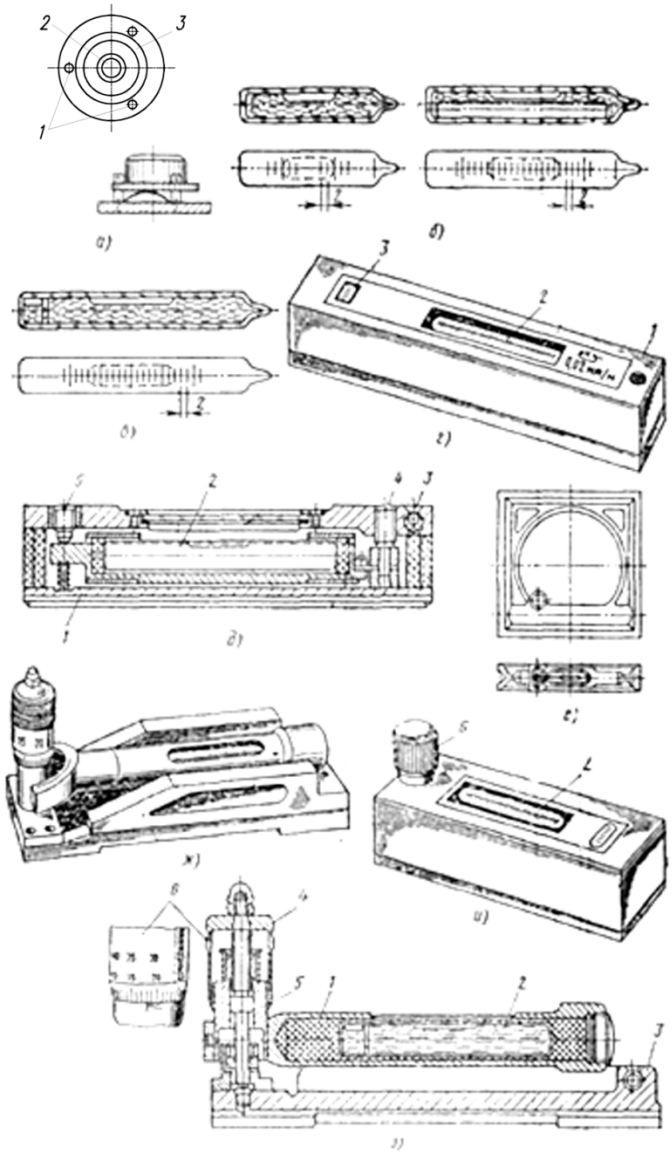


Рис. 19.15 – Ампулы и уровни

Основным измерительным элементом в уровнях является ампула.

а – ампула положения. На прецизионных приборах, нивелирах, теодолитах устанавливаются ампулы уровня, позволяющие устанавливать прибор в горизонтальное положение.

б, в – ампулы встраиваемые в уровни.

Типы ампул АЦП (рис. 19.15, *б*) и АЦК (рис. 19.15, *в*). Ампула (рис. 19.15 *б* и *в*) представляет собой запаянную цилиндрическую трубку, заполненную жидким эфиром так, что остается пузырёк воздуха. Ампула имеет бочкообразную форму, что при горизонтальном расположении уровня позволяет воздушному пузырьку занять верхнее положение.

На ампуле нанесены риски. Расстояние между рисками составляет 2 мм.

Ампулы встраиваются в уровни брусковые и рамные (ГОСТ 9392-75) (рис. 19.15 *г* и *е*). Ампула *2* – основная и перпендикулярно расположенная – установочная *3*. Если положение уровня отличается от горизонтального, то пузырёк воздуха перемещается от начального нулевого положения, это перемещение пропорционально углу наклона уровня.

Наклон уровня в миллиметрах на длине 1 м определяют по шкале, нанесенной на ампулу. Выпускают уровни с ценой деления шкалы 0,02; 0,05; 0,10 и 0,15 мм/м. Каждое деление шкалы ампулы соответствует наклону уровня на определённый угол (например, при цене деления шкалы 0,01 мм/м оно соответствует наклону уровня 2".

19.6.4 Уровни с микрометрической подачей ампулы и оптико-механические уровни

Для измерения углов наклона до величины ±30 мм/м применяют уровни с микрометрической подачей ампулы, а оптико-механические приборы с помощью микроподачи – выравнивание ампулы в горизонтальном положении.

В конструкцию уровней заложен синусный механизм. Микрометрическим винтом устанавливают ампулу в горизонтальное положение. Отсчет с ценой деления 0,01 мм производится в миллиметрах по стеблю микрометрического устройства, а сотые доли миллиметра по барабану.

Оптико-механический уровень устроен таким образом, что оптическая система настроена на концы пузырька ампулы (рис. 19.16) (ГОСТ 11196-74).

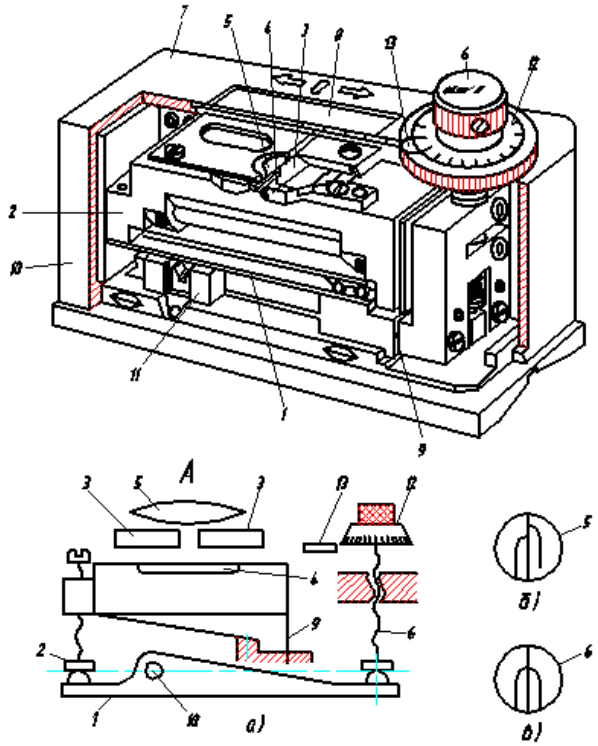


Рис. 19.16 – Уровень тип 1 мод.110

Уровень типа 1 устанавливают на измеряемую поверхность и через крайние окна на поверхности уровня определяют направление смещения пузырька, а затем вращением головки лимба микрометрического устройства *12* (при смещении пузырька в сторону "плюс" головку необходимо вращать по часовой стрелке) добиваются совпадения обеих концов пузырька *5* (рис. 19.16, *в*). После этого производится отсчёт по стеблю (миллиметры) и по шкале лимба (сотые доли миллиметра).

19.6.5 Уровень гидростатический

Уровни гидростатические применяются для контроля горизонтально расположенных поверхностей большой протяжённости, основаны на принципе сообщающихся сосудов.

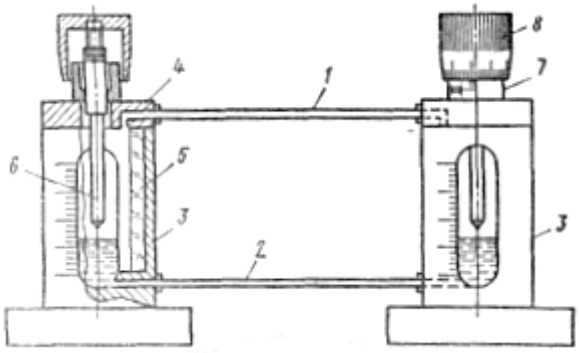


Рис. 19.17 – Уровень гидростатический

Уровень гидростатический (рис. 19.17) состоит из двух измерительных головок *3*, наполненных водой и соединённых между собой гибкими шлангами *1* и *2*. Шланг *2* обеспечивает переток воды, а шланг *1* – переток и

выравнивание давления воздуха. Каждая головка имеет микрометрические глубиномеры *7* с микрометрическим лимбом *8*. Каждая головка на микровинте имеет остриё. На корпусе головок нанесены миллиметровые деления для грубого определения уклона. Отсчёт ведётся по разности показаний на микропарах (показания на стебле и лимбе) при соприкосновении иглы микровинта к поверхности воды.

Таблица 19.4 – Характеристики уровней

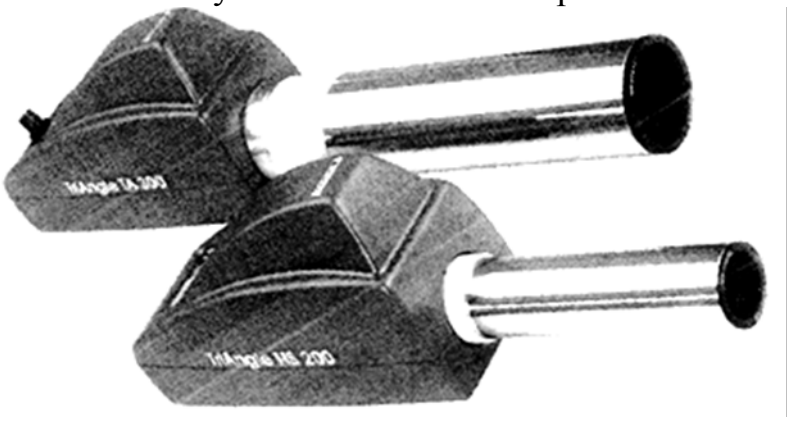
Модель (исполнение)	Пределы измерения, мм/м (*)	Цена деления, мм/м (*)	Предел допускаемой погрешности
Брусковый регулируемый уровень (ГОСТ 9392-75)			
113	–	0,15 0,02	0,1 мм/м 0,004 мм/м
117	–	0,05	0,005 мм/м
118 исполнение:			
(122)	–	0,02	0,004 мм/м
(122-1)	–	0,05	0,007 мм/м
(122-2)	–	0,1	0,015 мм/м
(122-3)	–	0,15	0,02 мм/м
Рамный регулируемый уровень (ГОСТ 9392-75)			
122 исполнение:			
(122)	–	0,02	0,004 мм/м
(122-1)	–	0,05	0,007 мм/м
(122-2)	–	0,1	0,015 мм/м
(122-3)	–	0,15	0,02 мм/м
Уровень с микрометрической подачей ампулы (ГОСТ 11196-74)			
Тип 2			
120	±30	0,1	0,1 мм/м
Тип 1			
110	±10	0,001	0,01–0,02 мм/м
Гидростатический уровень (ТУ 2-034-3010-82)			
114			
(1 и 3)	25 мм (70 мм по дополнительной шкале)	0,01 мм	0,03 мм
(2 и 4)		0,1 мм	0,1 мм
Электронный уровень (ТУ 2-034-3-83)			
128	(±1000")	(1")	(1"+0,01α_x)
	(±2000")	(2")	(2"+0,01α_x)
	(±5000")	(5")	(5"+0,01α_x)

Примечание: α_x–угол между измеряемой и базовой поверхностью.

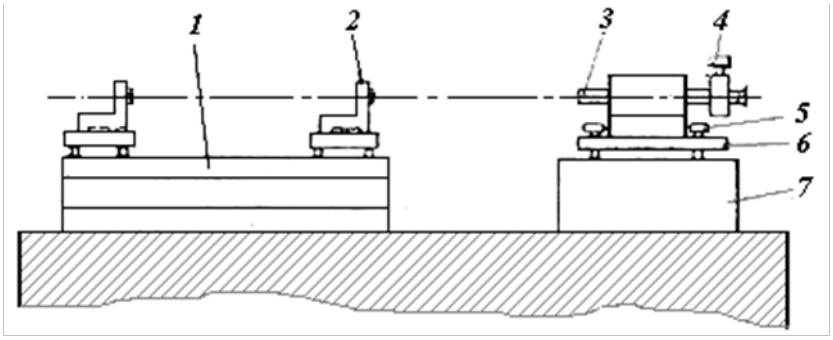
Пример условного обозначения уровня брускового с длиной рабочей поверхности 200 мм и ценой деления 0,05 мм/м: Уровень брусковый 200–0,05, модель 118 ГОСТ 9392-75; уровня с микрометрической подачей ампулы типа 2: Уровень 2. Модель 120, ГОСТ 11196-74; электронного уровня: Уровень электронный, модель 128, ТУ 2-034-3-83.

19.6.6 Автоколлиматоры

Для определения углов наклона, плоскостности, прямолинейности с высокой точностью используются автоколлиматоры.



а



б

Рис. 19.18 – Автоколлиматор и схема контроля плоскостности

Оптико-механические приборы, в которых в качестве исходной прямой используется луч света, по виду измеряемого параметра подразделяют на автоколлимационные и визирные (РС 5384-76). В автоколлимационных приборах относительно оптической оси зрительной трубы измеряют углы наклона отдельных участков поверхности изделия, затем полученные данные пересчитывают в величины отклонений от прямолинейности или плоскостности. В приборах, работающих по методу визирования, измеряют расстояние от исследуемой поверхности до оптической оси трубы. Автоколлиматоры (рис. 19.18, *б*) содержат следующие основные элементы: *3* – зрительную трубу; *4* – компенсатор; *6* – штатив; *5* – подъемный винт; *2* – зеркало в оправе, располагаемое на изделии *1*. Труба автоколлиматора закреплена на жестком массивном основании *7* рядом с изделием *1*. Перед измерением устанавливают в начальной и конечной точках исследуемого профиля зрительную трубу и плоскость зеркала под углом 90º. Световое изображение марки автоколлиматора, отразившись от зеркала, будет при этом наблюдаться в окуляре автоколлиматора. При наклоне зеркала на угол α в процессе перемещения его по изделию отраженный луч возвратится в автоколлиматор под углом 2α и вызовет смещение изображения наблюдаемой в объективе марки. Величину углового смещения зеркала определяют с помощью компенсатора.

Отечественные автоколлиматоры выпускает Новосибирский приборостроительный завод приборы АКУ-0,2, АКУ-0,5 с ценой деления и соответственно 0,2", 0,5" и пределом измерений 10', 20'. Автоколлиматор Ф/Э АФ-1Ц с записью показаний. Предел измерений ±5' и погрешностью ±2".

Из западных производителей фирма "Триоптик" Германия выпускает автоколлиматор "TriAngle" с возможным применением персонального компьютера.

19.6.7 Оптические квадранты

Оптические квадранты – приборы в которых угломерное устройство соединено с уровнем. Они предназначены для больших углов наклона плоских и цилиндрических поверхностей.

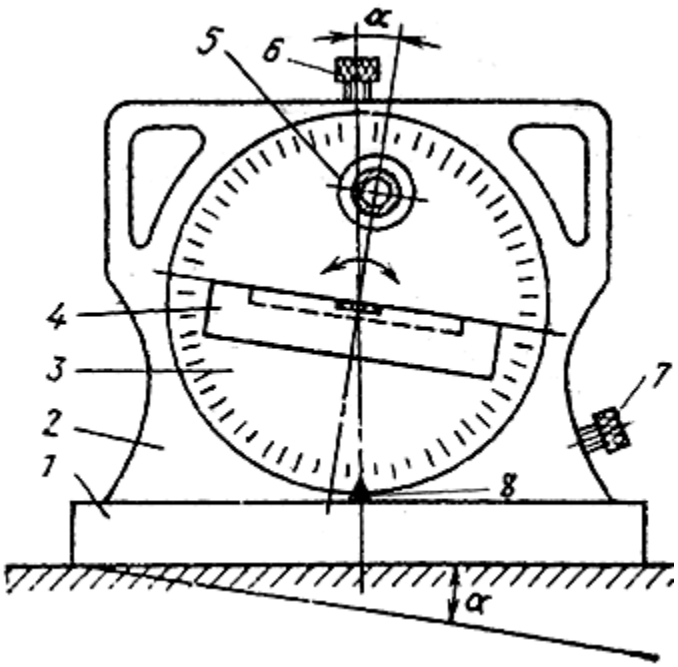


Рис. 19.19 – Оптический квадрант

Квадрант имеет основание *1* (рис. 19.19), корпус *2*, внутри которого установлен неподвижный лимб, вращающуюся крышку *3*, на которой нанесены деления в градусах +120º, минус 120º через 10º. Отсчет показаний грубой настройки осуществляется по указателю *8*. На крышке *3* закреплён уровень *4* и микроскоп *5*. Для измерения угла наклона к горизонту квадрант устанавливают на поверхность изделия и вращают крышку до тех пор, пока пузырёк уровня не займёт среднее положение. Быстрый поворот крышки выполняют рукой при отпущенном винте *6*, а тонкую регулировку угла – микровинтом *7* при зажатом винте *6*. Точные измерения выполняют с помощью микроскопа *5*. Продольный уровень *4* имеет цену деления шкалы 30" и установочный поперечный уровень имеет цену деления шкалы 2'.

Оптические квадранты выпускают трёх типов с ценой деления отсчётного устройства 2, 10, 60" и имеют допустимую погрешность при установке на плоскую поверхность, соответственно ±2,5 и 20". При установке

на цилиндрическую поверхность погрешность приборов в 2 раза больше.

19.6.8 Пластины стеклянные плоские

Пластины плоские ПИ-60, ПИ-80, ПИ-100, ПИ-120 (60-120 мм диаметр пластин) описаны в главе 16 (рис. 16.8. Характеристики пластин в таблице 16.3 главы 16).

19.7 Методы поверки средств измерения прямолинейности и плоскостности

Поверка ампул, уровней брусковых, рамных и электронных осуществляется на экзаменаторах.

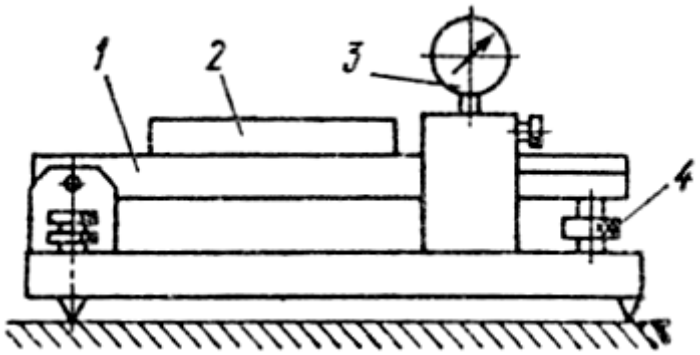


Рис. 19.20 – Экзаменатор

Уровень *2* или ампулу устанавливают на планку *1* экзаменатора. Наклоняя планку с помощью дифференциального микровинта *4*, совмещают последовательно края пузырька ампулы с делениями шкалы и снимают отсчёты по измерительной головке *3* экзаменатора. Измерения проводят при прямом и обратном перемещениях пузырька и за результат поверки принимают среднее арифметическое.

Поверка уровней рамных и брусковых осуществляется по МИ 1532-86, электронных уровней по МИ 390-87.

Инженерно-метрологический центр "МИКРО" г. Санкт-Петербург разработал и поставляет экзаменатор М-055, отвечающий требованиям мировых стандартов.

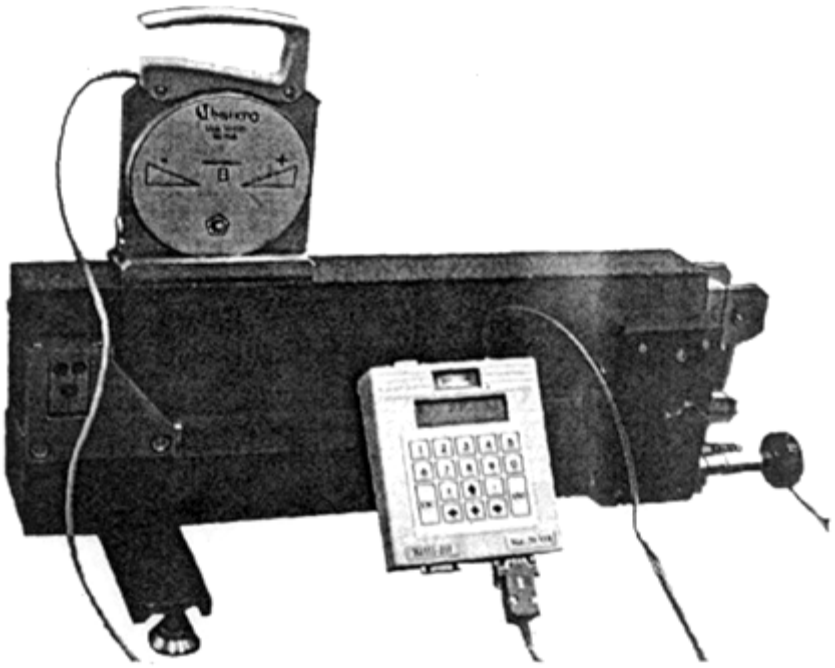


Рис. 19.21 – Экзаменатор М-055

Экзаменатор предназначен для поверки пузырьковых и электронных уровней.

Технические характеристики

	Диапазон 1	Диапазон 2
Дискретность отсчета	0,2 мкм/м (0,05")	2 мкм/м (0,5")
Диапазон измерений	±500мкм/м (±100")	±5000мкм/м (±1000)
Предел допускаемой погрешности, не более	±(0,5+0,005a) где а–диапазон измерения	±(2+0,005(a-500)
Масса	20 кг	
Габариты	600×400×400 мм	

Экзаменатор состоит из основания и гранитного рычага, поворот которого обеспечивается маховичком. Угол поворота рычага измеряется с помощью индуктивного преобразователя, подключенного к электронному блоку БИН-2И. Поверка заключается в сравнении показаний экзаменатора и поверяемого уровня.

Поверка прямолинейности и плоскостности линеек поверочных и плит поверочных, описанная в разделе 5.2 довольно трудоёмкий процесс. После снятия показаний измерительным прибором методом расчётов реальную поверхность приводят к прилегающей плоскости.

Специалистами ИМЦ "МИКРО" разработан и поставляется электронный уровень М-050.

Электронный уровень предназначен для контроля горизонтального расположения поверхностей.



Рис. 19.22 – Уровень электронный М-050

Уровень позволяет быстро и просто с высокой точностью и стабильностью выставлять горизонтально рабочие поверхности, измерять отклонения от прямолинейности и плоскостности поверхностей направляющих станков, столов и различных плит, определять взаимное расположение в пространстве одноименных поверхностей, измерять отклонение от перпендикулярности.

Таблица 19.5 – Технические данные

Диапазон измерений	±1500 мкм/м
Дискретность отсчета	1 мкм/м (0,2 угл.сек.)
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений	±(2+0,0 1а)мкм/м, а- диапазон измерений, мкм

Электронный уровень поставляется в трех комплектациях:

В комплектации М-050-01, состоящей из уровня, электронного блока и измерительной каретки, уровень может использоваться для определения отклонения объекта от горизонтальной плоскости.

В комплектации М-050-02 в состав входит два уровня, электронный блок и измерительная каретка. В этой комплектации электронный уровень используется для определения взаимного расположения объектов или элементов одного объекта.

Комплект М-050-03 предназначен для поверки отклонения от плоскостности гранитных плит классов точности 00 и 0, чугунных плит классов точности 1, 2, а также для поверки отклонения от прямолинейности поверочных линеек. Комплект включает в себя два уровня, электронный блок, каретку измерительную, ноутбук, программу Plate Checker для расчета отклонения от плоскостности плит и прямолинейности линеек.

Программное обеспечение прибора в диалоговом режиме руководит действиями оператора по перемещению уровня по плите согласно стандартной схемы поверки (МИ 2007-89). Обработку результатов измерений выполняет компьютер, на дисплее которого отображается 3D картинка отклонения от плоскостности и соответствующие таблицы расчётов отклонения от плоскостности.

Таким образом, работа поверителя сводится только к перемещению уровня по плите согласно указаниям компьютера. Результаты поверки и свидетельство о поверке могут быть распечатаны с компьютера на любом принтере.

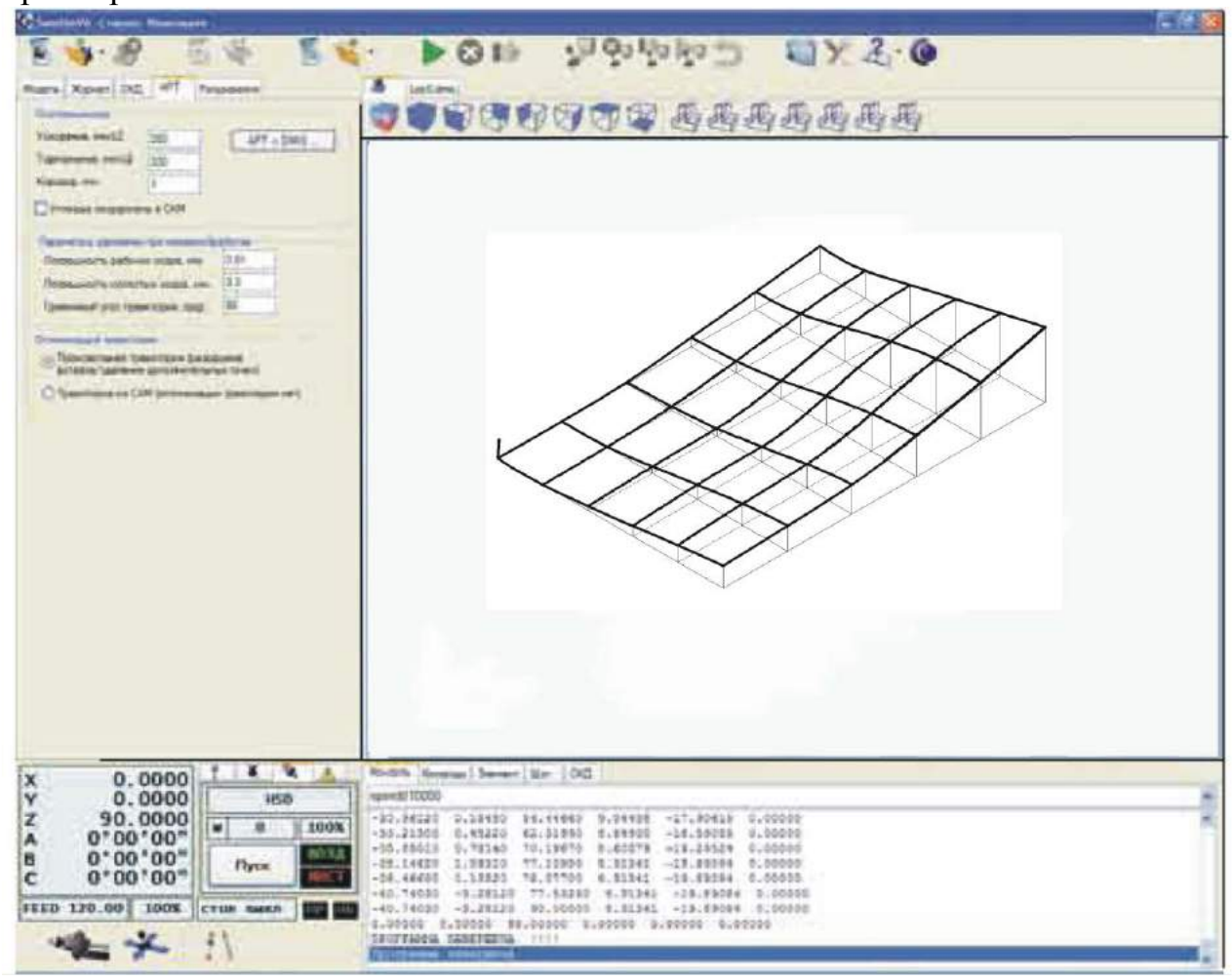


Рис. 19.23 – Профилограмма реальной поверхности и плиты

Применение комплекта М-050-03 повышает в несколько раз производительность поверки плит и линеек, устраняет субъективные ошибки, снижает утомляемость поверителя, дает наглядное представление о плоскостности плит и прямолинейности линеек.

Контрольные вопросы

1. Опишите схемы измерения отклонений от круглости.
2. Методы контроля круглости.
3. Какие существуют для контроля погрешности формы в осевом направлении?
4. Какие методы применяются при контроле погрешности плоских поверхностей?
5. Какие методы используются при контроле биений?
6. Какие средства используются при контроле плоскостности и прямолинейности?

Глава 20 Штангенинструмент

Для измерения наружных и внутренних размеров 12…17 квалитетов в машиностроении используется штангенинструмент.

По массовости применения, после средств допускового контроля, штангенинструмент занимает второе место.

Штангенинструмент используется при абсолютных и относительных измерениях, для измерения прямым и косвенным методом.

Наряду с массовостью его использования, штангенинструмент обладает рядом существенных недостатков. При точности отсчета 0,05, 0,1 мм погрешность в зависимости от измеряемого параметра, достигает 0,16…0,18 мм для штангенциркулей до 400 мм.

Существенные погрешности, влияющие на общую погрешность измерений:

1 Погрешность параллакса

Погрешность параллакса возникает вследствие визирования (наблюдения) совмещения основной шкалы со штрихами нониуса в направлении, неперпендикулярном к поверхности средства измерения.

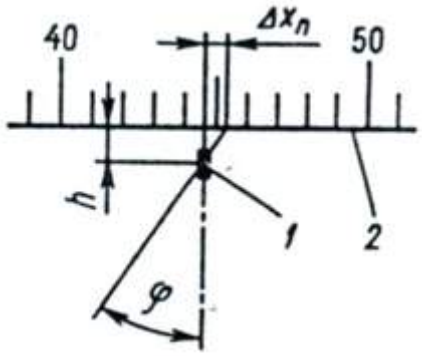


Рис. 20.1 – Явление параллакса при отсчете

Погрешность от параллакса $\Delta x_{\text{п}}$ (рис. 20.1) прямо пропорционально расстоянию h указателя *1* от шкалы *2* и тангенсу угла φ линии зрения наблюдателя к поверхности шкалы:

$$\Delta x_{\text{п}} = h \cdot tg\, \varphi$$

2 Погрешность от перекоса вследствие несоблюдения принципа Аббе

Принцип Аббе, заключающийся в том, что линия измерения должна являться продолжением линии шкалы.

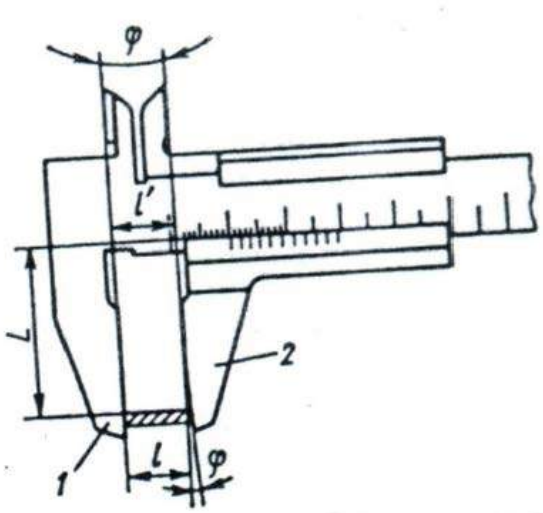


Рис. 20.2 – Погрешность измерений при перекосе

Перекос рамки штангенциркуля изменяет расстояние между губками *1* и *2*. Погрешность определения измеряемого размера из-за перекоса

$$\Delta x_{\text{пер}} = l - l' = L\,\varphi$$

При соблюдении принципа Аббе $L = 0$ и соответственно $\Delta x_{\text{пер}} = 0$.

3 Погрешности измерений от измерительного усилия.

Измерительное усилие при измерении штангенинструментом не регламентировано. У различных операторов может быть разное. Вследствие большого измерительного усилия возникает деформация измеряемого объекта и увеличивается погрешность от перекоса.

По назначению штангенинструмент подразделяется:

- **штангенциркули;**
- **штангенрейсмасы;**
- **штангенглубиномеры;**
- **штангензубомеры;**
- **штангенинструменты специального назначения.**

20.1 Штангенциркули

В основу штангенинструмента заложена линейка (штанга) с делением в 1 мм и вспомогательная шкала (нониус). На штанге имеются неподвижные губки для наружных и внутренних измерений. По штанге перемещается каретка с подвижными губками для наружных и внутренних измерений. На каретке выбит или закреплен винтами нониус.

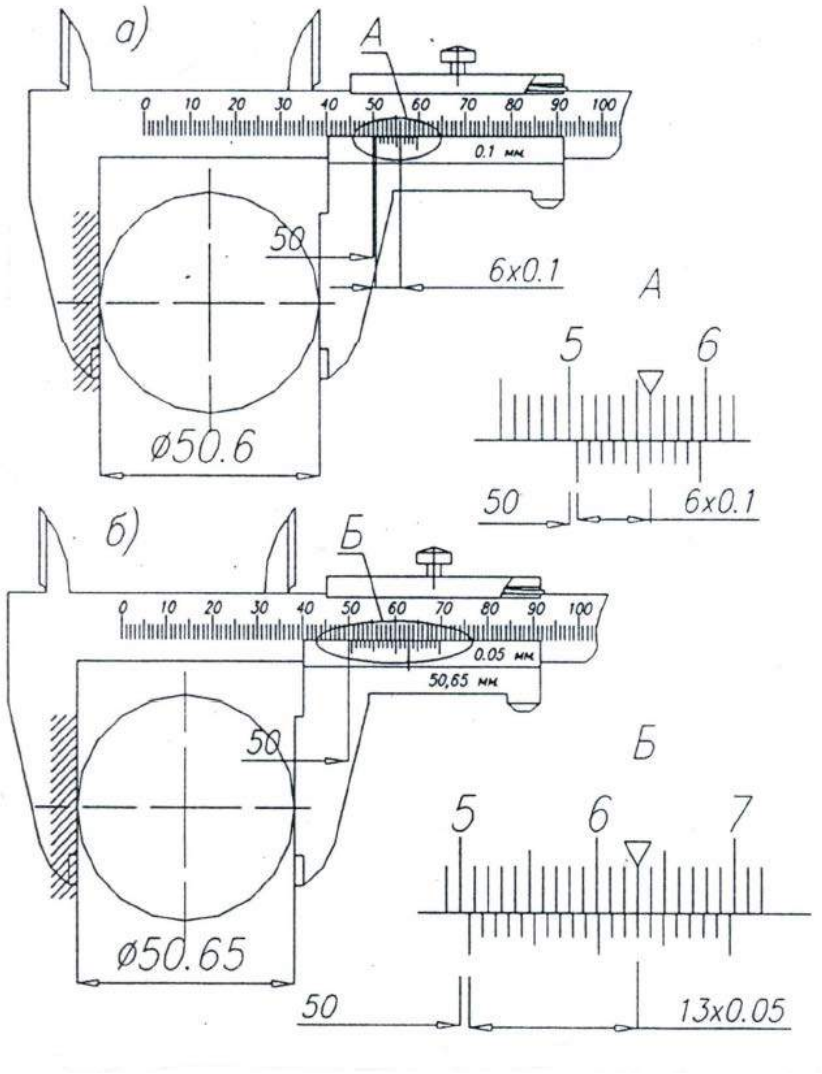


Рис. 20.3 – Примеры отсчета по шкалам штанги и нониуса при измерении штангенциркулем.

Отсчет измерений в нониусном устройстве устроен на разности интервалов делений основной шкалы и шкалы нониуса.

В штангенинструменте применяются нониусы с величиной отсчета 0,1; 0,05 мм и, в редких случаях, 0,02 мм. Эти величины получают путем деления 1 мм основной шкалы, соответственно, на 10, 20 или 50 делений-штрихов нониуса.

Если штрих нониуса с обозначением «0» совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы, то в этом случае отсчитывается целое значение размера в миллиметрах по основной шкале. Если этот штрих не совпадает ни с одним штрихом основной шкалы, то находим совпадение штрихов основной шкалы и нониуса. Отсчет осуществляется следующим образом: к числу штрихов основной шкалы (целые миллиметры) совпадающим со штрихом нониуса, умноженное на цену деления.

На рис. 20.3**:** А – 50 штрихов основной шкалы 50 мм, 6 штрихов нониуса с ценой деления 0,1 мм.

Величина отсчета – 50,6 мм.

Б – 50 штрихов основной шкалы 50 мм, 13 штрихов нониуса, умноженные на 0,05мм – цену деления нониуса.

Величина отсчета – 50,65 мм.

Во всех случаях измерений штангенинструментом цена деления шкалы штанги (1 мм), интервал и число делений нониуса связаны определенной зависимостью.

В настоящее время ряд зарубежных фирм, кроме штангенинструмента со штриховым нониусом, выпускают штангенциркули, штангенрейсмасы с индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 и 0,02 мм и с электронным цифровым отсчетом с ценой деления 0,01 мм («Теза», Швейцария; «Маузер», Германия; «Мицутойо», Япония и др. Из российских поставщиков: з-д "Эталон", з-д "Микрон", ЗАО ТД "Меритель".).

Штангенциркули с двухсторонним расположением губок, предназначенные для измерения наружных и внутренних размеров, выпускаются в следующих вариантах:

– ШЦ-1 (пределы измерений – 0…125, 0…150 мм) – снабжены линейкой для измерения глубины пазов и высоты уступов;

– ШЦТ-1 (пределы измерений – 0…125 мм) – без губок для внутренних измерений, губки для наружных измерений армированы твердым сплавом;

– ШЦ-11 (пределы измерений – 0…160, 0…250, 0…320 мм) – снабжены остроконечными губками для разметки;

– ШЦ-111 (пределы измерений – 0…400, 60…630, 320…1000, 500…1600, 800…2000, 1500…3000, 2000…4000 мм) – имеют односторонние губки;

– Штангенциркули индикаторные ШЦК-1 (пределы измерений 0…125, 0…150, 0…200, 0…300 мм) – имеют двусторонние губки;

– штангенциркули электронные ШЦЦ – 1 (пределы измерений 0…125, 0…150, 0…200, 0…300 мм).

Штангенциркули выпускаются по ГОСТ 166-80.

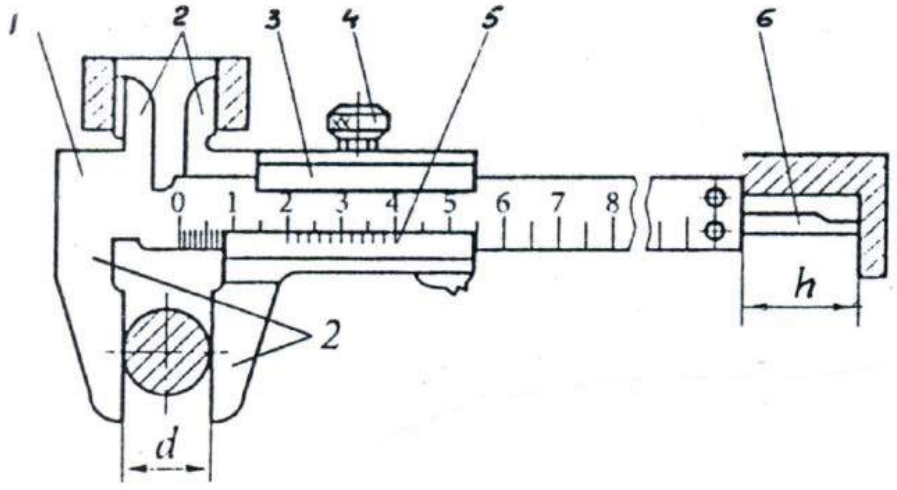


Рис. 20.4 – Штангенциркуль ШЦ-1

Штангенциркуль состоит из штанги ***1***, губок для внутренних измерений ***2***, роликов (кареток) ***3***, винта для фиксации рамки ***4***, нониуса ***5***, линейки глубиномера ***6***. (пределы измерений 0…125, 0…150, 0…200, 0…300 мм).

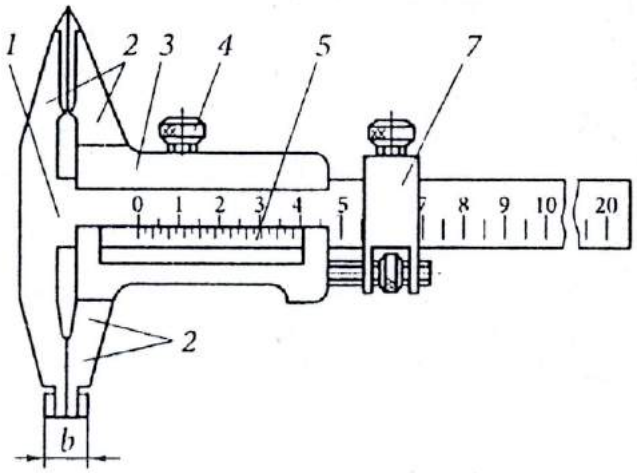


Рис. 20.5 – Штангенциркуль ШЦ-11

Штангенциркуль ШЦ-11 имеет аналогичное устройство с ШЦ-1. Отличие – нет линейки глубиномера, верхние губки служат для измерения наружных размеров и для разметки, нижние губки имеют сферическую конструкцию и служат для измерения внутренних размеров, ширина губок *b*, как правило, 10 мм.

При измерениях внутренних размеров к показаниям штанги и нониуса необходимо добавить размер *b*. Дополнительно штангенциркуль оснащен устройством для точного перемещения. При измерениях подводят губки штангенциркуля к измеряемой детали и стопорят устройство точного перемещения винтом. Микроподачей, расположенной внизу устройства точного перемещения, подводят губки штангенциркуля до соприкосновения с измеряемой деталью. Благодаря устройству точного перемещения, уменьшают погрешности от перекоса каретки и измерительного усилия (рис. 20.5).

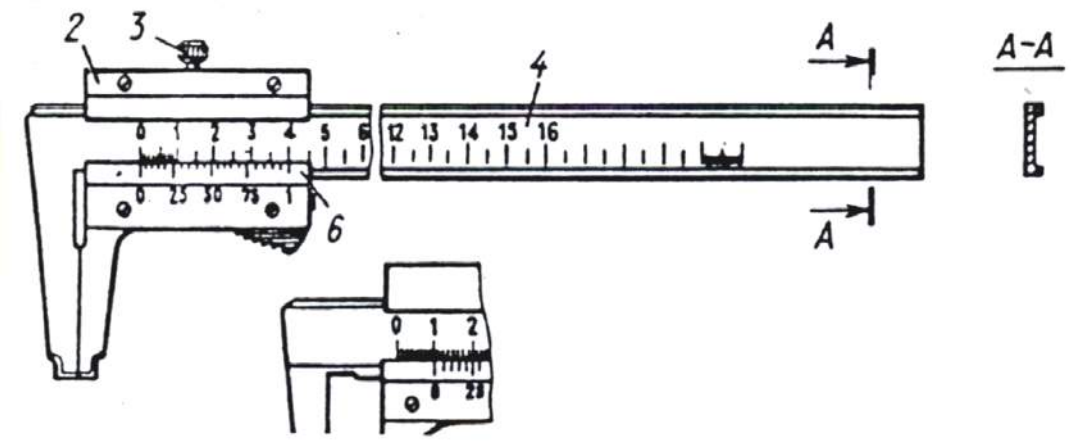
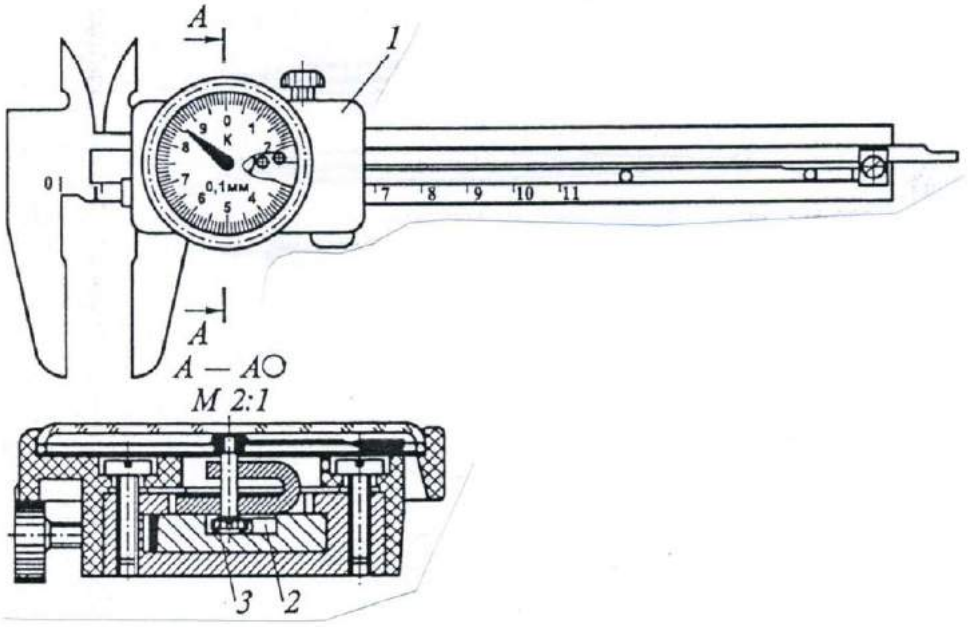


Рис. 20.6 – Штангенциркуль ШЦ-111

Конструкция штангенциркуль ШЦ-111 аналогична конструкции штангенциркуля ШЦ-11, отличие – отсутствие верхних губок.



1 – рамка; *2* – зубчатая рейка; *3* – зубчатое колесо.

Рис. 20.7 – Штангенциркуль индикаторный ШЦК-1

В штангу индикаторного штангенциркуля (см. рис. 20.7) вмонтирована зубчатая рейка ***2***, по которой перемещается зубчатое колесо ***3*** индикатора, закрепленного на рамке ***1***.

Перемещение зубчатого колеса передается на стрелку индикатора, показывающую десятые и сотые доли миллиметра. Единицы миллиметра считываются на штанге.

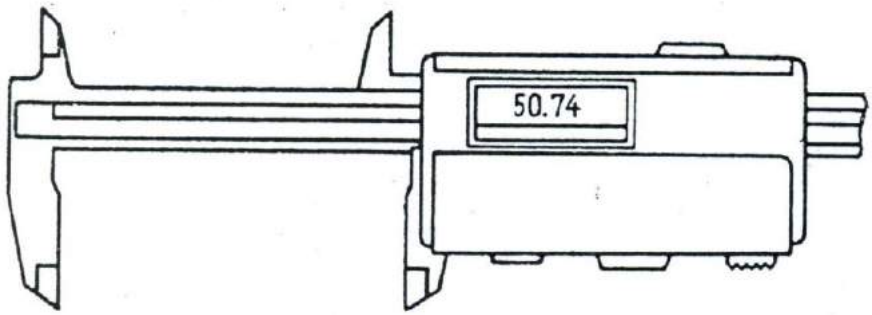


Рис. 20.8 – Штангенциркуль с электронным цифровым отсчетом

При измерении электронным штангенциркулем следует различать дискретность отсчетного устройства и погрешность средства измерений. При дискретности 0,01 мм погрешность штангенциркуля с пределом измерения до 200 мм – 0,03 мм.

В целях уменьшения ошибки перекоса во всех видах штангенинструмента имеется устройство, предназначенное для уменьшения перекоса каретки при перемещении по штанге. Внутри каретки по торцу

штанги встроена пластинчатая пружина ***1*** (см. рис. 20.9). Она прижимает каретку к нижнему торцу штанги и уменьшает влияние перекоса каретки при измерениях.



Рис. 20.9 – Устройство компенсации перекоса

20.2 Штангенрейсмасы

Штангенрейсмасы применяют для разметки, а также для измерений конусных деталей на плите.

Инструмент имеет цену деления по нониусу 0,1 или 0,05 мм, индикаторные – 0,01 или 0,02 мм и электронные – дискретность 0,01 мм.

Штанга *1* располагается перпендикулярно опорной плоскости основания *3* (рис. 20.10). По штанге перемещается рамка *2*, на которой винтами укреплен нониус *5*. В нижней части рамки имеется прилив *4* для крепления ножки *8* или *7* с помощью держателя *3*. В комплект поставки входят две ножки, одна из которых (ножка *8*) предназначена для разметки, а вторая (ножка *7*) – для измерений. Штанга *1* закреплена в основании *5*.

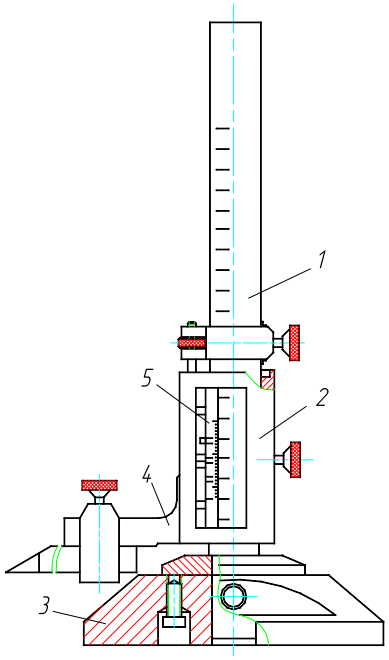


Рис. 20.10 – Штангенрейсмасы

Штангенрейсмасы выпускаются по ГОСТ 164-80.

20.3 Штангенглубиномеры

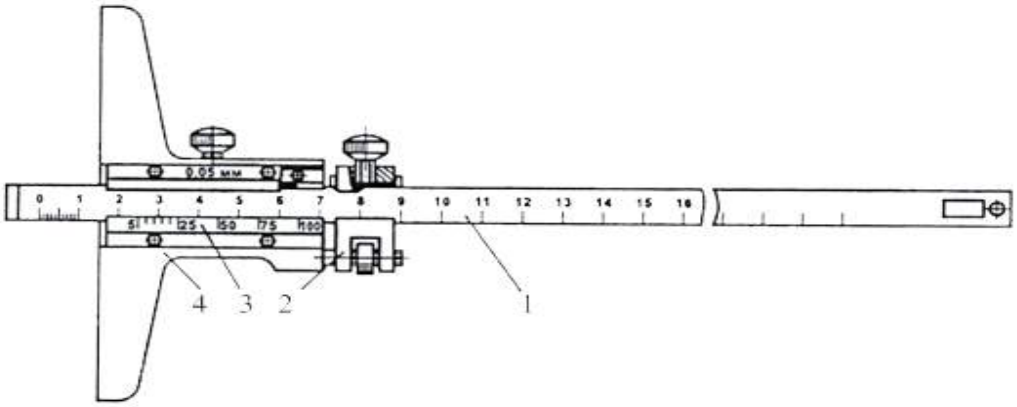


Рис. 20.11 – Штангенглубиномер

Штангенглубиномер предназначен для измерения глубины пазов и отверстий.

Штангенглубиномер имеет основание ***4***, выполненное как единое целое с рамкой, на которой укреплен нониус. Цена деления нониуса 0,05, 0,02 мм. Высокая точность глубиномеров обеспечивается исключением двух составляющих погрешностей: обеспечен принцип Аббе, следовательно, уменьшена погрешность перекоса и значительно уменьшена ошибка от нестабильности измерительного усилия.

В пазу основания помещается штанга ***1***. Торец штанги армирован твердым сплавом, что позволяет повысить износостойкость штанги. По штанге, соединенное с рамкой, перемещается устройство микрометрической подачи *2*, которое обеспечивает более высокую точность измерения (рис. 20.11).

Штангенглубиномеры типа ШГ выпускаются по ГОСТ 162-80. По ТУ 2-034-673-78 выпускаются штангенглубиномеры типа 2ШГ и 3ШГ. Штанга имеет острие на торце или уступ для измерения глубины в труднодоступных местах, внутренних канавок.

20.4 Штангензубомеры

Штангензубомеры относятся к специальному виду измерительного инструмента и служат для измерения толщины зуба зубчатого колеса.

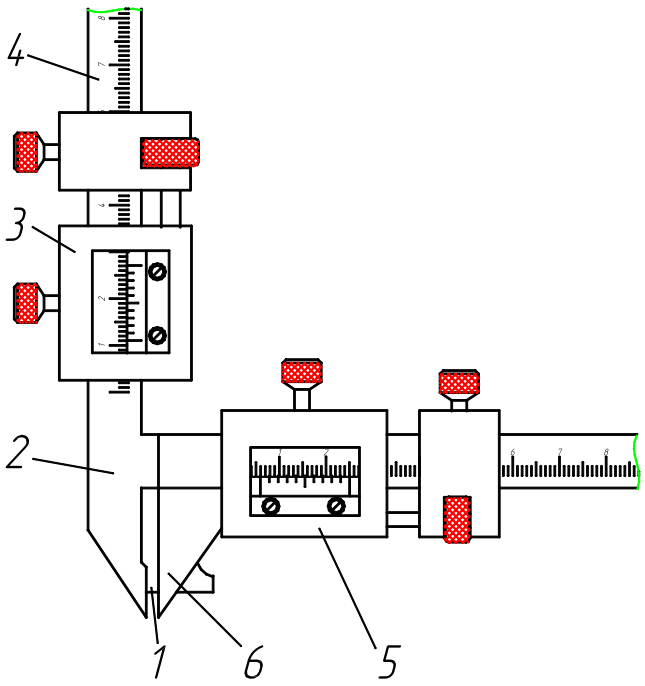


Рис. 20.12 – Штангензубомер

Штангензубомер состоит из двух взаимно перпендикулярных штанг, по которым перемещаются две рамки *3* и *5*. Рамка *3* снабжена упором. Вертикальная штанга имеет неподвижные губки, а рамка *5* – подвижные губки. Рамки снабжены нониусами и устройствами микрометрической подачи.

Выпускаются штангензубомеры по ТУ 2-034-773-84.

20.5 Штангенинструмент специального назначения

Штангенинструмент специального назначения имеет широкую гамму инструмента:

– контроль толщины сварных швов и канавок под сварку;

– контроль уступов;

– контроль межцентровых расстояний;

– контроль развала и схождения колес автомобилей.

Штангенинструменты также используются в качестве отсчетных устройств в контрольных приспособлениях.

20.6 Примеры контроля изделий штангенинструментом

1 Измерения штангенциркулями

1.1 Абсолютный метод измерения штангенциркулем (см. рис. 20.3)

1.2 Косвенные измерения – это измерения, при которых искомое значение величины определяют пересчетом результатов прямых измерений величин, связанных с искомой величиной известной нам зависимостью.

Пример 1

Требуется измерить расстояние L_O между осями двух отверстий с помощью штангенциркуля.

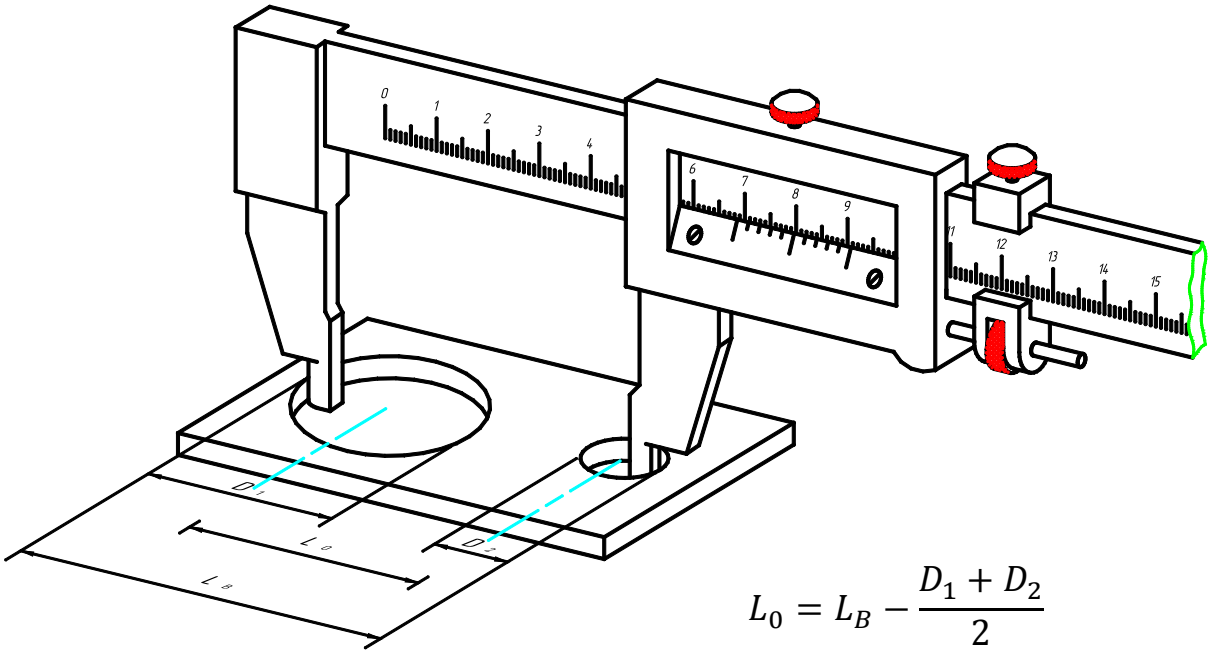


Рис. 20.13 – Косвенные измерения

Прямым измерением с помощью штангенциркуля определить величину L_O практически невозможно, т.к. оси отверстий нельзя привести в механический контакт с воспринимающим устройством штангенциркуля (губками).

Сначала выполним прямые измерения величин L_B, D_1 и D_2 губками для внутренних измерений, а затем подсчитываем искомую величину по формуле

$$L_O - L_B - (D_1 + D_2) / 2$$

Косвенные измерения – это измерения, при которых воспринимающее устройство средства измерения имеет механический контакт с поверхностью измеряемого объекта.

Пример 2

Расчет и измерение изделий большого диаметра штангенциркулем.

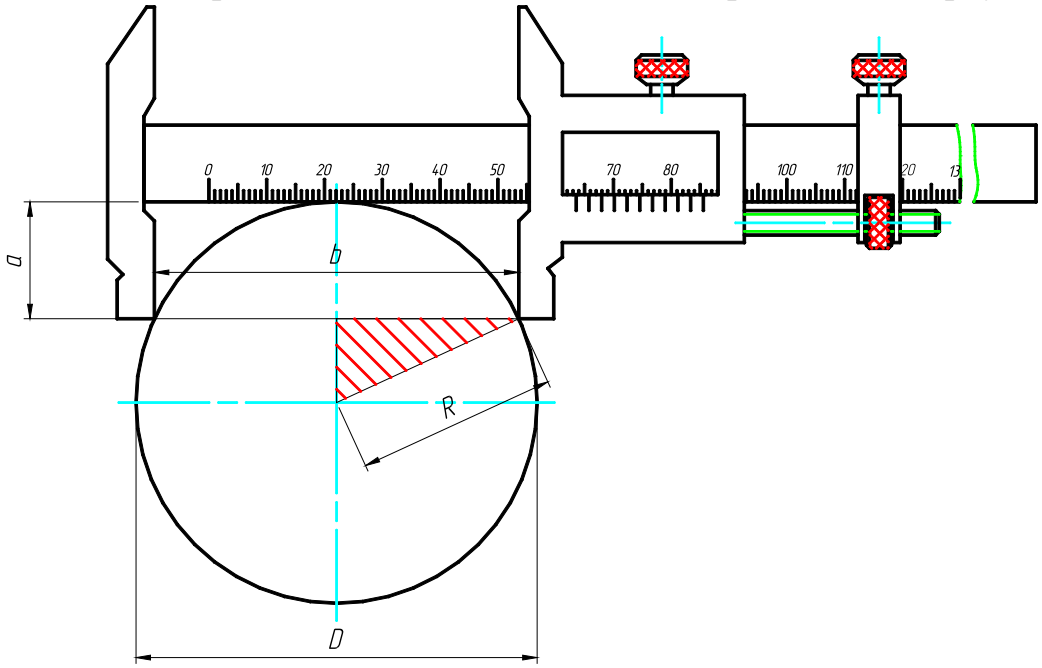


Рис. 20.14 – Измерение штангенциркулем большего диаметра

Математическим расчетом определяют величины:

$$R - a = h;\ \frac{b}{2} = c;\ h^2 + c^2 = R^2;$$

$$R = \sqrt{h^2 + c^2};\ 2R = D;\ D = \frac{b^2}{4a} + a$$

где b – по показаниям шкалы;

a – длина губок штангенциркуля.

2 Применение штангенрейсмасов

2.1 Разметка деталей с помощью штангенрейсмаса

Деталь, предназначенную для разметки, и штангенрейсма устанавливают на плите. С помощью держателя ***6*** (рис. 20.15) устанавливается ножка ***8*** (чертилка). По боку концевых мер длины (БКМ), перемещая рамку ***3*** по штанге ***1***, устанавливают размер для разметки детали. Зажимают стопорные винты рамки и микроподачи.

Перемещая штангенрейсмас по плите, наносят риску на детали.

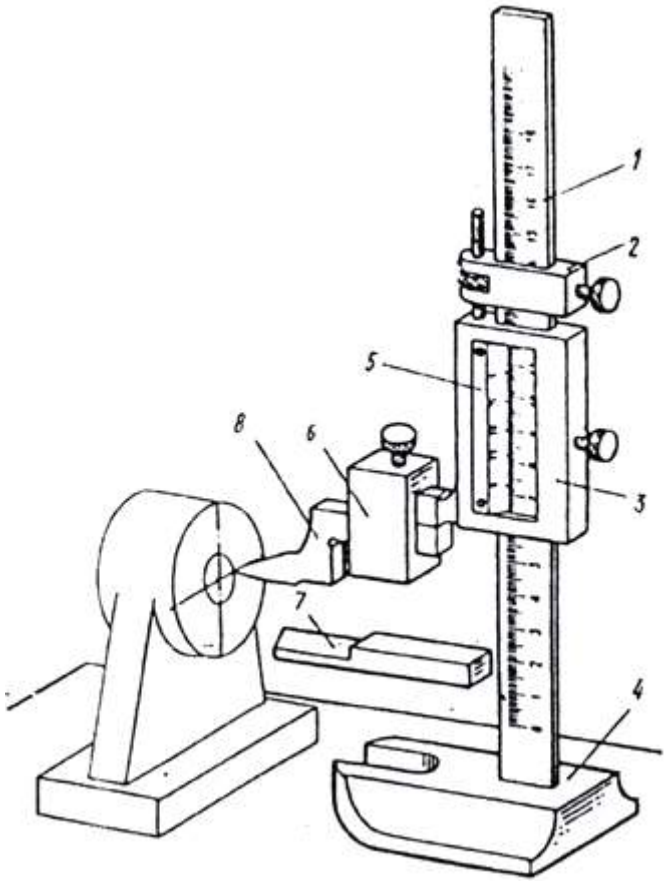


Рис. 20.15 – Разметка деталей с помощью штангенрейсмаса

2.2 Измерение деталей с помощью штангенрейсмаса

Абсолютный метод

Измерение деталей с помощью штангенрейсмаса производят в такой последовательности:

На выступ рамки ***6*** (рис. 20.16) устанавливают держатель ***3;***

В паз держателя устанавливают измерительную ножку ***2*** и закрепляют ее стопорным винтом;

По блоку концевых мер длины проверяют нулевое положение нониуса, установив штангенрейсмас на контрольную плиту с контролируемой деталью;

Измерительную ножку с рамкой перемещают по шкале штанги до соприкосновения с измерительной поверхностью;

Фиксируют положение рамки на штанге при помощи стопорного винта;

Считывают показания по шкалам штанги и нониуса.

Относительный метод

Относительным методом производится измерения соответствия размеров детали с чертежом.

Вместо измерительной ножки ***2*** устанавливают индикатор бокового действия ИРБ. По БКМ устанавливают размер по чертежу (нуль на

индикаторе). Отклонение от нуля по индикатору характеризует отклонение от номинального размера по чертежу.

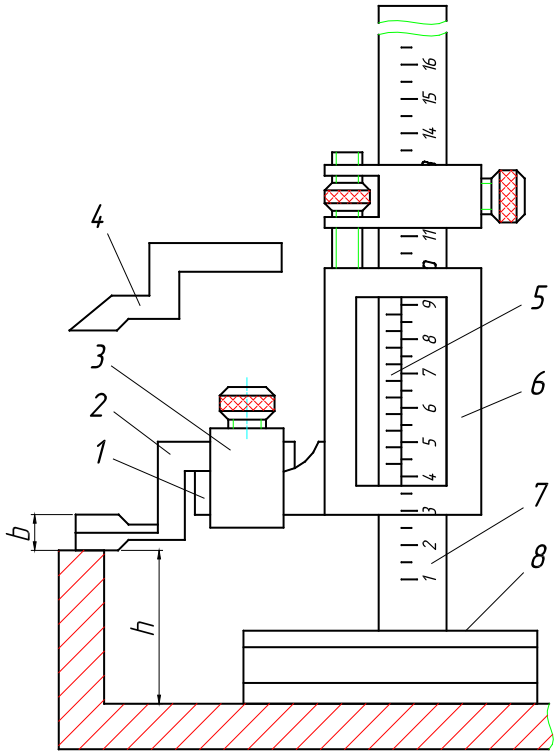


Рис. 20.16 – Измерение деталей с помощью штангенрейсмаса

3 Измерение деталей с помощью штангенглубиномера

Измерение глубин пазов и отверстий выполняют следующим образом:

Основание штангенглубиномера устанавливают на поверхность, относительно которой производятся измерения (рис. 20.17), слегка притирают, т.е. совершают основанием круговые движения относительно поверхности детали, плотно прижимая его к ней. Это обеспечивает плотное прилегание основания к поверхности и повышает точность измерения;

Линейку глубиномера опускают в отверстие или паз до касания с дном;

Положение линейки штангенглубиномера относительно основания ***6*** с рамкой ***4*** фиксируются стопорным винтом ***3***;

Извлекают штангенглубиномер из отверстия и считывают показания так же, как и при измерениях штангенциркулем.

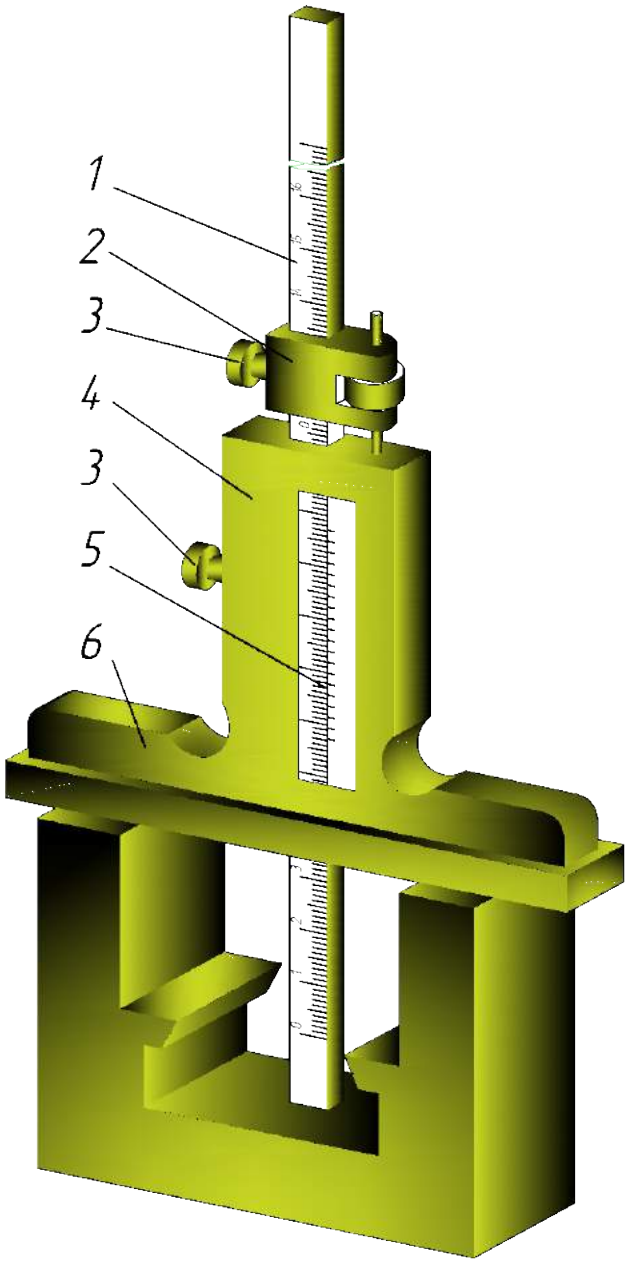


Рис. 20.17 – Измерение штангенглубиномером

В целях расширения возможностей контроля деталей штангенглубиномером в труднодоступных местах, ряд западных фирм («Аторн», Германия, «Теза», Швейцария, и др.) торец линейки выполняют с наконечниками или специального исполнения (рис. 20.18).

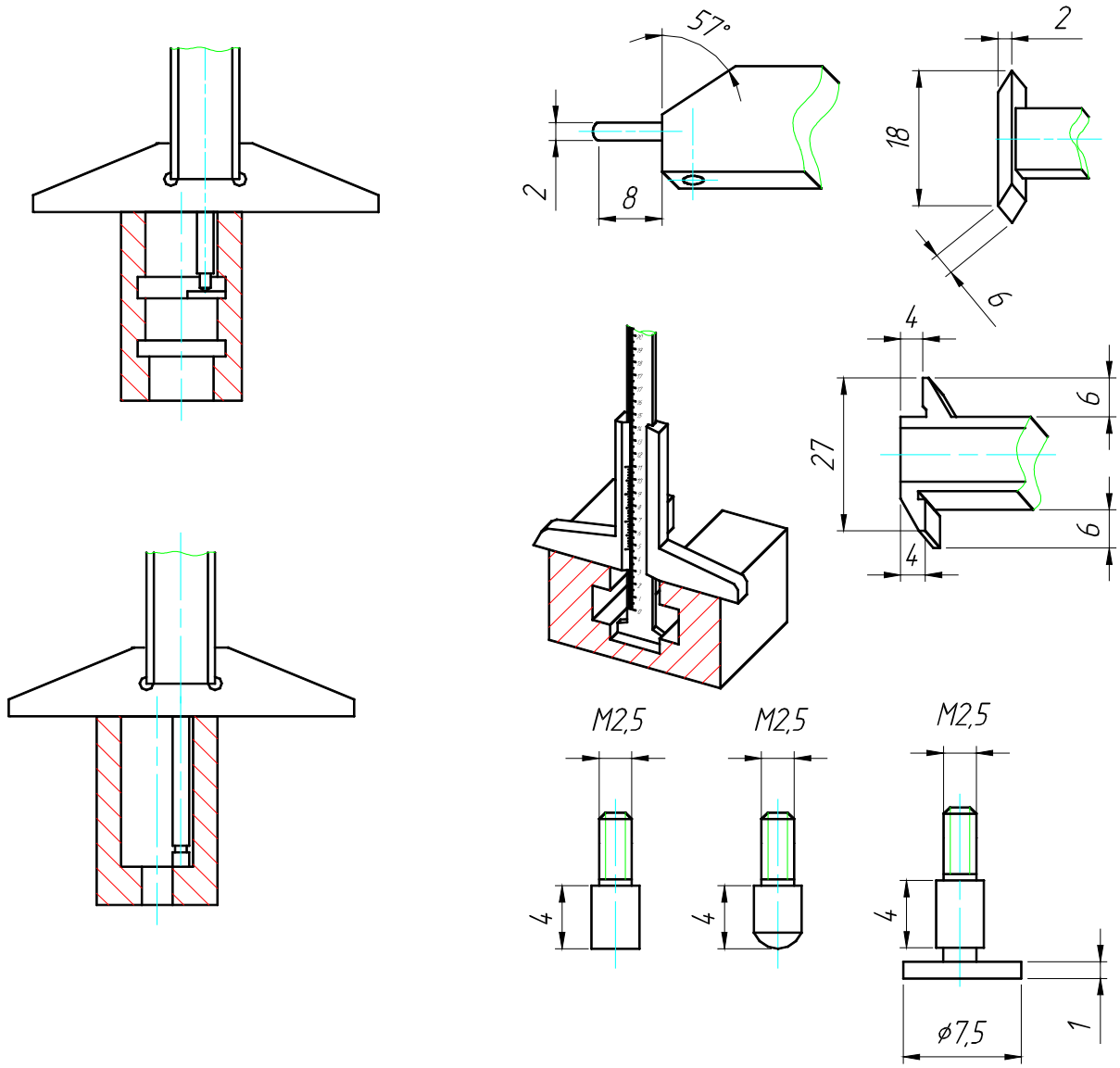


Рис. 20.18 – Схемы контроля и специальные наконечники к штангенглубиномерам

Кроме штангенглубиномеров нониусных, западные фирмы выпускают штангенглубиномеры с электронным отсчетом показаний.

Преимущества:

- повышается точность измерения;
- быстрая установка нуля, путем сброса старых показаний.

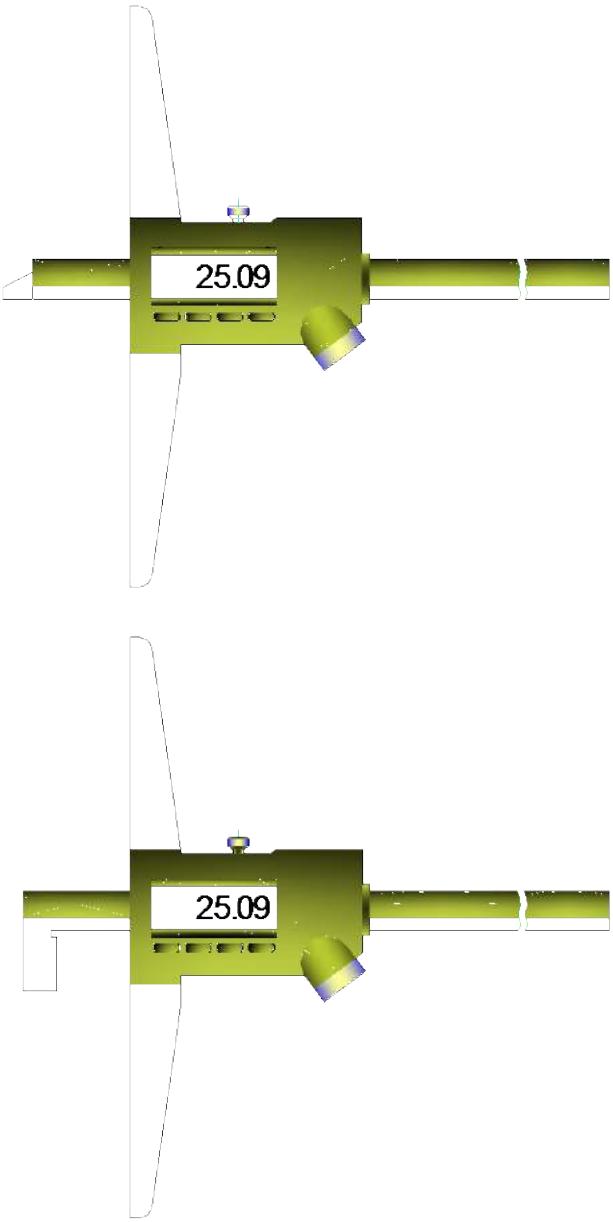


Рис. 20.19 – Электронные штангенглубиномеры с электронным отсчетом

20.7 Измерение толщины зуба зубчатого колеса

Измерение толщины зуба зубчатого колеса производится с помощью штангензубомера (рис. 20.20).

Измерения штангензубомером производятся по постоянной хорде, которая характеризует положение исходного контура зуба.

Если угол зацепления равен 20°, то расстояние от окружности выступов до постоянной хорды H = 0,7458m. Теоретическая толщина зуба колеса, определяемая по постоянной хорде, S_O = 1,387m. Для нахождения значений этих величин пользуются заранее составленными таблицами, приводимыми в справочной литературе по контролю зубчатых колес.

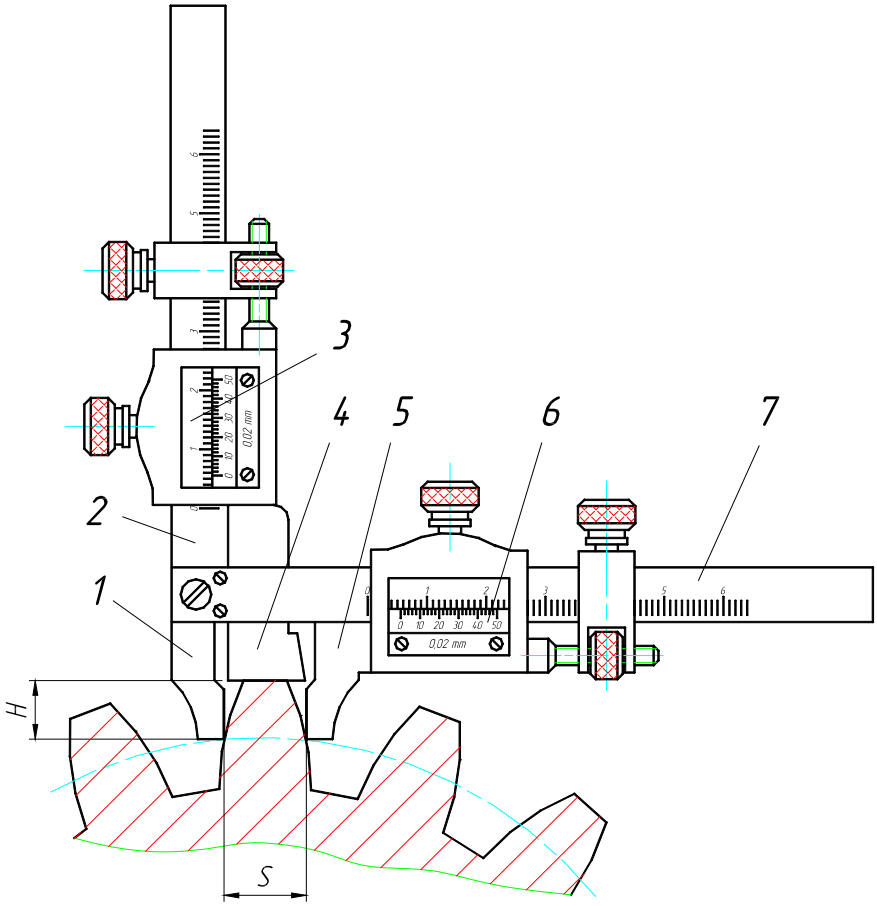


Рис. 20.20 – Измерение толщины зуба штангензубомером

Измерение толщины зуба по постоянной хорде производится следующим образом:

Устанавливают расстояние от окружности выступов до постоянной хорды по шкале штанги ***2*** и нониусу рамки ***3***;

Устанавливают штангензубомер на зуб колеса, толщину которого необходимо проконтролировать;

Перемещают рамку по штанге ***7*** до тех пор, пока подвижная губка ***5*** не коснется боковой поверхности профиля контролируемого зуба (при перемещении рамки необходимо пользоваться механизмом микроподачи);

Считывают показания шкалы штанги и нониуса ***6*** рамки, определяя толщину зуба колеса по постоянной хорде;

Сравнивают полученный результат с теоретическим значением толщины зуба, указанным в справочнике или полученным расчетным путем.

20.8 Метрологическое обеспечение средств измерений

Все средства измерений, выпускаемые в Российской Федерации, проходят испытания и вносятся в Государственный реестр.

При выпуске из производства или перед началом эксплуатации средства измерений проходят поверку в органах Федерального Агентства по техническому регулированию и метрологии (Агентство) или калибровку в аккредитованных подразделениях юридических или физических лиц.

Поверка или калибровка производится с периодичностью поверочных интервалов, установленных Госстандартом РФ. В зависимости от интенсивности эксплуатации, периодичность калибровки устанавливается подразделением, эксплуатирующим средства измерения.

В соответствии с Законом Российской Федерации об обеспечении единства измерений, все средства измерений, завозимые по импорту, подлежат обязательной поверке (калибровке) в органах Агентства.

Средства измерений, внесенные в Государственный реестр, проходят поверку по ГОСТам или методикам на поверку средств измерений.

Средства измерений, не внесенные в Государственный реестр, проходят калибровку по методикам изготовителей средств измерений.

Штангенинструмент подвергается периодической поверке (калибровке) по следующим методикам:

- штангенциркули – ГОСТ 8.113-85, МИ 1384-88;
- штангенрейсмасы – методические указания МИ 1893-88;
- штангенглубиномеры – методические указания МИ 2196-92.

Приложение 20.1

НОРМЫ ТОЧНОСТИ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ШТАНГЕНИСТРУМЕНТОМ

<table>
<tr><td rowspan="3">Измеряемая длина, мм</td><td colspan="6">Предел допустимой погрешности в мм</td><td colspan="5">Допустимые максимальные погрешности измерения, мм</td></tr>
<tr><td colspan="3">При значении отсчета по нониусу</td><td colspan="3">С ценой деления круговой шкалы отсчетного устройства</td><td rowspan="2">С шагом дискретности и цифр, устройства</td><td rowspan="2">Штангенциркуль</td><td colspan="2">Штангенрейсмас</td><td rowspan="2">Штангенглубиномер</td></tr>
<tr><td>0,02</td><td>0,05</td><td>0,1</td><td>0,01</td><td>0,02</td><td>0,05</td><td>0,01</td><td>наружный</td><td>внутренний</td><td>плита 2-го класса</td><td>плита 3-го класса</td></tr>
<tr><td rowspan="2">До 100
св 100 до 200
св 200 до 300
св 300 до 400</td><td>0,03</td><td rowspan="2">0,05</td><td></td><td>0,03</td><td>0,03</td><td rowspan="2">0,04</td><td>0,03</td><td rowspan="2">0,16</td><td rowspan="2">0,18</td><td rowspan="2">0,2</td><td rowspan="2">0,24</td><td>0,05</td></tr>
<tr><td>0,04</td><td rowspan="3">0,15</td><td>0,04</td><td>0,04</td><td>0,04</td><td>0,1</td></tr>
<tr><td>св 400 до 600
св 600 до 800</td><td>0,05</td><td rowspan="2">0,1</td><td rowspan="4"></td><td>0,05</td><td rowspan="2">0,21</td><td rowspan="2">0,24</td><td rowspan="2">0,24</td><td rowspan="2">0,26</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>0,06</td><td>0,06</td></tr>
<tr><td>св 800 до 1000</td><td>0,07</td><td>0,07</td></tr>
<tr><td rowspan="3">св 1000 до 3000</td><td rowspan="3">0,02+
0,00005×
L</td><td rowspan="3">0,02+
0,0001×L</td><td rowspan="3">0,02+
0,00015×
L</td><td>0,02+</td><td>0,27/</td><td>0,3/</td><td>0,3/</td><td>0,32/</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0,00005×
L, где</td><td>0,38</td><td>0,41</td><td>0,34</td><td>0,35</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0,47</td><td rowspan="2">0,5</td><td rowspan="2" colspan="2"></td></tr>
<tr><td>L в мм</td></tr>
</table>

Контрольные вопросы

1. На какие виды подразделяются штангенинструменты?
2. Что из себя представляют погрешности параллакса, перекоса, несоблюдение принципа Аббе?
3. Типы штангенциркулей.
4. Принцип измерения штангенинструментом.
5. Особенности измерения штангенрейсмасами.

Глава 21 Измерительный инструмент на базе рычажно-зубчатых и пружинных головок

Измерительный инструмент на базе измерительных головок подразделяется:

- индикаторы часового типа ИЧ;
- электронные индикаторы;
- индикаторы нутромеры НИ;
- индикаторы головки ИРБ;
- индикаторные глубиномеры;
- специальный измерительный инструмент на базе индикаторных головок;
- индикаторные толщиномеры;
- индикаторные стенкомеры;
- индикаторные радиусомеры;
- индикаторные сферомеры;
- гамма измерительного инструмента на базе электронного индикатора;
- головки измерительно- рычажно- зубчатые ИГ, МИГ;
- головки измерительные пружинные ИГП.

Измерительными головками принято называть средства измерений, имеющие механические преобразующие и стрелочные отсчетные устройства.

21.1 Индикаторы часового типа

Индикатором часового типа является прибор с механизмом, состоящим из зубчатых пар с ценой деления 0,01 мм и пределами измерения 0 – 2, 0 – 5, 0 – 10, 15; 20; 25; 30; 50; 100 мм с диаметром шкалы от 42 до 60 мм. Индикаторы изготавливаются по ГОСТ 577-68.

Индикаторы часового типа ИЧ, как и головки рычажно-зубчатые ИГ, как и головки рычажно-зубчатые ИГ, МИГ, индикаторы ИРБ, головки пружинные ИГП, ИГПМ практически, как измерительные средства, самостоятельно не используются. Они служат отсчетным устройством в составе нутромеров индикаторных, индикаторных толщиномеров, зубомеров, совместно со штативами и стойками, отсчетным устройством к приборам Роквелла, контрольным приспособлениям и другим измерительным устройствам.

Устройство индикатора часового типа

Измерительный стержень *6* (рис. 21.1, б) имеет в средней части зубчатую рейку, которая находится в зацеплении с зубчатым колесом $z_1 = 16$ (рис. 21.1, а).

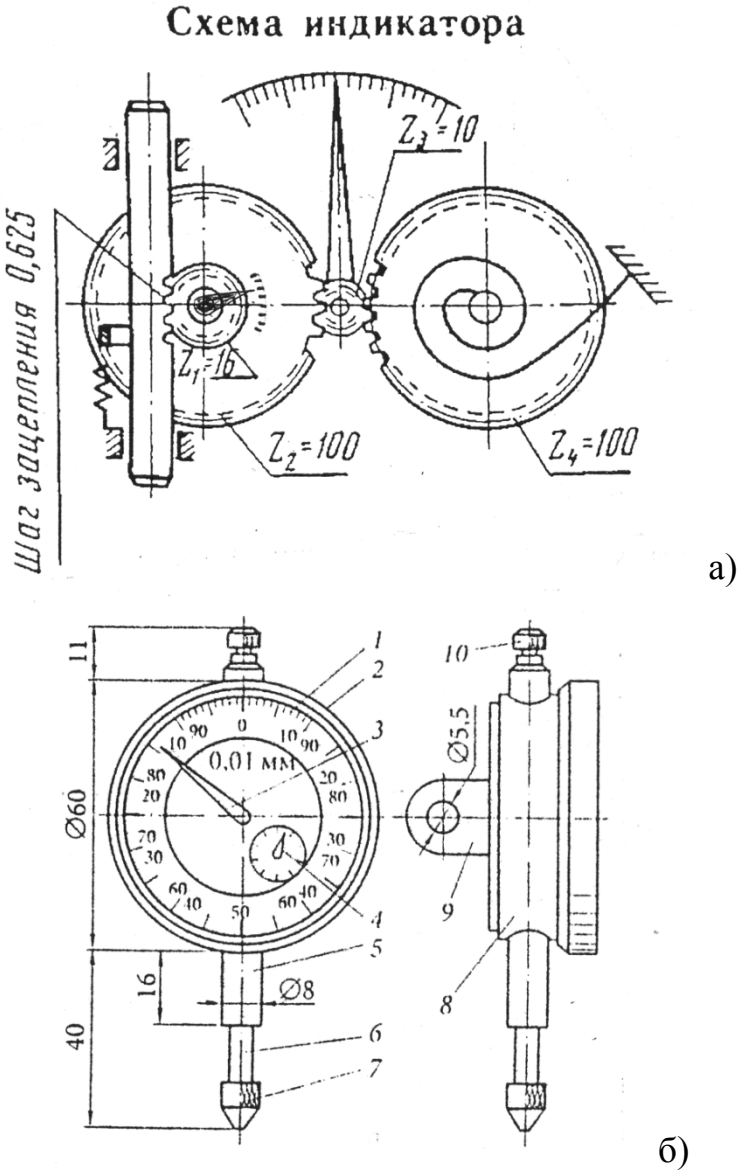


Рис. 21.1 – Схема и габаритные размеры индикатора часового типа

На одной оси с ним закреплена стрелка *4*, отсчитывающая перемещения стержня в 1 мм.

Промежуточное колесо z_2 = 100. Это колесо находится в зацеплении с зубчатым колесом (трибом) z_3 = 10, на оси которого закреплена стрелка - указатель *3*, показывающая величину линейных перемещений измерительного стержня в долях миллиметра по круговой шкале *1*. Для удобства пользования шкала *1* связана с ободком индикатора *2* и вместе с ним может повернуться на любой угол. Колесо z_4 = 100 и спиральная пружина ликвидируют погрешность мертвого хода передачи при возвратно – поступательном движении стержня *6*. Цилиндрическая пружина обеспечивает контакт наконечника *7* с контролируемой поверхностью.

Передаточное отношение индикатора подобрано таким образом, чтобы при линейном перемещении стержня *6* на 1 мм, указатель *3* делает один полный оборот. Круговая шкала *1* разбита на 100 делений. Следовательно, цена

деления составляет 0,01 мм. Количество полных оборотов указателя *3* показывает стрелка *4*.

Индикаторы часового типа выпускают четырех видов нормального размера:

– с диаметром ободка 58 мм и пределами измерений 0…5 мм и 0…10 мм,

– малогабаритные с диаметром ободка 42 мм и пределами измерений 0…2 мм,

– с увеличенной шкалой, которая имеет диаметр ободка 90 мм и пределы измерений 0…5 мм и 0…10 мм при цене делений 0,1 мм.

Выпускаются индикаторы с пределами измерений 25…50 мм.

Крепление индикаторов на стойке, приспособлении осуществляется по гильзе индикатора ∅8h7. Причем зажим должен быть охватывающий, во избежание заклинивания стержня измерительного в гильзе.

Второй вариант крепления за ушко *9* по диаметру ∅5,5 мм. Индикаторы могут быть с ушком и без ушка. Арретирование измерительного стержня осуществляется по торцу измерительного стержня *10*.

Индикаторы часового типа также выпускаются с ценой деления 0,005 мм. Как правило, ими комплектуются шагомеры для контроля зубчатых колес. Передача осуществляется через рычаг соотношением плеч 2:1. В этом случае обеспечивает цену деления шагомера 0,005 мм.

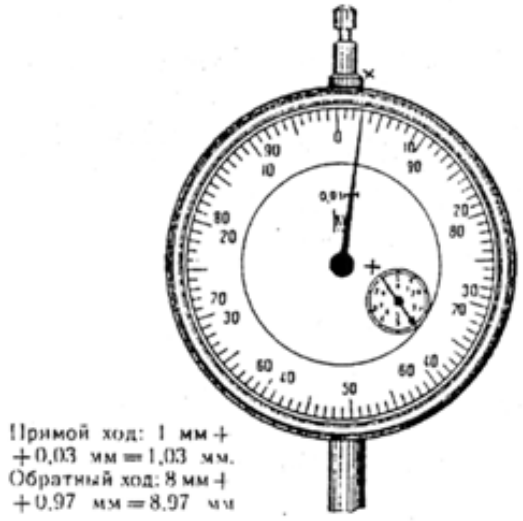


Рис. 21.2 – Отсчет показаний по индикатору

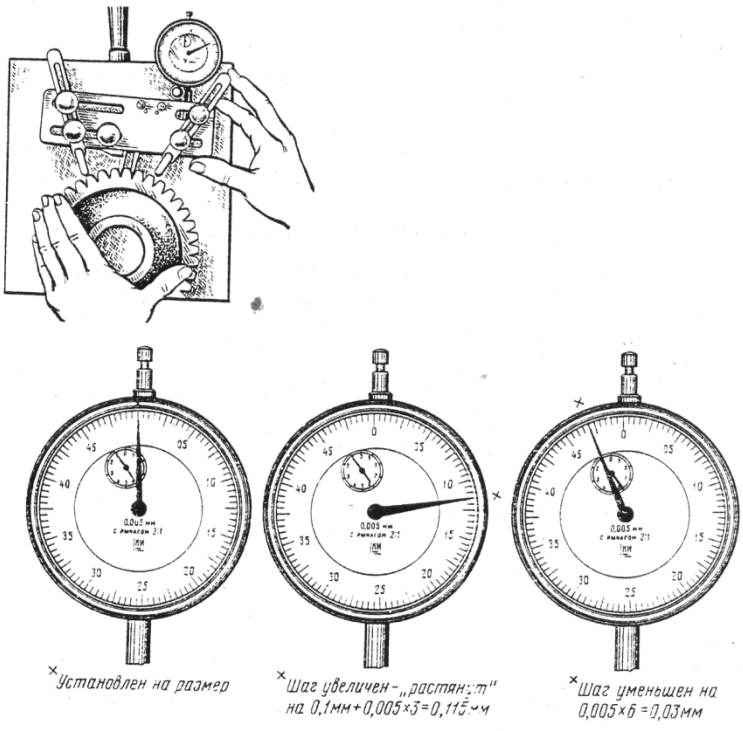
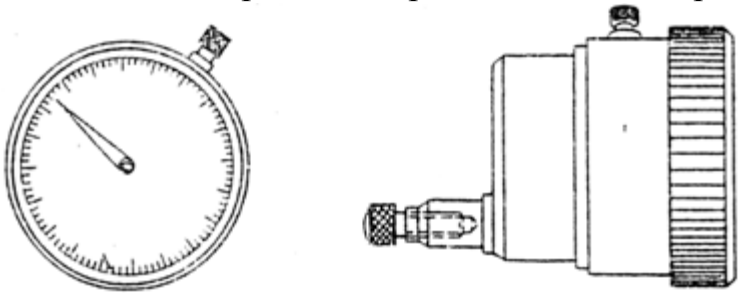


Рис. 21.3 – Пример отсчета показаний шагомера по индикатору с ценой деления 0,005 мм

Малогабаритные индикаторы часового типа с диаметром ободка 42 мм выпускают двух типов:

- с осевым перемещением измерительного стержня;
- с торцевым перемещением измерительного стержня, тип ИТ.



Тип ИТ – измерительный стержень перемещается перпендикулярно шкале

Рис. 21.4 – Индикатор часового типа ИТ

21.2 Индикаторы малогабаритные рычажно-зубчатые

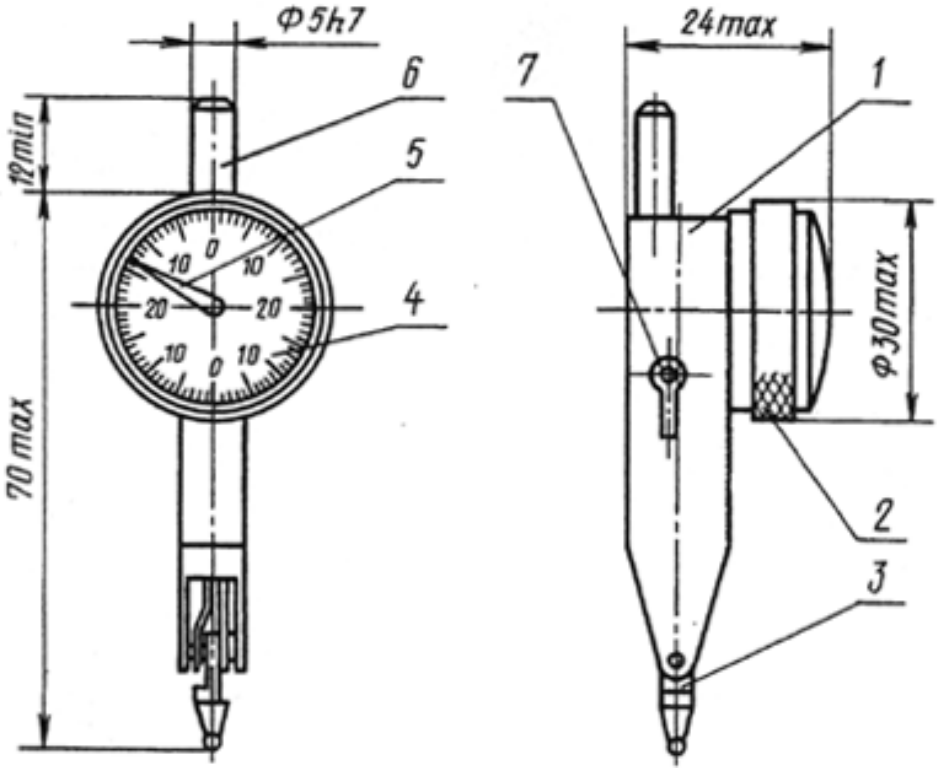
Типы. Основные размеры.

Сочетание рычажной и зубчатой передач служит для создания малогабаритных индикаторов с ценой деления 0,01, 0,02 и 0,001 мм.

По ГОСТ 5584-75 индикаторы изготавливаются двух типов:

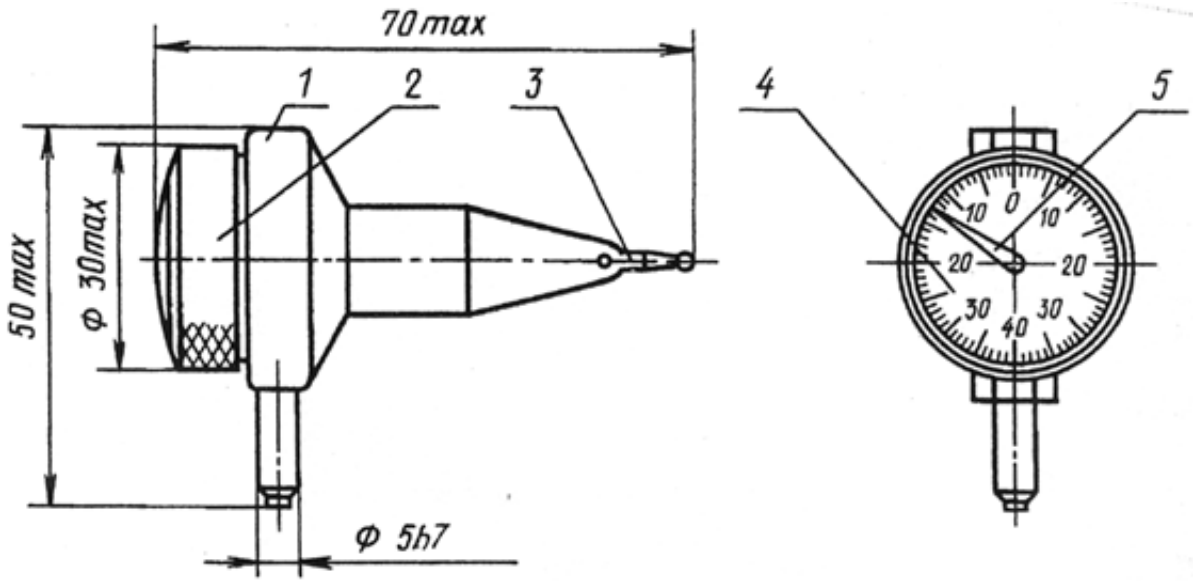
ИРБ – боковые со шкалами, параллельными оси измерительного рычага в среднем положении (рис. 21.5);

ИРТ – торцевые со шкалами, перпендикулярными к оси измерительного рычага в среднем положении (рис. 21.6).



1 – корпус; *2* – ободок; *3* – измерительный рычаг; *4* – циферблат; *5* – стрелка; *6* – присоединительный штифт; *7* – переключатель

Рис. 21.5 – Индикатор ИРБ



1 – корпус; *2* – ободок; *3* – измерительный рычаг; *4* – циферблат; *5* – стрелка

Рис. 21.6 – Индикатор ИРТ

Цена деления 0,01 мм, диапазон измерений по шкале не менее 0,8 мм. Измерительное усилие в пределах 0,1…0,4 Н на всем диапазоне измерений.

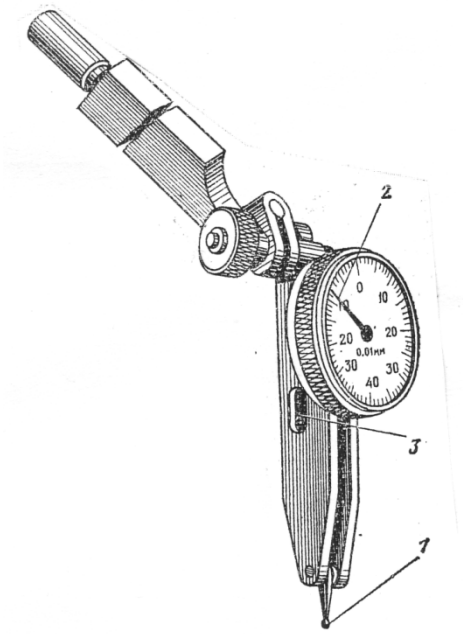
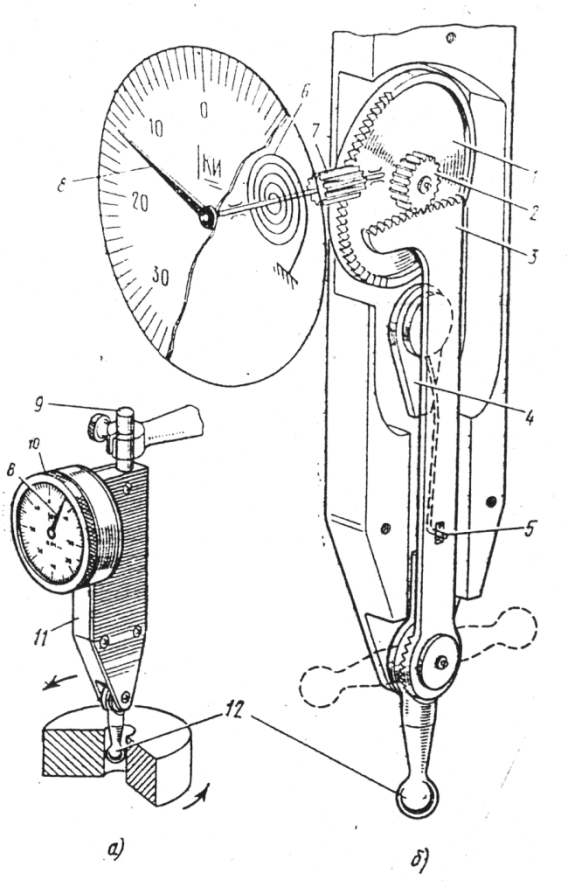


Рис. 21.7 – Малогабаритная рычажно-зубчатая головка ИРБ

Рычажно-зубчатые малогабаритные головки ИРБ со специальной державкой служат для определения отклонений от правильной геометрической формы деталей в труднодоступных местах.

Рычажно-зубчатые головки (индикаторы) отличаются от индикаторов часового типа наличием измерительного рычага. Часто их еще называют измерительными головками бокового действия.

Основанием такого индикатора является корпус *11*. Снизу корпус имеет ось, на которой поворачивается измерительный наконечник-рычаг *12*, воспринимающий отклонение детали. Угол поворота составляет ±90°. Наконечник *12* соединен зубчатой муфтой с рычагом *5*, на другом конце которого нарезан зубчатый сектор *3*. Таким образом, в отличии от индикатора часового типа здесь нет поступательно движущегося измерительного стержня. Колебания детали у рычажно-зубчатого индикатора воспринимаются сферическим наконечником-рычагом *12*, затем они увеличиваются и передаются рычагом с зубчатым сектором *3* на зубчатое цилиндрическое колесо *2*, укрепленное на одной оси с торцевым зубчатым колесом *1*. Зубья торцевого колеса *1* сцеплены удлиненной трибкой *7*, на оси которой укреплена стрелка *8* (*6* – пружинный волосок). Повороты стрелки отсчитывают по круговой шкале – циферблату, вставленному в ободок *10* (рис. 21.8, *б*).



а – общий вид; *б* – конструктивная схема

Рис. 21.8 – Индикатор ИРБ рычажно-зубчатый с боковой шкалой

При измерении может возникнуть необходимость покачивания наконечника-рычага в разные стороны. Для этого переключателем направления измерения *4* сдвигают рычаг-сектор *3* в противоположную сторону (исходное положение).

Для присоединения рычажно-зубчатого индикатора к базирующему устройству корпус этого индикатора *11* оснащен присоединительным штифтом *9*.

Промышленность выпускает два варианта конструкции рычажно-зубчатого индикатора: с боковой шкалой – ИРБ (рис. 21.5) и с торцевой шкалой – ИРТ (рис. 21.6). По конструкции передачи они не отличаются, но в ИРТ несколько изменен корпус, так что длинная трибка *7* расположена параллельно рычагу с зубчатым сектором *3*, а ободок со шкалой-циферблатом находится на торце корпуса *11*. Такая конструкция дает возможность наблюдать положения стрелки и отсчитывать показания индикатора ИРТ по шкале сверху.

Таблица 21.1

Основные параметры рычажно-зубчатых индикаторов

Диапазон показаний по шкале, мм	0…0,8
Число делений шкалы	±40
Цена деления, мм	0,01
Размер присоединительного штифта, мм	∅5

Рычажно-зубчатые индикаторы используются чаще всего для измерений отклонений расположения поверхностей деталей машин – величина радиального или торцевого биения, отклонений от параллельности плоских поверхностей, отклонений от параллельности осей отверстий или валов и т.д.

Западные фирмы (Теза, Мар, Митутойе) и ряд других фирм расширили возможности индикаторов ИРБ:

- цена деления шкалы 0,001; 0,002 мм (рис. 21.9);
- широкий набор принадлежностей для закрепления индикаторов (рис. 21.9);
- большой выбор наконечников, в т.ч. с рубиновым шариком, расширяет возможности контроля в труднодоступных местах и повышает точность измерений (рис. 21.11).

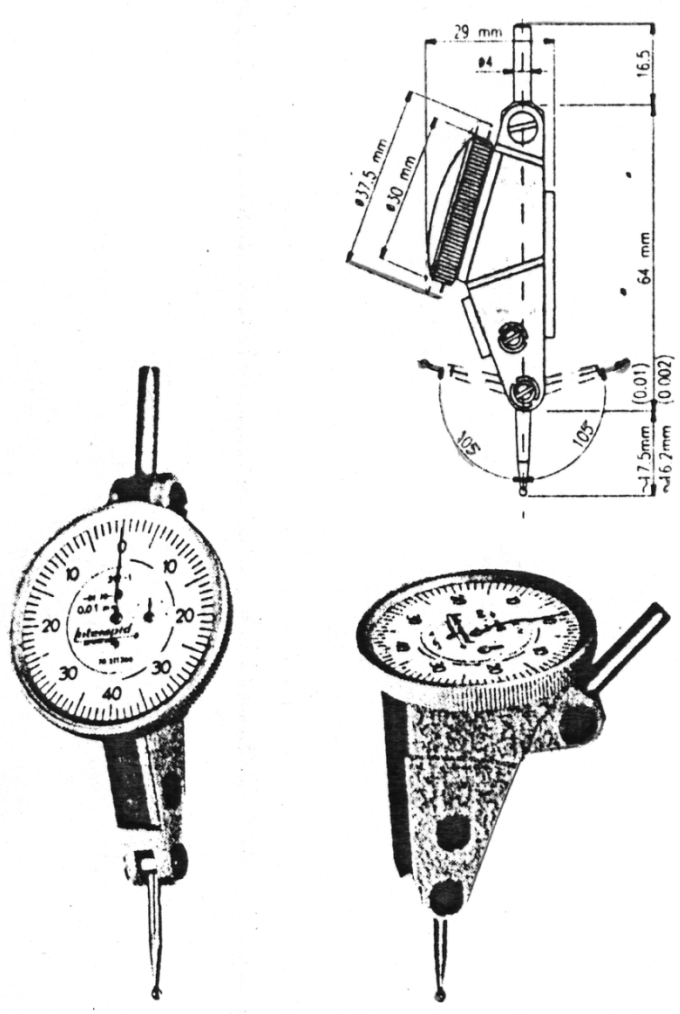


Рис. 21.9 – Индикатор ИРБ повышенной точности

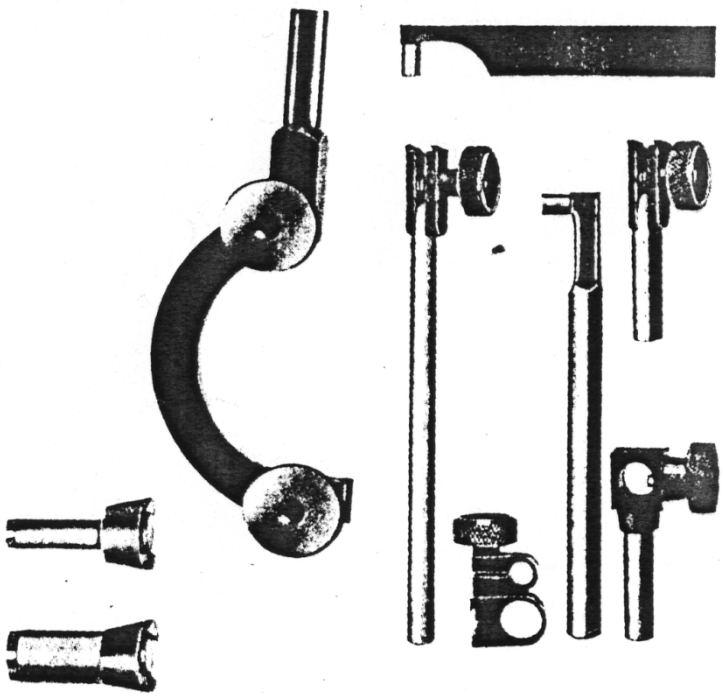


Рис. 21.10 – Набор принадлежностей для закрепления индикаторов

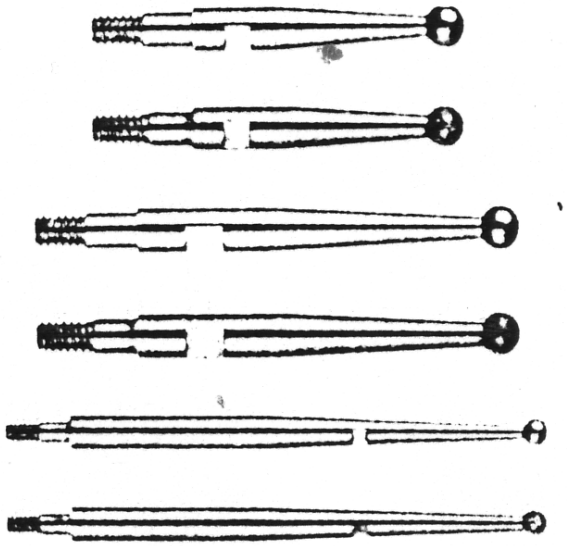


Рис. 21.11 – Набор щупов к индикаторам ИРБ

21.2.1 Контактные элементы индикаторов

Измерительный наконечник или контактный элемент обеспечивает контакт, измерительного прибора и измерительной детали.

Это важный элемент измерения. От точности и однозначности контакта зависит точность измерения. Во всех случаях, кроме бесконтактных методов, процесс измерения обеспечивается с помощью измерительных наконечников.

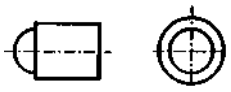
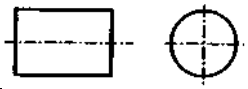
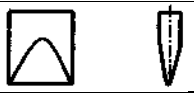
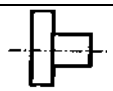
Форма наконечников должна обеспечивать точечный контакт наконечника и детали. Поэтому плоские поверхности рекомендуется измерять сфе-

рическими наконечниками, цилиндрические поверхности цилиндрическими наконечниками, сферические поверхности плоскими наконечниками.

Основные типы измерительных наконечников и рекомендации по их применению приведены в табл. 21.2.

Таблица 21.2

Измерительные наконечники

Форма	Наконечник	Рекомендации по применению
Сферические		Намерение плоских и внутренних цилиндрических поверхностей
Цилиндрические		Наружные цилиндрические поверхности
Ножевидные		Наружные поверхности тел вращения
Каплевидные		Внутренние цилиндрические поверхности
Плоские		Сферические поверхности

Величина радиуса наконечника очень важна. С одной стороны, чем меньше радиус наконечника, тем меньше величина погрешности связанная с перекосом оси измерения (рис. 21.16), с другой стороны, уменьшение радиуса приводит к увеличению контактных деформаций, и к увеличению погрешности от внедрения наконечника в измеряемую деталь.

В случае возникновения перекоса оси измерения, погрешность измерения будет выражаться формулой:

$$\Delta = (D + 2R)\left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right) \qquad (1)$$

где D – диаметр измеряемой детали, R – радиус измерительного наконечника, α – угол перекоса.

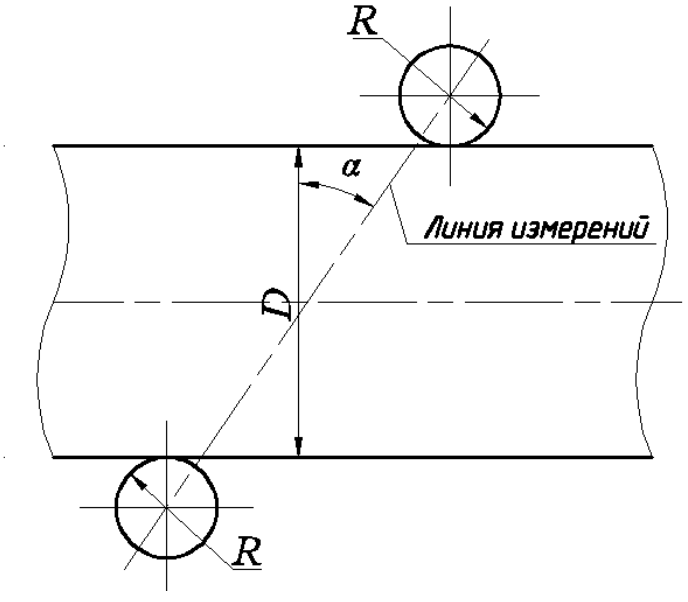


Рис. 21.11 – Перекос линии измерении

Но формуле Герца напряжение от контактных деформаций:

$$\sigma_{max} = \alpha \sqrt[3]{\frac{P \cdot E^2}{R^2}} \qquad (2)$$

где α – коэффициент зависящий от формы наконечников, P – величина давления при касании, E – модуль упругости, R – радиус наконечников. Погрешность, связанная с проникновением наконечников в измеряемую деталь в случае измерения плоской детали сферическим наконечником будет выражаться формулой:

$$\Delta = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{9}{4} \text{к}^2 \frac{P^2}{R}} \qquad (3)$$

$$\text{к} = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \qquad (4)$$

где P – измерительное усилие, R – радиус измерительного наконечника, μ_1 и E_1 – коэффициент Пуассона и модуль упругости материала наконечника, μ_2 и E_2 – коэффициент Пуассона и модуль упругости материала детали.

В качестве материала наконечников обычно используют твердые материалы: закаленную сталь, твердый сплав ВК8, лейкосапфир, корунд, рубин иногда алмаз. В редких случаях, когда измеряют легко деформируемые детали, например из алюминия, используют наконечники из железного дерева Бакаута, сферической или цилиндрической формы. Эти наконечники изготавливают, так чтобы волокна дерева были расположены вдоль линии измерения.

Примеры различных конструкций наконечников сферической формы приведены на рис. 21.12.

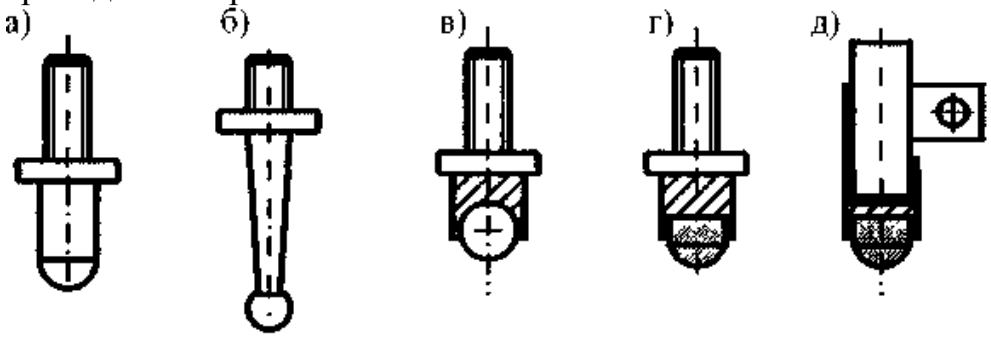


Рис 21.12 – Конструкции сферических наконечников

На рис. 21.12 показаны:

а) и б) – цельнометаллические стальные наконечники, обычно ввинчиваются в измерительный стержень по резьбе М2,5 или М3.

в) – наконечник с завольцованным шариком из закаленной стали или твердого сплава на конце.

г) – наконечник с камнем на конце.

д) – каменный наконечник с клеммовым зажимом, такие наконечники надеваются на наружную поверхность измерительного стержня, например у микрокаторов.

Цилиндрические наконечники применяются для измерения цилиндрических деталей, например у скоб и т.д.

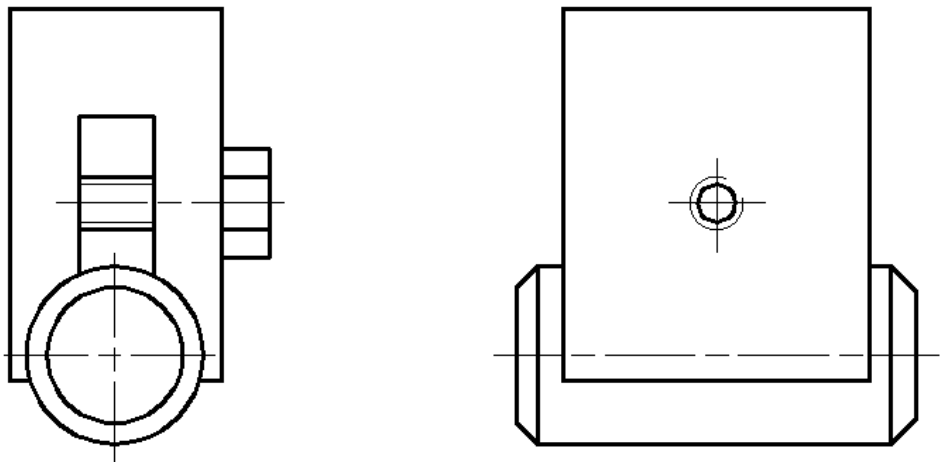


Рис. 21.13 – Цилиндрический наконечник

Для предотвращения поломки измерительного наконечника в момент подвода детали в зону измерения используется специальное устройство арретир.

Когда происходит перемещение детали в зону измерения, оператор нажимает на арретир, и он поднимаем наконечник. Деталь, не касаясь наконечника, попадает в зону измерения. После этого оператор опускает арретир и наконечник вертикально перемещается и входит в контакт с измеряемой деталью. Простейшее устройство для арретирования измерительного наконечника изображено на рис. 21.14, оно крепится непосредственно на присоединительной поверхности датчика или измерительной головки.

В отельных случаях арретиры могут иметь сложную конструкцию. При автоматизации измерений используется пневматическое и вакуумное арретирование.

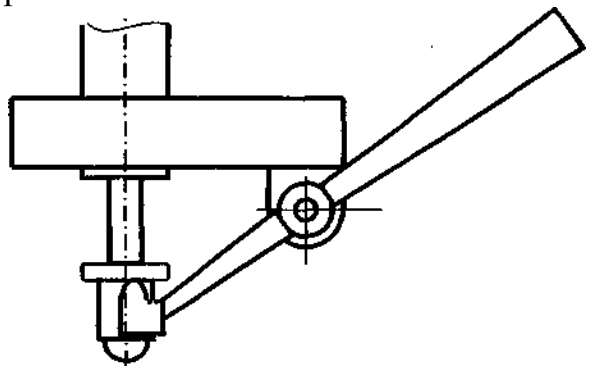


Рис. 21.14 – Устройство арретира

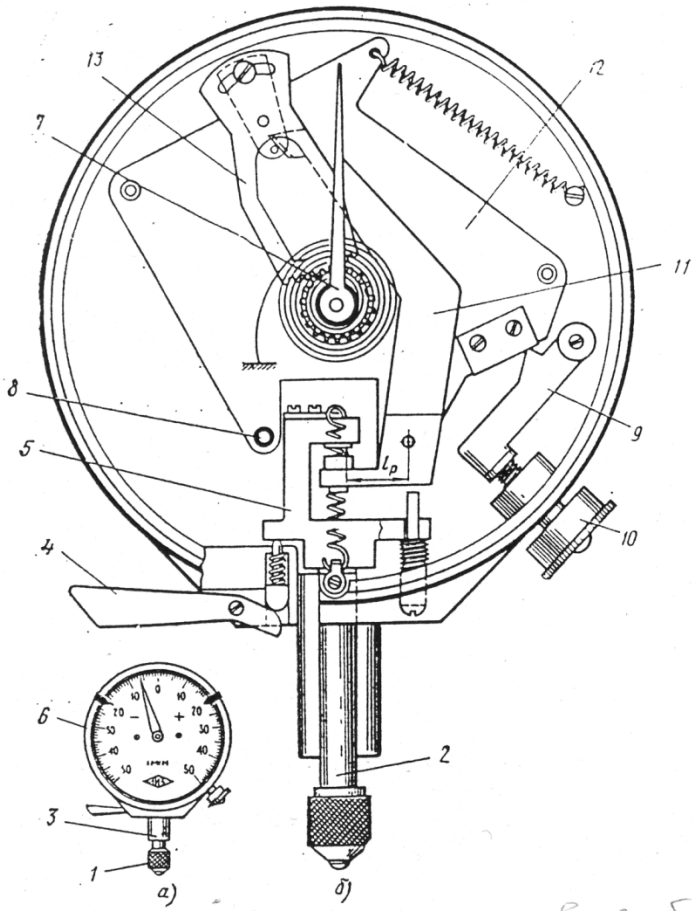
21.3 Рычажно-зубчатые измерительные головки

Различают два вида таких головок – однооборотные измерительные головки ИГ и многооборотные – МИГ. Внешне эти головки очень похожи и имеют корпус *6*, измерительный стержень *2* и наконечник *1*, арретир *4*, винт *10* для установки в положение «0», присоединенную гильзу *3* (рис. 21.12).

На верхнем торце измерительного стержня *2* однооборотной головки ИГ укреплена скоба *5*, которая сверху нажимает на эксцентрик малого плеча

передаточного рычага *11*. Этот рычаг передает (через зубчатый сектор *13*) вращение стрелке *7*.

Весь механизм рычажно-зубчатой передачи смонтирован на поворотной плате *12* и может вместе с ней поворачиваться вокруг поворотной оси *8* под действием рычага *9*, приводимого в движение винтом *10*. Такая конструкция позволяет установить стрелку *7* в положение «0» без передвижения всей головки и установочной меры. Если требуется поднять измерительный наконечник *1* над деталью или концевой мерой, то, нажимая на арретир *4*, поднимают измерительный стержень *2*, а с ним наконечник *1*.



а – общий вид; *б* – конструктивная схема; *в* – кинематическая схема.

Рис. 21.15 – Однооборотная измерительная головка ИГ

Для присоединения головки ИГ к стойке корпус *6* оснащен гильзой *3* с присоединительным размером ∅8 мм.

На циферблате головки ИГ (рис. 5.6.12, *а*) для отсчета показаний имеется неполная шкала.

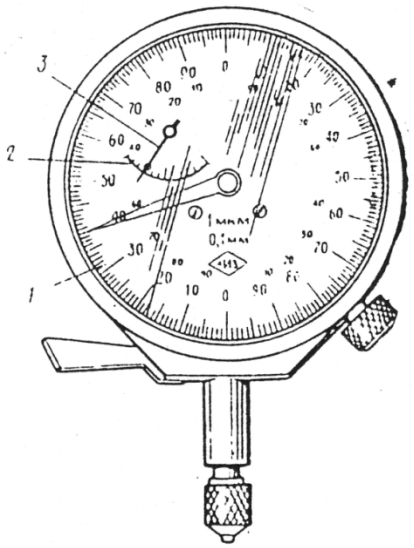


Рис. 21.16 – Многооборотная измерительная головка МИГ

На циферблате многооборотной измерительной головки МИГ (рис. 21.16) в отличие от головки ИГ помимо полной круговой шкалы *1* нанесена дополнительная неполная шкала *2* для отсчета оборотов главной стрелки. Имеется также стрелка-указатель *3* этих оборотов.

Таблица 21.3

Основные параметры рычажно-зубчатых головок

Тип индикаторных головок	ИГ	МИГ
Диапазон измерений, мм	±0,05; ±0,10	1; 2; 5
Цена деления шкалы, мм	0,001; 0,002	0,001; 0,002
Размер присоединительной гильзы, мм	∅8h7	∅8h7

Головки ИГ и МИГ применяют для измерения линейных размеров и отклонений формы поверхности деталей машин и инструментов с допусками от 3 до 20 мкм. Они широко используются в качестве отсчетных стрелочных головок в различных средствах измерений и измерительных приспособлений высокой точности.

Таблица 21.4

Характеристики рычажно-зубчатых индикаторов и головок

Тип	Модель	Цена деления, мм	Предел измерения, мм	Сила измерения, сН		Участок нормирования погрешности	Допускаемая основная погрешность (мкм) при классе точности		Вариация показаний, мкм	Размах показаний, мкм
				наибольшая	колебание		0	1		
Индикатор часового типа (ГОСТ 577-68)										
ИЧ	-	0,01	0 – 2	150	40	Весь диапазон измерений	10	12	2 (5)	3 (3)
ИТ	-		0 – 2				10	12		
ИЧ	-		0 – 5	150	60		12	16		
	-		0 – 10				15	20		
	-		0 – 25	300	180		22	30	3 (6)	5 (6)
Индикаторы рычажно-зубчатые (ГОСТ 5584-75)										

Продолжение таблицы 21.4

ИРБ ИРТ	- -	0,01	0 – 0,8	10 – 40	-	До 0,1 мм Весь диапазон измерений	5 10	-	3
Индикатор многооборотный (ГОСТ 9696-82)									
1МИГ 1МИГП	05301 05302	0,001	0 – 1	200	50	200 делений (весь диапазон измерений)	2 (2,5) 1,5 (1,8)	Одно деление шкалы	0,5 деления шкалы
2МИГ 2МИГП	05201 05202	0,002	0 – 2	200	70		3 (5) 2,5 (3,5)		
Головка измерительная рычажно-зубчатая (ГОСТ 18833-73)									
1ИГ	-	0,001	±0,05	150	40	До ±30 (свыше ±30 делений)	±0,4 (±0,7)	0,2	0,2
2ИГ	-	0,002	±0,1				±0,8 (±1,2)	0,8	0,3
Головка рычажно-зубчатая бокового действия (ГОСТ 16924-71)									
ГИРБ	- -	0,002	0 – 0,16	30	12	В пределах 20(40) делений	2 (4)	-	1
ГИРБ				60	25				
Индикатор многооборотный (ТУ 2-034-317-77)									
-	05205	0,002	0 – 5	70	- -	Один оборот стрелки (весь диапазон измерений)	3 (5)	-	1
	05305	0,004	0 – 5				3 (4)		

Примечания: 1. За колебание силы измерения при изменении направления движения измерительного стержня принимают разность сил в проверяемой точке в середине диапазона измерений и при переходе за нее на 1 – 2 мм.

2. Основная погрешность – сумма наибольших абсолютных значений положительных и отрицательных погрешностей при прямом или обратном ходе измерительного стержня.

3. Вариация показаний – средняя разность между показаниями, например, индикатора в одной точке шкалы, полученная в результате пяти измерений при подводе на 20 делений к этой точке с двух противоположных сторон.

4. Под размахом показаний понимают разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора в одной точке диапазона измерений при пятикратном арретировании наконечника на неподвижную измерительную поверхность.

5. Примеры условного обозначения: индикатора исполнения ИЧ с диапазоном измерения 0 – 2 мм, обыкновенного класса точности 0: *Индикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577-68*; индикатора исполнения ИЧ с диапазоном измерения 0 – 10 мм, брызгозащищенного, класса точности 1: *Индикатор ИЧ10Б кл. 1 ГОСТ 577-68*; индикатора исполнения ИТ, пылезащищенного с диапазоном измерения 0 – 10 мм, класса точности 1: *Индикатор ИТП кл. 1 ГОСТ 577-68*; индикатора исполнения ИЧ с диапазоном измерения 0 – 10 мм, с механизмом, защищенным от удара, класса точности 1: *Индикатор ИЧ10Р кл. 1 ГОСТ 577-68*; индикатора рычажно-зубчатого, бокового со шкалой, перпендикулярной оси измерительного рычага в среднем положении: *Индикатор ИРБ ГОСТ 5584-75*; индикатора многооборотного типа 1МИГ с ценой деления 0,001 мм: *Индикатор 1МИГ ГОСТ 9696-82*; рычажно-зубчатой головки с ценой деления 0,001 мм: Головка 1ИГ ГОСТ 18833-73; измерительной рычажно-зубчатой го-

ловки бокового действия с ценой деления 0,002 мм и силой измерения 30 сН: Головка ГИРБ2 – 30 ГОСТ 16924-71.

6. В графах «Вариация показаний» и «Размах показаний» в скобках указаны значения для индикаторов часового типа 1-ого класса точности.

21.4 Пружинные измерительные головки

Пружинные измерительные головки являются наиболее точными рычажно-механическими приборами. Они выпускаются трех основных типов по ГОСТ 28798-90:

- ИГП – микрокаторы;
- ИПМ – микаторы (малогабаритные);
- ИРП – миникаторы.

По способу применения в технологических процессах контроля головки подразделяются:

- ИГПВ – виброустойчивые головки;
- ИГПВГ – головки виброустойчивые, герметичные;
- ИПМ – малогабаритные пружинные головки с уменьшенным регулируемым усилием для измерения деталей малой жесткости.

При разработке средств измерения для устранения зазоров в преобразовательной цепи используют передачи, составленные из ряда последовательно расположенных пружин. Наиболее удачной оказалось передача, в которую была включена спиральная пружина, состоящая из двух участков, имеющих противоположные направления завивки спирали.

Представить себе такую двуспиральную пружину легко по несложной модели. Такой моделью может служить обертка обычной конфеты - карамели. Возьмите карамель двумя руками за концы обертки и слегка потяните в разные стороны – карамель немного повернется вокруг продольной оси. Теперь слегка сдвиньте руки навстречу друг другу – карамель повернется немного в обратную сторону. Вглядевшись внимательно, можно обнаружить, что эти повороты карамели происходят потому, что обертка на концах закручена в разные стороны. Модель станет еще нагляднее, если в тело карамели воткнуть перпендикулярно продольной оси обычную булавку. Теперь, двигая концы обертки в разные стороны, увидим, что углы поворота булавки пропорциональны величине продольного растяжения (сжатия) обертки. Если нанести на плотную бумагу ряд штрихов, имитируя шкалу, и поставить эту бумагу перед булавкой перпендикулярно продольной оси карамели, то мы получим простейшую модель отсчетно-преобразующего устройства пружинной измерительной головки.

В качестве чувствительного элемента в этих приборах используется ленточная пружина из фосфористой бронзы шириной 0,08…0,12 мм и толщиной 0,004…0,008 мм. Одна половина ленты скручена влево, а другая – вправо. Перемещение измерительного стержня вызывает изменение длины пружины и раскручивание ее средней части, а также поворот прикрепленного к ней указателя.

Преимуществами пружинных передач является высокая чувствительность ленточных пружин, обеспечивающих высокую точность измерения и отсутствие контактных пар внешнего трения, благодаря чему приборы могут длительное время работать без снижения точности. Вариация показаний и погрешность обратного хода практически отсутствует.

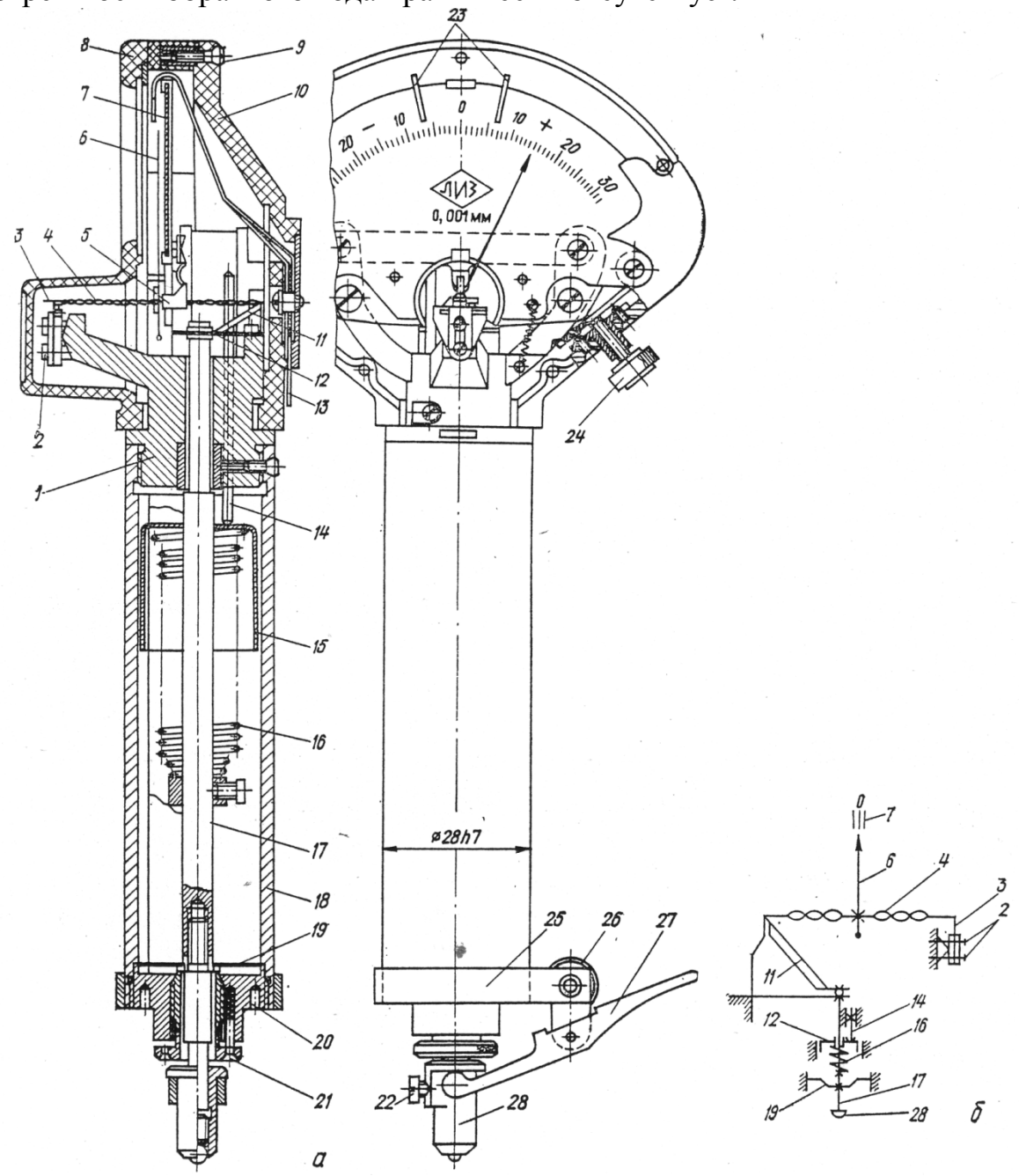


Рис. 21.17 – Конструкция (а) и кинематическая схема (б) измерительной пружинной головки типа ИГП (микрокатор)

Кинематическая схема и конструкция микрокатора приведены на рис. 21.17.

Измерительный стержень *17* микрокатора подвешен на плоских пружинах (пружинных мембранах) *19* и *12*. Нижняя мембрана *19* закреплена в трубке *18* крышкой *20*. Измерительный наконечник *28* закрепляется на измерительном стержне *17* винтом *22*. Ход стержня вниз ограничивается гайкой–

фиксатором *21*, ввернутой в крышку *20*. При транспортировке приборов фиксатор *21* заворачивается, не позволяя стержню с упругим передаточным механизмом перемещаться, что предотвращает повреждение механизма. При эксплуатации фиксатор отворачивается. Перемещение измерительного стержня передается пружинной скрученной ленте *4* через угольник (рычаг) *11*. К середине ленты с помощью клея или шеллака прикрепляется стрелка *6*. Передний конец пружинной ленты припаян к плоской пружине *3*. Винтами *2* регулируется натяжение пружинной ленты.

Плавное перемещение стрелки и исключение ее вибраций обеспечиваются демпфером *5*. Демпфер представляет собой короткую трубку, охватывающую пружинную ленту около стрелки и заполненную поликсилоксановой жидкостью.

Измерительный пружинный механизм микрокатора закрыт крышками *10* и *8*, которые соединяются винтами *9*. Задняя крышка присоединена к корпусу *1*.

Винт *24* служит для поворота шкалы *7* при установке прибора на нуль.

Указатели поля допуска *23* перемещаются рычагами *13*, выведенными на заднюю стенку крышки *10*. Регулирование измерительного усилия, создаваемого пружиной *16*, производится перемещением стакана *15* с помощью пальца *14* при снятой задней крышке.

На конце гильзы с помощью хомута *25*, зажимаемого винтом *26*, установлен арретир *27* для подъема измерительного стержня при установке детали.

Микаторы (рис. 21.18, *б*) могут быть использованы в качестве отсчетных устройств в различных приборах и приспособлениях. Назначение узлов и деталей на рис. 21.18 такие же, как и на рис. 21.17. Ввиду небольшого диаметра (8 мм) гильзы *5*, измерительный стержень перемещается в шариковых направляющих и шарнирно связан с рычагом *1*, к которому прикреплен конец пружины *2*.

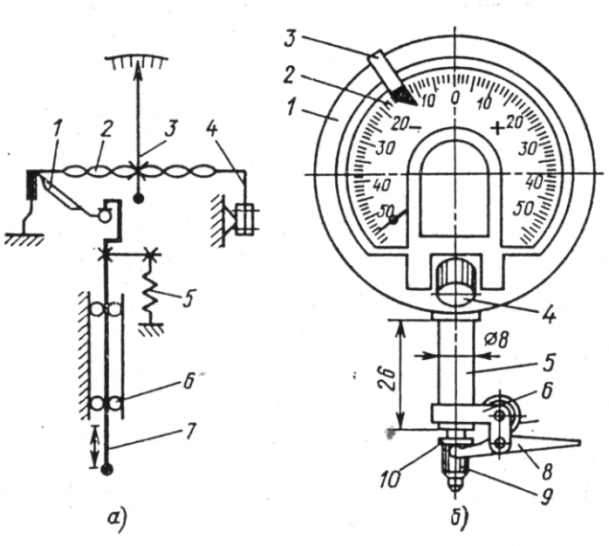
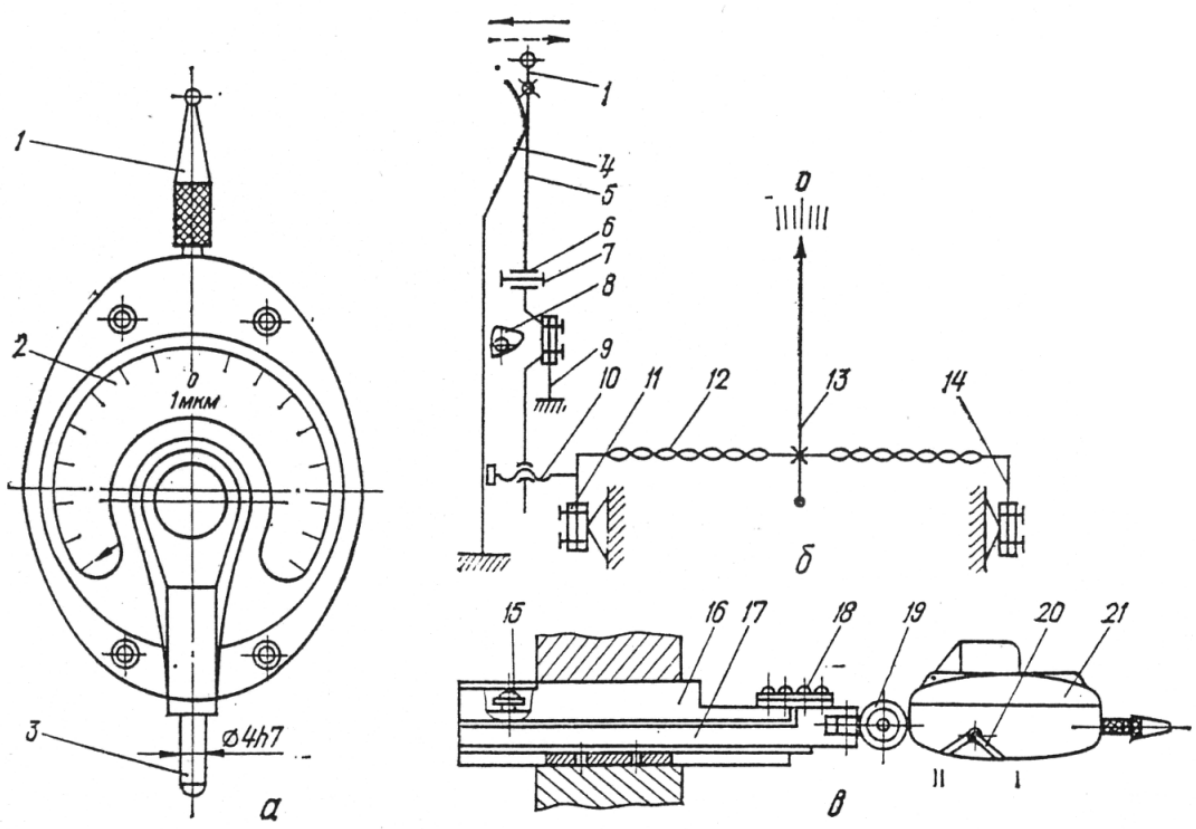


Рис. 21.18 – Кинематическая схема (а) и конструкция (б) измерительной пружинной малогабаритной головки типа ИПМ (микатор)



а – схема; *б* – внешний вид.

Рис. 21.19 – Рычажно-пружинная головка ИРП

Миникаторы (рис. 21.19) предназначены для измерений в труднодоступных местах изделий. Они представляют собой рычажно-пружинные головки бокового действия с перемещением измерительного стержня перпендикулярно к плоскости шкалы.

Перемещение стержня *7* через рычаг *6*, подвешенный на плоской мембране *5* и поворачивающийся относительно оси *8*, передается угольнику *1* пружинной передачи. Микаторы (рис. 21.19, *б*) применяются в державке с микроподачей для удобства установки на размер. Державку закрепляют на стержне *2*. Цена деления миникаторов составляет 1 мкм при длине измерительного наконечника 1, равной 72 мм, и 2 мкм – при длине 30 мм.

Таблица 21.5

Основные параметры пружинных головок различных типов

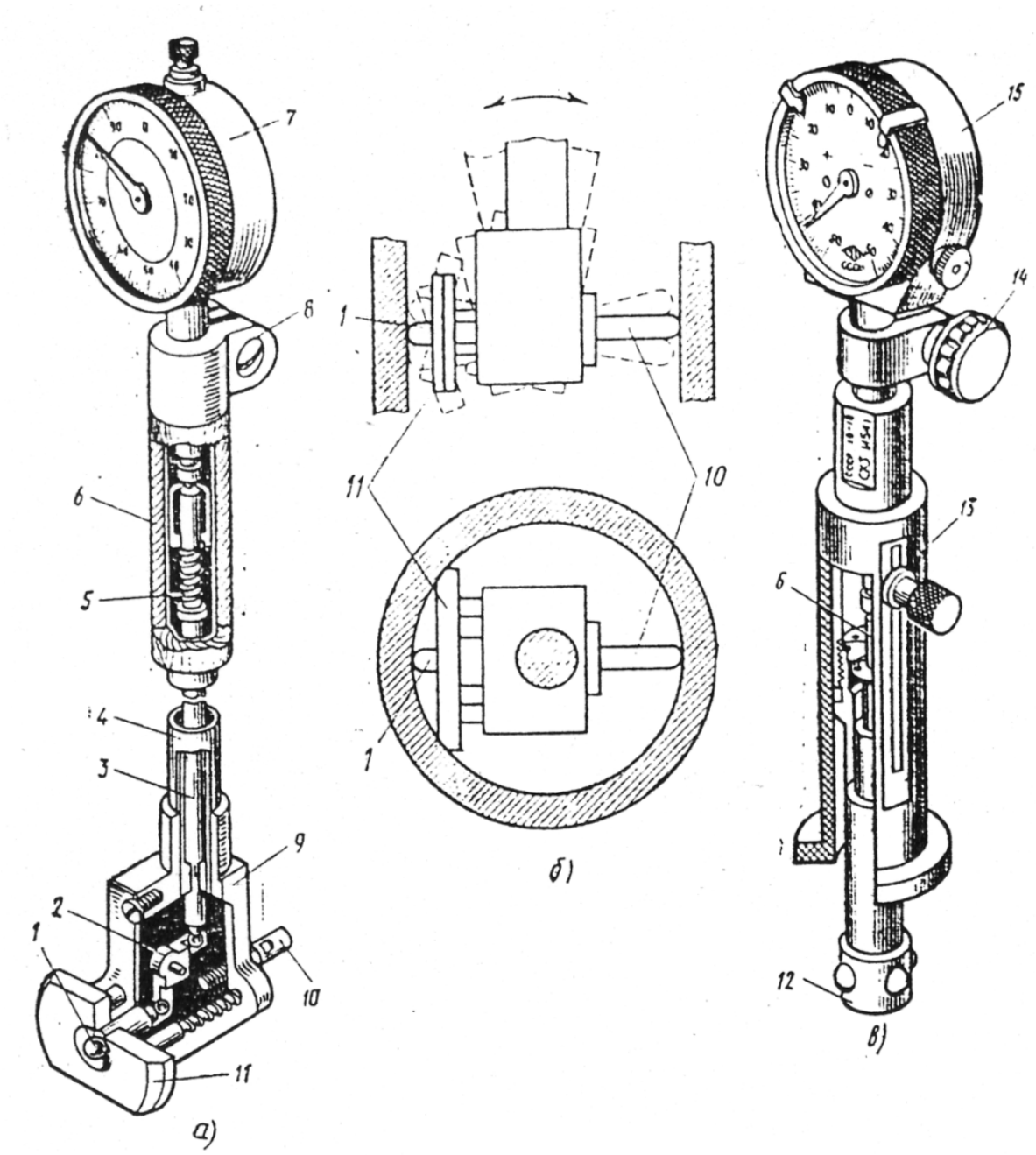
Тип головки	Цена деления шкалы	Диапазон измерений	Допустимая погрешность на любом участке шкалы	
	мкм			
Микрокаторы			Число делений	
			До 30	Св. 30
01ИГП	0,1	±4	0,1	0,15
02ИГП	0,2	±6	0,15	0,2
05ИГП	0,5	±15	0,25	0,4
1ИГП	1	±30	0,4	0,6
2ИГП	2	±60	0,8	1,2
5ИГП	5	±150	2,0	3,0
10ИГП	10	±300	3,0	5,0
Микаторы			До 30	До 60
02-ИПМ	0,2	±10	0,15	0,3
05-ИПМ	0,5	±25	0,3	0,5
1-ИПМ	1	±50	0,5	1,0
2-ИПМ	2	±100	1,0	2,0
Миникаторы			До 20	До 40
ИРП	1	±40	0,5	1
	2	±80	1	2

21.5 Индикаторные нутромеры

Индикаторные нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров и диаметров отверстий в пределах 2…1000 мм на глубине до 500 мм. Их конструкции разнообразны. Они могут оснащаться индикаторами с ценой деления 1, 2 и 10 мкм и, в зависимости от диапазона измерений и типа индикатора, имеют пределы измерений 3…6, 6…10, 10…18 (рис. 21.20, *б*), оснащенные рычажно-зубчатыми головками ИГ и шариковыми вставками. Наиболее широкое применение получили индикаторные нутромеры с центрирующим мостиком. Диапазон измерений с 6 мм до 1000 мм с ценой деления шкалы 0,01 мм (рис. 21.20, *а*) изготавливаются по ГОСТ 868-82.

По ГОСТ 9244-75 мостиковые нутромеры изготавливаются повышенной точности.

Устройство нутромеров индикаторных мостикового типа

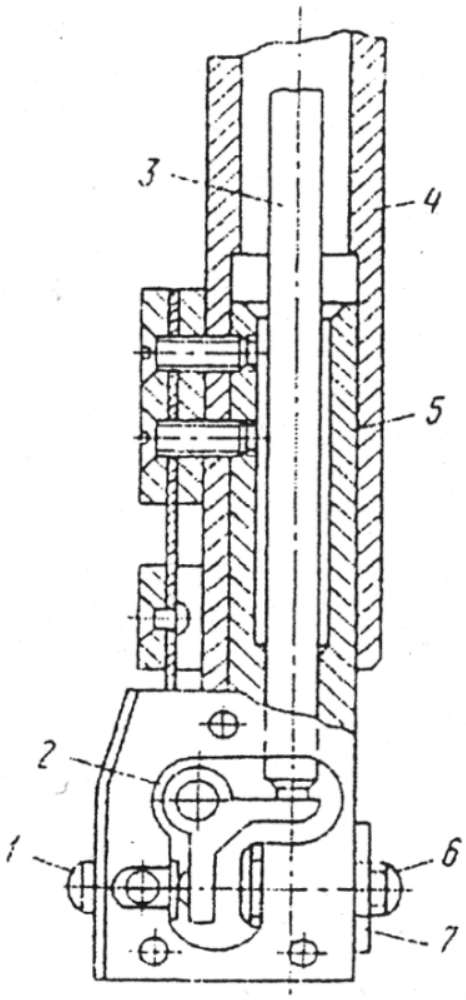


а – мостиковый индикаторный нутромер; *б* – схема настройки на нуль; *в* – индикаторный нутромер с шариковыми вставками.

Рис. 21.20 – Индикаторные нутромеры

Трубка *8* (рис. 21.20, *а*) имеет присоединительное отверстие с зажимом. В это отверстие вводится и закрепляется гильза корпуса с отчетной стрелочной измерительной головкой *7*. В большинстве случаев ею является индикатор часового типа (отсюда и название индикаторный нутромер) или рычажно-зубчатая головка ИГ с ценой деления 1 или 2 мкм.

Схема передачи движения к штоку

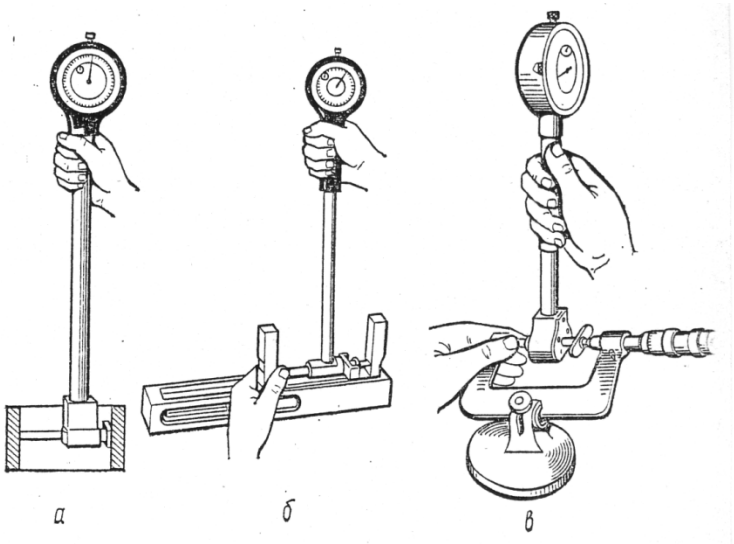


Центрирующее приспособление.

Рис. 20.21 – Схема центрирующего приспособления мостикового нутромера

В нижней части основания-трубки расположена головка прибора, которая состоит из корпуса *9*, центрирующего мостика *11* и воспринимающих измерительных стержней наконечников *10* и подвижного. На схеме рис. 21.21 соответственно *6* и *1*. Движение наконечника *1* через рычаг *2* и шток *3* передается измерительному наконечнику и стержню измерительной стрелочной головки *7*. Центрирующий мостик *11* совмещает ось измерения нутромера, которая является общей осью измерительных стержней-наконечников *1* и *10* с диаметром отверстия измеряемой детали (рис. 21.20, *б*).

Настройка нутромера на измеряемый размер



а – по установочному кольцу; *б* – по блоку концевых мер со струбцинами; *в* – по микрометру.

Рис. 21.22 – Настройка нутромера на измеряемый размер

Вставив нутромер в установочную меру, отпускаем стопорный винт на трубке *8* (рис. 21.20, *а*) и подводим индикаторную головку *7* до совмещения стрелки на малой шкале с цифрой *1*, а большую стрелку ориентировочно совмещаем с нулем циферблата. Таким образом, мы создаем натяг, а в начале второго оборота индикатор часового типа имеет нормированный участок (минимальную погрешность). Зажимаем стопорный винт.

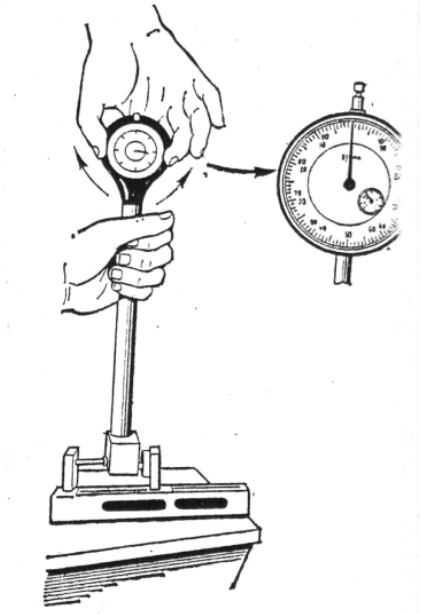


Рис. 21.23 – Установка нуля индикатора

Покачивая из стороны в сторону нутромер, добиваемся минимального отклонения стрелки индикатора и вращая ободок, стрелку индикатора устанавливаем на нуль.

Измерения индикаторным нутромером

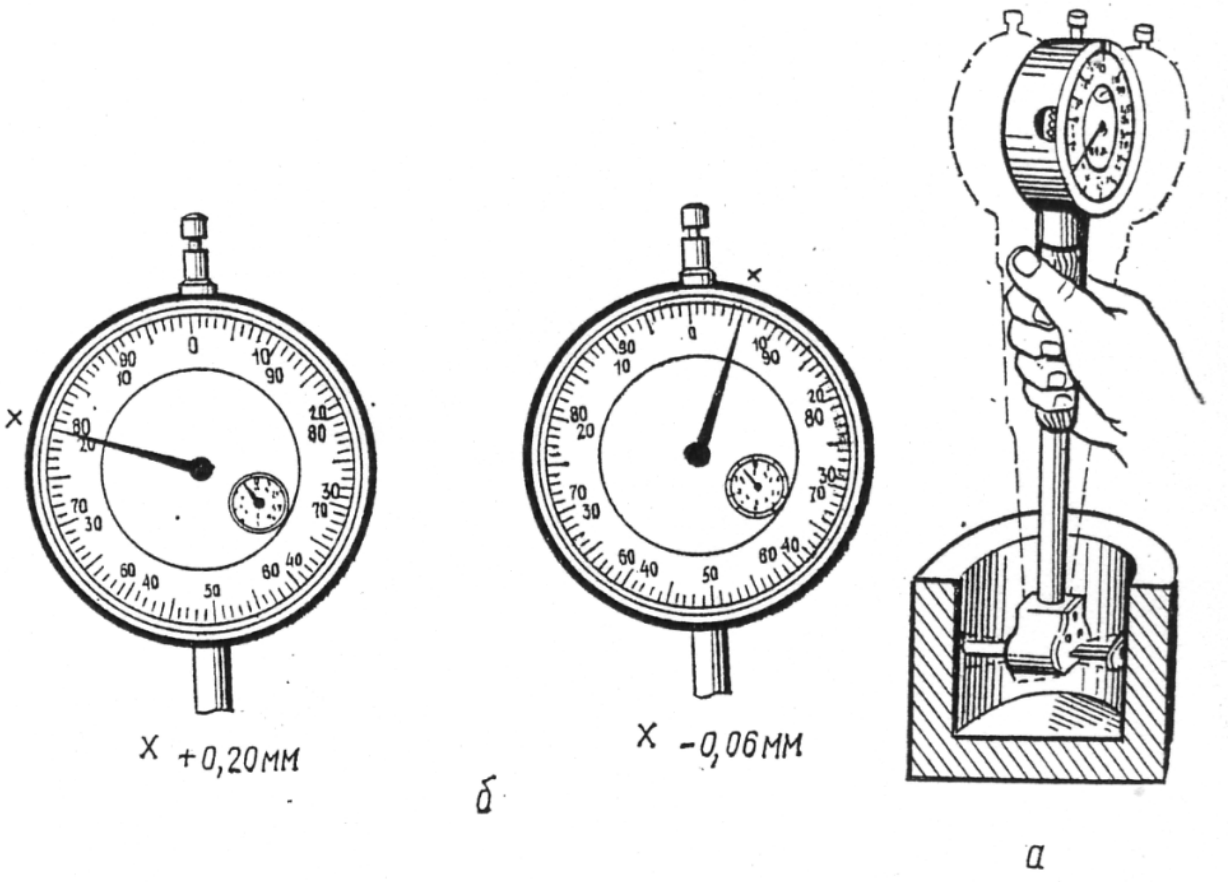


Рис. 21.24 – Измерение детали

Настроенный нутромер вставляем в измеряемую деталь. Покачивая нутромер в отверстии детали, находим минимальное отклонение стрелки. Размер настройки и показания индикатора зафиксирует размер отверстия детали.

Устройство и работу индикаторных нутромеров типа НИ рассмотрим на примере нутромера НИ-100 (рис. 21.25). В корпусе *1* нутромера вставлена втулка-вставка *2*, в которой с одной стороны ввернут сменный неподвижный измерительный стержень *3*, а с другой стороны установлен подвижный измерительный стержень *4*, воздействующий на рычаг *5*, который отводит подвижный стержень *4* в крайнее положение при измерении внутренних размеров и создает требуемое усилие измерения.

Центрирующий мостик *12*, прижимаемый двумя пружинами *11* к поверхности контролируемого отверстия, обеспечивает совмещение линии измерения с диаметром отверстия. Таким образом, при измерении размера отверстия нутромер соприкасается с поверхностью отверстия четырьмя точками: тремя подвижными и одной неподвижной.

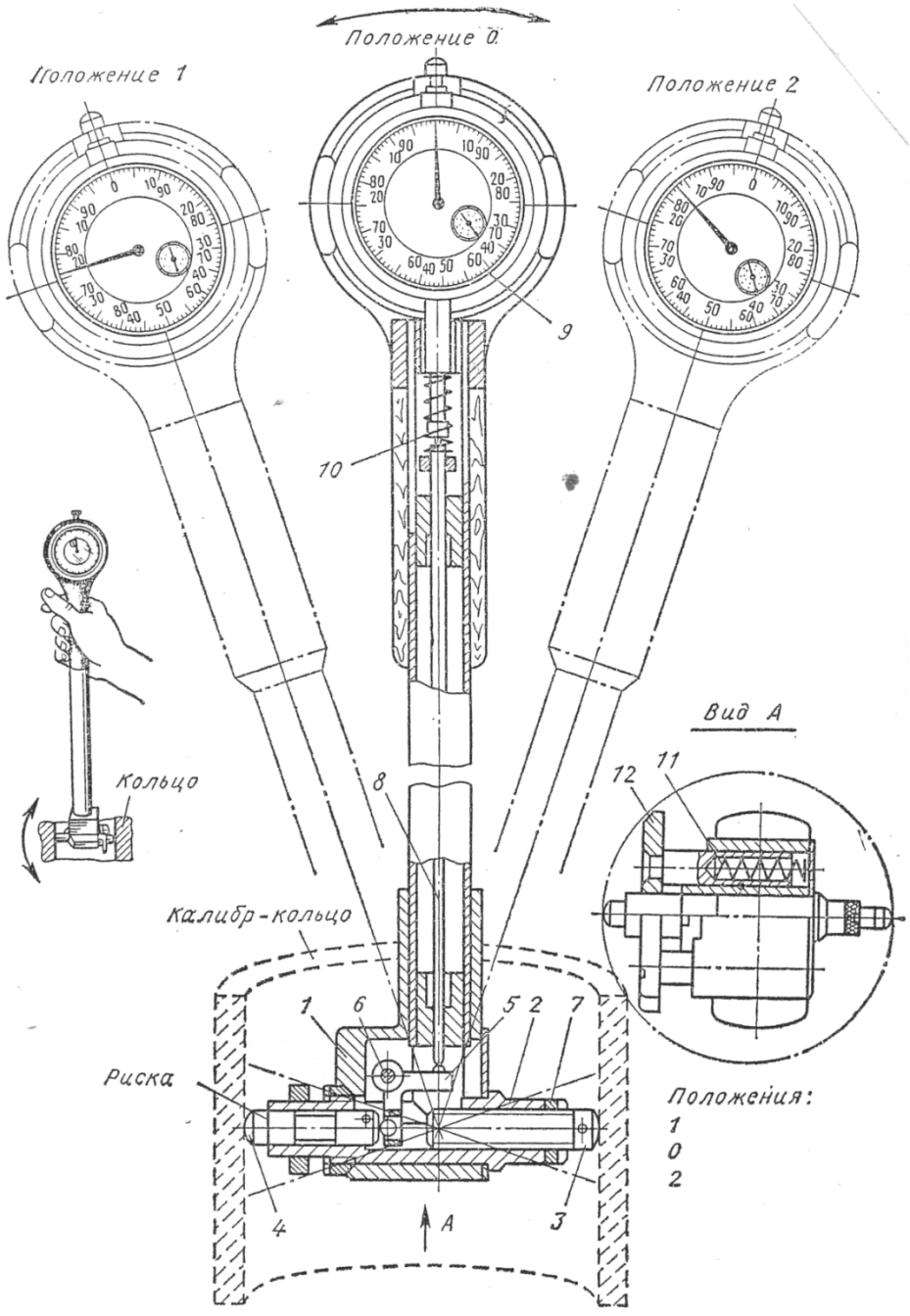


Рис. 21.25 – Индикаторный нутромер типа НИ-100

Нутромер укомплектовывается сменными измерительными стержнями (табл. 21.6), которые подбирают и ввертывают в корпус нутромера в зависимости от размера отверстия и пределов измерения.

Таблица 21.6

Измерительные стержни для нутромеров типа НИ

Диапазон измерения нутромером, мм	Число		Радиус сферы измерительной поверхности стержня, мм
	комплектов	стержней в комплекте	
6-10	2	9	1,8-2,8
10-18			2,5-4,5
18-50	2	6	5-8
50-100	1	5	18-22
100-160; 160-250	1	3	30-40
250-450; 450-700		4	

Следует отметить, что минусовые отклонения индикатора следует прибавлять к номинальной величине, а плюсовые показания индикатора следует вычитать.

Таблица 6

Характеристики индикаторных нутромеров

Тип или модель	Диапазон измерения	Глубина измерения	Минимальный ход стержня	Сила измерения (Н) прибора/мостика	Участок нормирования погрешности	Пределы основной погрешности, мкм				
						На любом участке для класса точности		На всем диапазоне измерения для класса точности		Центрирующего мостика
		мм				1	2	1	2	
Нутромеры с ценой деления 0,01 мм классов точности 1 и 2 (ГОСТ 868-82)										
НИ	6-10	60	0,6	2,5-4,5/5-8,5	Любой, 0,1 мм	5	8	8	12	1/3 цены деления шкалы
		100								
	10-18	130	0,8							
	18-50	150	1,5					12	15	
	50-100	200	4	4-7/7,5-12	Любой, 1 мм	10	12	15	18	
	100-160	300		5-9/9,5-16						
	160-250	400								
	250-450	500	6			-	14	-	22	
	450-700	-	8							
	700-1000	-								

Нутромеры типов НИ-700 и НИ-1000 (рис. 21.26) имеют корпус *5*, выполненный по форме скобы, с одной стороны которой установлен неподвижный измерительный стержень *3*, а с другой стороны – индикатор *2* часового типа, на который передается перемещение подвижного измерительного стержня *1*. На этой же стороне скобы смонтирован центрирующий мостик *4*.

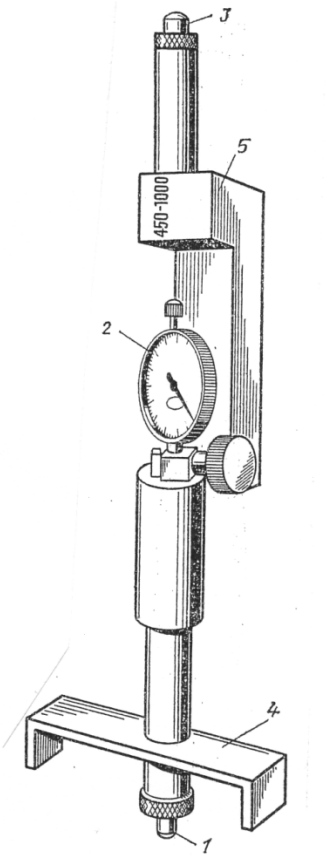
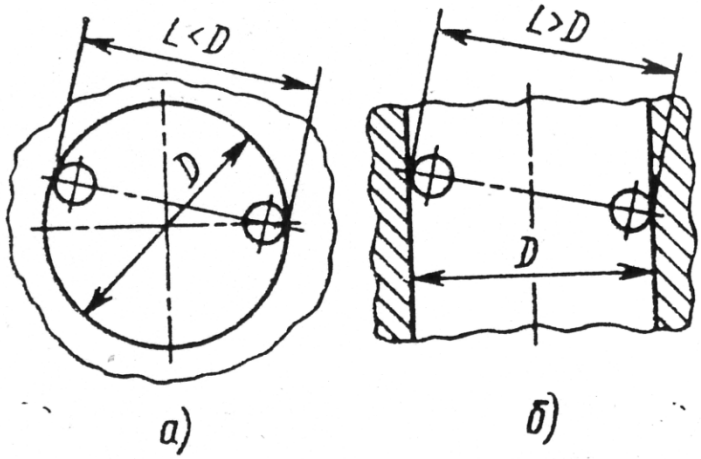


Рис. 21.26 – Нутромер НИ-700

Подготовка к измерениям внутренних размеров включает подбор требуемого измерительного стержня по номинальному размеру изделия, установку его в нутромер, создание для индикатора часового типа, натяга, равного 1 мм (один оборот большой стрелки) при установке нутромера на номинальный размер изделия.

Настройка нутромера на требуемый размер осуществляют аттестованными кольцами, блоками КМД с боковичками или микрометром гладким класса 0.



а – смещение нутромера в горизонтальной плоскости; *б* – смещение нутромера в вертикальной плоскости.

Рис. 21.27 – Ошибки измерения

Нутромеры с шариковыми вставками

На рис. 21.20, *в* показан нутромер с шариковыми вставками. Они служат для измерения отверстий от 3 до 18 мм. В них применяются сменные измерительные вставки *12* (рис. 21.20, *в*), в которых вдоль оси движется шток *6*, имеющий снизу коническую поверхность, опирающуюся в две пары шариков. Шарики одной пары по диаметру больше шариков другой пары на 0,01 мм, а потому они первыми входят в контакт с поверхностью измеряемого отверстия и передают возникшие измерительные усилия штоку *6*. Верхний конец штока имеет плоский торец, который упирается в измерительный наконечник отсчетной стрелочной головки *15*, показания которой равны величине продвижения штока *6*.

Если нутромер сдвинется с положения измерения, то вторая пара шариков меньшего диаметра воспримет этот сдвиг, нажмет на конусную поверхность и заставит нутромер занять необходимое для измерения положение.

Для более устойчивых измерений служит кожух *13*, позволяющий устойчиво устанавливать нутромер на детали.

Теперь нужно покачать нутромер в осевой плоскости и снять показание со шкалы отсчетной головки, отвечающее крайнему положению стрелки. Это показание и есть отклонение отверстия от установочной меры.

В качестве мер для установки индикаторных нутромеров на размер и в положение «0» применяют комплекты из блоков КМД и боковиков или установочные кольца. В комплект для установки нутромера включают: блок из КМД, подобранный по номинальному размеру измеряемого отверстия, два боковичка (параллельных или радиусных) и державка.

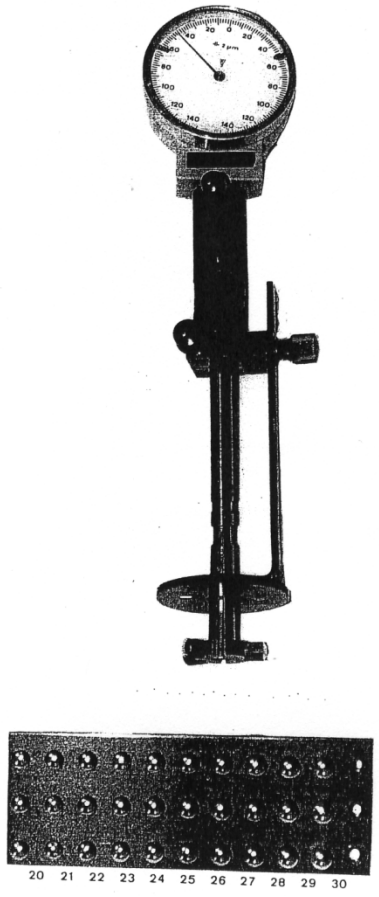
Установочные кольца изготавливаются по ГОСТ 14865-78 от 3 до 160 мм и комплектуются в наборы: 2-3, 3-6, 6-10, 10-18, 18-50, 50-80, 80-120, 120-160 мм. Изготовление колец по ГОСТ 14865-78 предусматривает 1-5 классы точности.

Для поверки нутромеров повышенной точности аттестуются кольцами по 4-ому разряду. Поверяются по методике МИ 82-87.

Нутромеры цанговые

Конструкция нутромеров цанговых аналогична нутромерам с шариковыми вставками. Цанговые нутромеры выпускаются двух типов. Предел измерений 2-20 и 20-30 мм. Измерительная часть наконечника имеет сферическую пробку, имеющую радиальный разрез шириной 1 мм. Внутри измерительной пробки коническое отверстие, в которое контактируется с коническим измерительным штоком. В процессе настройки на размер или измерениях измерительная пробка работает как цанга, сжимается или расходится и передает поступательное перемещение на шток, который в свою очередь передает перемещение измерительному наконечнику индикаторной головки.

В нутромерах с пределом измерения 20-30 мм в измерительную пробку вворачивают три сменных наконечника, обеспечивающих контроль отверстий в пределах 1 мм от 20 до 30 мм.



а)



б)

а – общий вид нутромера цангового;
б – составные части нутромера: *1* – стойка, *2* – измерительный наконечник, *3* – удлинитель, *4* – корпус, *5* – измерительный узел нутромера, *6* – арретир индикатора.

Рис. 21.28 – Нутромер цанговый со сменными измерительными наконечниками

Таблица 21.8

Основные параметры нутромеров повышенной точности по ГОСТ 9244-75

Тип, модель	Диапазон измерения, мм	Цена деления, мм	Допустимая погрешность, мм	Предельные погрешности измерения, мм	Наибольшая глубина измерения, мм
Нутромеры с центрирующим мостиком					
109	18-50	0,002	±0,0035	0,005	150
154	50-100	0,002	±0,004	0,006	200
155	100-160	0,002	±0,004	0,007	300
156	160-260	0,002	±0,004	0,007	300
Нутромеры с шариковыми вставками					
116	2-3	0,001	±0,0018	0,0035	12
103	3-6	0,001	±0,0018	0,0035	20
104	6-10	0,001	±0,0018	0,0035	50
106	10-18	0,002	±0,0035	0,0035	100

Нутромеры клиновые

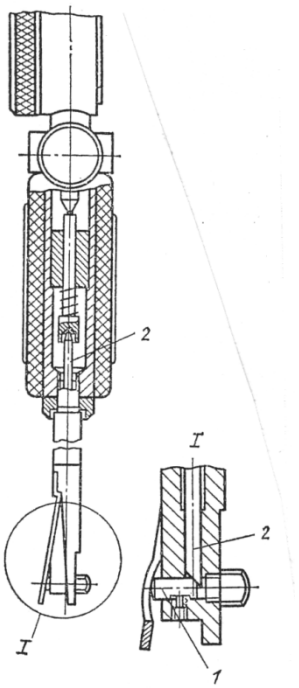


Рис. 21.29 – Нутромеры клиновые

Нутромеры клиновые снабжены клиновой передачей. От измерительного стержня (рис. 21.29), имеющего клиновой скос, передается перемещение на шток *2*, который связан с отсчетным устройством (индикатором). Клиновые нутромеры выпускаются двух типоразмеров: НИ-10 и НИ-18.

Установочные кольца

Для установки нутромеров с ценой деления 0,001 и 0,002 мм установлены наборы установочных колец с номинальными размерами (мм) по ГОСТ 14865-78.

Мод. 928.2: 6; 6,3; 6,7; 7,1; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5 и 10.

Мод. 928.3: 10; 10,5; 11; 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18.

Мод. 928.4: 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50.

Мод. 930: 50; 53; 56; 60; 63; 67; 71; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 110; 120; 125; 130; 140; 150 и 160.

Пример обозначения комплекта колец: кольца установочные модели 928.2 ГОСТ 14865-78.

Пример обозначения отдельного кольца: кольцо установочное, модель 928.2-7,5 ГОСТ 14865-78.

Допускается изготовление и других типоразмеров установочных колец.

21.6 Глубиномеры индикаторные

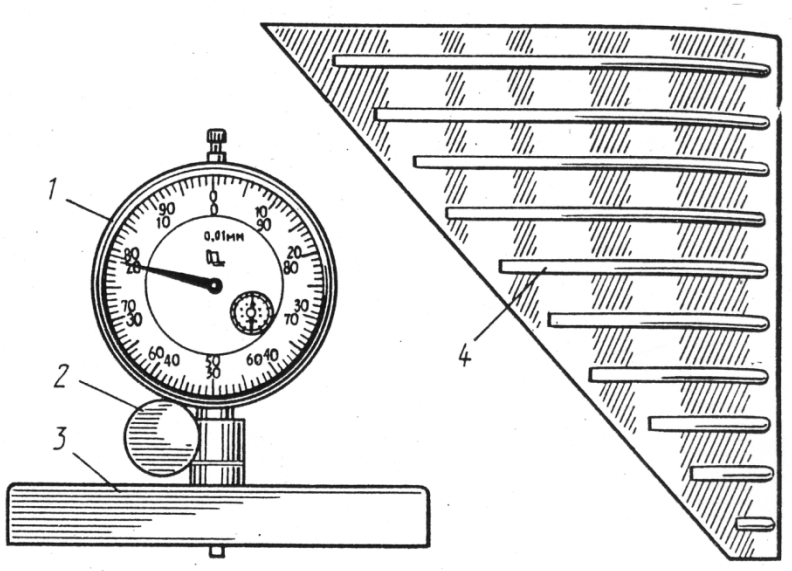


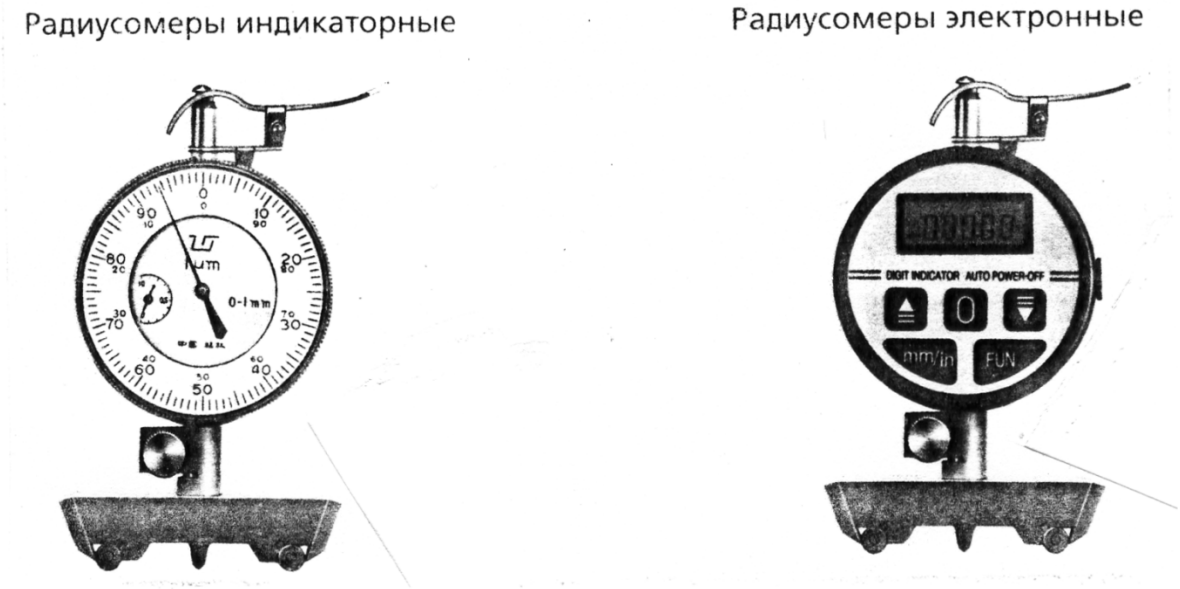
Рис. 21.30 – Глубиномер индикаторный

Основанием глубиномера *3* (рис. 21.30) является пластина с точной опорной поверхностью. Перпендикулярно этой поверхности укреплена присоединительная втулка, в которую вставлена гильза измерительной головки и закреплена зажимом *2*. Для увеличения диапазона измеряемых глубин в измерительный стержень отсчетной измерительной головки вместо обычного измерительного наконечника могут вставляться сменные измерительные стержни *4*, позволяющие измерение глубины до 120 мм.

Индикаторные глубиномеры применяют при измерении глубин выточек, выемок, пазов, расстояний между торцами, направленные в одну сторону.

21.7 Индикаторные головки в составе специальных видов инструмента

1 Радиусомеры индикаторные



а) б)

Рис. 21.31 – Радиусомеры для цилиндрических поверхностей

Радиусомеры предназначены для измерения отклонения от радиуса цилиндрических поверхностей в диапазоне 100…1000 мм. Отсчетное устройство индикатор часового типа (рис. 21.21, а) и с электронным индикатором (рис. 21.31, б).

2 Радиусомеры индикаторные сферические

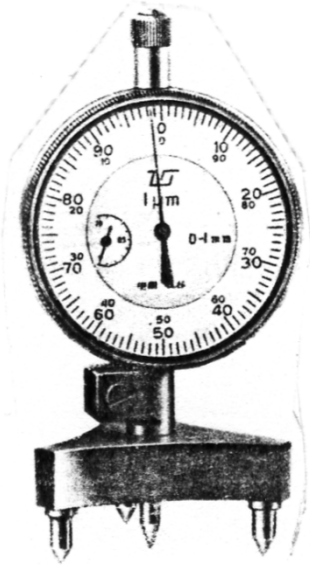


Рис. 21.32 – Радиусомер сферический

Радиусомер сферический предназначен для измерения радиуса сферических поверхностей с радиусом сферы R15-100, R100-1000, R325-1250 мм с отсчетным устройством с ценой деления 0,01 и 0,001 мм.

3 Индикаторные толщиномеры, стенкомеры

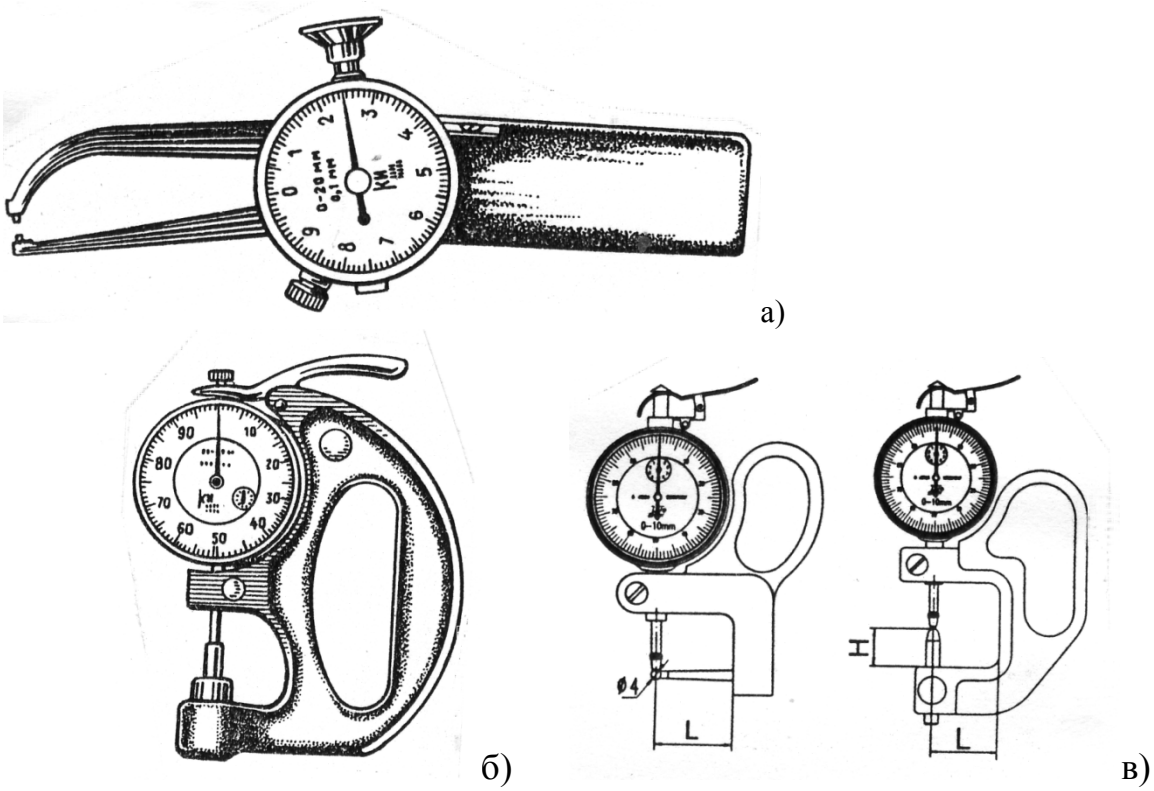


Рис. 21.33 – Толщиномеры, стенкомеры

Толщиномеры, стенкомеры основаны на применении индикаторов часового тип. Их характеристики приведены в таблице 6.

Таблица 21.9

Характеристики индикаторных толщиномеров, стенкомеров.

Тип	Предел измерения, мм	Цена деления, мм	Вылет А, мм	Глубина измерения, мм	Сила измерения, Н		Основная погрешность, мкм		Размах показаний, мм
					Значение	Колебание	На участке 1 мм	На всем диапазоне	
Толщиномеры (ГОСТ 11358-74)									
ТН	0-10	0,01	60	-	1,5	0,6	±10	±18	3
			160						
	0-25		160	-	3	1,8	±10	±30	3
ТР	0-10		60	-	1,5	0,6	±10	±30	3
	0-25	0,1	60	-	4	2	±50	±80	30
			100						
			250						
	0-50		160				±50	±150	30

Продолжение таблицы 21.9

Стенкомеры (ГОСТ 11951-82)									
С-2	0-2	0,01	-	25	1,5	0,6	±10	±15	-
С-10А	0-10			40				±20	
С-10Б		0,1	-	60	2,5	1,2	-	±100	1/3 цены деления
С-25	0-25			100	4	2			
С-50	25-50			160	4	2			

Индикаторные толщиномеры предназначены для измерения толщины резины, кожи, паронита, асбеста, фанеры и других подобных материалов. Толщиномеры выпускаются настольными типа ТН и ручными (рис. 21.33, а). Измерительный стержень отводится арретиром.

Индикаторные стенкомеры служат для измерения стенок труб и других аналогичных изделий. На рис. 21.33, в и г представлены стенкомеры типа с-10А и С-10Б. В отличие от ручного толщиномера стенкомер вместо пятки имеет неподвижный стержень. Перемещение измерительного стержня передается на стрелку прибора с подвижной шкалой, фиксируемой с помощью стопора.

21.8 Скобы индикаторные

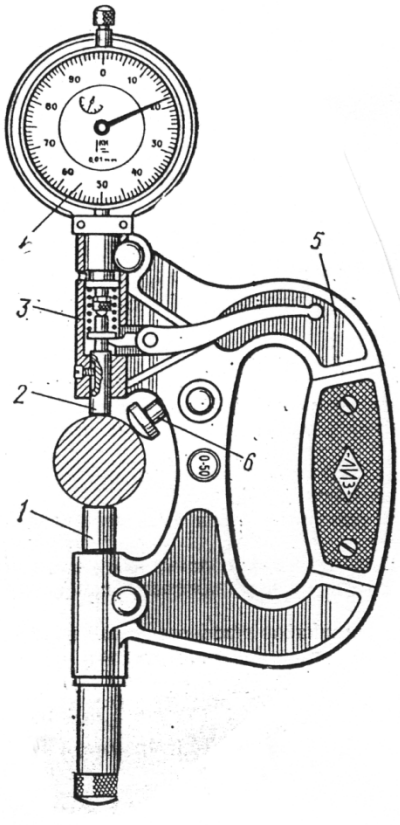


Рис. 21.34 – Скоба индикаторная

Основанием скобы индикаторной (рис. 21.34) служит ее корпус *5*, снабженный выемкой для руки. В рабочем пространстве скобы расположены находящиеся на одной измерительной оси, с одной стороны, подвижная пятка *2*, воспринимающая изменения размеров измеряемой детали, а с другой сто-

роны – переставная пятка *1*. Сбоку размещен упор *6*, положение которого можно менять. Движения подвижной пятки *2* передаются верхним торцом этой пятки измерительному наконечнику индикатора часового типа *4*. Плотность контакта подвижной пятки *2* с поверхностью измеряемой детали, введенной в рабочую выемку скобы, обеспечивается суммой сил упругости пружины *3* измерительного усилия и пружины *4* измерительного усилия индикатора часового типа.

Индикаторную скобу устанавливают на размер по аттестованному валику или БКМ, размер которого равен наибольшему предельному размеру измеряемой детали.

Таблица 21.10

Основные параметры индикаторной скобы

Диапазон измерения, мм	0…50, 50…100, 100…200, 200…300, 300…400, 400…500
Ход подвижной пятки, мм	3
Цена деления индикатора часового типа, мм	0,01

Эти скобы служат для измерения линейных размеров деталей цилиндрической формы в серийном производстве. Индикаторные скобы удобны в применении, производительны, но обладают относительно невысокой точностью – 10…15 мкм в диапазоне до 80 мм, 20…25 мкм в диапазоне до 200 мм и 40…60 мкм в диапазоне до 50 мм (РД50-98-86).

Чаще всего ими измеряют гладкие валы после токарной обработки резцами или после круглой шлифовки, но при допусках на размер не менее 0,05 мм.

21.9 Примеры выполнения измерений индикаторным и рычажно-зубчатым инструментом

Как оговаривалось выше, этот вид инструмента практически самостоятельного применения не имеет.

Индикаторные и рычажно-зубчатые головки выполняют измерения совместно с призмами, стойками, штативами, контрольными приспособлениями, служат отсчетными устройствами на металлорежущих станках.

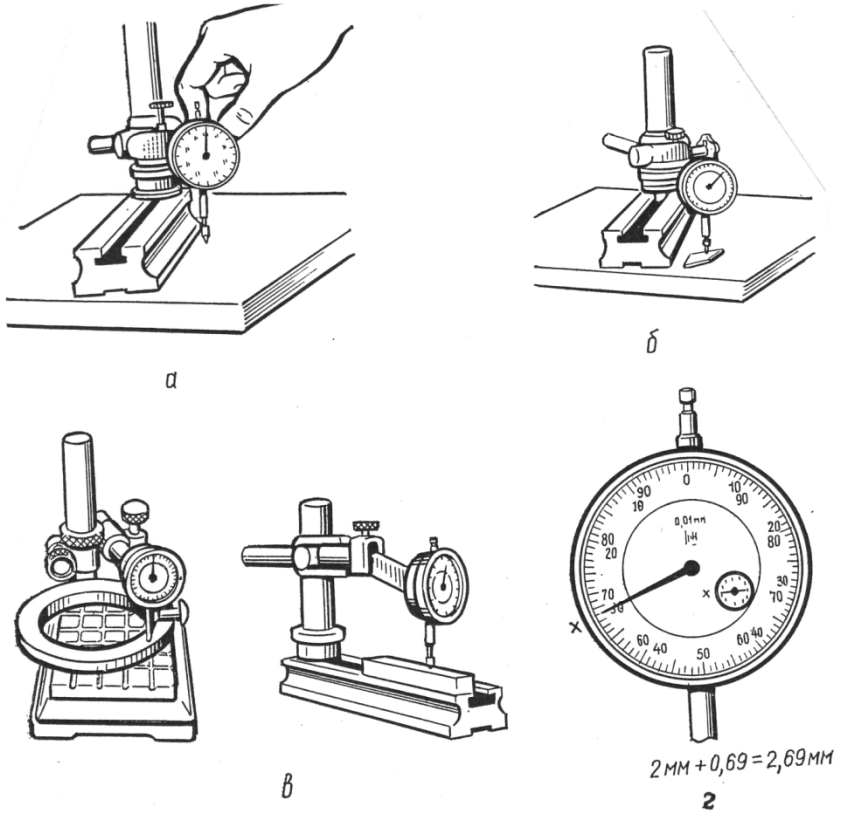
Следует учитывать, что у индикатора с ценой деления 0,01 мм, находящегося в эксплуатации, допускается погрешность на всем интервале с пределами от 0 до 5 мм – 0,016 мм и с пределами от 0 до 10 мм – 0,02 мм.

При перемещении детали относительно индикатора необходимо подымать измерительный стержень, доводя его наконечник до соприкосновения с деталью только в проверяемых точках. При проверке параллельности, а также высоты у небольших деталей можно использовать верхнюю плоскость основания, предварительно убедившись в ее исправности – отсутствия задиров и вмятин.

9.1 Измерения деталей с помощью штатива Ш-I, призмы на плите или со стойкой С-III

Измерение абсолютным методом

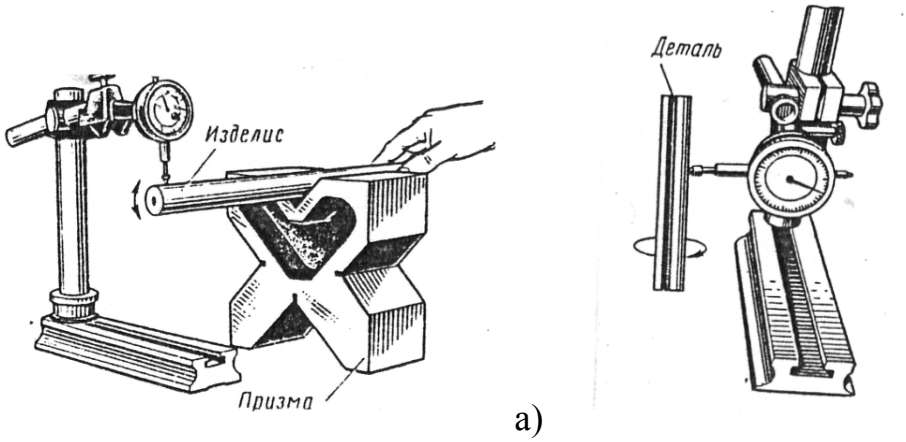
При проверке параллельности, а также высоты у небольших деталей (если размер детали не превышает пределов измерения по шкале).

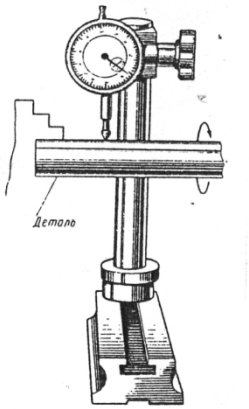


а – установка измерительной головки; *б* и *в* – измерение детали;
г – отсчет показаний.

Рис. 21.35 – Проверка параллельности

2 Проверка биения



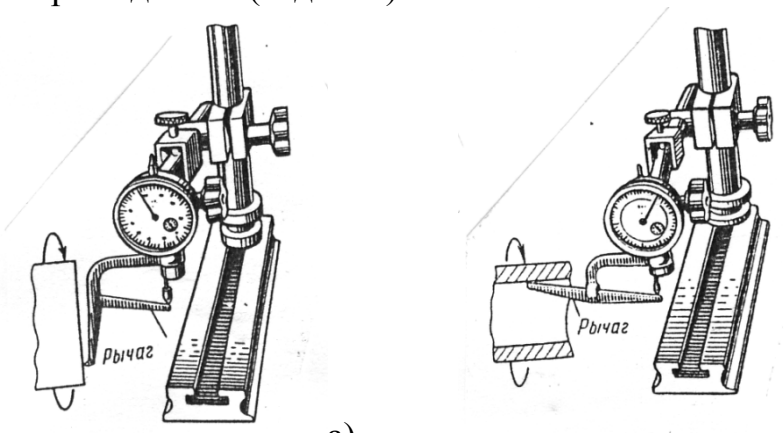


в)

а – в призме; б и в – на станке.

Рис. 21.36 – Проверка биения

Биение определяется наибольшей разностью показаний индикатора при одном обороте детали (изделия).

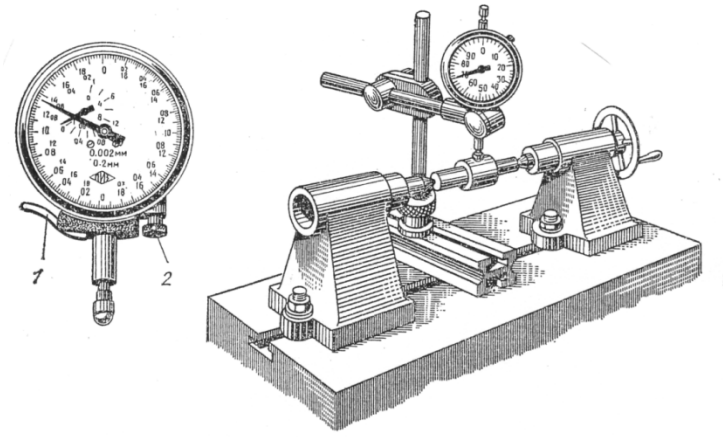


а) б)

а – проверка радиального и торцевого биения детали на станке; б – проверка радиального биения внутренней поверхности прямым рычагом.

Рис. 21.37 – Проверка радиального и торцевого биения

Проверка биения в центрах



б) а)

а – центра специальные со штативом Ш-I; б – индикатор многооборотный; *1* – арретир; *2* – винт установки стрелки в "0".

Рис. 21.38 – Проверка радиального биения в центрах

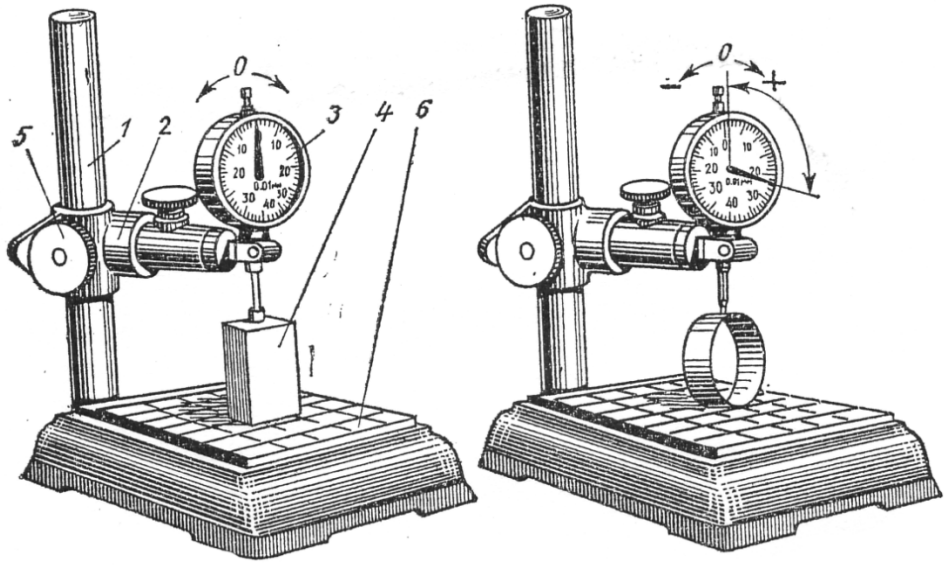
Проверка биения в центрах осуществляется в центрах ПБ-200, ПБ-500 или специальных центрах.

Если биение по чертежу больше 0,03-0,05 мм, применяют индикатор часового типа. Индикатор по малой шкале устанавливают на 1 мм, шкалу доворачивают до нулевого положения стрелки, арретируют и производят измерения. Максимальные отклонения в «плюс» и «минус» являются величиной биения.

При величине биения менее 0.3 мм используют индикаторную головку МИГ или ИГ (рис. 21.38, б). Ножкой головки касаются изделия и делают натяг 0,02-0,03 мм. Микровинтом 2 устанавливают нуль или удобное для отсчета деление шкалы. Арретиром 1 производят подъем и опускание измерительного стержня, корректируют нуль и производят измерения.

Относительные измерения

Измерения относительным методом более точные. При измерении размеров относительным методом на стол стойки С-III (рис. 21.38, а) или поверочную плиту (рис. 21.39, а) под измерительный наконечник индикатора (рычажно-зубчатой головки) помещается блок плоскопараллельных концевых мер длины, размер которого равен номинальному размеру измеряемой детали или же приблизительно равен одному из предельных размеров.



а – настройка индикатора на номинальный размер; б – измерение детали.

Рис. 21.39 – Измерение индикатором на стойке С-III

На стойку С-III устанавливают концевую меру длины (БКМ) *4*. Затем следует опустить кронштейн *2* с закрепленной измерительной головкой *3* по колонке стойки *1* так, чтобы измерительный наконечник коснулся поверхности меры, и стрелка отклонилась от крайнего положения. Опускать кронштейн следует плавно, не допуская удара измерительного наконечника о блок концевых мер.

Предварительное отклонение стрелки («натяг прибора») необходимо, чтобы в процессе измерения прибор мог показать как отрицательные, так и

положительные отклонения от начального положения при касании блока концевых мер. Поэтому значение натяга должно быть больше, чем допускаемые отклонения размера детали от номинального значения.

В момент касания измерительного наконечника блока мер, стрелка прибора начнет перемещаться по шкале вправо. Застопорить предварительно кронштейн *2* на колонке стопорной гайкой *5*.

Для измерительных головок ИГ постепенным перемещением кронштейна с головкой стрелка доводится примерно до нулевого деления шкалы. При доведении стрелки примерно до нулевого деления шкалы для измерительных головок типа МИГ, измерительному стержню сообщается натяг не менее 0,15 мм, а для головок ИРБ и ИРТ – натяг не менее 0,1 мм. Для индикаторов часового типа рекомендуется сообщать натяг измерительному стержню примерно 1 мм, чтобы измерения осуществлять на участке шкалы, имеющим нормированную погрешность показаний.

Блок концевых мер необходимо помещать на столике стойки так, чтобы середина меры лежала против оси измерительного стержня.

Далее следует закрепить измерительную головку, зажав винт крепления кронштейна на стойке, установив шкалу на нулевое положение, т.е. поворотом ободка (рис. 21.40, а), регулировочного винта *10* (рис. 21.15, б) индикаторной головки МИГ установить стрелку против нулевой отметки.

Для проверки постоянства показаний измерительной головки у индикатора часового типа необходимо два-три раза приподнять измерительный стержень за головку на высоту 2-3 мм и плавно опустить его, придерживая рукой, до упора наконечника в блок мер (рис. 21.40, б). Стрелка должна возвращаться на нулевой штрих при касании наконечником блока мер. У рычажно-зубчатых головок проверка постоянства показаний осуществляется арретированием измерительного стержня *4* (рис. 21.15, б). Если стрелка отклоняется от нулевого положения (допускается отклонение 0,5 деления), следует снова совместить с ней нулевой штрих и вновь путем подъема и опускания измерительного стержня проверить постоянство показаний индикатора. Подтянуть стопорные винты кронштейна и индикатора.

Прибор готов к измерениям. Вместо блока концевых мер установить деталь и снять показания. К размеру БКМ прибавить (отнять) показания индикатора и получим фактический размер детали.

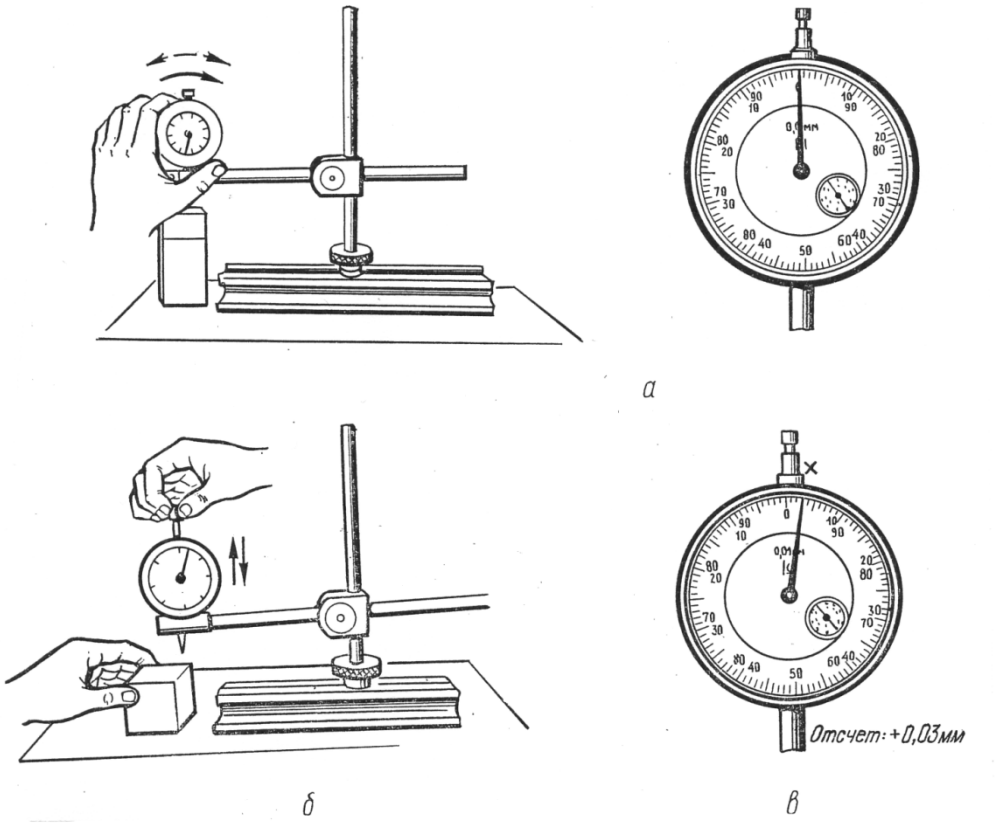


Рис. 21.40 – Настройки и измерение детали на поверочной плите индикатором часового типа и штатива Ш-1

3 Измерения с помощью индикаторов

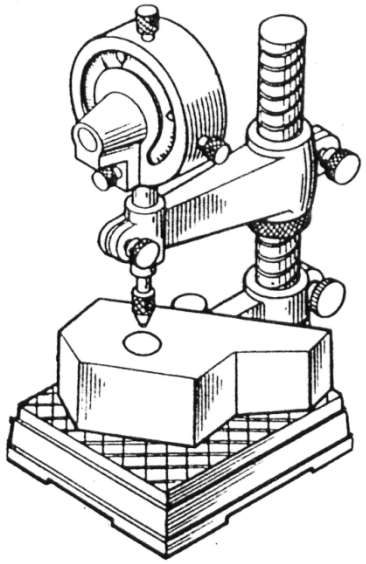


Рис. 21.41 – Измерения микатором ИПМ

Пружинные измерительные головки ИПМ – микаторы и ИРП - миникаторы настолько чувствительны и точны, что с их помощью можно измерить отклонения в долях микрометра.

Наиболее рационально применять пружинные измерительные головки для измерений различного рода биений: радиального и торцевого (при высо-

кой заданной точности). Это целесообразно потому, что у пружинных измерительных головок отсутствует погрешность обратного хода.

Широко распространено также применение этих головок для измерения линейных размеров высокой точности методом сравнения с мерой, измерения отклонений формы и расположения поверхностей.

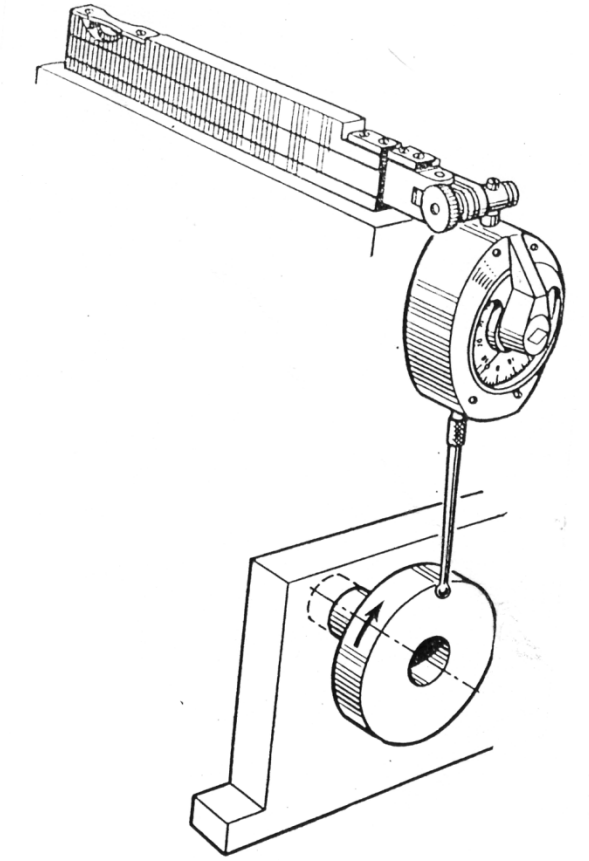


Рис. 21.42 – Контроль прецизионного торцевого биения микрокатором ИРП

4 Измерения нутромерами НИ

Настраиваем нутромер по установочной мере (кольцо установочное, блоку концевых мер со струбцинами или микрометру) на размер 100 мм (рис. 21.22, 21.23). При измерении диаметра нутромер устанавливаем в детали в трех положениях – 1, 0, 2 (рис. 21.25). При измерении диаметра отверстия изделия стрелка не дошла до нулевого штриха шкалы на 24 деления.

Отклонение от нуля принимают со знаком «+», т.к. стрелка не дошла до нуля. Отклонение Δ= +24х0,01 мм=+0,24 мм.

Действительный размер отверстия:

$Д_д = Д_н + Δ = 100+0,24 = 100,24$ мм.

5 Измерение глубиномером индикаторным

В зависимости от контролируемого размера выбирают сменный измерительный стержень (по маркировке) и ввинчивают в индикатор *3* (рис. 21.43).

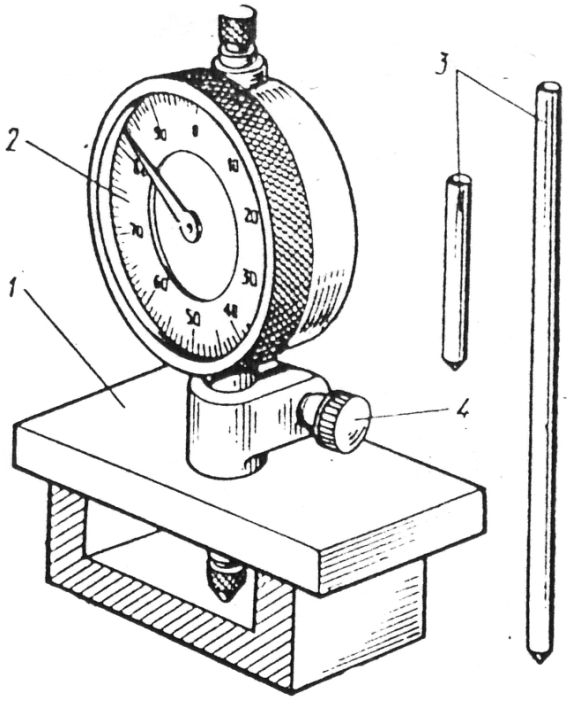


Рис. 21.43 – Измерение деталей индикаторным глубиномером

Индикатором *2* устанавливают на основание *1* и закрепляют стопорным винтом *4* гильзу измерительного наконечника.

Настройка глубиномера производится по двум концевым мерам (БКМ) одного размера.

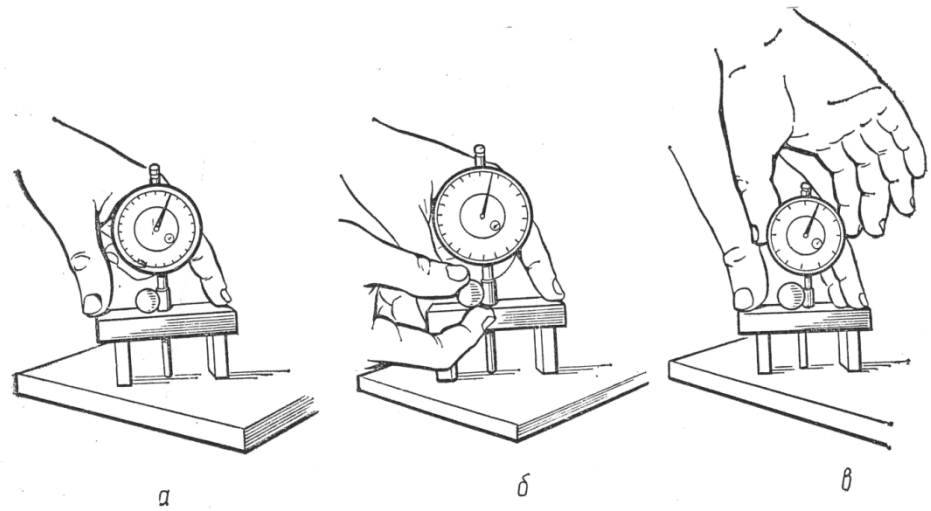


Рис. 21.44 – Настройка индикаторного глубиномера на контролируемый размер

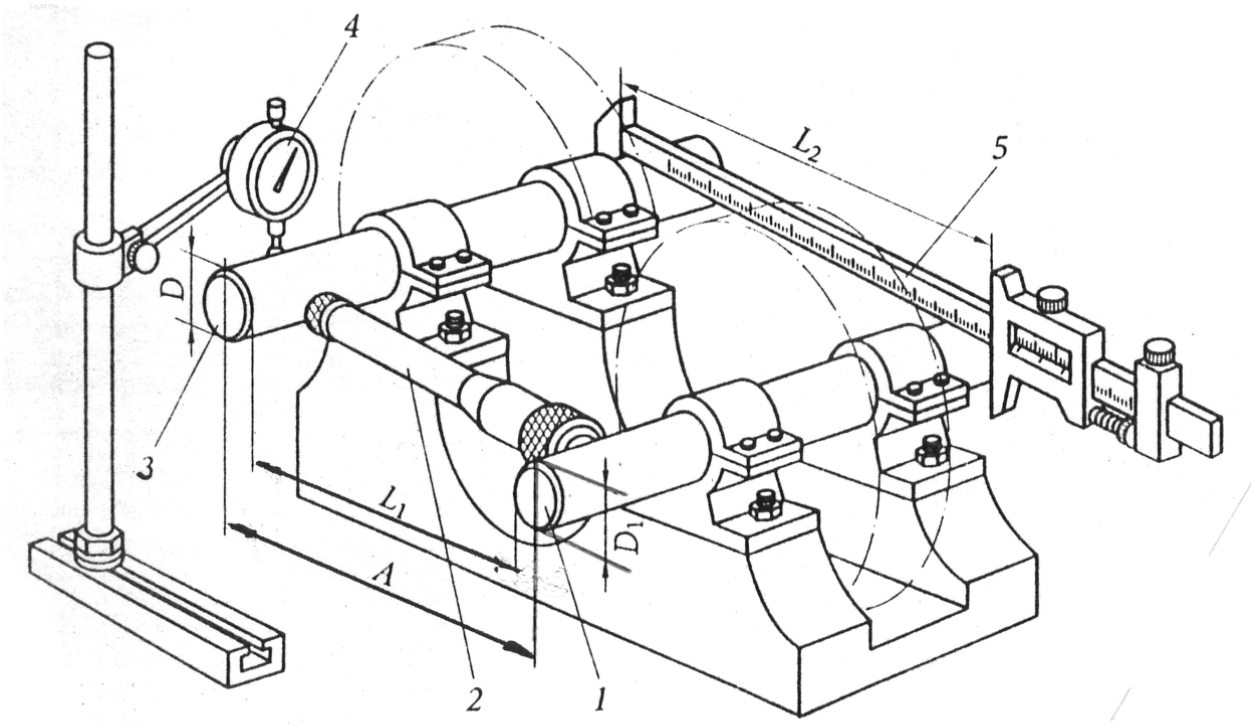
Два блока концевых мер длины устанавливают на поверочную плиту (рис. 21.44, *а*). Отжимают стопорный винт и с натягом 1 мм устанавливают измерительную ножку с индикатором и стопорят индикатор (рис. 21.44, *б*). Поворачивают ободок индикатора до совмещения нулевого штриха и стрелки (рис. 21.44, *в*). После этого производят измерения (рис. 21.43). При отклоне-

нии стрелки вправо показания индикатора добавляют к величине БКМ, при минусовом отклонении – вычитывают.

6 Контроль отверстий корпусных деталей

Контроль параллельности осей отверстий корпусной детали относительно друг друга и плоскости основания производится по схеме, приведенной на рис. 21.45.

Для контроля использован универсальный измерительный инструмент и аттестованные оправки по диаметру валов, обычно с конусностью 1:200.



1, 3 – аттестованный оправки; *2* – нутромер; *4* – индикатор часового типа на стойке; *5* – штангенциркуль; *D, D*$_1$ – диаметры оправок; *A* – межосевое расстояние; L_1, L_2 – расстояния между аттестованными оправками.

Рис. 21.45 – Схема контроля расстояния между осями валов цилиндрической зубчатой передачи

Контроль микрометрическим нутромером *2* (рис. 21.45) осуществляется в такой последовательности:

– устанавливают в отверстия корпусного узла аттестованные оправки *1* и *3*, диаметр которых равен номинальному диаметру контролируемых отверстий;

– измеряют расстояние между валами с помощью микрометрического нутромера *2* с обеих сторон узла;

– производят расчет межосевого расстояния *A* сначала с одной стороны узла, а затем – с другой по формуле

$$A = L_1 + (D + D_1) / 2, \quad (3)$$

где L_1 – расстояние между оправками, измеренное микрометрическим нутромером;

D, D_1 – их диаметры.

– сравнивают межцентровые расстояния с одной и с другой стороны корпусного узла, по их разности определяют величину отклонения от параллельности и сравнивают ее с данными чертежа на обработку и сборку.

Контроль штангенциркулем параллельности осей отверстий корпусного узла осуществляется в той же последовательности, что и контроль микрометрическим нутромером. Различие состоит в том, что расстояние между оправками измеряют по наружным поверхностям оправок, а расчет осуществляют по несколько измененной формуле:

$$A = L_2 - (D + D_1) / 2, \quad (4)$$

где L_2 – расстояние между оправками, измеренное штангенциркулем.

Контроль отклонения от перпендикулярности осей осуществляется с помощью штатива с индикатором часового типа 4. На одной из оправок устанавливают индикатор на ноль. Затем проверяют отклонения по концам оправок. Разница в показаниях является отклонением от перпендикулярности.

Заключение

В главе 24 рассмотрен весь измерительный инструмент на базе индикаторных, рычажно-зубчатых и пружинных головок. Применение описанного измерительного инструмента со вспомогательными средствами позволяет производственному персоналу производить измерения как в единичном, так и в массовом производстве, применять средства измерения при приеме продукции в производственных цехах, так и в термоконстантных помещениях лабораторий и лекальных отделений.

Выполнение метрологических норм и правил обеспечивает высокое качество продукции при использовании средств измерений на базе индикаторных, рычажно-зубчатых и пружинных головок.

Приложение 21.1

Технические характеристики, нормы точности и предельные погрешности измерения

Средства измерений	Тип, модель	ГОСТ, ТУ	Цена деления, мкм	Диапазон измерений, мкм	Предельно допустимые погрешности, мкм	Измерительное усилие сН	Вспомогательные средства при измерениях	Установочная мера	Температурный режим °С, диапазоны измерений, мм			Предельные погрешности измерения, мкм для диапазонов размеров, мм				
									1-30	30-120	120-180	до 30	30-120	120-180	180-315	315-500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Микаторы, измерительные головки, индикаторы																
Микрокатор	01 ИГП	ГОСТ 6933-81	0,10	8	**0,15**	150	Стойки С-1 ГОСТ 10192-20 присоединительный размер ∅ 28 мм	КМД раз 2	0,5	0,1	0,1	**0,35**	**0,5**	**0,5**	-	-
	02 ИГП		0,20	12	**0,20**	150		КМД раз 2	0,5	0,1	0,1	**0,4**	**0,5**	**0,6**	-	-
	05 ИГП		0,50	30	**0,40**	150		КМД раз 2	1	0,2	0,2	**0,5**	**0,6**	**0,7**	-	-
	1 ИГП		1,0	60	**0,60**	200		КМД класс 1	2	0,5	0,2	**1,0**	**1,2**	**1,2**	-	-
	2 ИГП		2,0	120	**1,2**	?		КМД класс 2	2	1	0,5	**1,5**	**9**	**9**	-	-
	5 ИГП		5,0	300	**3,0**	300		КМД класс 3	5	5	2	**5,0**	**9**	**9**	-	-
	10 ИГП		10,0	600	**5,0**	300		КМД класс 4	5	5	2	**7**	**10**	**10**	-	-
Микатор	0,2-ИПМ	ГОСТ 14712-85	0,2	20	**0,3**	100	Стойки С-III, С-IV, штатив Ш-1 Присоединительный р-р ∅ 8 мм	КМД класс 2	1	0,5	0,2	**0,6**	**0,7**	**0,7**	**1,2**	**1,7**
	0,5 - ИПМ		0,5	50	**0,5**	150		КМД класс 3	2	0,5	0,2	**0,9**	**1,1**	**1,1**	**1,8**	**2,8**
	1-ИПМ		1,0	100	**1,0**	150		КМД класс 2	2	1	0,5	**1,5**	**2,0**	**2,0**	**4**	**5,5**
	2-ИПМ		2,0	200	**2,0**	150		КМД класс 3	5	2	1	**3,0**	**4,5**	**4,5**	**7,5**	**10**
Оптикатор	01 П	ГОСТ 10593-74	0,1	24	± **0,05**	150	Стойки С-I, Присоединительный р-р ∅ 28 мм	КМД разр. 2	0,5	0,1	0,1	**0,3**	**0,4**	**0,4**	-	-
	02 П		0,2	50	± **0,1**	150		КМД разр. 2	0,5	0,1	0,1	**0,3**	**0,4**	**0,4**	-	-
	05 П		0,5	100	± **0,2**	150		КМД разр. 2	1	0,5	0,2	**0,5**	**0,6**	**0,8**	-	-

Продолжение таблицы 21.1

Средства измерений	Тип, модель	ГОСТ, ТУ	Цена деления, мкм	Диапазон измерений, мкм	Предельно допустимые погрешности, мкм	Измерительное усилие сН	Вспомогательные средства при измерениях	Установочная мера	Температурный режим °С, диапазоны измерений, мм			Предельные погрешности измерения, мкм для диапазонов размеров, мм				
									1-30	30-120	120-180	до 30	30-120	120-180	180-315	315-500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Головка рычажно-зубчатая	1 ИГ	ГОСТ 18833-73	1,0	± 50	± 0,7	150		КМД класс 3	2	1	0,5	**2,0**	**2,5**	**2,5**	**2,8**	-
	2 ИГ		2,0	± 100	± 1,2	150		КМД класс 4	5	2	1	**3,5**	**4,5**	**5,0**	**6**	-
Индикатор многооборотный	1 МИГ	ГОСТ 9696-82	1,0	0-1000	1,8	200	Стойки С-III, С-IV штативы Щ9Ш-1, Ш-III, ШМ-1, контрольные приспособления	КМД Класс 2	5	1	0,5	**3,0**	**3,5**	**3,5**	**4,0**	-
	2 МИГ		2,0	0-2000	3,5	200		КМД класс 4	5	5	2	**6**	**10**	**10**	**12**	-
Индикатор часового типа	ИЧ 02	ГОСТ 577-68	10	0-2 мм	12	150		КМД Класс 5	5	5	5	**10**	**12**	**12**	**18**	**22**
	ИЧ 10		10	0-10 мм	20							**16**	**20**	**22**	**30**	**40**
	ИЧ 25		10	0-25 мм	30			Установочные меры, абсолютные измерения				**18**	**22**	**24**	**35**	**45**
	ИЧ 30	ТУ завода ГЦТУЛЗ	10	0-30 мм	30							Данных не имеется				
	ИЧ 50		10	0-50 мм	40											
	ИЧ 100		10	0-100 мм	50											
Индикатор рычажно-зубчатый	ГИРБ	ГОСТ 16924-11	2,0	0,16	4,0	70	Присоединительный р-р ∅ 4 мм	-				Погрешность зависит от точности базирования				
	ИРБ	ГОСТ 5584-75	10	80	5,0	40										
	ИРТ		10	80	10,0											

Примечания:

1. Предельно допустимые погрешности согласно требований ГОСТов на изготовление СИ, предельные погрешности измерения – согласно рекомендаций РД 50-98-86 МУ "Выбор универсальных СИ линейных размеров до 500 мм."
2. Предельно допустимые погрешности взяты по 1 классу изготовления.
3. На установочную меру (блок концевых мер длины), указанную по разряду следует учитывать по праву согласно аттестата поверки.

Приложение 21.2

Технические характеристики, нормы точности и предельные погрешности измерения нутромеров

Наименование нутромера, ГОСТ	Тип, модель	Диапазон измерения (мм)	Цена деления шкалы (мм)	Сила измерения сН прибора мостика	Участок с нормиров. погрешностью	Допустимая погрешность в мм	Наибольшая глубина измер.	Условия настройки на размер	Температурный режим, С для диапазона измерения, мм		Предельные погрешности измерения, мкм для диапазонов, мм				
									3-120	120-500	св. 3 до 18	Св. 18 до 50	Св 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Нутромер 4-х точечный с головкой ИГ ГОСТ 9244-25	116	2-3	0,001	300	Любой 0,05 мм до нулевого штриха	± 0,0018	12	Нутромеры на точечные мод. 116,103, 104 устанавливаются по установочным кольцам	3	2	0,0035	-	-	-	-
	103	3-6	0,001			±0,0018	20								
	104	6-10	0,001			±0,0018	50								
Нутромер 4-х точечный с головкой 2ИГ	106	10-18	0,002	400 -	Любой 0,1 мм до нулевого штриха	±0,0035	100	Нутромеры мод. 106, 109, 154, 155, 156 устанавливаются на «0» по КМД класса 1 в струбцине	3	2	0,0035	-	-	-	-
Нутромер мостиковый с головкой 2 ИГ ГОСТ 9244-25	109	18-50	0,002	450 500-950		±0,0035	150		3	2	0,0035	0,005	-	-	-
	154	50-100	0,002	700 750-1200		±0,004	200				0,0035	0,005	0,006	-	-
	155	100-160	0,002	900		±0,004	300				0,0035	0,005	0,006	0,007	-
	156	160-260	0,002	950-1600		±0,004	300				0,0035	0,005	0,006	0,007	-
Нутромеры мостиковые по ГОСТ 868-82	НИ-10	6-10	0,01	250-450 500-850	Любой 1 мм	0,005	100	БКМ 1 класса с боковичками и струбциной	3	2	0,005	-	-	-	-
	НИ-18	10-18					130				0,005	-	-	-	-
	НИ-50	18-50					150				0,005	0,005	-	-	-
	НИ-100	50-100		400-200		0,010	200				0,005	0,005	0,01	-	-
	НИ-160	100-160		250-1200			300				0,005	0,005	0,01	0,01	-
	НИ-250	160-250	0,01	400-700 750-1200	Любой 1 мм	±0,015	400	Концевые меры длины 3 класса с боковичками и струбциной	-	2	-	-	-	0,015	-
	НИ-450	250-450		500-900 950-1600		±0,022	500		-	2	-	-	-	-	
	НИ-700	450-200				±0,022	Не ограничена		-	2	Данных не имеется				
	НИ-1000	700-1000				±0,022			-	2	Данных не имеется				

Продолжение таблицы 21.2

Наименование нутромера, ГОСТ	Тип, модель	Диапазон измерения (мм)	Цена деления шкалы (мм)	Сила измерения сН прибора мостика	Участок с нормиров. погрешностью	Допустимая погрешность в мм	Наибольшая глубина измер.	Условия настройки на размер	Температурный режим, С для диапазона измерения, мм		Предельные погрешности измерения, мкм для диапазонов, мм				
									3-120	120-500	св. 3 до 18	Св. 18 до 50	Св 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Нутромеры с головкой 1 ИГ по ГОСТ 9244-75	103	3-6	0,001	300 -	Любой 0,05 мм от нулевого штриха	± 0,0018	20	БКМ 1 класса с боковичками или установочными кольцами до 160 мм	3	2	0,0035	-	-	-	-
	104	6-10		350 -			30				0,0035	-	-	-	-
Нутромеры с головкой 2 ИГ по ГОСТ 9244-75	106	10-18	0,002	400 -	Любой 0,1 мм до нулевого штриха	±0,0035	50		3	2	0,0035	-	-	-	-
	109	18-50		450 500-350			150		3	2	-	0,0035	-	-	-
	154	50-100		700 750-350		±0,004	200		3	2	-	-	0,0045	-	-
	155	100-160		900 950-1600			300		3	2	-	-	-	0,0065	-
	156	160-260						Настройка по установочной мере	3	2	-	-	-	-	0,009

Примечания:

1. Предельно допустимые погрешности согласно требований ГОСТов на изготовление СИ, предельные погрешности измерения – согласно рекомендаций РД 50-98-86 МУ «Выбор универсальных СИ линейных размеров до 500 мм.
2. Предельно допустимые погрешности взяты по 1 классу изготовления, для нутромеров НИ 450, НИИ 1000 – по второму классу точности согласно ГОСТ 868-82.

Контрольные вопросы

1. На какие виды распределяется измерительный инструмент на базе измерительных головок?
2. Чем различаются индикаторы ИЧ, ИГ, МИГ?
3. Назначение и устройство индикаторных нутромеров НИ?
4. Особенности настройки и измерения индикаторных нутромеров различных типов.
5. Какие типы специальных индикаторных головок?
6. Принципы настройки индикаторных головок при измерениях.

Глава 22 Микрометрические средства измерений

Микрометрическими средствами измерений называют средства измерений линейных размеров, основанные на использовании винтовой пары, называемой микропарой. Микропара служит размерным и преобразовательным устройством в микрометрических измерительных инструментах.

К числу микрометрическим средствам измерений относят:

- микрометры гладкие;
- микрометры резьбовые;
- микрометры со вставками;
- микрометры листовые;
- микрометры нормалемеры;
- микрометрические глубиномеры;
- микрометрические нутромеры;
- рычажные микрометры;
- микрометры для измерения проволоки;
- микрометрические головки;
- настольные микрометры;
- специальный микрометрический инструмент.

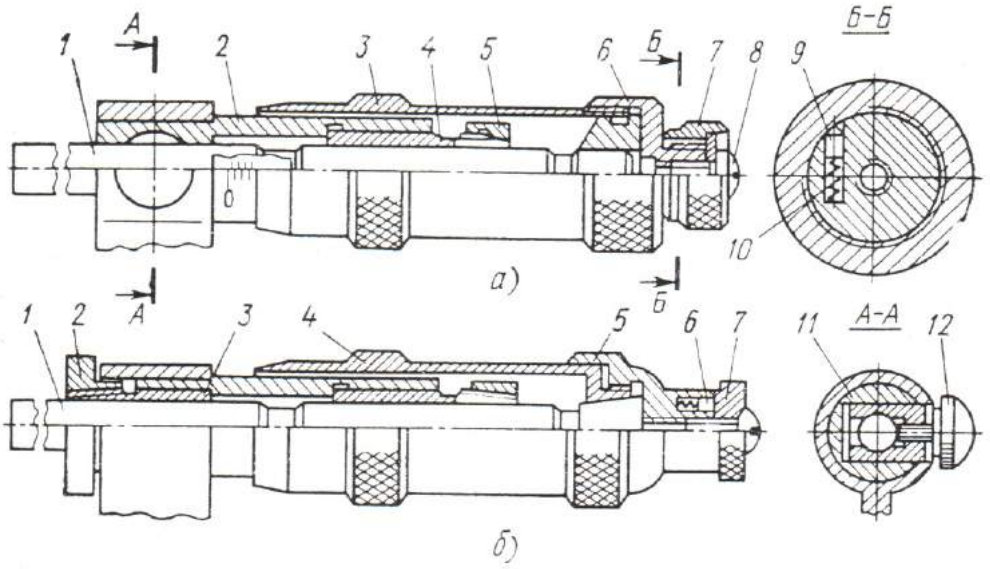
Микрометрическим измерительным инструментом осуществляются измерения абсолютным (до 25 мм) и относительным методом.

Микрометры изготавливаются по ГОСТ 6507-90.

22.1 Устройство микрометрической головки

Микрометрические головки могут иметь различную конструкцию. На рисунке 22.1, а показана микрометрическая головка, которой оснащают микрометры с верхним пределом измерения до 100 мм.

Микрометрический винт *1* проходит через гладкое направляющее отверстие стебля *2* и ввинчивается в разрезную цанговую микрогайку *4*, которая стягивается регулирующей гайкой *5* так, чтобы устранить зазоры в винтовой паре. Этот принцип используют лекальщики. При измерениях микрометром в одном диапазоне происходит выработка микрометрической пары. Для устранения выработки, подтягивая гайку *5*, осуществляется доводка пары, устраняя выработку на отдельном участке.



а – до 100 мм; б – свыше 100 мм.

Рис. 22.1 – Микрометрические головки микрометров с диапазоном измерений

На микровинте установочным колпачком *6* закреплен барабан *3*. Палец *9*, помещенный в глухое отверстие колпачка, прижимаемый пружиной *10* на колпачке винтом *8*. При вращении трещотка *7*, которая крепится на колпачке винтом *8*, при вращении передает микровинту через палец вращающий момент, обеспечивающий измерительное усилие 5…9 Н. Если измерительное усилие больше, то трещотка проворачивается с характерными щелчками. Винт *12* ввинчивается во втулку *11* и фиксирует микровинт в требуемом положении.

Микрометрические головки микрометров с нижним пределом измерений свыше 100 мм в соответствии с рисунком 5.7.1, б имеют несколько отличительное устройство. Микровинт *1* стопорится гайкой *2*, которая зажимает разрезную втулку *3*. Барабан *4* затягивается установочным колпачком *5* на конусную поверхность микровинта. Палец *6* прижимается к торцовой зубчатой поверхности трещотки *7*.

Установка микрометрических головок на нуль осуществляется в следующем порядке:

а) устанавливают микрометр в исходное положение;

б) закрепляют микровинт стопором;

в) отворачивают установочный колпачек на пол-оборота;

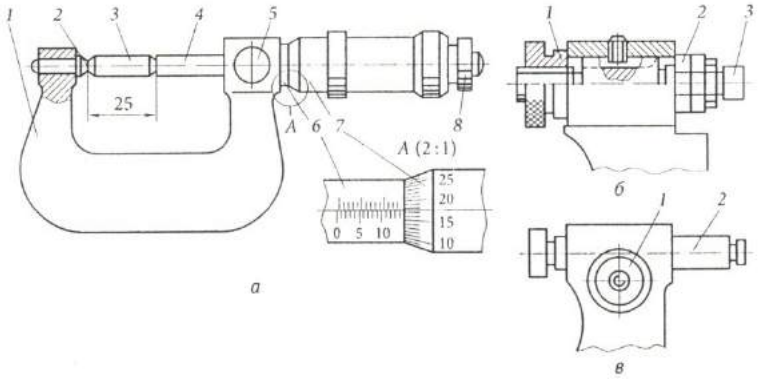
г) барабан поворачивают до совпадения нулевого штриха круговой шкалы на барабане с продольным штрихом на стебле;

д) закрепляют барабан колпачком;

е) освобождают микровинт;

ж) проверяют установку микрометра на нуль и в случае несовпадения нулевого штриха на барабане с продольным штрихом на стебле повторяют операции в той же последовательности.

22.2 Микрометры гладкие



а – устройство: *1* – скоба; *2* – пятка; *3* – установочная мера; *4* – микрометрический винт; *5* – стопор; *6* – стебель; *7* – барабан; *8* – трещотка; *б* – сменная пятка в сборе: *1, 2* – гайки; *3* – пятка; *в* – регулируемая пятка в сборе: *1* - фиксатор; *2* – пятка.

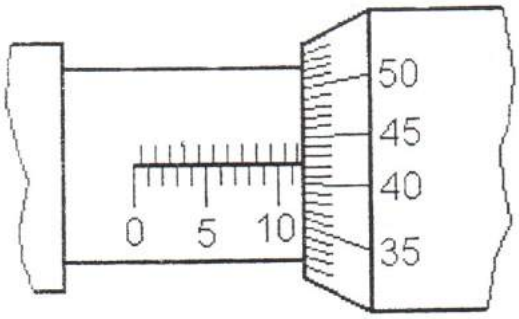
Рис. 22.2 – Гладкий микрометр МК

Микрометры гладкие МК показанные на рис. 22.2 предназначены для измерения наружных размеров до 300 мм в пределах 25 мм, с 300 до 600 мм – в пределах 50 мм. Дополнительно 50 мм достигается перемещением пятки. К основным деталям гладкого микрометра относятся: скоба *1*, пятка *2*. До 300 мм пятка запрессована в скобу. Свыше 300 мм оснащаются сменными пятками или передвижными, обеспечивающими диапазон измерений 100 мм. Передвижная пятка *2* крепится в требуемом положении фиксатором *1*, а сменная пятка *3* – гайками *1* и *2*. Перед измерением микрометр устанавливают в исходное (нулевое) положение, при котором пятка и микровинт прижаты друг к другу или к поверхности установочной меры *3* под действием силы, обеспечиваемой трещоткой.

С другой стороны скобы *1* впрессован стебель микрометрической головки. На стебле вдоль продольного штриха нанесена основная шкала через один миллиметр. Верхняя шкала смещена относительно нижней на 0,5 мм. Нижняя шкала оцифрована через 5 мм: 0, 5, 10, 15, 20, 22. Микрометры с пределами измерений на стебле имеют вместо нуля оцифровку 50, 75, 100 и так далее. К каждому микрометру прикладывается установочная мера *3* с размером соответственно равным номинального размера измерения микрометра.

На стебле совместно с микрометрическим винтом вращается барабан *7*. На коническом срезе барабана нанесено 50 делений круговой шкалы с ценой деления, равной с=0,01 мм. При одном обороте барабана микровинт *4* перемещается на одно деление основной шкалы. Торец барабана является указателем для основной шкалы, а продольный штрих на стебле - указателем для круговой шкалы. При измерениях к отсчету по основной прибавляют отсчет по круговой шкале, равный произведению цены деления с на число делений, находящихся напротив продольного штриха. В соответствии с рис. 22.2, а: l=14+0,01×18=14,18 мм. Если виден штрих верхней шкалы, производится сложение: к числу делений нижней шкалы (целые миллиметры) прибавляют 0,5 мм верхней шкалы и число делений барабана умноженное на цену деле-

ния с=0,01 мм.

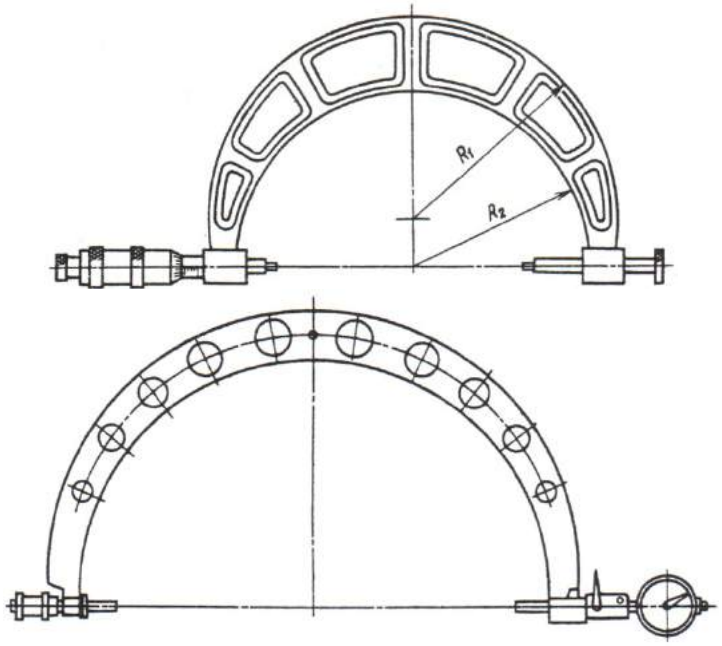


l=11+0,5+0,425=11,925 мм – отсчет по прибору

Рис. 22.3 – Схема снятия показаний с микрометра

22.3 Микрометры гладкие дуговые

Микрометры гладкие дуговые показанные на рис.22.4 имеют облегченную дуговую форму скобы. А с предела измерений с 300 мм отличительную конструкцию пяток показанные на рис. 22.2, б и в.



а – с микрометрической головкой и сменной пяткой; б – с микрометрической головкой и индикатором.

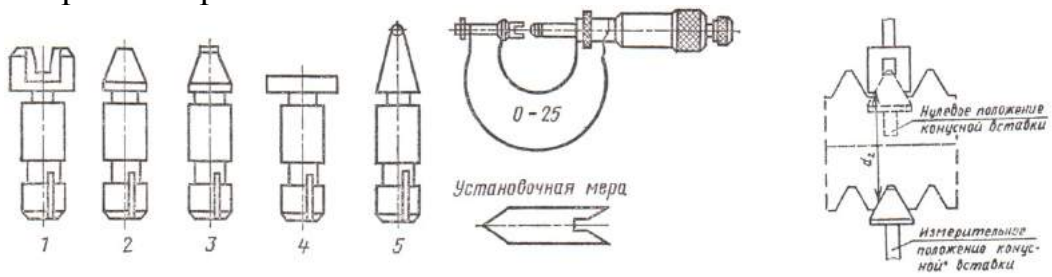
Рис. 22.4 – Микрометры дуговые

22.4 Микрометры резьбовые МВМ

Резьбовые микрометры применяются для измерения среднего диаметра треугольной (метрической – угол 60˚ и дюймовой – 55˚) резьбы (d_2). Пределы измерения через 25 мм до 350 мм. Резьбовой микрометр отличается от гладкого тем, что пятка и стержень микрометрического винта снабжены отверстиями, в которые устанавливаются призматические и конические вставки *1* и *2* с углами равными углу профиля резьбы. Чтобы вставки не выпадали, их хвостики имеют прорези. К каждому микрометру прилагают комплект вставок и установочную меру *3* для измерения резьбы в определенном интервале шагов.

В зависимости от измеряемого шага резьбы, выбранные из набора призматические вставки, ставят в отверстие пятки, а конические – в отверстие микрометрического винта.

Перед началом измерений в соответствии с рис. 22.5 установочной мерой отводят микровинт и проверяют установку микрометра в «нулевое» положение. Затем одну из вставок (призматическую) устанавливают выступ резьбы, а другую в канавку резьбы, при этом микрометр располагают перпендикулярно от резьбы, вращая барабан «трещоткой» подводят вставки до упора поверхности резьбы.



Резьбовые вставки: *1* – призматическая; *2* – коническая; *3* – укороченная; *4* – плоская; *5* – шаровая

Рис. 22.5 – Схема измерения резьбовым микрометром

Измерение резьб описаны в разделе 2.4 «Методы контроля метрической резьбы».

22.5 Микрометры листовые МЛ

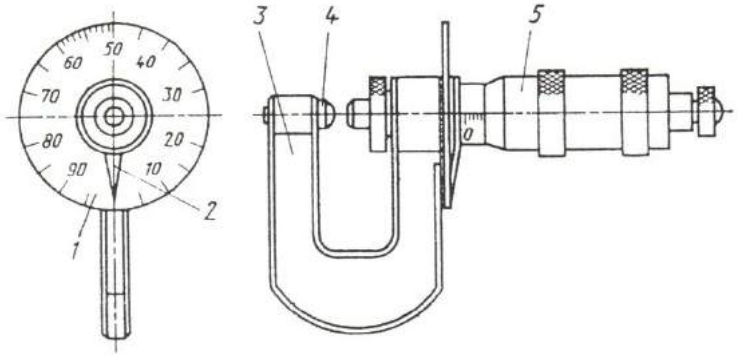


Рис. 22.6 – Микрометр листовой

Микрометр листовой, показанный на рис. 22.6, применяют для измерения толщины листов и лент с верхними пределами измерения 5; 10; 25 мм.

К отличительным особенностям относится увеличенный вылет скобы *3*, сферическая измерительная поверхность пятки *4*, отсчетное устройство, выполненное в виде неподвижного циферблата *1* и стрелки *2*, вращающейся вместе с барабаном *5*.

22.6 Микрометры трубные МТ

Микрометр трубный, показанный на рис. 22.7, используют для измерения толщины стенок труб с внутренним диаметром 12 мм и более. Выпуска-

ется одного типоразмера – 25 мм.

У них пятка 2 имеет сферическую форму, а скоба 1 в месте крепления пятки сделана тонкой для измерения труб небольшого диаметра.

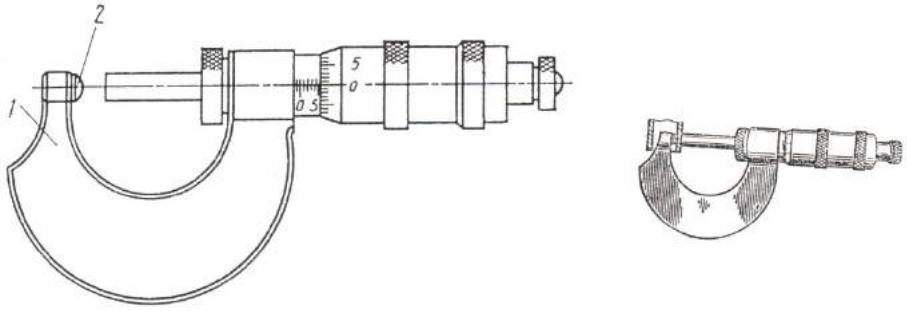


Рис. 22.7 – Микрометр трубный

22.7 Микрометрические головки МГ

Устройство микрометрической головки описано в начале раздела.

Головки выпускаются с верхним пределом измерений 15; 25; 50 мм, отсчет по барабану 50 делений и 100 делений. С увеличенным числом делений на барабане микрометрическими головками комплектуются микроскопы инструментальные, настольные микрометры, механические высотомеры.

22.8 – Микрометры настольные

Микрометры настольные, показанный на рис. 22.6, предназначены для измерения деталей небольшой жесткости. Известны следующие типы настольных широко распространенных микрометров: МГ с головкой микрометрической, расположенной горизонтально; МВ с вертикальной микроголовкой; МН (ГОСТ 10388-81) стрелочным отсчетным устройством и силой измерения не более 50±20 сН и МН-2 со стрелочным отсчетным устройством с силой измерения не более 200±50 сН.

Настольный микрометр МГ показанные на рис. 22.8, *а, б*; МВ показанный на рис. 22.8, *в*; МН-1 и МН-2 показанные на рис. 22.8, *г* имеют регулируемые по высоте столики для установки на них измеряемых изделий.

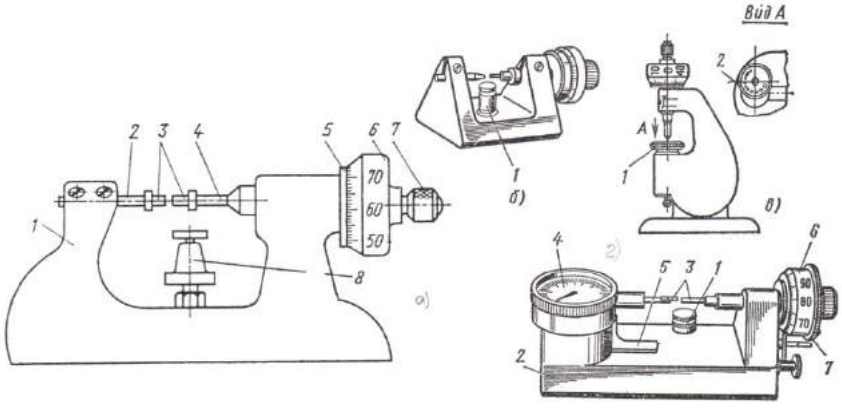


Рис. 22.8 – Настольные микрометры

22.8.1 Устройство микрометра МГ

В соответствии с рис. 22.8 микрометр имеет жесткое стационарное ос-

нование *1*, пятку *2*, измерительные наконечники *3*, микровинт *4*, стебель *5*, барабан *6*, у которого с=0,01 мм и n=100, а также трещотку *7* и измерительный стол *8*. Сменные измерительные стержни крепятся к пятке и микровинту с помощью винтов. Они имеют различные формы измерительных поверхностей: плоские, тарельчатые, ножевидные. Пятка может переставляться на 10 мм в зависимости от размера детали.

Конструкция микрометрической головки унифицирована.

На стебле *5* микрометрической головки нанесены миллиметровые деления с продольной линией, а на барабане *6* – деления с ценой 0,01 мм. Начальные штрихи на шкалах и штрихи, соответствующие каждому пятому миллиметру на шкале стебля и каждому десятому делению на шкале барабана, удлинены и у них нанесены цифры. Кроме того, каждый пятый штрих барабана удлинен.

Осевое перемещение микрометрического винта при его вращении через фрикционное устройство *7* передается на измерительный стержень *4*, который благодаря шпонке перемещается без вращения в осевом направлении. Описанное устройство предохраняет измеряемую деталь, расположенную на измерительном столике *1*, от поворота и изменения заданного первоначального положения.

На конце измерительного стержня закреплен измерительный наконечник *3* с измерительной поверхностью различной формы, позволяющей измерять пазы, элементы зубчатых мелкомодульных колес и фрез и т. д.

Столик *1* вертикального настольного микрометра в соответствии с рис. 22.8, *в* имеет поворотный диск *2*.

Настольные микрометры типов МН-1 и МН-2 в соответствии с рис. 22.8, *г* снабжены рычажно-зубчатой головкой *4*, которая установлена в корпусе *2* соосно с микрометрической головкой.

Таблица 22.1

Характеристики микрометров настольного типа
(ГОСТ 10388-81)

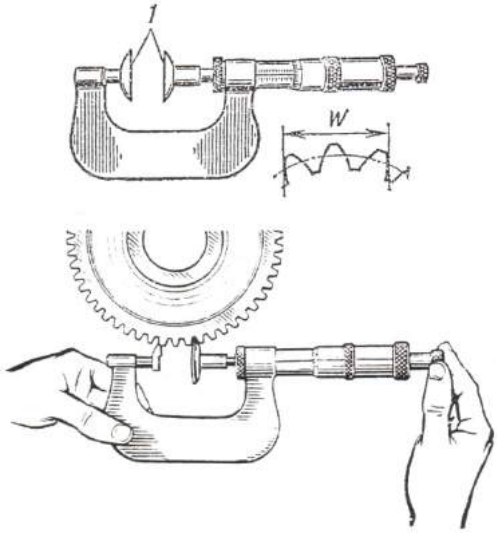
Тип	Диапазон измерения	Предельная погрешность
МГ горизонтальный	0-20	±0,002 мм на участке шкалы до 3 мм
МВ вертикальный	0-10	±0,003 мм – свыше 3 мм
МН-1 и МН-2	0-10	±0,002

22.9 – Микрометры зубомеры (нормалемеры) МЗ

Микрометр зубомерный, показанный на рис. 22.9 служит для измерения длины общей нормали зубчатых колес с модулем от 1 мм. Отличительной особенностью являются тарельчатые насадки на пятке и микровинте. Номинальный диаметр измерительных поверхностей пятки и измерительной губки микрометра должен быть не менее 30 мм. Допускается изготовление пятки со срезанной измерительной поверхностью. Микрометры-зубомеры выпускаются с пределами измерения 25; 50; 75; 100 мм.

Установочные меры – плоскопараллельные концевые меры длины

класса точности 3 по ГОСТ 9038.



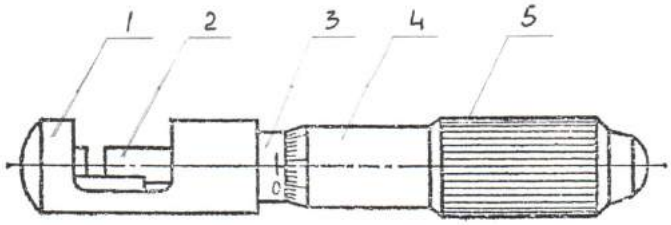
1 – насадки дисков

Рис. 22.9 – Микрометр зубомерный

22.10 Микрометры для измерения толщины проволоки МП

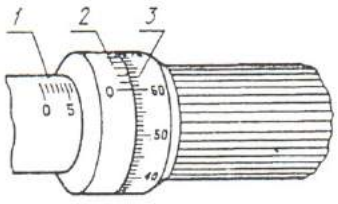
Показанные на рис. 22.10 микрометры предназначены для измерения толщины проволоки с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения до 10 мм.

Микрометры выпускаются со значением отсчета по конусу 0,001 мм – при отсчете показаний по шкалам стебля и барабана с конусом, в соответствии с рис. 22.11.

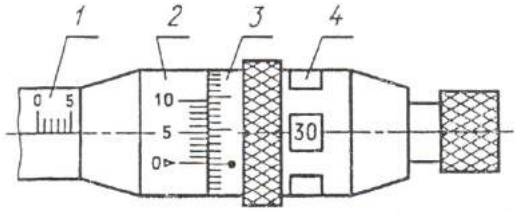


1 – корпус; *2* – микрометрический винт; *3* – стебель; *4* – барабан; *5* – трещотка (фрикцион)

Рис. 22.10 – Микрометр МП



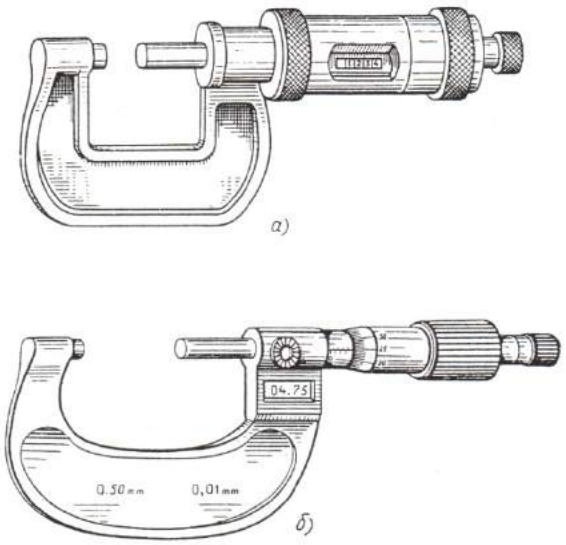
1 – стебель; *2* – нониус; *3* – барабан



1 – стебель; *2* – нониус; *3* – барабан; *4* – цифровое отсчетное устройство

Рис. 22.11 – Схема ноиусов микрометров с ценой деления 0,001 мм

ГОСТ 6507-90 предусматривает выпуск микрометров, показанный на рис. 22.12 с шагом дискретности 0,001 мм – при отсчете показаний по электронному цифровому отсчетному устройству и шкалам стебля и барабана.



а – в стебле; *б* – в скобе

Рис. 22.12 – Микрометры с цифровым отсчетом

22.11 – Микрометрические глубиномеры

Основанием микрометрическом глубиномера, показанного на рис. 22.13 является поперечина *5*, в которую запрессован стебель *3* со шкалой. В стебле *3* запрессована микрогайка, в которую ввинчен микровинт, совместно они образуют микропару, такую же, как и в микровинте гладком. На микровинте глубиномера укреплен барабан *2* со шкалой, а на барабане размещена трещотка *1*. В процессе измерения требуемое положение микровинта и барабана фиксируется стопором *4*.

При вращении барабана *2* вместе с ним вращается и микровинт, который ввинчивается в микрогайку, причем он выдвигается из основания-поперечины *5* на требуемую глубину. Глубиномер устанавливается на нуль по установочным мерам – втулкам *6* на плоской стеклянной пластине или другой точной плоской поверхности.

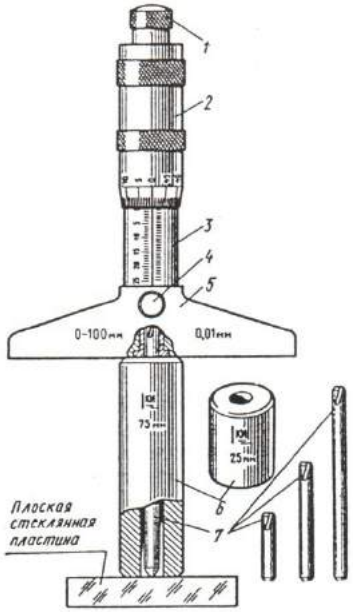


Рис. 22.13 – Микрометрический глубиномер

В торце микровинта глубиномера выполнено отверстие, в которое вставляются сменные измерительные стержни *7*. Особенность микрометрического глубиномера заключается в том, что числовые метки штрихов стебля расположены так, что при удалении измерительного стержня *7* от поперечины *5* отсчет по шкале увеличивается, т. к. соответственно увеличивается глубина измеряемого несквозного отверстия. Обратите внимание: направления возрастания отсчета по шкале стебля глубиномера и гладкого микрометра противоположны потому, что на микрометре при удалении от места запрессовки стебля в скобу размеры детали увеличиваются.

Таблица 22.2

Основные параметры микрометрического глубиномера

Пределы измерения, мм	0…25;	0…50;	0…75;	0…100
Цена деления шкалы барабана, мм	0,01			
Число сменных стержней в зависимости от пределов измерений		2	3	4
Размеры установочных втулок, мм	25	50		75

Микрометрические глубиномеры применяются для измерения глубины выемок и высоты уступов в деталях машин.

22.12 – Микрометрический нутромер

Микрометрический нутромер, показанный на рис. 22.14 состоит из двух основных частей – микрометрической головки и удлинителя. Микрометрическая головка, показанная на рис. 22.14, *а* имеет стебель со шкалой *5* такой же, как на стебле гладкого микрометра. В стебле нутромера с одной стороны расположена микропара *8* и микрогайка *9*. На микровинте расположен барабан *7*, закрепленный контргайкой *10*. Требуемое положение барабана *7* фиксируется стопором *6*. В стебле *5* с другой стороны микроголовки расположено отверстие с резьбой, в которое ввинчивается измерительный наконечник *4* или удлинитель как показано на рис. 22.14, *б*.

Удлинитель и измерительный наконечник состоят из корпуса-трубки *1*, измерительного стержня *3* и пружины контакта *2*.

Микрометрические нутромеры выпускают в виде наборов микрометрических головок с измерительными наконечниками и удлинителей различных размеров. Микрометрическая головка устанавливается в положение по прилагаемой к каждому набору мере-скобе как показано на рис. 22.14, *в*.

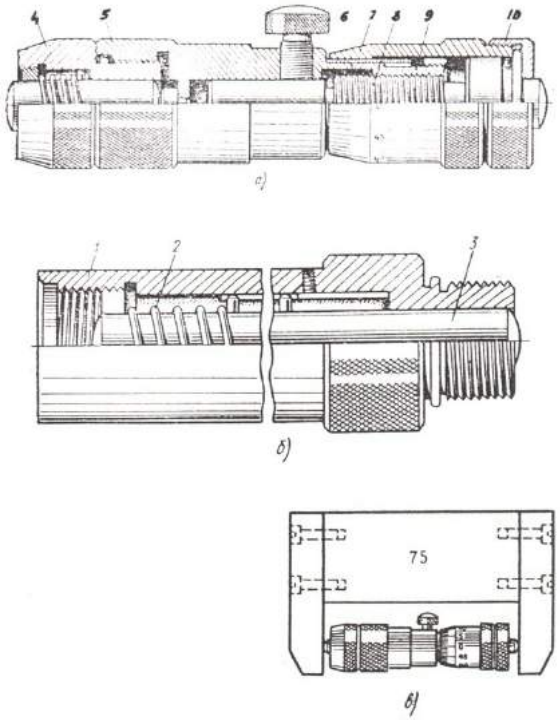
При правильном положении нутромера в отверстии, при котором можно читать показание по шкалам микроголовки, нутромер своими измерительными сферами плотно касается противоположных образующих отверстия и не сдвигается ни в поперечном, ни в продольном направлении.

После установки нутромера в это положение показание нутромера читается как сумма исходного размера головки, размера примененного удлинителя и показания шкал головки.

Таблица 22.3

Основные параметры микрометрического нутромера

Тип	Диапазон измерения прибора (микрометрической головки)	Предельная погрешность приборов, мкм
НМ	50-75 (50-63)	±0,004
	75-175 (75-88)	±0,006
	75-600 (75-88)	±0,015
	150-1250 (150-175)	±0,02
	800-2500 (150-175)	±0,04



а – микрометрическая головка; б – удлинитель; в – установка нутромера на нуль с помощью установочной меры-скобы

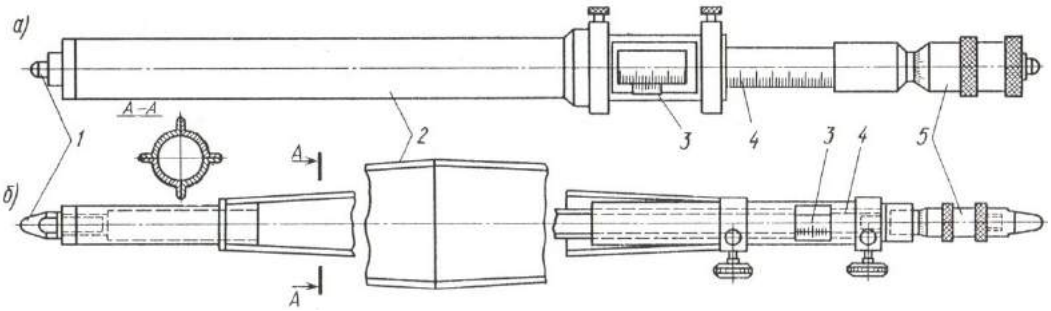
Рис. 22.14 – Микрометрический нутромер

22.13 Телескопические нутромеры

Как показано на рис. 22.15 раздвижные (телескопические) нутромеры имеют цилиндрический или сигарообразный корпус, внутри которого расположена выдвижная штанга с миллиметровой шкалой. В корпусе сделана прорезь (окно) с нониусом, обеспечивающим точность отсчета штанги 0,05 или 0,1 мм. Нутромер оснащен двумя жесткими измерительными наконечниками и микрометрической головкой. Для повышения жесткости корпус сигарообразного нутромера выполнен с четырьмя ребрами жесткости.

Пределы измерения:

- цилиндрические – 1500-5000 мм;
- сигарообразные – 4000-11000 мм.



1 – наконечники; 2 – корпус; 3 – нониус; 4 – штанга; 5 – микрометрическая головка

Рис. 22.15 – Телескопические нутромеры

Микрометры рычажные

Рычажный микрометр, как и обычный, гладкий микрометр, имеет барабан, стебель, микрометрическую пару (микрогайка *1* и микровинт *2*), пятку *3*. Однако в отличие от гладкого микрометра он не имеет трещотки и измерительное усилие ограничивает пружина *4*, которая прижимает подвижную пятку *3* к поверхности детали, а деталь – к торцу микровинта.

Конструктивная особенность рычажного микрометра заключается в наличии двух зон отсчета: первая – стебля и барабана, а вторая - круговая шкала измерительной головки типа ИГ. Эта особенность придает рычажному микрометру одному ему присущие особенности – универсальность, точность и производительность измерения одновременно. Помимо этого рычажный микрометр имеет свое размерное устройство, состоящее из цепи: микровинт – микрогайка – стебель – скоба, а это означает, что рычажным микрометром можно проводить измерение методом непосредственной оценки, т. е. для него не нужны ни КМД, ни образцы.

Рычажные микрометры изготавливают двух типов: со встроенным и со съемным стрелочным отсчетным устройством, показанных на рис. 22.16 и рис. 22.17. Рычажные микрометры первого типа используют для измерений в пределах от 0 до 150 мм, с диапазонами в 25 мм, а второго типа – для измерений в пределах от 150 до 1000 мм с различными диапазонами измерения. Стрелочное отсчетное устройство рычажного микрометра второго типа в зависимости от номинального размера детали устанавливают в разные позиции с помощью установочной меры *3*, помещенной между микрометрическим винтом *1* и пяткой *2*.

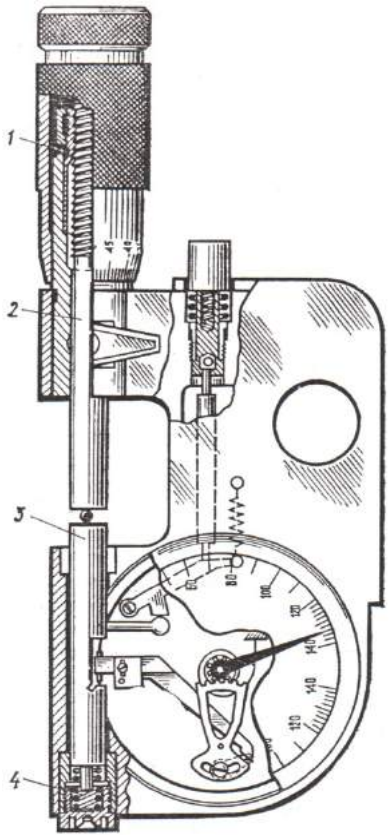
Таблица 22.4

Основные параметры рычажных микрометров

Диапазон измерений:	
рычажные нутромеры со встроенной счетной головкой, мм	от-0…25; 25…50; 50…75; 75…100; 100…125; 125…150
рычажные микрометры со съемной счетной головкой, мм	от-150…200; 200…250; 250…350; 350…450; 450…550 и т. д. до 1000; 1000…1200; 1200…1400 и т. д. до 2000

Цена деления, мкм:	10
барабана	2 – для диапазона измерений 0…100 мм;
измерительной головки	5 – для диапазона измерений 100…500 мм;
	10 – для диапазона измерений 500…1000 мм

Для более точных измерений длины общей нормали применяют рычажный микрометр-нормалемер МРЗ (ГОСТ 4381-80), показанный на рис. 22.18.



а – со встроенным отсчетным устройством; б – со съемным отсчетным устройством

Рис. 22.16 – Микрометр рычажный

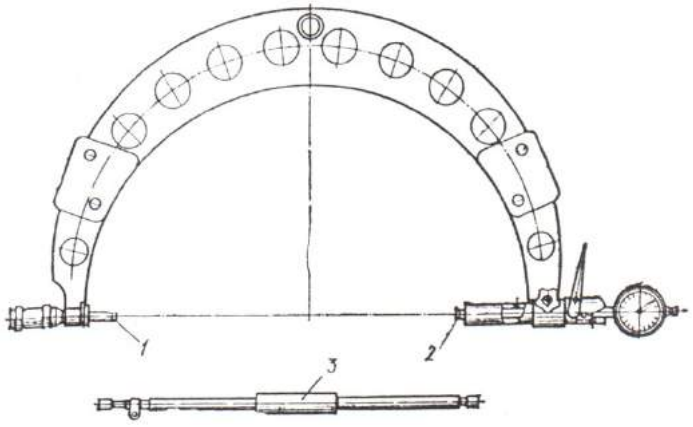


Рис. 22.17 – Микрометр рычажный со сменной отсчетной головкой

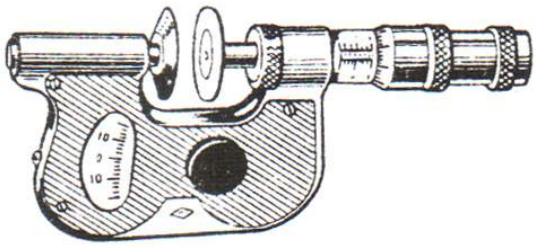


Рис. 22.18 – Микрометр рычажный нормалемер

22.15 – Микрометры специального назначения

К микрометрам специального назначения относятся микрометры специального технического назначения, показан на рис. 22.19. Как правило, используя микрометрическую головку, микрометр оснащают специальной оснасткой.

Наиболее широкое применение получили микрометры для измерения 3-х и 5-и перьевого режущего инструмента: зенкера, фрезы, развертки, метчики.

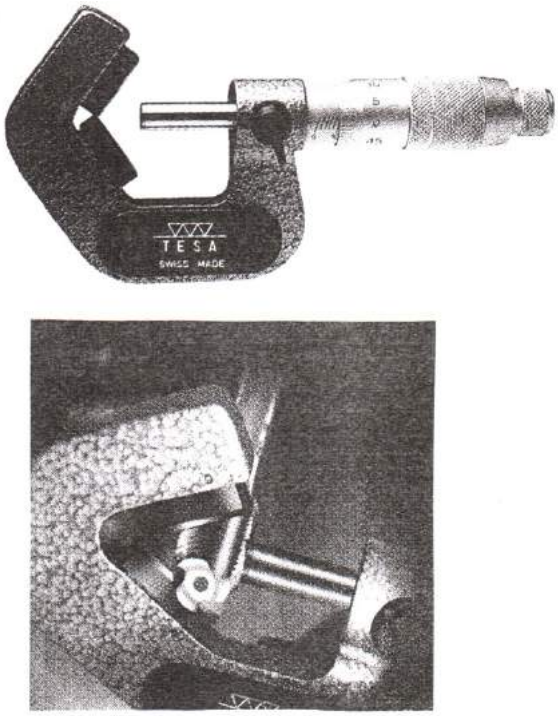


Рис. 22.19 – Микрометр для измерения режущего инструмента

Головка микрометрическая впрессовывается в скобу. Вместо пятки скоба имеет призматическую форму. Угол призм: 60º – для 3-х лезвийного инструмента; 108º – для 5-и лезвийного инструмента. Микрометры предназначены для измерения наружного диаметра режущего инструмента. В связи с тем, что режущий инструмент имеет большую твердость, призму армируют твердым сплавом.

Пределы измерения 3-х лезвийного инструмента: 1-7; 5-20; 20-35; 35-50; 50-65; 65-80 мм. Пятилезвийного инструмента: 1-7; 5-25; 25-45; 46-65; 65-85; 85-105 мм.

Микрометрические головки, как и весь микрометрический инструмент,

имеют цену деления 0,01 мм.

Каждый набор комплектуется установочной мерой цилиндрической формы. Установочный диаметр равен нижнему пределу измерения.

22.16 Рычажные скобы

Рычажную скобу, показанную на рис. 22.20, трудно выделить в отдельный вид измерительного инструмента. Во-первых, малочисленностью видов. Во-вторых, хотя отсчетное устройство является рычажно-зубчатым, но настройка на размер осуществляется винтовой парой и близка к микрометру рычажному. Поэтому рычажные скобы рассмотрим в разделе «Микрометрический инструмент».

Рычажной скобой называется измерительный прибор-скоба, имеющая с одной стороны отсчетное устройство, а с другой – неподвижную пятку. Измерения с помощью рычажных скоб проводятся методом сравнения с мерой (относительный метод). Рычажные скобы для измерения наружных размеров до 150 мм имеют встроенную в корпус измерительную систему, а измерение размеров свыше 150 мм – индикатор часового типа; поэтому последние скобы называют индикаторными.

Рычажная скоба не имеет собственного размерного устройства и измерение ею также производится методом сравнения с мерой. Основанием рычажной скобы служит корпус-скоба, которая обладает значительно большей жесткостью, чем индикаторная. Подвижная пятка *2* и переставная пятка *1* у рычажной скобы значительно массивнее, обладают значительно большими измерительными поверхностями и их перемещения происходят значительно точнее. Основное отличие рычажной скобы от индикаторной – в устройстве подвижной пятки *2*. Эта пятка имеет две выемки в цилиндрической поверхности. В одну из них входит рычаг *3* арретира *8*, а во вторую – наконечник передаточного рычага *5*, который является звеном преобразовательной цепи отсчетной головки, вмонтированной в корпус скобы. Для уменьшения погрешностей, возникающих в преобразовательной цепи, служит компенсатор *7*. Движение подвижной пятки *2* преобразуется рычажно-зубчатой передачей в поворот стрелки *4*. В нижнем торце подвижной пятки *2* вмонтирована пружина измерительного усилия *6* рычажной скобы. Рычажные скобы устанавливают на размер и в положение «0» по блокам КМД.

Таблица 22.5

Характеристики скоб рычажных с отсчетным устройством

Тип	Модель	Диапазон измерений, мм	Отсчетное устройство		Сила измерения, СН	Основная погрешность (мм) на участке шкалы от нулевого штриха	
			цена деления	диапазон			
			мм			±10 делений	св. ±10 делений
Рычажная скоба (ГОСТ 11098-75)							
СР	01010 01010	0-25 25-50	0,002	±0,14	600±100	±0,001	±0,002
	01210 01310 01410 01510	50-75 75-100 100-125 125-150			800±200		
Рычажная скоба повышенной точности (ТУ 2-034-366-82)							
СРП	01011 01111 01211 01311	0-25 25-50 50-75 75-100	0,001	±0,07	800±200	±0,0007	±0,0014

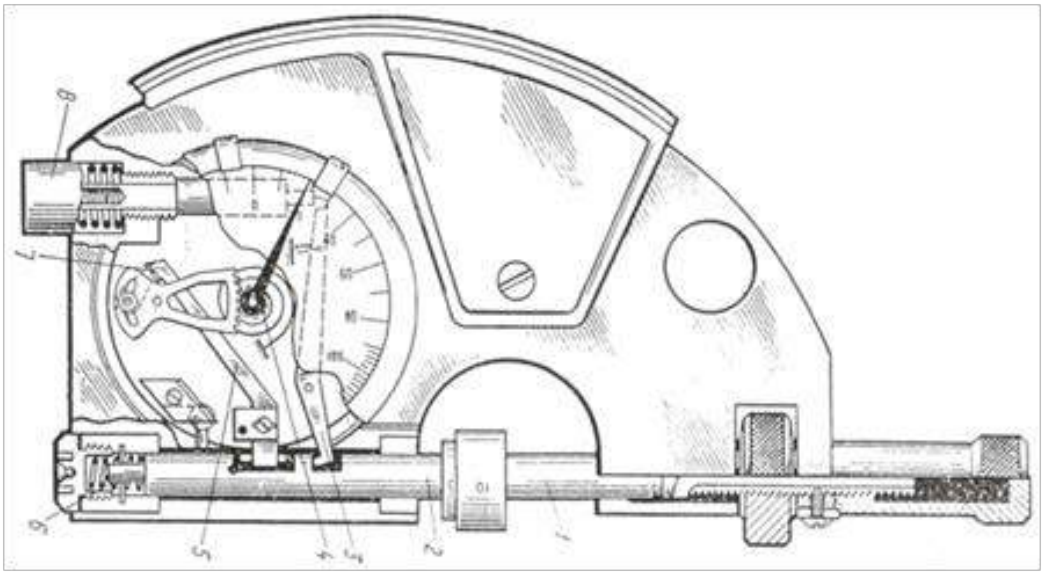


Рис. 22.20 – Скоба рычажная

Приложение 22.1

Технические характеристики, нормы точности и предельные погрешности измерения микрометрического инструмента

Тип микрометра	Верхний предел измерений микрометра, мм	Предел допускаемой погрешности микрометра с отчетом показаний, мкм					Допускаемое измерение показаний микрометра от изгиба скобы при усилии 1000СН, мкм	Температурный режим, ˚С, для диапазонов, мм			Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазонов размеров, мм													
		по шкалам стебля и барабана классов точности		по шкалам стебля и барабана с нониусом	по электронному цифровому устройству классов точности			0-50	50-250	250-500	до 25	св 25 до 50	св 50 до 75	св 75 до 100	св 100 до 125	св 125 до 150	св 150 до175	св 175 до 200	св 200 до 225	св 225 до 250	св 250 до275	св 275 до 300	св 300 до 400	св 400 до 500
		1	2		1	2																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
МК	25	**±2,0**	**±4,0**	**±2,0**	**±2,0**	**±4,0**	2,0	5	-	-	**5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	**±2,5**						5	-	-	-	**10*/5****	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	75			**±3,0**			3,0	-	5	-	-	-	**10/5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100				**±3,0**			-	5	-	-	-	-	**15/5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	125; 150	**±3,0**	**±5,0**		-	-	4,0	-	5	-	-	-	-	-	**15/5**	**15/10**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	175; 200						5,0	-	5	-	-	-	-	-	-	-	**20/10**	**20/10**	-	-	-	-	-	-	-
	225; 250	**±4,0**	**±6,0**	**±4,0**			6,0	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**25/10**	**25/10**	-	-	-	-	-
	275; 300							-	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**30/10**	**30/10**	-	-
	400	**±5,0**	**±8,0**	-			8,0	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**40/10**	-
	500						10,0	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**50/10**
	600	**±6,0**	**±10,0**				12,0	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**50/10**
МЛ	5; 10; 25	-	**±4,0**	**±2,0**	**±2,0**	**±4,0**	2,0	5	-	-	**5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
МТ	25	**±2,0**						5	-	-	**5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
МЗ	25	**±4,0**	**±5,0**		**±3,0**	**±5,0**		5	-	-	**5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50			**±3,0**				5	-	-	-	**10/5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	75						3,0	-	5	-	-	-	**10/5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100							-	5	-	-	-	-	**15/5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
МГ	15; 25	**±1,5**	**±3,0**	**±2,0**	**±2,0**	**±3,0**	-	5	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50		**±4,0**	-	-	-		5	-	-	-	**5**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
МП	10	**±2,0**		**±2,0**	**±2,0**	**±4,0**	2,0	5	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания: 1. Предельно допустимые погрешности согласно требованиям ГОСТ 6507-90, предельные погрешности измерения – согласно рекомендаций РД 50-98-86 МУ «Выбор универсальных СИ линейных размеров до 500 мм».

2. $10^{*}/5^{**}$. *микрометры при работе находятся в руках

**микрометры при работе находятся на стойке или обеспечивается надежная изоляция от тепла рук оператора.

Приложение 22.2

Технические характеристики, нормы точности и предельные погрешности измерения рычажных скоб и рычажных микрометров

Средства измерений	Тип, модель	ГОСТ ТУ	Цена деления, м	Диапазон измерений: предел измерений, мм	Предельная допустимая погрешность, мм	Измерительное усилие, Н	Способ выполнения измерений	Установочная мера	Температурный режим, ˚С, диапазоны измерения, мм			Предельные погрешности измерения, мкм для диапазонов размеров, мм				
									1-50	50-200	200-500	1-30	30-120	120-180	180-315	315-500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Рычажная скоба	СР	ГОСТ 11098-75	0,002	±0,14	**±0,002**	6±1	в руках	Плоскопараллельные меры длины 3 класса	5	5	5	**4**	-	-	-	-
				0-25			на стойке		5	2	1	**4**	-	-	-	-
				±0,14		6±1	в руках		5	5	5	-	**7**	-	-	-
				25-50			на стойке		5	2	1	-	**4,5**	-	-	-
				±0,14		8±1	в руках		5	5	5	-	**7**	-	-	-
				50-75			на стойке		5	2	1	-	**4,5**	-	-	-
				±0,14		8±1	в руках		5	5	5	-	**7**	-	-	-
				75-100			на стойке		5	2	1	-	**4,5**	-	-	-
				±0,14		8±1	в руках		5	5	5	-	**7**	-	-	-
				100-125			на стойке		5	2	1	-	**4,5**	-	-	-
				±0,14		8±1	в руках		5	5	5	-	-	**16**	-	-
				125-150			на стойке		5	2	1	-	-	**7**	-	-
Микрометр рычажный	МР	ГОСТ 4381-80	0,002	±0,14	**±0,003**	6±1	в руках	Плоскопараллельные меры длины 3 класса	5	5	5	**4**	-	-	-	-
				0-25			на стойке		5	2	1	**4**	-	-	-	-
				±0,14	**±0,003**	6±1	в руках		5	5	5	-	**7**	-	-	-
				25-50			на стойке		5	2	1	-	**4,5**	-	-	-
				±0,14	**±0,003**	6±1	в руках		5	5	5	-	**7**	-	-	-
				50-75			на стойке		5	2	1	-	**4,5**	-	-	-
				±0,14	**±0,003**	6±1	в руках		5	5	5	-	**7**	-	-	-
				75-100			на стойке		5	2	1	-	**4,5**	-	-	-

Микрометр рычажный индикаторный	МРИ	ГОСТ 4381-80	0,002	±0,10	**±0,004**	8±1	в руках	КМД 3 класса	5	5	5	-	**14**	-	-	-
				100-125												
				±0,10	**±0,004**	8±1	в руках		5	5	5	-	**16**	-	-	-
				125-150												
				±0,10	**±0,004**	8±1	в руках		-	-	-	-	-	-	**18**	-
				150-200												
				±0,10	**±0,005**				-	-	-	-	-	-	**21**	-
				200-250												
Микрометр рычажный зубомерный	МРЗ	ГОСТ 4381-80	0,002	±0,14	**±0,003**	6±1	в руках	КМД 3 класса	5	-	-	**4**	-	-	-	-
				0-20			на стойке		5	-	-	**4**	-	-	-	-
				±0,14	**±0,003**		в руках		5	-	-	-	**7**	-	-	-
				20-45			на стойке		5	-	-	-	**4,5**	-	-	-

Примечания: 1. Предельно допустимые погрешности согласно требований ГОСТов, предельно допустимые погрешности измерений – согласно РД 50-98-86 МУ «Выбор универсальных СИ линейных размеров до 500 мм».

Контрольные вопросы

1. Типы микрометрического измерительного инструмента.
2. Устройство микрометрических головок.
3. Принцип измерения микрометром рычажным.
4. Измерения специальным микрометрическим инструментом.
5. Принципы измерения скобами рычажными.

Глава 23 Стойки, штативы, призмы, центра контроля биения

Стойки, штативы, призмы служат вспомогательными средствами к измерительному инструменту при проведении измерений.

23.1 Стойки

По ГОСТ 10197-70 промышленность изготавливает стойки четырёх типов.

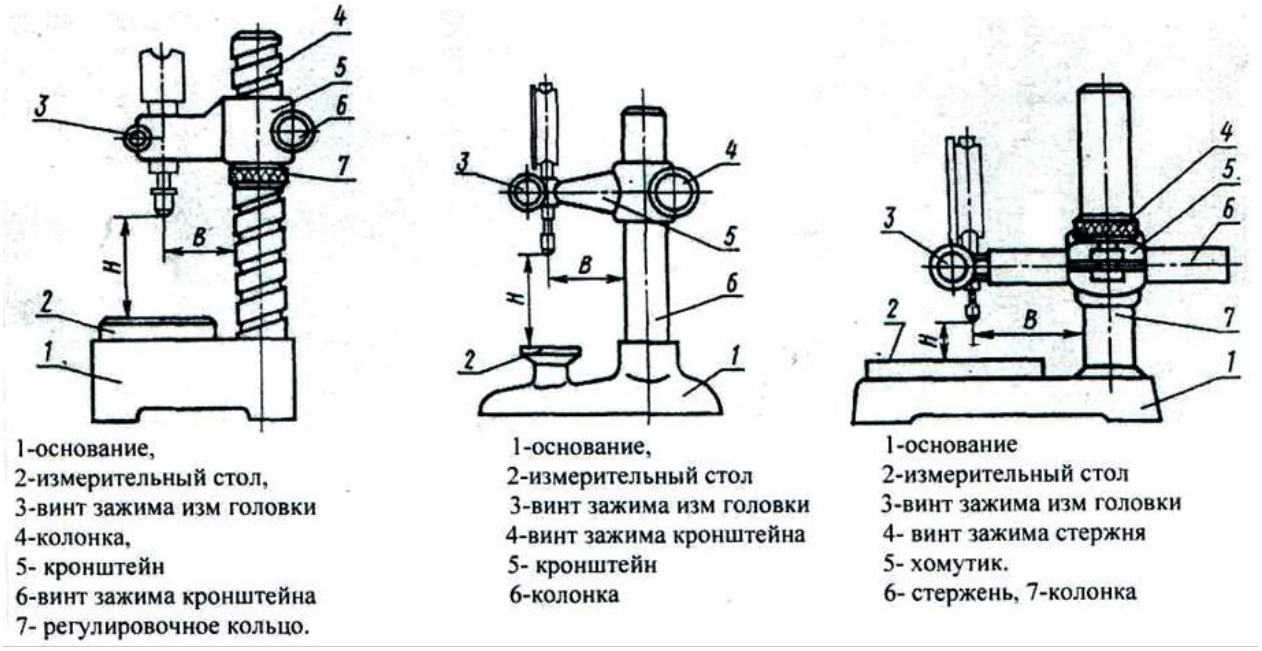


Рис. 23.1 – Стойки С-I, С-II, С-III, С-IV

Стойки С-I используются в измерительных лабораториях для аттестации калибров и замера точных деталей. В качестве измерительного средства на стойке устанавливаются пружинные головки 01 ИГП, 02 ИГП, 05 ИГП по ГОСТ 6933-91 или оптикаторы 01 П, 02 П, 05 П по ГОСТ 10593-74.

Стойки С-II используют на лекальных участках инструментального производства с пружинными головками 0,5 ИГП, 1ИГП.

Посадочное отверстие под **измерительную** головку на кронштейне *5* (рис. 23.1) в стойках С-I и С-II-28 мм.

Стойки С-III, С-IV используются в производственных цехах машиностроительных предприятий с микаторами 1 ИПМ, 2 ИПМ с ценой деления 1-2 мкм по ГОСТ 18833-73, индикаторами многооборотными 1 МИГ, 2 МИГ по ГОСТ 9696-82, а также с индикаторами часового типа ИЧ-5 и ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм по ГОСТ 577-68.

Таблица 23.1

Стойки по ГОСТ 10197-70

Прибор	Тип	Цена деления устанавливаемой головки, мм.	Диапазон измерения по высоте, мм.	Вылет головки, мм.	Диаметр зажимного отверстия, мм.	Прогиб* мм.	Габаритные размеры, мм.
Стойка	С-I	0,00005-0,0005	160	75	28	0,0001	435×150×270
	С-II	0,001-0,005				0,0005	
	С-III	0,001-0,01	100	55	8	0,0005	167×147×260
	С-IV	0,01	250	160		0,004	234×156×361

* При усилии 200 с Н.

23.1.1 Универсальная стойка

Кроме стоек С-I и С-II на производстве используются стойки от оптиметра вертикального. Отличительной особенностью универсальной стойки оптиметра является регулируемый плоский стол 12 (рис. 23.2) и механизм вертикальной подачи стола.

Конструкция универсальной стойки оптиметра включает в себя механизм подачи стола (рис. 23.2). Он состоит из следующих узлов: основания 1, плоского стола 12, нижней опорной площадки 9, установленной в конической втулке 6 механизма подачи стола, колонки 15 и кронштейна. Механизм подачи состоит из микрометрического винта 18, опирающегося на подпятник 16, и микрометрической гайки 3 зажатой в отверстии конусной втулки 6 при помощи упорной втулки 4. Для вращения микровинта служит закреплённое на нём при помощи контргайки накатанное кольцо 2. При его повороте микрогайка 3 будет смещаться в осевом направлении, вместе с ней втулка, нижняя опорная площадка и столик. Шпонка, закреплённая на основании винтами, служит для предотвращения поворота конической втулки, чем обеспечивается только осевое её перемещение. Положение предметного стола 12 относительно оси трубки оптиметра может быть отъюстировано при помощи двух накатанных шайб 10; которые вместе с шариком 13 образуют три точки опоры А, В и С (рис. 23.3).

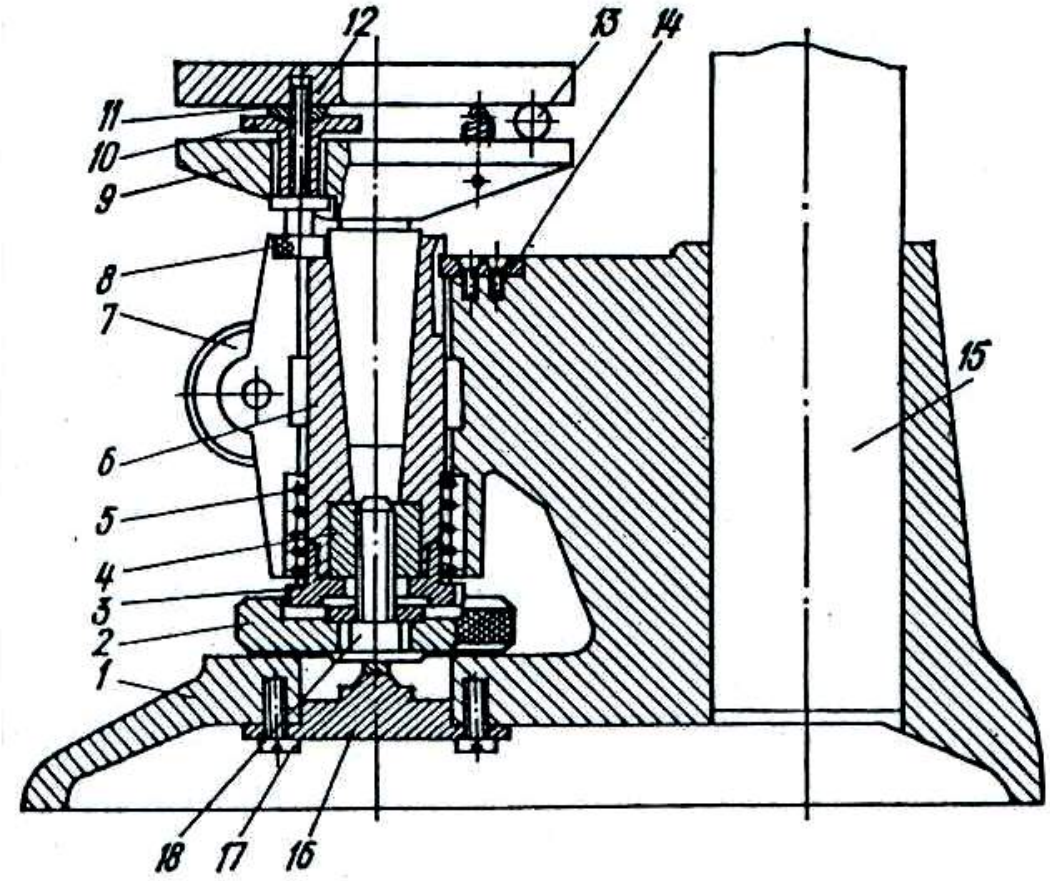


Рис. 23.2 – Конструкция стола универсальной стойки

При использовании сферических наконечников производить точную юстировку стола не требуется, так как даже возможное наибольшее отклонение его, определяемое углом 3 градуса, не сказывается на точности измерения. Это видно из результатов подсчета погрешности измерения при наклоне стола.

При отклонении поверхности стола на некоторый угол α (рис. 23.4) измеренный размер АС будет отличаться от действительного размера изделия АВ. Погрешность измерения

$$\Delta = АС - АВ = АС\,(1 - cos\,\alpha).$$

В наилучшем случае при $\alpha = 3^{\circ}$ погрешность $\Delta = АС\,(1 - cos\,3)^{\circ} = АС \cdot 0{,}0014$.

Наибольшее значение перемещения измерительного штока АС, определяемое шкалой оптиметра, равно 200 мкм, т.е. АС = 200 мкм. Отсюда $\Delta = 0{,}0014 \cdot 200 = 0{,}3$ мкм.

Практически эта погрешность будет гораздо меньше, так как обычно измеряемые отклонения составляют в среднем 0,01 мм. Из приведенного расчета видно, что отклонения поверхности столика на точность измерения практически не влияют.

Юстировка положения стола необходима в случае применения наконечников с плоскими измерительными поверхностям. Поверхность стола должна быть параллельна измерительной поверхности наконечника, как это показано на рисунке 23.4 *б*. При отклонении поверхности стола на

небольшой угол будет происходить быстрый износ наконечника, так как вместо контакта по всей поверхности стола будет иметь место лишь точечный контакт.

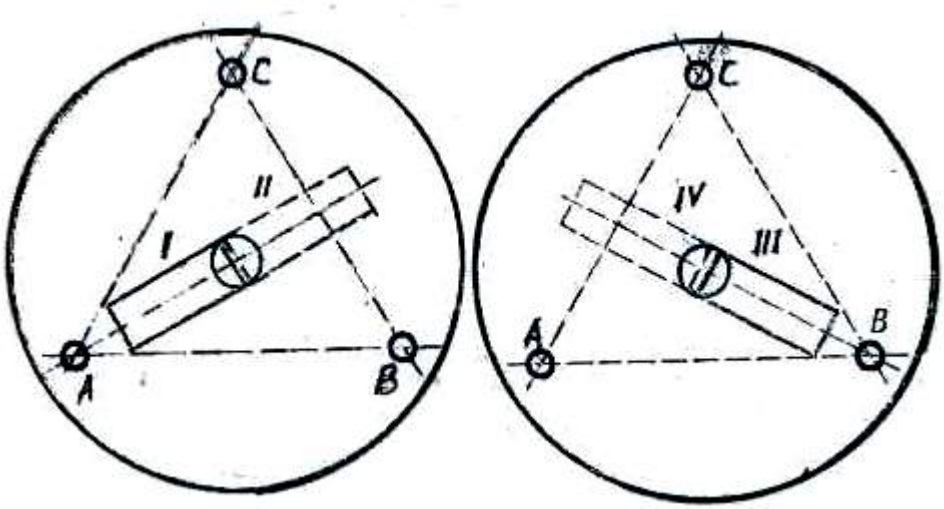


Рис. 23.3 – Пример определения погрешности при отклонении поверхности стола

Предварительную регулировку положения стола производят при помощи концевой меры 4 разряда, установленной в центре стола под измерительным наконечником. Подняв стол до контакта плитки с измерительным наконечником, наблюдают при помощи лупы просвет между ними. При этом просвет будет клиновидным. Вращая шайбы А и В (рис. 26.4, *б*), добиваются исчезновения просвета.

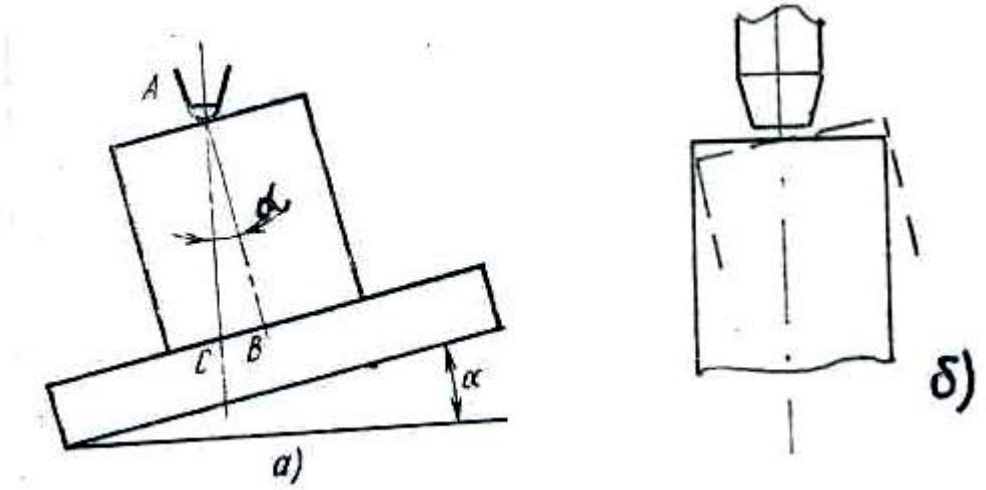


Рис. 26.4 – Определение допускаемого отклонения положения стола оптиметра

Контроль параллельности поверхности стола измерительной плоскости наконечника производится при помощи плоскопараллельной концевой меры, устанавливаемой у края наконечника с разных сторон. Величина перекоса может быть отсчитана по шкале прибора. Проверка положения стола может

быть произведена также по плоскопараллельной стеклянной пластине методом интерференции. Стекло устанавливают на столе и проводят в контакт с измерительным наконечником. При наличии отклонения от параллельности между плоскостями стола и наконечника образующийся воздушный клин приведёт к появлению полос интерференции. Величина этого отклонения определяется по количеству интерференционных полос.

Точность измерения изделий зависит не только от точности самого измерительного прибора, но и от точности сборки и юстировки самой стойки. Поэтому к стойкам предъявляют высокие требования.

26.1.2 Стойка повышенной жесткости

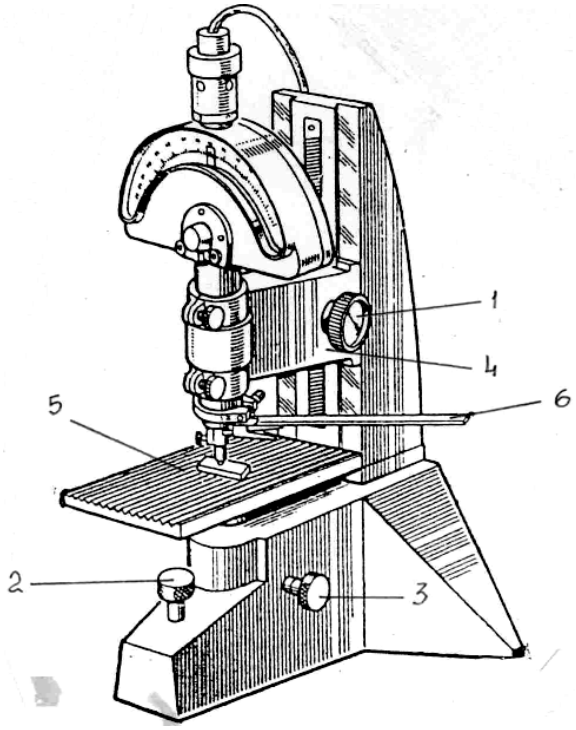


Рис. 26.5 – Стойка повышенной жесткости

До середины 70-х годов прошлого века заводом «Калибр» выпускалась стойка повышенной жесткости мод 07201 с вертикальным интерферометром Уверского. По ряду причин выпуск стоек прекращён. Ни одна из заданных фирм по точности и надёжности не выпускала аналогичных стоек. На многих предприятиях России используется стойка 07201, совместно с оптикатором 01 П для поверки плоскопараллельных мер длины по 4 разряду.

Стойка повышенной жесткости в отличии стойки С-I и универсальной стойки имеет более плавную вертикальную подачу измерительного прибора за счет зубчато-реечной передачи. Вращая рукоятку 1 (рис. 23.5) обеспечиваем вертикальное перемещение кронштейна 4, который перемещается по пазам «ласточкин хвост». При этом исключаются смещения измерительного прибора от вертикальной оси. Для более тонкого перемещения стола 5 служит микровинт 2. Устройство подачи стола, аналогично, описанному в универсальной стойке. При достижении нулевого положения оптической стрелки оптикатора, арретиром 6 и микровинтом 2

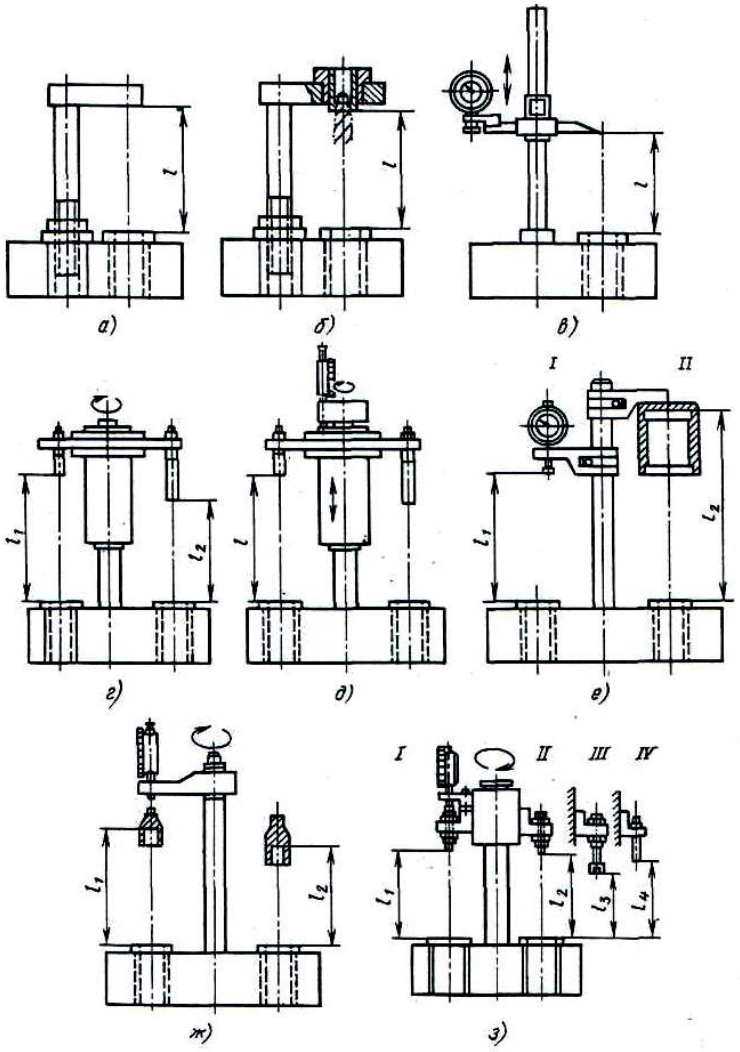
добиваются неизменности показаний оптикатора. Винтом 3 стопорится стол и при помощи арретира, вместо образцовой меры устанавливается поверяемая мера.

23.1.3 Средства для настройки инструмента вне станка

К стойкам, условно, можно отнести измерительные установки для настройки осевого инструмента вне станка.

На автоматических линиях по обработке деталей машиностроения, станках с числовым программным управлением используется режущий инструмент, который предварительно настроен на размер подачи при обработке деталей.

Для настройки осевого инструмента используются установки различного типа.



а – флажковый; б – с контролем на ощупь; в – с передвижной ножкой и индикатором; г – с поворотными жесткими регулируемыми упорами на поворотной втулке; е – с индикатором на передвижной опоре (I) и передвижным упором и промежуточной втулкой (II); ж – с промежуточными упорами; з – барабанного типа: с подвижным упором и индикатором (I), с подвижным упором на ощупь (II), с подвижным накладным упором на ощупь (III), с жестким регулируемым упором (IV); l, l_1, l_2, l_3, l_4 – длины наладок.

Рис. 23.6 – Типы измерительных установок для настройки осевого инструмента

23.1.4 Специальные стойки

Стойка малогабаритная для измерительных головок.

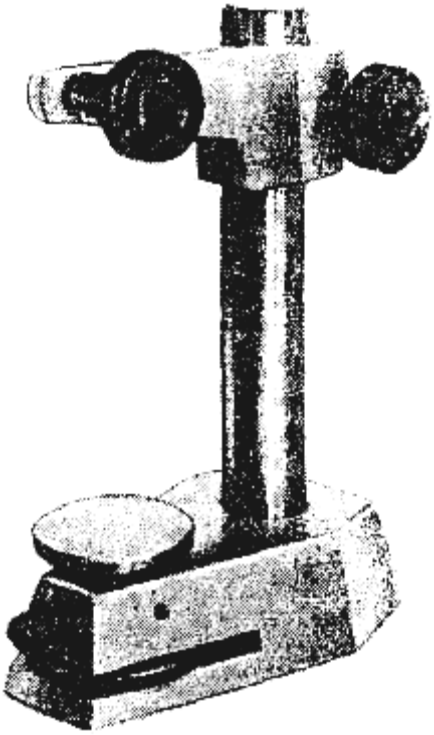


Рис. 23.7 – Стойка мод. С- III М

Стойка предназначена для крепления измерительных головок с ценой деления 0,001 – 0,01 мм.

Измерительная головка крепится в кронштейне, перемещающемся вдоль колонки основания стойки.

Контролируемое изделие устанавливается на измерительном столе. Тонкая установка на размер измерительного стола осуществляется при помощи микроподачи.

Таблица 23.2

Тип	Основные данные	Размер, мм.
С-IIIМ	Предел измерений по высоте	0-100
	Вылет измерительной головки	55
	Диаметр:	
	-колонки	30
	-измерительного стола	50
	-отверстие под измерительную головку	8
	Габариты	146×94×210

Стойка универсальная для крепления для микрометров изготавливаемая по ТУ 2-034-623-80-15 СТМ.

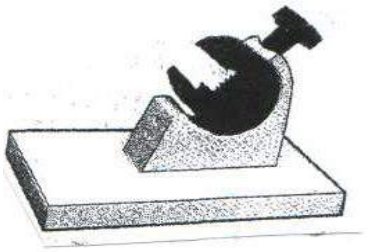


Рис. 23.8 – Стойка 15 СТМ

Таблица 23.3

Тип	Диапазон толщин изделий, закрепляемых в стойке, мм	Угол поворота неподвижной и подвижной губок в вертикальной плоскости, град.	Угол поворота державки в горизонтальной плоскости, град.
15 СТМ	4-20	60º	360º

Стойка гибкая, магнитная изготавливаемая по ТУ 2-034-688-83-МС-29.

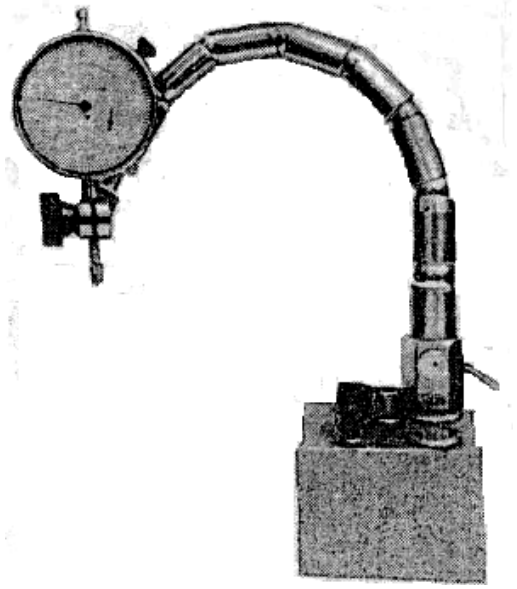


Рис. 23.9 – Стойка гибкая магнитная МС-29

Таблица 23.4

Тип	Цена деления головки, устанавливаемой в стойку, мм.	Диапазон измерения по высоте, мм.	Диаметр отверстий под измерительную головку, мм
МС-29	0,01	Не менее 360	8

Стойка магнитная гибкая имеет устройство включения магнита и фиксации натяжения тросика. Удобна при измерении в труднодоступных местах, но не обладает высокой жесткостью системы.

Западные фирмы, кроме стоек по типу С-III и С-IV выпускают стойки повышенной износостойкости и универсальности.

Фирма BENZING Германия изготавливает стойки с поверхностью

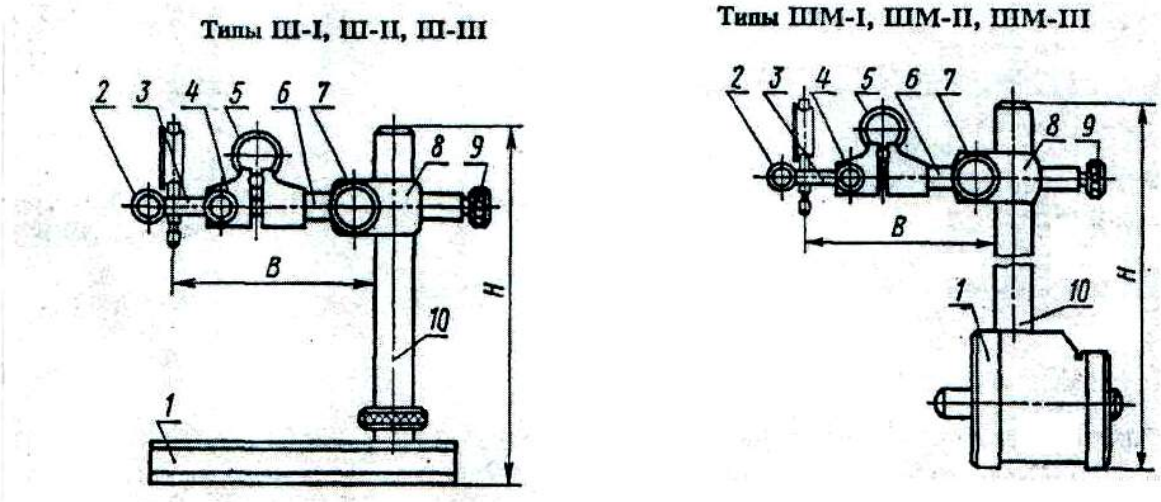
стола, выполненного из высокопрочной керамики Al_2O_3 и шероховатость поверхности стола ≤ 0,1 мкм.



Рис. 23.10 – Стойки по типу С-III и С-IV фирмы BENZING

23.2 Штативы по ГОСТ 10197-70

Устройства штативов показаны на рисунке 23.11. Характеристики в таблице 23.5.



1-основание,2-винт зажима изм головки
3-державка,4-винт зажима державки
5-пружинное кольцо, 6-стержень
7--зажимной винт, 8-хомутик,
9-винт тонкой установки на размер
10-колонка

1-основание, 2- винт зажима изм головки
3- державка, 4-винт зажима державки
5-пружинное кольцо, 6-стержень
7--зажимной винт, 8-хомутик,
9-винт тонкой установки на размер
10-колонка

Рис. 23.11 – Штативы согласно ГОСТ 10197-70

Таблица 23.5

Прибор	Тип	Цена деления устанавли-ваемой головки, мм.	Диапазон измерения по высоте, мм.	Вылет головки, мм.	Диаметр посадоч-ного отверстия, мм.	Прогиб*, мм.	Габаритные размеры, мм.
Штатив	Ш-II Н	0,01	250	200		0,005	294×128×50
	Ш-II В	0,01	630	500		0,008	612×150×630
	Ш-III	0,01	200	160	8;4	0,040	230×50×200
Штатив с магнитным основанием	ШМ-ПМ	0,01	250	200	8	0,005	250×100×252
	ШМ-ПВ	0,01	630	500		0,008	190×52×200

*При усилии 100 с Н.

На российский рынок, от западных фирм, поступают штативы широкоуниверсальные и обладающие высокой точностью и стабильностью при выполнении измерений.

23.2.1 Штативы фирмы HORGER GASSLER Германия. Гидравлические штативы.

❶ *Гидравлическое силовое затягивание*
❷*Центральный шарнир*
❸*Шаровой шарнир*
❹ *Магнитная опора с призматической базой и точной регулировкой*

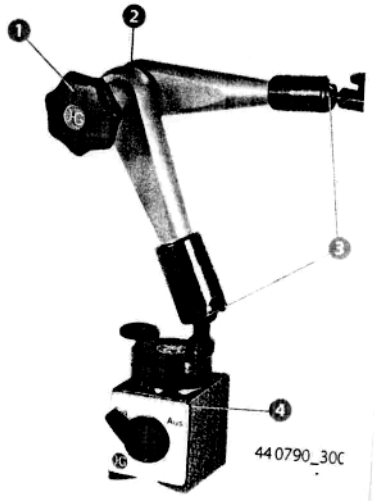


Рис. 23.12 – Гидравлический штатив фирмы HORGER GASSLER

Гидравлический измерительный штатив состоит из шарниров, жестко фиксированных зажимным устройством 1 (рис. 23.11). Гидравлическая система, заполненная маслом, герметизирована уплотнителями. Зажимное усилие плавно регулируется поворотом маховичка 1. Шарнирное соединение вращается на 360º на зажиме индикатора и поворачивается более чем на 180º. Сочетание гидравлических шарниров с магнитной призматической опорой придаёт штативу высокую универсальность.

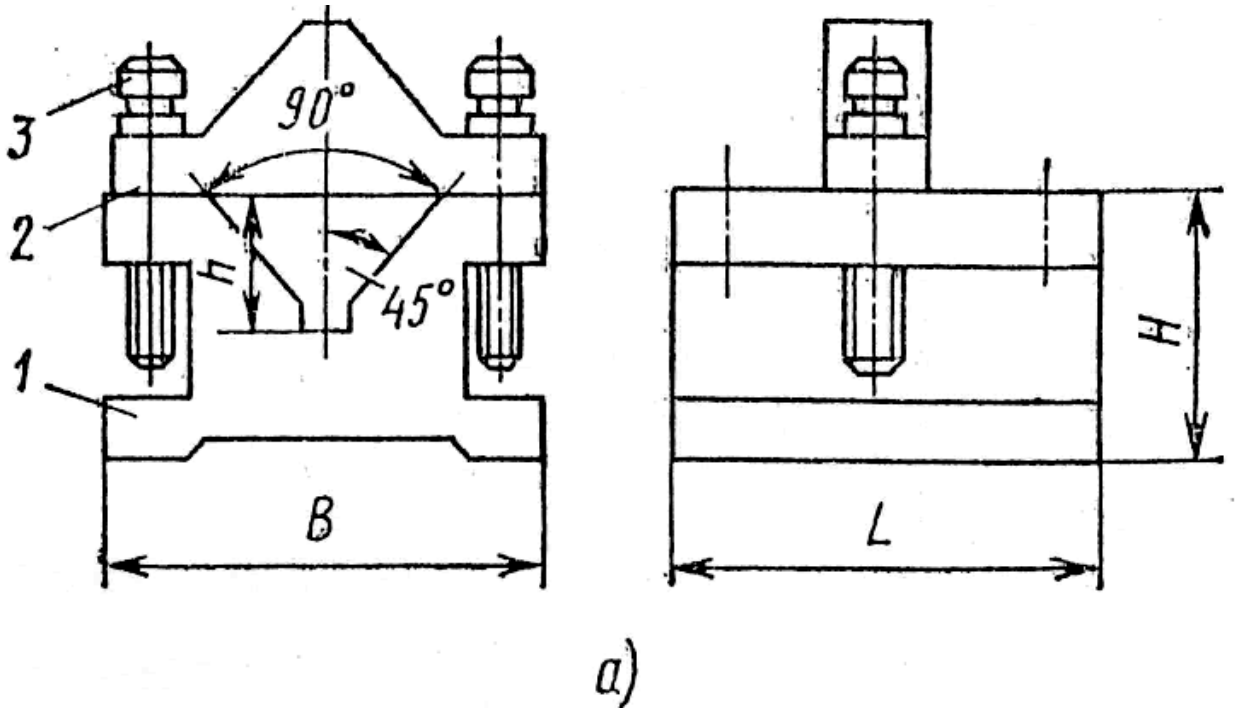
Модульная штативная система изготавливается фирмой NOGA Германия



Рис. 23.13 – Модульная штативная система

Модульная штативная система фиксируется с одной точки. Зажимное усилие плавно и надёжно регулируется. Призматические магнитные опоры позволяют регулировку усилия прижима к поверхности. Для немагнитных поверхностей имеется вакуумная опора.

23.3 Призмы поверочные и разметочные



а)

Согласно ГОСТ 5641-66 изготавливаются призмы трёх типов.

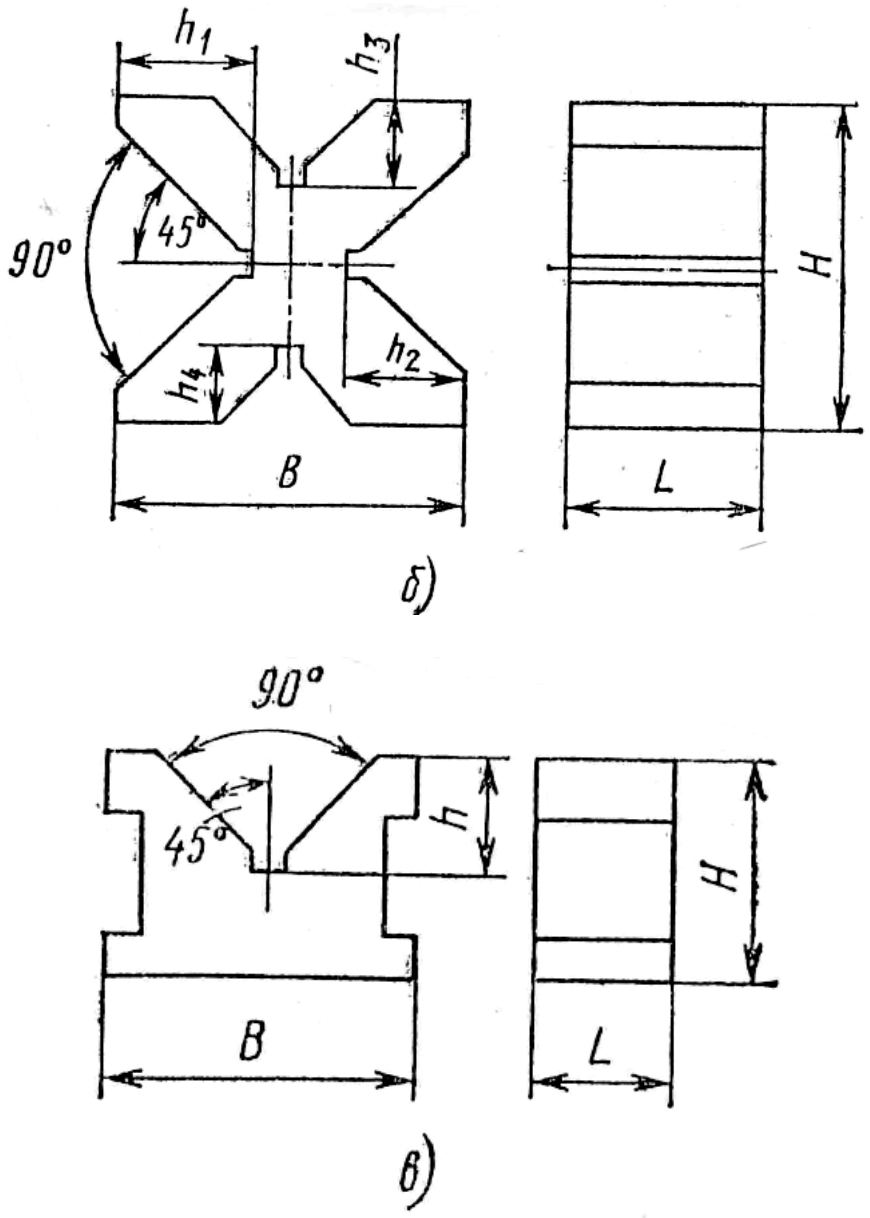


Рис. 23.14 – Призмы: а - типа I; б – типа II; в – типа III.1 – корпус призмы; 2 – накладка; 3 – винт крепления накладки

Таблица 23.6. в миллиметрах

Типоразмеры Призмы.	B	L	H	h	h1	h2	h3	h4	Диаметры Устанавливаемых На призмы валов.	
									min	max
I-1	35	40	30	6	-	-	-	-	3	15
I-2	60	60	50	16	-	-	-	-	5	30
I-3	105	100	80	32	-	-	-	-	8	70
I-4	150	100	100	50	-	-	-	-	12	110
II-1	100	60	90	-	32	25	20	16	8	80
II-2	150	80	135	-	50	32	25	20	12	135
II-3	200	100	180	-	60	50	32	25	20	160
II-4	300	125	270	-	110	80	60	50	32	300
III-1	200	100	125	60	-	-	-	-	20	160
III-2	300	125	180	110	-	-	-	-	32	300

23.4 Приборы для проверки изделий на биение – центра

Приборы предназначены для контроля допуска радиального и торцевого биения тел вращения, установленных в центрах. Изготавливаются по ТУ2-034-543-81.

Приборы применяются в условиях металлообрабатывающих цехов машиностроительных предприятий.

Основные узлы приборов (рис. 23.15): основание, правая и левая бабки, каретка со стойкой для крепления индикатора.

Правая бабка закреплена на основании неподвижно. Левая бабка и каретка могут передвигаться по направляющим основания и закрепляются на ней ручными зажимами в любом месте на основании. В приборе ПБ-1600 дополнительно имеются подпружиненные люнеты для разгрузки центров при установке тяжелых деталей.

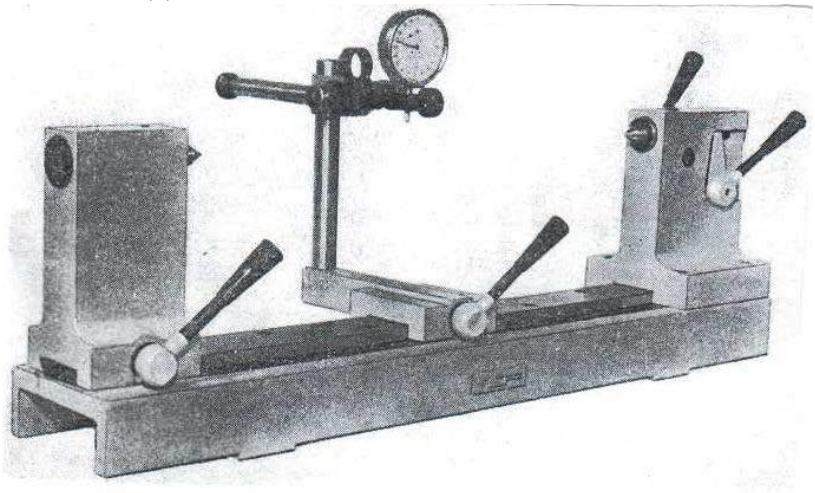


Рис. 23.15 – Прибор для контроля биения в центрах

Основные характеристики

Таблица 23.7

Характеристики приборов.	Модели		
	ПБ-200	ПБ-500 М	ПБ-1600
Диаметр контролируемых деталей:			
Валов, мм.	90	140	260
Дисков, шестерён, мм.	120	265	340
Масса контролируемых деталей, кг	13,5	50,0	95,0
Высота центров, мм.	80	160	250
Расстояние между центрами, мм.	250	500	1600
Цена деления шкалы индикатора многооборотного 2 МИГ, ГОСТ 9696-75, мм.	0,002	0,002	0,002
Диапазон показаний шкалы индикатора 2 МИГ, мм.	0-2	0-2	0-2
Цена деления шкалы индикатора часового типа ИЧ 10, мм.	0,01	0,01	0,01
Погрешность прибора с индикатором 2 МИГ, мм.	±0,008	±0,012	±0,016
Габариты	500×290×330	925×375×504	2230×545×825
Масса, кг	15,1	55	450

Фирма BENZING Германия производит приборы для контроля биения в центрах и в призмах 90º, расположенных на пинолях (рис. 23.16). Приделы измерения в центрах: 200, 350, 400 мм.

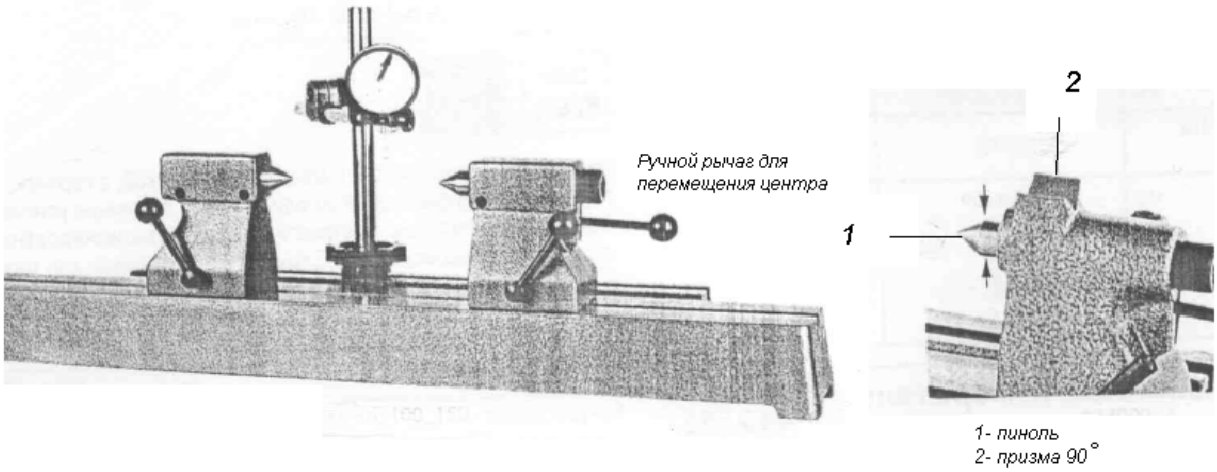


Рис. 23.16 – Центра двойного назначения

-контроль биения в центрах;
-контроль биения в призмах.

23.5 Примеры применения стоек, штативов, призм и центров для контроля деталей на биение

Измерение микрокатором с применением универсальной стойки С-I

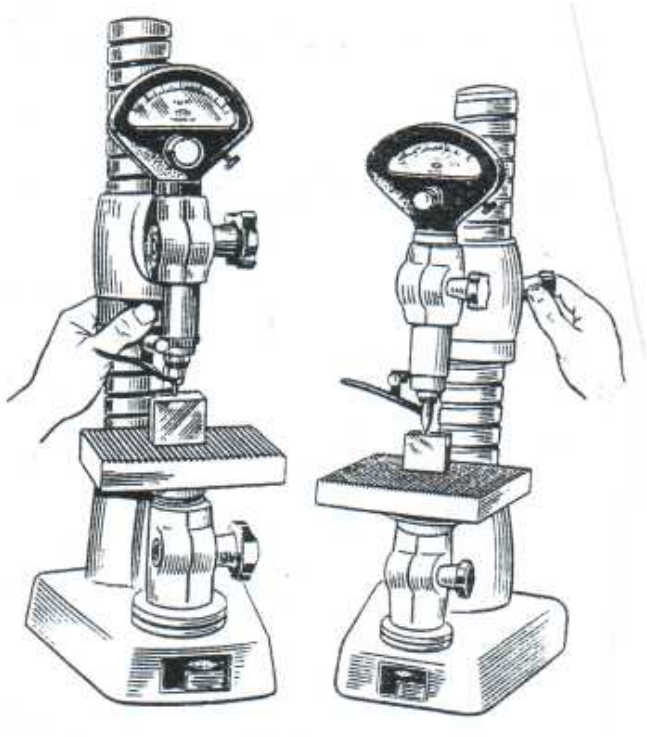


Рис. 23.17 – Установка кронштейна стойки

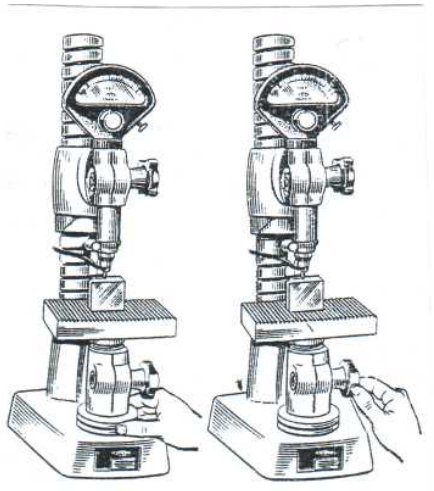


Рис. 23.18 – Установка стола стойки

Микрокатор настраивают по блоку коневых мер требуемого размера. Вначале перемещают кронштейн относительно колонки (грубая настройка) до соприкосновения наконечника микатора с блоком концевых мер (стрелка микатора сдвинулась с левого крайнего положения относительно шкалы прибора). Фиксируют кронштейн стопорным винтом.

Затем перемещают измерительный столик. Вращением накатного кольца 2 (рис. 23.2) подводят стрелку микрокатора к нулевой отметке шкалы и стопорным винтом 7 зажимают коническую втулку 6 со столом.

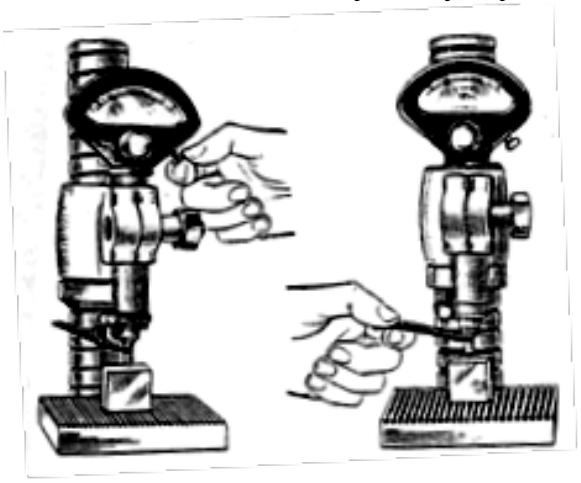
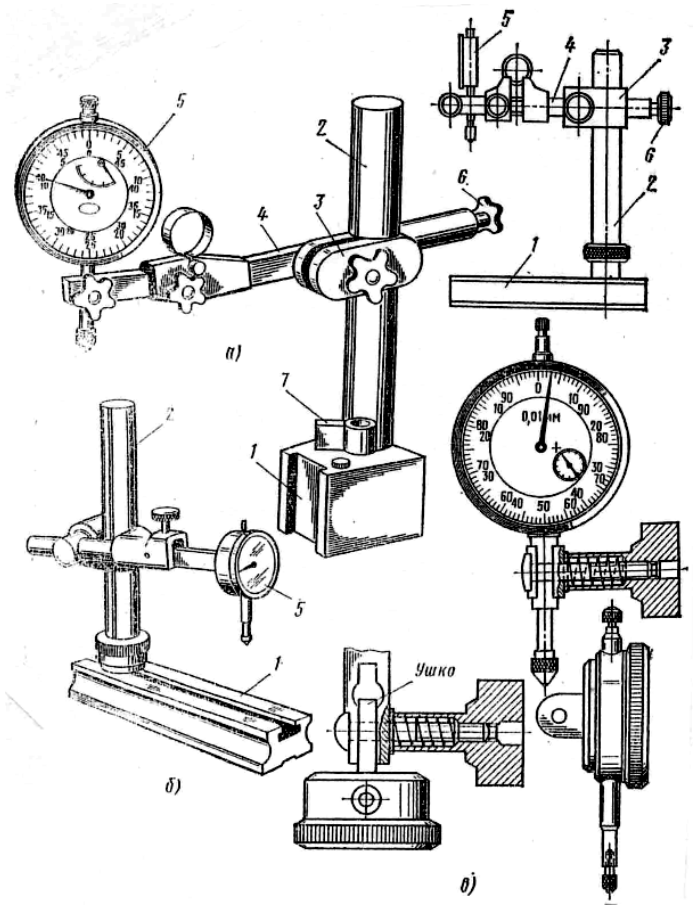


Рис. 23.19 – Окончательная настройка микрокатора на размер

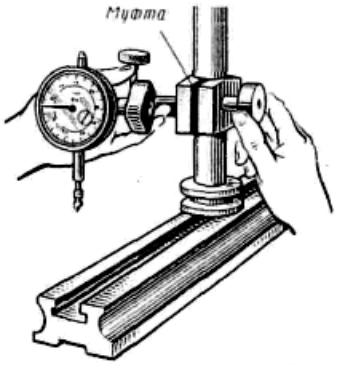
При смещении стрелки миникатора от нулевого положения шкалы после фиксации столика, винтом тонкой настройки шкалы (поз.24. рис. 23.24), находящимся справа головки миникатора, подводим нуль шкалы к стрелке. Затем арретиром проверяют установку нуля. При отклонении стрелки от нуля повторяют операцию поворота шкалы и арретирования.

23.6 Способы работы со штативами

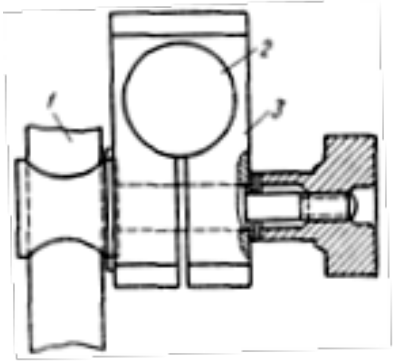


а – штатив ШМ-II; б – штатив Ш-II; в – способы крепления индикаторов.

Рис. 23.20 – Штативы, примеры закрепления в них индикаторов часового типа



Ослабляя зажим крепления муфты, надо поддерживать стержень с державкой



1 – стержень, 2 – колонка, 3 - муфта

Рис. 23.21 – Установка муфты штатива Ш-II относительно колонки

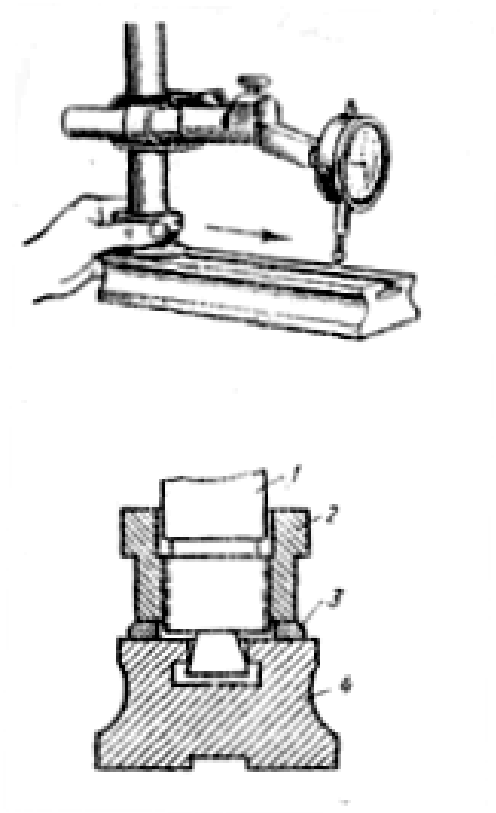


Рис. 23.22 – Перемещение колонки Ш-II относительно основания

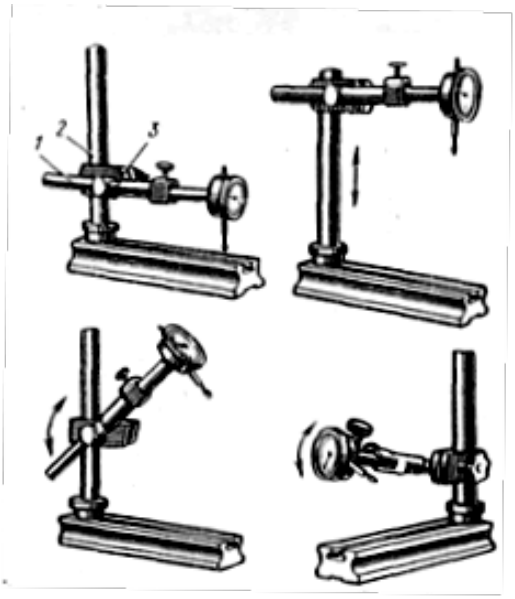


Рис. 23.23 – Установка стержня Ш-II относительно муфты и колонки

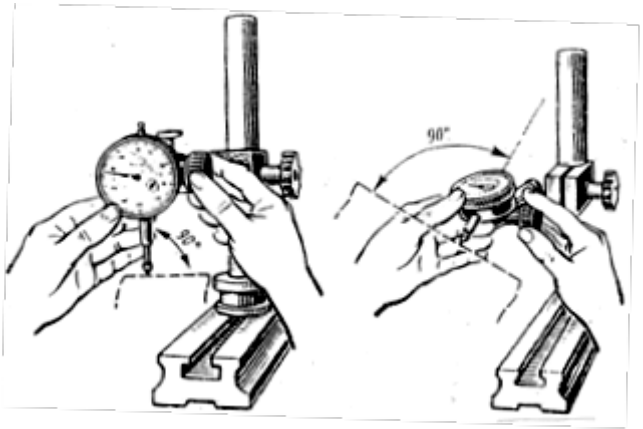


Рис. 23.24– Установка индикатора относительно державки.

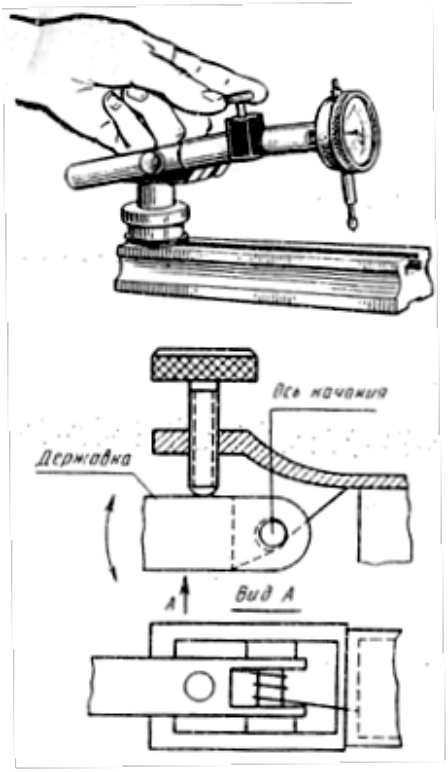


Рис. 23.25 – Регулировка микроподачи на штативе Ш-II.

При работе с индикатором на штативе Ш-II индикатор устанавливается перпендикулярно проверяемой поверхности (рис. 23.24).

Тонкая регулировка натяга индикатора при контакте с деталью осуществляется микроподачей (рис. 23.25).

23.7 Примеры применения стойки 15 СТМ

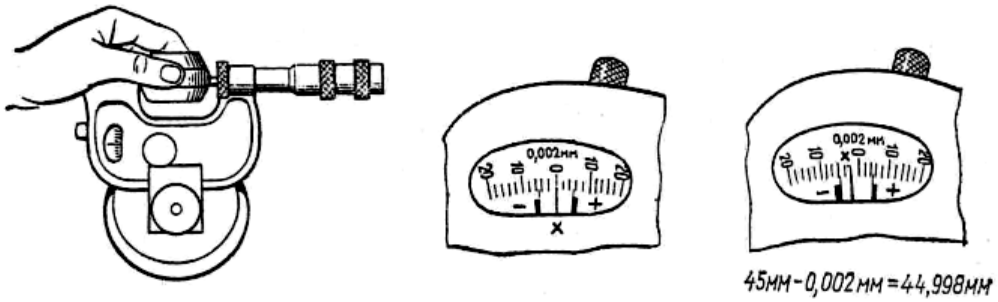


Рис. 23.26 – Измерение детали микрометром рычажным со стойкой 15 СТМ



Рис. 23.27 – Настройка нутромера на размер с помощью микрометра гладкого и стойки 15 СТМ

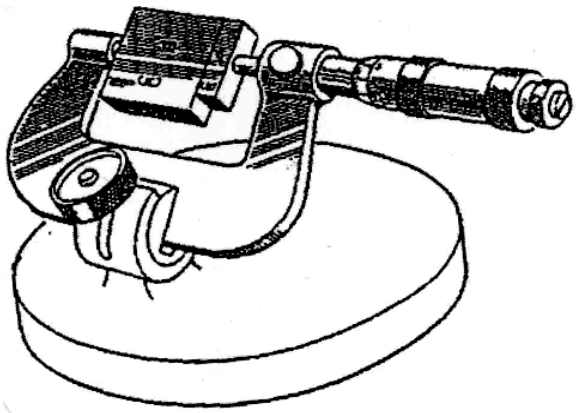


Рис. 23.28 – Поверка микрометра гладкого с помощью стойки 15 СТМ

23.8 Примеры контроля биения

23.8.1 Примеры контроля биения с штативами и стойками

Используя штатив Ш-II (ШМ-II или стойку МС-29) можно производить контроль радиального и торцевого биения непосредственно на станке.

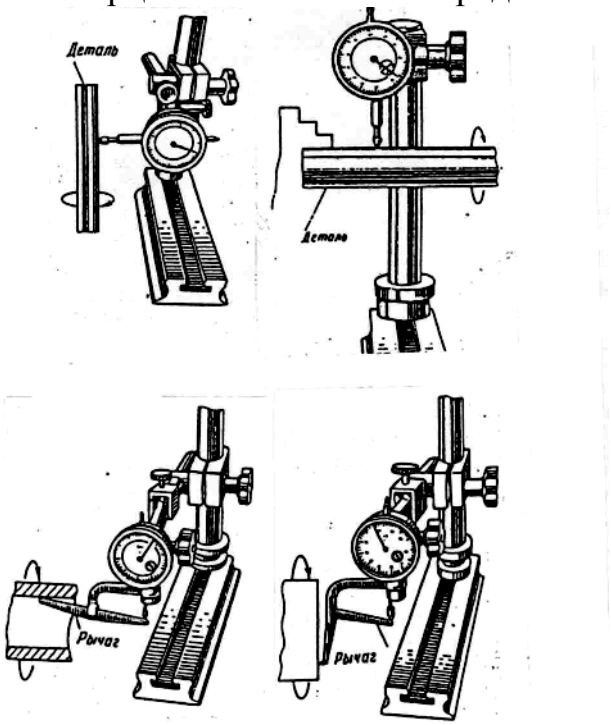


Рис. 23.29 – Контроль биения деталей на станке

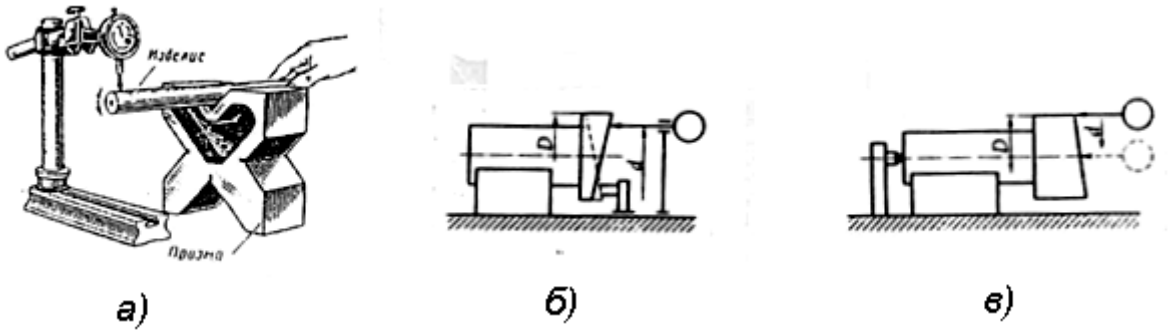
Для контроля биения, прямолинейности в труднодоступных местах применяют малогабаритную специальную стойку с индикатором ИРБ.



Рис. 23.30 – Специальная стойка с индикатором ИРБ

23.9 Примеры контроля биения в призмах

С помощью призм и индикатора со штативом Ш-II осуществляется контроль радиального и торцевого биения.



а – радиального биения; б – торцевого биения с упором на периферии; в – торцевого биения с упором по центру.

Рис. 23.31. Контроль биения в призмах

Контроль биения в центрах.

Контроль биения осевых деталей, как правило осуществляется в центрах.

Контроль биения зубчатого колеса

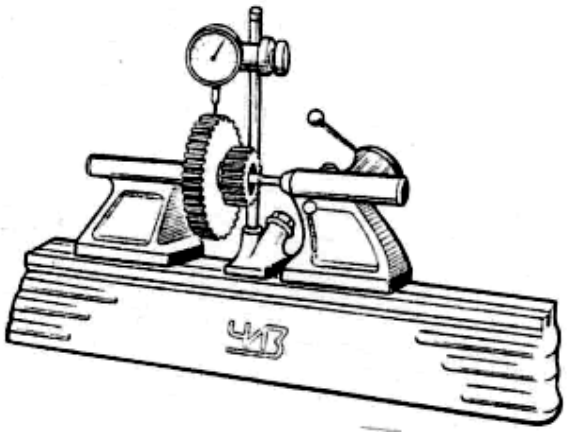


Рис. 23.32 – Контроль биения с центрах ПБ-200

Кроме стандартных центров ПБ-200, ПБ-500 и ПБ-1600 в производстве применяют специальные центра с широким основанием и с применением штативов.

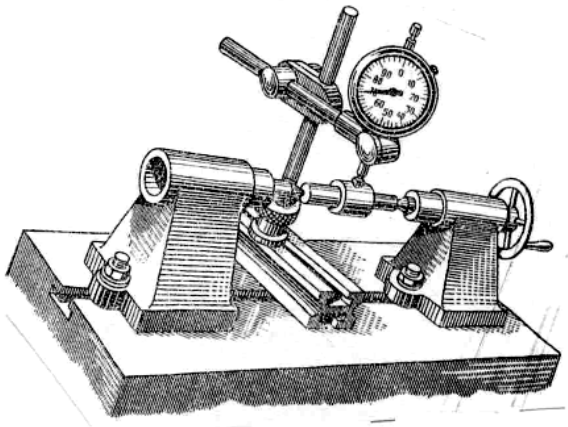


Рис.23.33 – Контроль биения в специальных центрах

Контроль деталей стойкой С-IV

В цеховых условиях широкое применение имеет стойка С-IV.

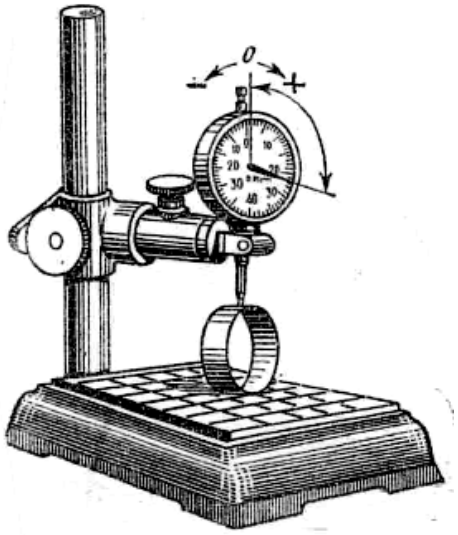


Рис. 23.34 – Пример контроля детали с помощью индикатора и стойки С-IV

Широкое основание стола стойки С-IV 100×160 мм. Позволяет осуществлять контроль деталей. Как абсолютным, так и относительным методом.

Стойки, штативы, призмы, центра для проверки на биение, совместно с индикаторами, имеют самое широкое применение как в измерительных лабораториях, так и в производственных цехах.

Контрольные вопросы

1. Типы стоек.
2. Что из себя представляют стойки для настройки инструмента?
3. Какие типы штативов используются при измерениях.
4. Какие типы призм используются при измерениях?
5. Какие параметры позволяют контролировать центра для проверки биения.
6. Принципы настройки стоек и измерения с помощью стоек и штативов.

Глава 24 Оптико-механические приборы для линейно-угловых измерений

Основные понятия физической оптики

Электромагнитная теория света подтверждает, что все электромагнитные излучения (радиоволны, видимые и невидимые) имеют одинаковую природу и различаются между собой только частотой колебаний ϒ и длиной волны.

Видимая невооруженным глазом область спектра на шкале электромагнитных волн занимает лишь небольшой участок = 380…780 нм.

Весь оптический диапазон спектра или оптическое излучение, включая невидимые излучения, условно ограничивается областью длин волн 0,01-1,0 см.

Оптикой называется раздел физики, в котором изучается:

- природа оптического излучения
- законы его распространения
- процессы, наблюдаемые при его воздействии с веществом.

Условно оптику подразделяют на физическую, геометрическую и физиологическую.

Физическая оптика рассматривает проблемы, связанные с природой света и световых явлений.

Геометрическая оптика рассматривает формирование изображения с помощью световых лучей.

Физиологическая оптика – наука о зрительном восприятии света глазом – смыкается с биофизикой и психологией, исследует механизм зрения, изучает восприятие света глазом.

24.2 Исторический очерк

Явление преломления света было известно уже Аристотелю. Астроном Птолемей (120 год н.э.) заметил, что положение светил на небе изменяется вследствие преломления света атмосферой и попытался выразить закон преломления света количественно, измерив углы падения и преломления.

Закон преломления света открыл голландец Снелиус (около 1620 года), а современную формулировку дал французский математик и философ Ренэ Декарт.

Геометрическое представление о распространении лучей света склоняли ученых к предположению, что свет – это поток частиц, летящих в однородной среде прямолинейно и равномерно (теория о корпускулярной природе света).

Английский философ Роджер Бэкон открыл принцип действия простой линзы, определил ее фокус и обнаружил наличие аберрации.

В 1589 году итальянец Порта изобрел прототип фотоаппарата, а чуть позже были изобретены зрительная труба (итальянский медик Фракосторо) и

прототип микроскопа.

Физик и астроном Галилео Галилей усовершенствовал зрительную трубу, применив отрицательный окуляр, и довел увеличение до 30 х.

Немецкий физик Кеплер создал фундаментальные труды по физиологической оптике и тщательно изучил явление преломления света.

Крупный вклад в развитие физической оптики внес физик Франческо Гримальди, обнаружив, что лучи света при прохождении через узкие отверстия и при огибании препятствий отклоняются от прямолинейного распространения. По-существу, Гримальди открыл явление дифракции, обнаружил интерференцию.

Большое влияние на развитие теории оптических приборов оказал английский математик и физик Исаак Ньютон. Он развил корпускулярную теорию света, открыл явление дисперсии света в призме, установил явление распада света на цветной спектр (красный-оранжевый-желтый-зеленый-голубой-синий-фиолетовый) при прохождении света через трехгранную призму.

Корпускулярная теория света рассматривает световое излучение как поток мельчайших частиц корпускул, испускаемых источником света. При этом корпускулы с большой скоростью летят в однородной среде прямолинейно и равномерно во все стороны.

Волновое представление о природе света разработано английским физиком Робертом Гуком и голландцем Христианом Гюйгенсом, которые и стали по-праву основоположниками волновой теории света.

В 1676 году датский астроном Олаф Ремер измерил скорость света – 300 тыс.км/сек.

В 1801 году немецкий физик Риттер открыл невидимые лучи – ультрафиолетовые – ультрафиолетовое излучение.

В 1817 году английский физик Томас Юнг обосновал волновую теорию света и измерил приблизительно длину волны света.

На основании волновой теории света немецкий физик Шверд разработал теорию дифракционных решеток.

В 1874 году немецкий физик Аббе на основе волновой теории света разработал теорию микроскопа.

Французские физики Фабри и Леро изобрели многолучевой интерферометр, который нашел широкое применение в метрологии.

Американский физик Майкельсон создал двухлучевой интерферометр, с помощью которого измерил эталон метра в длинах световых волн.

Современная теория света сформировалась на базе двух теорий – корпускулярной (квантовой) и волновой (электромагнитной). Эти теории лишь в совокупности позволяют объяснить все известные оптические явления.

С открытием в 1954 году советскими физиками Басовым и Прохоровым, а в США – Гордоном, Цейгером и Таунсоном, квантового генератора в сантиметровом диапазоне волн начался процесс развития лазерных источников света и приборов.

Лазерный луч можно сфокусировать в пятно диаметром примерно равным длине волны света и получить плотность энергии, превышающую плотность ядерного взрыва.

В промышленности и науке лазеры нашли самое широкое применение:

в промышленности орудия труда: плавление, пайка, резка металла и пр.,

в хирургии: операционный инструмент,

окружающая среда: приборы контроля загрязнения атмосферы на различных высотах, измерение температуры, состав атмосферы, скорость воздушных течений,

в приборостроении: монохроматические источники излучения в оптических приборах, гироскопах, светодальномерах и пр. По дальности светодальномеры достигают искусственных спутников Земли.

24.3 Обзор номенклатуры

1 Микроскопы световые:

биологические
биологические исследовательские
стереоскопические
металлографические
микроспектрального анализа
поляризационные
люминесцентные
микроскопы-фотометры

2 Лупы

3 Приборы электронно-оптические для исследования микроструктуры вещества.

4 Приборы для измерения и контроля длин, углов, шероховатости, формы поверхности.

5 Приборы для спектрального анализа.

6 Приборы фотометрические:

приборы светового излучения
приборы постоянного и импульсного излучения (фотометры)
колориметры

7 Геодезические приборы

8 Медицинские приборы:

эндоскопы
приборы исследования функций зрения
рентгеновские аппараты

9 Тепловизоры

10 Фото-киноаппаратура.

Рассмотрим более подробно приборы группы 4 для измерения и контроля линейных размеров, углов, шероховатости и форм поверхностей, так как именно они нашли наиболее широкое применение в

машиностроении. Прежде всего, это – микроскопы инструментальные и универсальные, длиномеры, оптиметры, проекторы, оптические линейки, визирные измерительные трубы, автоколлиматоры, измерительные машины, интерферометры.

24.4 Приборы измерения длин и углов

24.4.1Микроскопы инструментальные (ГОСТ 8074-82) предназначены для абсолютных измерений углов и длин различных деталей в прямоугольных и полярных координатах. В соответствии с ГОСТ 8074-82 выпускают микроскопы с микрометрическими измерителями двух типов:

тип А – без наклона головки

тип Б – с наклоном головки.

До введения в действие ГОСТ 8074-82 существовала следующая классификация марок инструментальных и универсальных микроскопов:

малый инструментальный микроскоп ИМ 100×50 А

большой инструментальный микроскоп ИМ 150×50 А

универсальные микроскопы УИМ-200, УИМ 200Э, УИМ-500Э.

В ГОСТ 8074-82 классификация марок изменена:

малый инструментальный микроскоп ММИ

большой инструментальный микроскоп БМИ

Инструментальный микроскоп ММИ выпускается с наклонной окулярной головкой, микроскоп БМИ – с вертикальной окулярной головкой.

Большой инструментальный микроскоп (рис. 24.1) имеет основание *3,* на котором расположен подвижной стол, состоящий из трех частей: нижней, верхней *1* и поворотной. Продольное перемещение нижней части стола осуществляется микрометрической головкой *6,* а поперечный ход верхней части стола – головкой *2*. Угловое перемещение его поворотной части на 5 – 6 градусов вправо и влево производится винтом *5*. Перемещение с помощью головок *2* и *6* ограничивается в пределах 25 мм. Для увеличения хода стола в продольном направлении его отводят вправо рычагом *4* еще на 50 мм.

На основании *3* микроскопа установлена колонна *10*, на которой может перемещаться кронштейн *12*, закрепляемый винтом *11*. Тубус *17* микроскопа расположен на кронштейне. В нижней части тубуса установлен объектив *18,* а в верхней части – головка микроскопа, состоящая из двух окуляров *14* и *15*.

Под окулярами с помощью винта *16* вращается стеклянная пластинка с продольными и поперечными штрихами и круговой градусной шкалой на 360º. Под окуляром *15* расположена неподвижная пластинка со шкалой, на которой нанесено 60 делений. Каждое деление соответствует одному повороту подвижной пластинки.

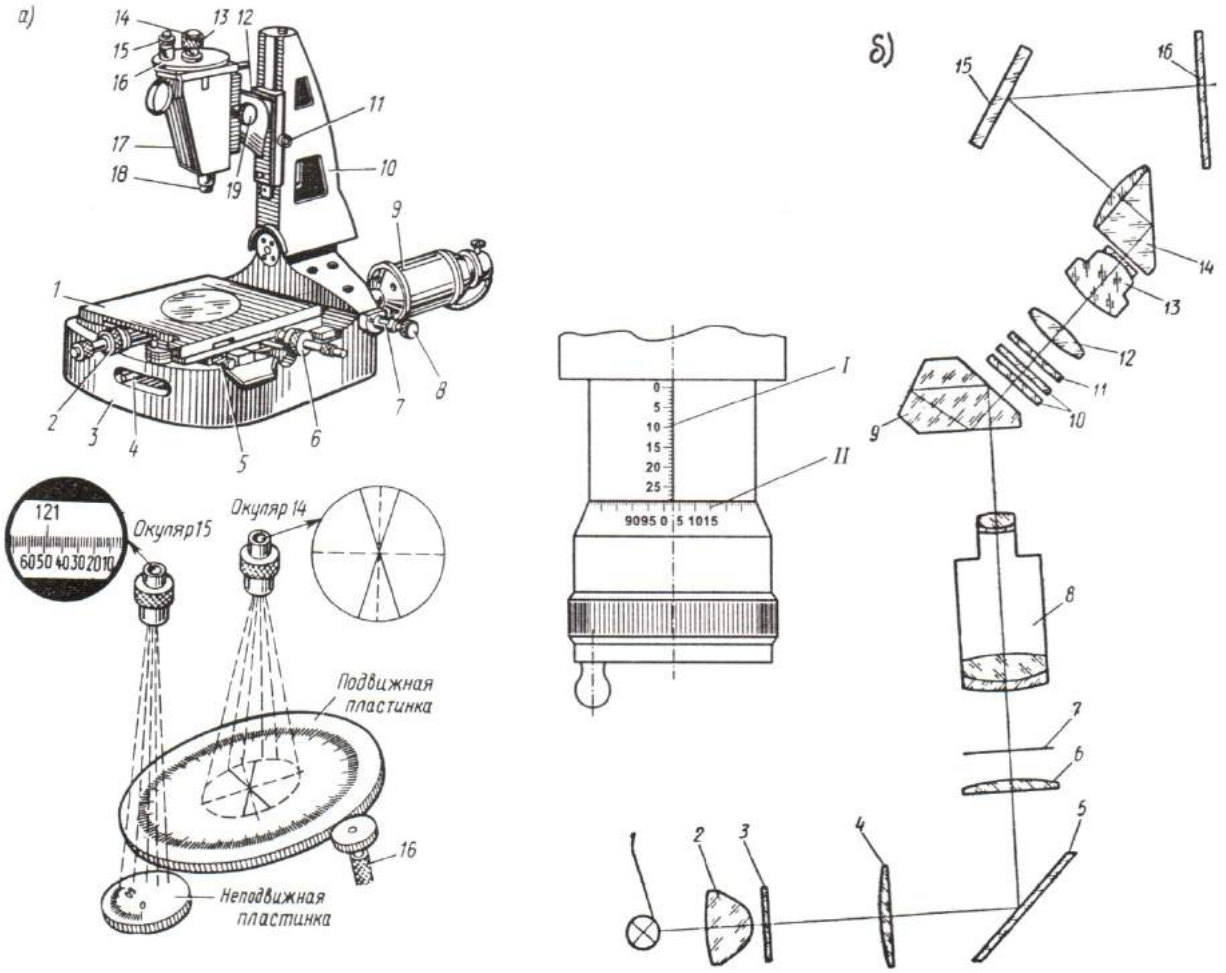


Рис. 24.1 – Инструментальный микроскоп (а) и его оптическая схема (б)

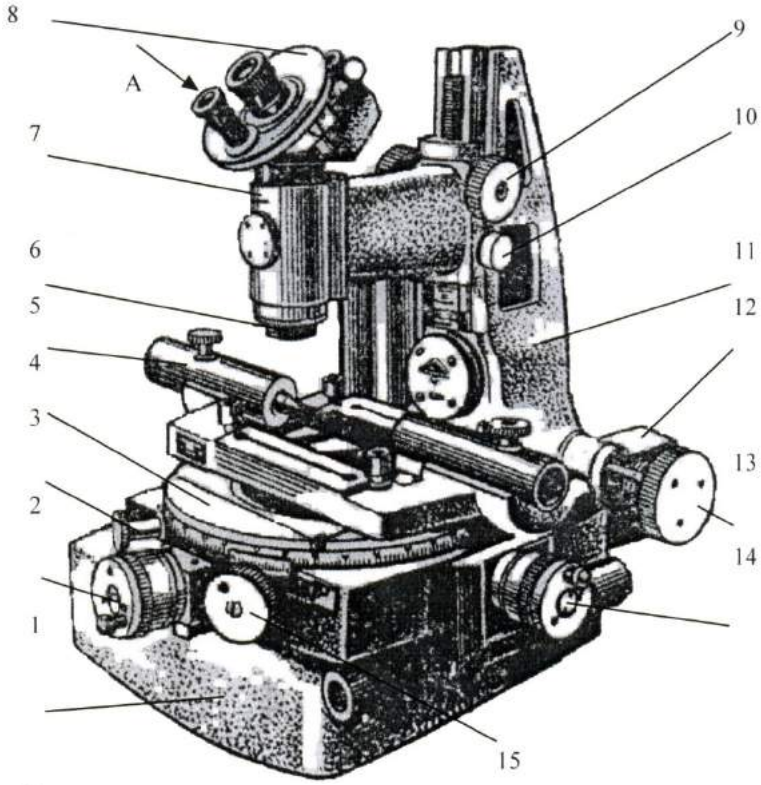
В окуляре *14* видно перекрестие двух сплошных линий, расположенных под углом 60º. Перекрестие является границей перемещения детали при отсчете линейных размеров и углов.

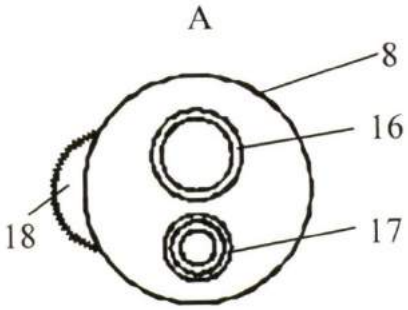
Грубая настройка на фокус достигается перемещением кронштейна микроскопа по колонне, а более точная – винтом *19*. Окончательная настройка на фокус производится вращением кольца *13* окуляра *14.* Колонна микроскопа может поворачиваться на небольшой угол винтами *8*. Для отсчета углов поворота на винтах имеются деления *7.* Шкалы освещаются электрической лампой, установленной в тубусе *9* (рис. 24.2).

При контроле линейных размеров на больших инструментальных микроскопах требуется правильная установка объекта на круглом столе. Отсчеты, по шкалам барабанов, производят с точностью 0,005мм. При измерении угловых размеров производят центровку круглого стола путем совмещения центра его вращения с началом координат – точкой пересечения креста нитей окулярной угломерной головки. Вершина измеряемого угла изделия должна быть в центре креста нитей, изображение одной из сторон угла совмещают со штриховой линией сетки, и отсчет производят по угломерной шкале стола микроскопа. Затем совмещают другую сторону угла изделия с этой же штриховой линией сетки и производят второй отсчет по

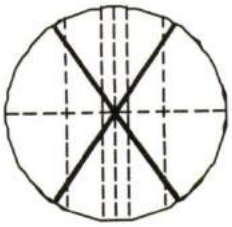
шкале стола. Разность отсчетов составит величину измеряемого угла.

Примеры измерения деталей на инструментальных микроскопах приведены на рис. 24.3, а; 24.3, б; 24.3, в и 24.3, г.

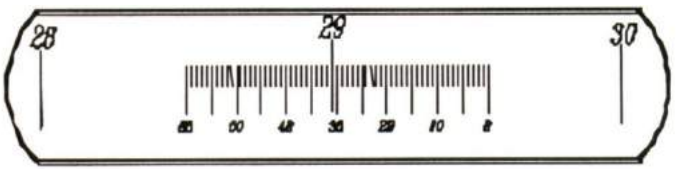




1–основание; 2–микрометрический винт поперечной подачи; 3–рукоятка крепления стола; 4–круглый предметный стол; 5–центровая бабка; 6–кольцо фокусировки тубуса; 7–кронштейн с тубусом; 8–штриховая окулярная головка отсчета с отсчетным микроскопом угломерной шкалы; 9–маховик перемещения кронштейна; 10–стопорный винт; 11–колонка; осветитель; 13–маховик наклона колонки; 14–микрометрический винт продольной подачи; 15–маховик поворота стола; 16–центральный окуляр; 17–окуляр угломерного микроскопа; 18–маховик угломерной шкалы



а) Штриховая сетка



б) Градусная и минутная шкала

а–штриховая сетка; б–градусная и минутная шкала

Рис. 24.2 – Большой инструментальный микроскоп с центрами и поворотным столом

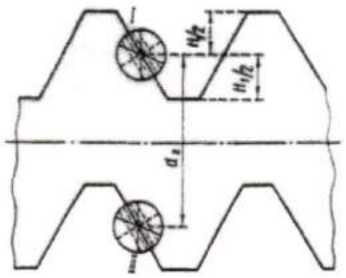


Схема измерения среднего диаметра резьбы на одной стороне профиля: I – 37,469 мм; II–62,520 мм; d=62,520 мм – 37,469 мм = 25,051 мм.

Рис. 24.3 *а*

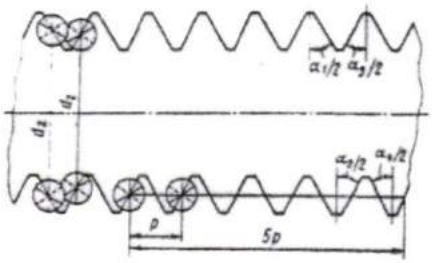
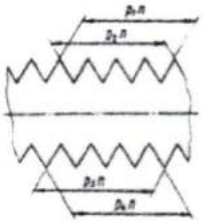
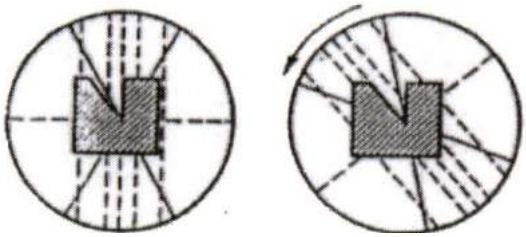


Схема измерения среднего диаметра резьбы по двум сторонам профиля, угла профиля по его половинам и шага резьбы по его одной величине и нескольким виткам.

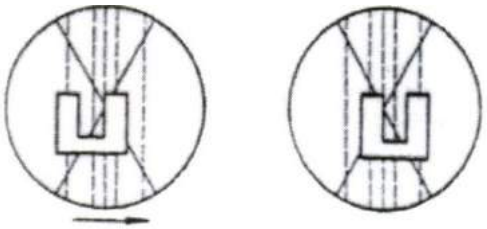


Измерение шага резьбы по правым и левым сторонам профиля на его противоположных сторонах.

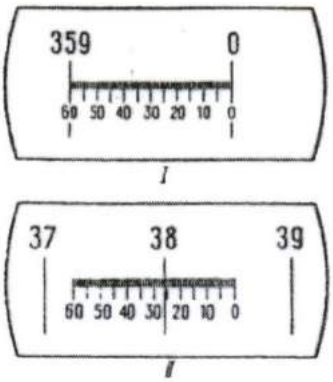
Рис. 24.3 *б*



Проекция углового изделия на штриховой сетке

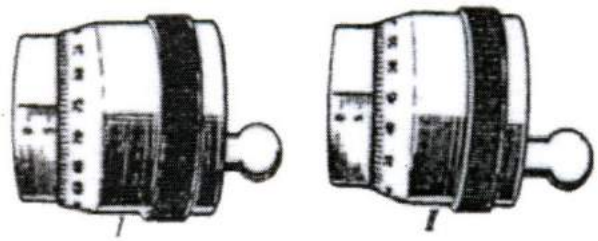


Проекция изделия на штриховой сетке



Показания I-0, II-38º26'. Результат измерения: 38º26'

Рис. 24.3 *в*



Показания I-6,75 мм, II-7,455 мм. Результат измерения: 7,455 мм – 6,75 мм = 0,705 мм

Рис. 24.3 *г*

Малый инструментальный микроскоп

Микроскоп ПМЦ (рис. 24.1) состоит из основания прямоугольной формы *1*, сзади которого закреплен осветитель проходящего света. На корпусе закреплена колонна *2*, на которой расположен корпус микроскопа *3*. Корпус может передвигаться по колонне с помощью механизма грубого вертикального перемещения *4*.

Координатный стол *5* перемещается в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с помощью микровинтов, по оси *X* рукояткой *6*, а по оси *Y* рукояткой *7*. Для отсчета величины перемещения служат фотоэлектрические преобразователи с дискретностью 0,001 мм. Отсчет показаний производится с помощью цифрового отсчетного устройства *8*. Пределы перемещения микрометрических винтов 0–25 мм. В случае необходимости пределы измерения перемещения стола. Могут быть, увеличены за счёт размещения плоскопараллельных мер длины между опорными площадками стола и торцами микрометрических винтов.

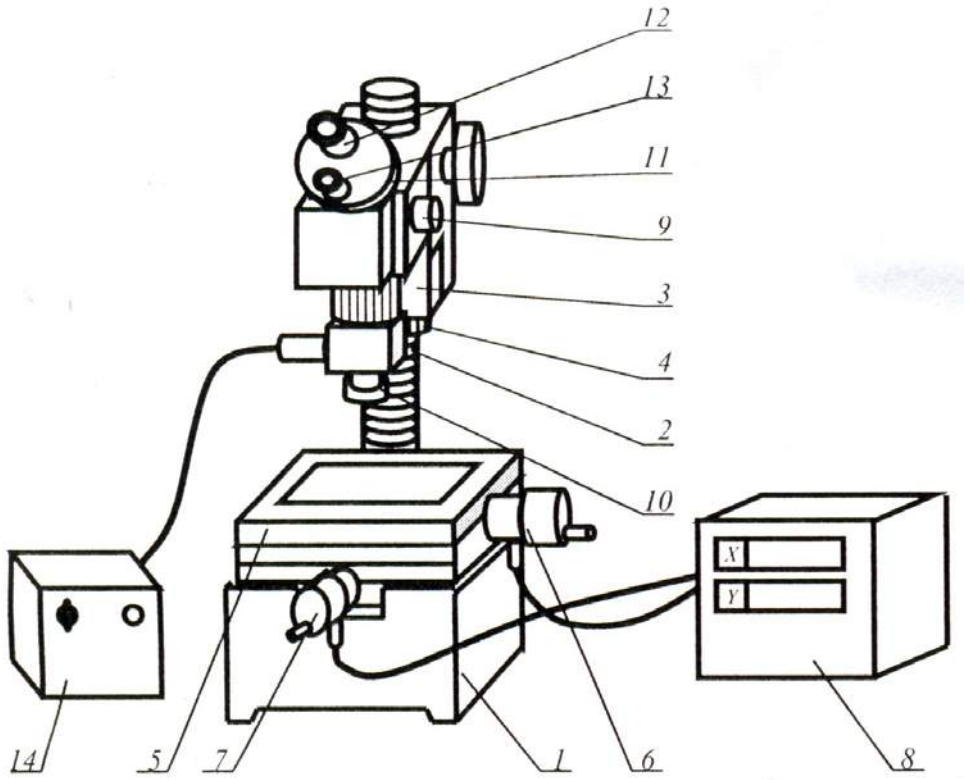


Рис. 24.4 – Малый инструментальный микроскоп

Тубус микроскопа перемещается в корпусе с помощью ручки *9*. В тубус могут быть ввернуты сменные объективы *10* с увеличением 10^x, 20^x или 40^x. В верхней части тубуса устанавливается окулярная головка *11* с основным окуляром *12* и окуляром угломерной шкалы *13*. В нижней части тубуса расположен осветитель для работы в отраженном свете.

Питание микроскопа осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц через блок питания *14*.

Технические характеристики микроскопов приведены в табл. 24.1.

Таблица 24.1

Микроскопы Новосибирского приборостроительного завода

Технические характеристики	ИМЦЛ1 100×50, А	ИМЦЛ1 150×50, Б	ИМЦЛ1 150×75, А	ИМЦЛ 200×75, А
Диапазон измерения длин: в продольном направлении, мм	0-100	0-150	0-150	0-200
в поперечном направлении, мм	0-50	0-50	0-75	0-75
Дискретность отсчета линейных перемещений, мм	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Максимальный диаметр изделия, устанавливаемого в центрах, мм	85	85	85	85
Погрешность при измерении линейных размеров, мм	± 0,003	±0,003	± 0,003	±0,004
Габаритные размеры, не более, мм	370×355×540	450×570×590	460×520×590	460×570×590
Масса, не более , кг	40	80	80	90

24.4.2 Микроскопы измерительные универсальные (ГОСТ 14968-69) УИМ

Универсальные микроскопы предназначены для измерения длин, углов и профилей изделий.

Методы измерений:

- проекционный;
- осевого сечения.

Универсальные измерительные микроскопы имеют значительные преимущества перед инструментальными микроскопами за счёт увеличения пределов измерений и применения стеклянных шкал и окулярных микрометров с круговой шкалой, что позволяет производить отсчёты с дискретностью 1 мкм, а также применения таких узлов, как вертикальный длинномер ИЗВ-30, поворотного стола СТ-31Б, позволяющих производить измерения в 4^x координатах.

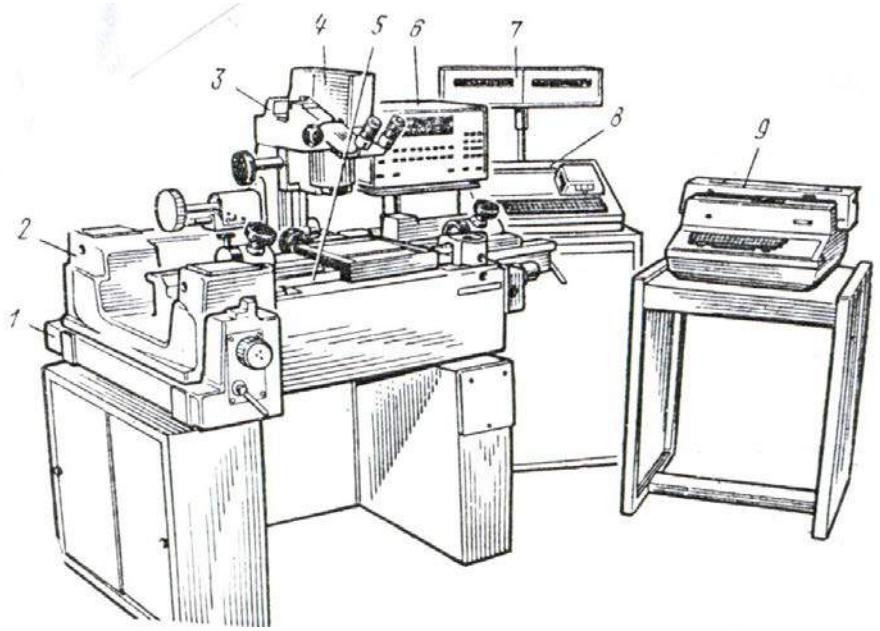


Рис. 24.5 – Двухкоординатный измерительный прибор ДИП-3

На рис. 24.5 показан ДИП-3. Этот прибор имеет преимущества перед БМИ и ИМЦЛ возможностью измерения более крупных объектов и наличием цифрового печатающего устройства. Основными частями микроскопа являются: основание *1*, поперечная каретка *2*, колонка *3*, визирное устройство *4* с бинокулярной головкой, продольная каретка *5*, электронный блок обработки измерительной информации *6*, панель *7* с цифровой индикацией, положения кареток, микроЭВМ *8* печатающее устройство *9*.

Основные параметры ДИП-3

Линейные перемещения, мм:
- продольной каретки 200
- поперечной каретки..... 100

Дискретность отсчёта линейных перемещений, мкм..... 0,2

Максимальная погрешность измерения линейных размеров, мкм 3

Угол поворота измерительного станка, град 360

Цена деления угломера, мин..... 1

Методы измерения на универсальных микроскопах

Проекционный метод измерения на универсальных микроскопах аналогичен методам замеров на инструментальных микроскопах, отличается большей точностью установки изделия и отсчетом результатов измерения.

Метод осевого сечения выполняется с помощью ножей. Ножи представляют собой плоскость измерения (для тел вращения эта плоскость будет осевым сечением) (рис. 24.6).

Помимо тел вращения методом осевого сечения можно также измерить и плоские детали (рис. 24.7).

Перед установкой ножей на конец оправы объектива надо установить насадку, закрепить ее винтом, полностью открыть диафрагму и установить измеряемое изделие.

Установка ножей в ножедержатели производится после того, как на наименьшем расстоянии от измеряемой детали установлены опорные площадки для ножей. Ножи устанавливают в ножедержатели осторожно, нельзя перемещать прилегающий к изделию нож, а также поворачивать или перемещать изделие, если нож к нему уже прижат.

Порядок чтения показаний измерения на универсальном микроскопе приведен на рис.

Миллиметровый штрих шкалы «46» находится в зоне шкалы десятых долей миллиметра между цифрами 3 и 4, отсчетный индекс находится в зоне круговой шкалы возле числа «62». Отсчет измерения для данного случая составляет: «46,362 мм».



1,8 – винты; 2, 11 – ножедержатели; 3, 6 – опорные площадки; 4 – измерительный нож; 5 – калибр; 7 – регулировочное кольцо открытия диафрагмы; 9 – насадка; 10 – винт.

Рис. 24.6 – Измерение диаметра методом осевого сечения

Пример измерения плоской детали с помощью измерительных ножей.

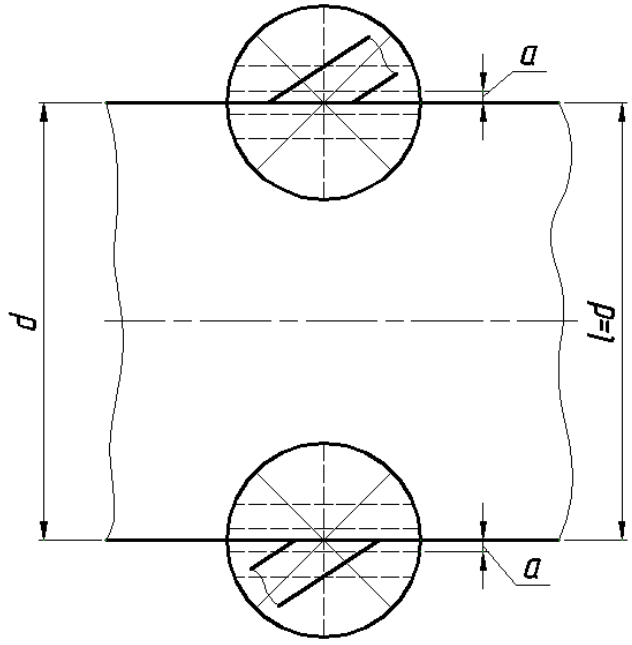


Рис. 24.7 – Схема измерения длины методом осевого сечения

Принадлежности к универсальным микроскопам:

Вертикальные длинномеры ИЗВ-29 или ИЗВ-30 являются дополнительными приспособлениями к двухкоординатному микроскопу УИМ и предназначены для измерения наружных размеров деталей контактным методом по третьей вертикальной координате. С помощью длинномеров можно измерить ступенчатые детали и детали с криволинейными поверхностями, контролировать калибры, конусы, радиальное биение подшипников.

Диапазон измерений с помощью длинномеров от 0 до 100мм.

Дискретность отсчета 0,5 мкм.

Измерительное усилие 2 + 0,5 Н.

Предел допустимой погрешности (1,0 + L/120)мкм, где L – измеряемая длина.

Стол круглый СТ-31 предназначен для угловых измерений различных по назначению деталей как совместно с универсальными микроскопами Б так и самостоятельно (в составе различных измерительных установок).

Особенностью стола СТ-31 является применение фотоэлектрической системы отсчета, включающей в себя измерительный преобразователь круговых перемещений и блок цифровой индикации, на цифровом табло которого отражена информация в градусах, минутах, секундах, а также знаки, характеризующие направление поворота контролируемой детали.

Диапазон измерений от 0 до 360 гр.

Дискретность отсчета 1 с.

Пределы допустимой погрешности + 10 с.

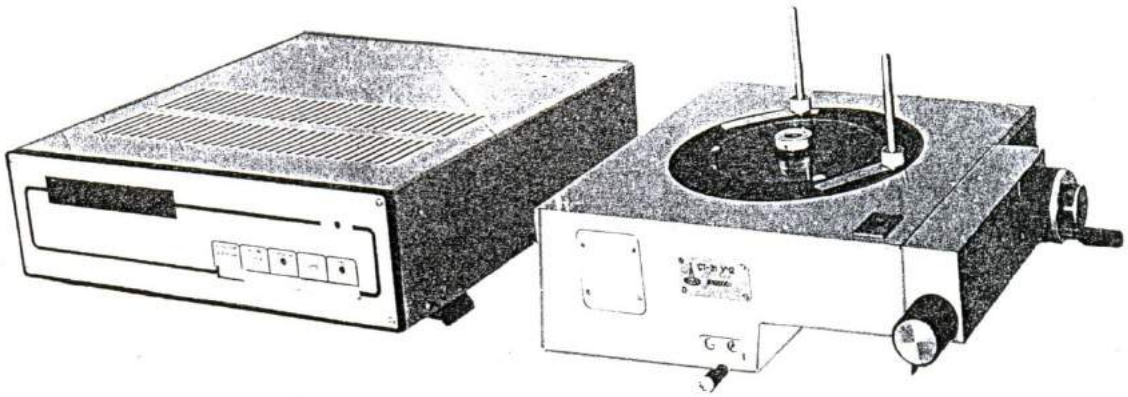


Рис. 24.8 – Стол круглый СТ-31

Измерительная бабка ИБ-30 предназначена для угловых измерений деталей, установленных в центра. В качестве отсчетной применена фотоэлектрическая система, включающая в себя измерительный преобразователь круговых перемещений и блок цифровой индикации, на цифровом табло которого отражается информация в градусах, минутах и секундах, а также знаки, характеризующие направление поворота контролируемой детали.

Диапазон измеряемых углов от 0 до 360 гр.

Дискретность отсчета 1 с.

Пределы допускаемой погрешности + 20 сек.

Устройство для контроля внутренних размеров ИЗО-2 служит для измерения диаметров отверстий до 0,8 мм, деталей с параллельными гранями, калибр-скоб. Для выполнения работ устройство ИЗО-2 устанавливается на объектив микроскопа.

Принципиальная оптическая схема устройства показана на рис. 24.10.

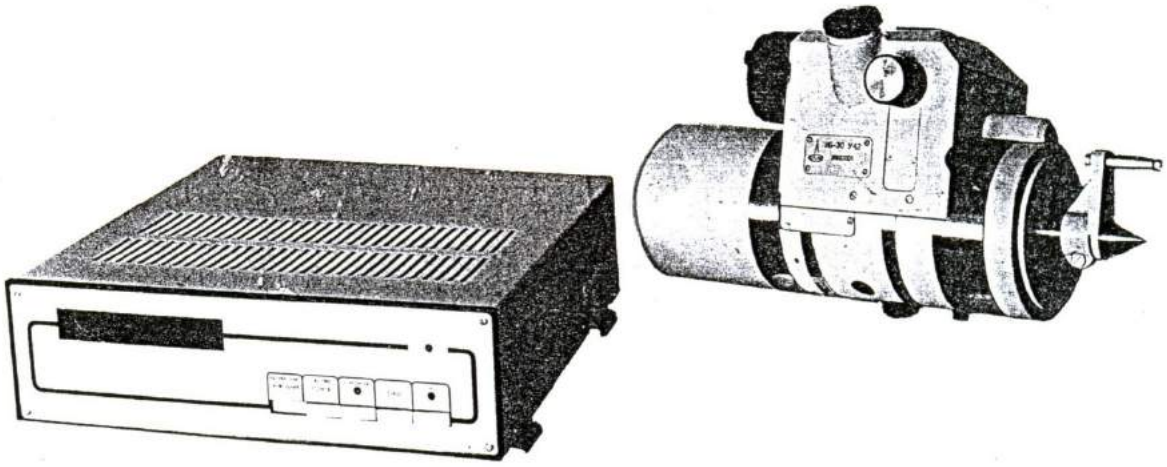


Рис. 24.9 – Измерительная бабка ИБ-30

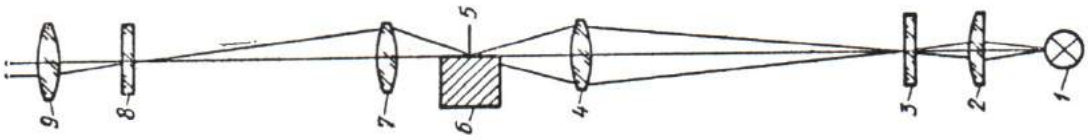


Рис. 24.10 – Оптическая схема устройства ИЗО-2

Схема состоит из двух частей, расположенных на одной оси: осветительной части *1 – 4* и микроскопа *6 – 9*. Через последний рассматривается изображение креста сетки *3*, проецируемого в предметную плоскость *5* осветительной частью схемы.

Контролируемый объект *6* устанавливается между объективами *4* и *7* так, чтобы вертикальная плоскость была параллельна оптической оси. При перемещении предметного столика с объектом перпендикулярно оптической оси в поле зрения окуляра *9* на сетке *8* появляется изображение креста сетки *3*, отраженное от вертикальной плоскости объекта. В момент совмещения плоскости объекта с осью оба изображения креста сливаются, после чего выполняется отсчет.

Величина смещения зеркального изображения креста в 2 раза больше перемещения объекта. Параллельность рабочей плоскости объекта в оптической оси проверяют при вертикальном перемещении объекта, она имеет место при неподвижном положении зеркального изображения креста.

24.4.3 Оптиметры – это приборы для линейных измерений методом

сравнения. В основу действия оптиметров положены законы отражения и преломления света.

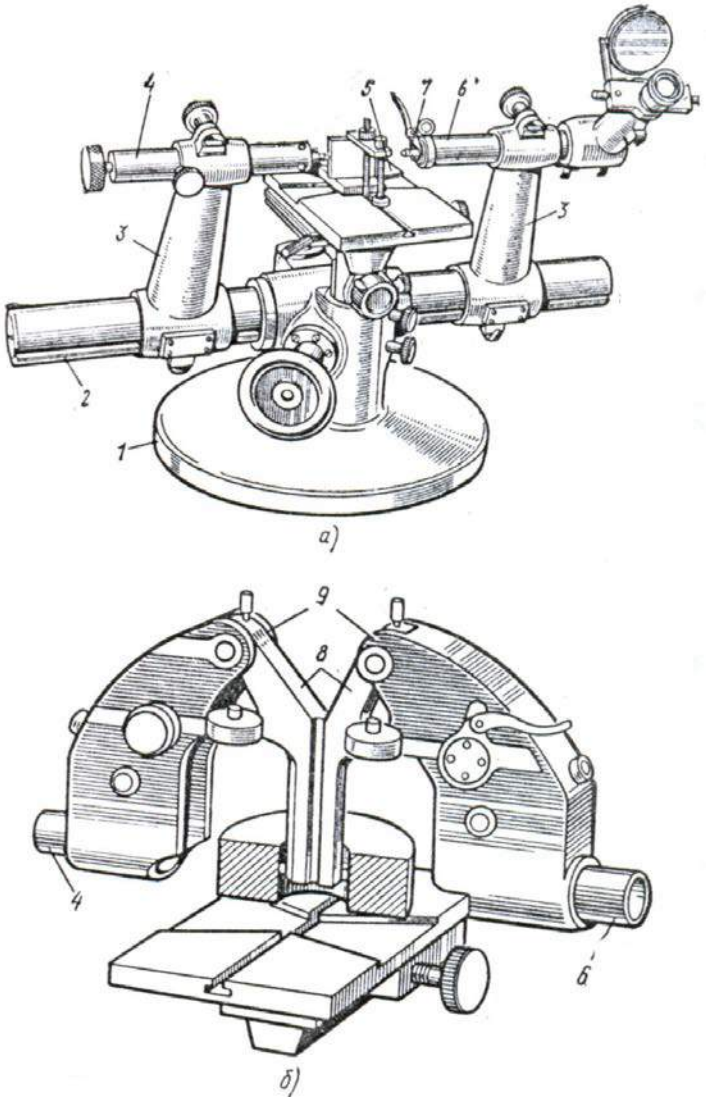
Вертикальный оптиметр служит в основном, для поверки рабочих концевых мер длины 3-5 классов и аттестации калибров.

Устройство, порядок настройки и работы описаны в главе 16 (рис. 16.12 – 16.14).

Оптиметр горизонтальный ИКГ

Оптиметр горизонтальный по принципу работы аналогичный вертикальному оптиметру, однако, на нём, с помощью специальных приспособлений, можно измерять также внутренние размеры деталей. Горизонтальный оптиметр ИКГ предназначен для измерения наружных размеров от 0 до 350 мм и внутренних – от 13,5 до 150 мм.

В зависимости от формы измеряемой поверхности контролируемой детали и исходя из того, что между поверхностью детали и измерительным наконечником оптиметра контакт должен быть минимальным, наконечник выбирается плоский, сферический или плоский ножевидный.



а–общий вид; б–измерение внутренних размеров детали

Рис. 24.11 – Горизонтальный ИКГ

Устройство оптиметра горизонтального

Оптиметр состоит из основания *1* (рис. 24.11, а), на котором закреплён вал *2* и два кронштейна *3* на которых крепится пиноль *4* с переставным наконечником. На другом кронштейне крепится трубка оптиметра *6* с измерительным наконечником. На другом кронштейне крепится трубка оптиметра *6* с измерительным наконечником *7*. Предметный столик *5* регулируется по высоте маховичком и устанавливается в любое по высоте удобное для измерения положение.

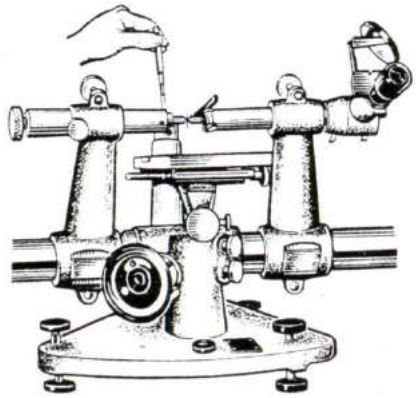
Для измерения внутренних размеров деталей служит устройство, состоящее из серьг *8* (рис. 24.11, б), подвешенных в дугах *9* и в свою очередь укреплённых – одна на пиноли *4*, а другая на трубке оптиметра.

В группе оптиметров имеются также проекционные модели, в которых результат измерения появляется на экране с неподвижным указателем, относительно которого перемещается изображение шкалы прибора при смещении измерительного стержня.

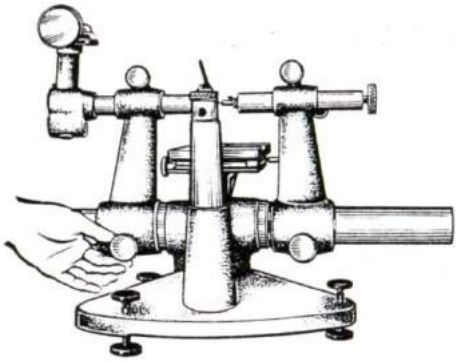
В настоящее время промышленность выпускает ультраоптиметры с ценой деления 0,0002 мм.

К недостаткам оптиметров следует отнести малые пределы измерения по шкале и необходимость настройки на заданный размер.

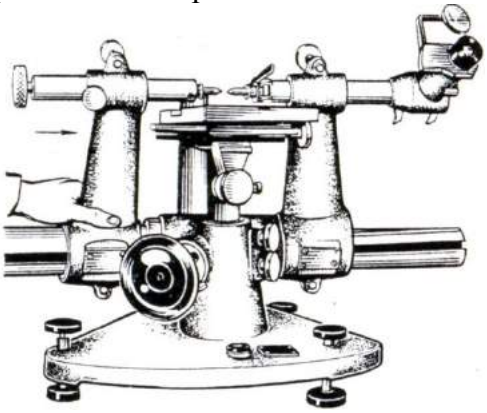
Примеры настройки оптиметра горизонтального при измерениях



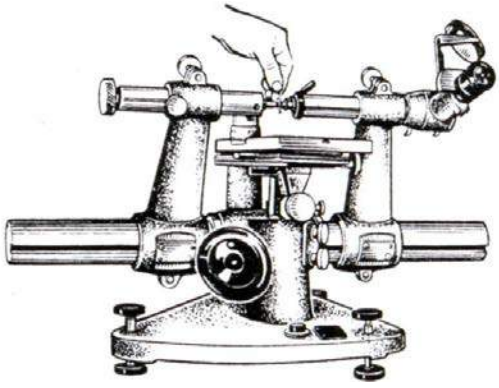
Закрепление измерительного наконечника



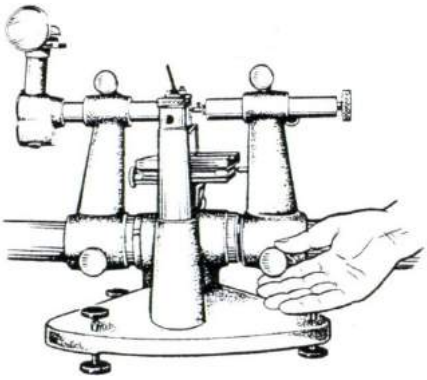
Закрепление кронштейна трубки оптиметра



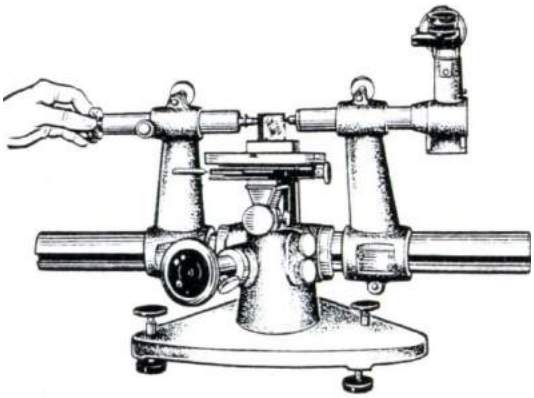
Перемещение кронштейна до расстояния 1–2 мм между измерительными наконечниками



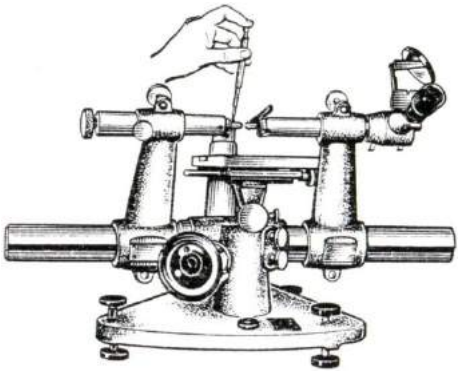
Помещение концевой меры 1–2 мм между измерительными наконечниками



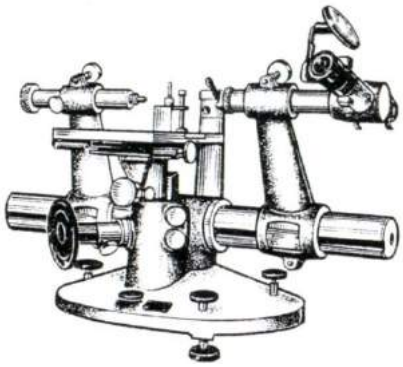
Закрепление кронштейна пиноли



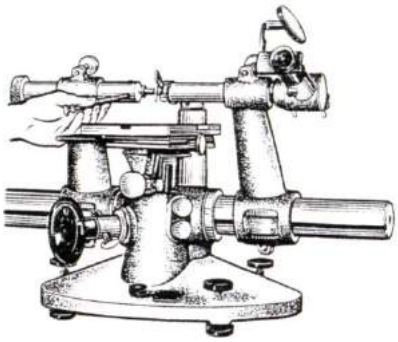
Приблизительная установка шкалы трубки оптиметра на нуль



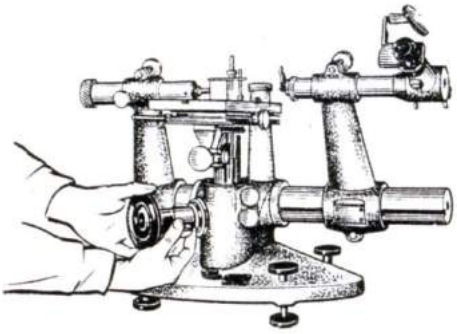
Регулировка измерительного наконечника пиноли в вертикальной плоскости



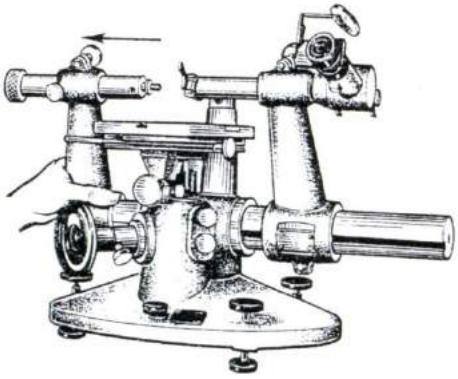
Установка блока концевых мер на стол



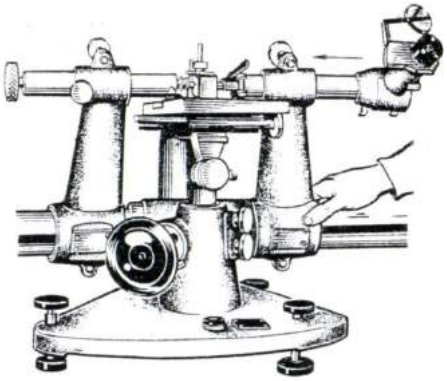
Регулировка измерительного наконечника пиноли в горизонтальной плоскости



Перемещение и закрепление блока концевых мер в вертикальном направлении



Перемещение кронштейна на размер немного более измеряемого изделия



Перемещение кронштейна до соприкосновения измерительных наконечников с блоком концевых мер

Рис. 24.12 – Настройка оптиметра горизонтального по блоку КМД при измерении наружной поверхности

В лабораториях промышленных предприятий широкое распространение получил горизонтальный оптиметр ИКГ-3 (рис. 24.13).

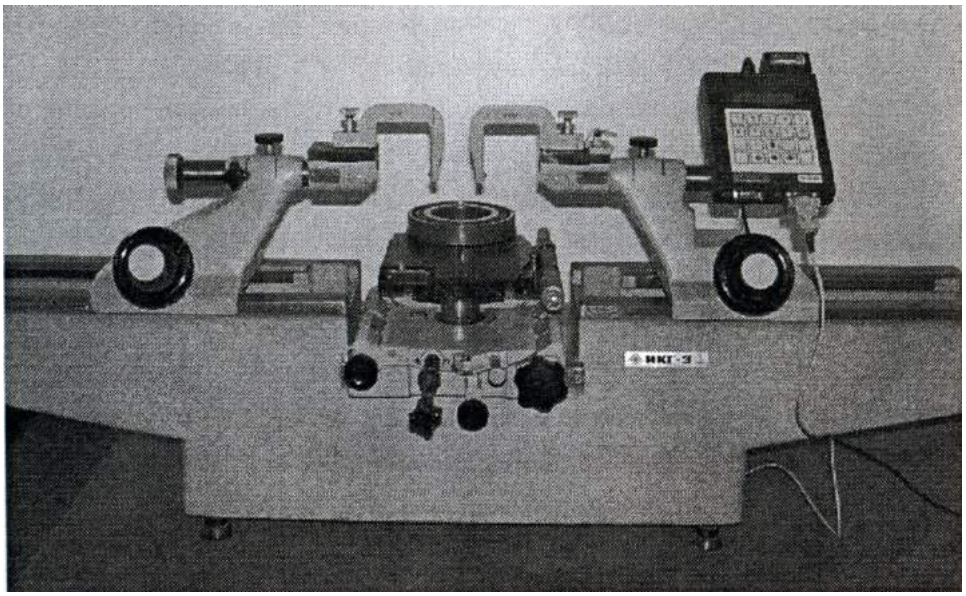


Рис. 24.13 – Горизонтальный оптиметр ИКГ-3

Прибор состоит из основания, левой бабки, в которой закреплён измерительный преобразователь с присоединительным диаметром Ø28 мм.

Основание представляет собой жёсткую станину с плоскими направляющими, по которым перемещаются пинольная и измерительная бабки. Бабки перемещаются с помощью маховичков и фиксируются в требуемом положении зажимными винтами.

В центре станины установлен предметный столик, на котором располагается измеряемая деталь Предметный стол может перемещаться по двум координатам и поворачиваться вокруг вертикальной и горизонтальной осей В продольном направлении стол свободно перемещается в шариковых направляющих, позволяя детали базироваться относительно измерительных наконечников

Внутри пиноли с помощью микрометрического винта перемещается стержень, который регулирует положение неподвижного наконечника

В измерительной бабке размещается измерительный преобразователь, который фиксирует смещение измерительного наконечника

В горизонтальном оптиметре реализуется дифференциальный принцип измерения Измеряемый размер определяется путем сравнения с эталонным кольцом или концевой мерой длины

24.4.4 Длинномеры – как видно из самого названия – это измерительные приборы для измерения линейных размеров (длин).

Длинномеры подразделяются на вертикальные ИЗВ-1, ИЗВ-2, ИЗВ-3, ИЗВ-5, ИЗВ-6 и горизонтальные ИКУ-2, ИЗГ-5, ИЗГ-6.

Длинномеры служат как для абсолютных, так и для относительных измерений. Предел измерения по шкале, как правило, 0 – 100 мм.

На длинномере ИЗВ-6 предел измерений от 0 до 160 мм .

На длинномере ИЗГ-6 предел измерений для наружных поверхностей

до 600 мм, для внутренних (с помощью измерительных дуг – от 12 до 450 мм.

Длинномеры ИЗГ-5, ИЗГ-6, ИЗВ-5, ИЗВ-6 оснащены микроЭВМ, предназначенной для управления прибором и решения вычислительных задач, возникающих в ходе измерений.

Погрешности измерения длинномеров с микроЭВМ:

а) при измерении наружных поверхностей

- в диапазоне 0 – 100 мм + (0,2 + L/500) мм
- в диапазоне 100 – 600 мм + (0,4 + l/500) мм

б) при измерении внутренних поверхностей + (0,8 + *L*/500) мм,

где *L* – измеряемая длина.

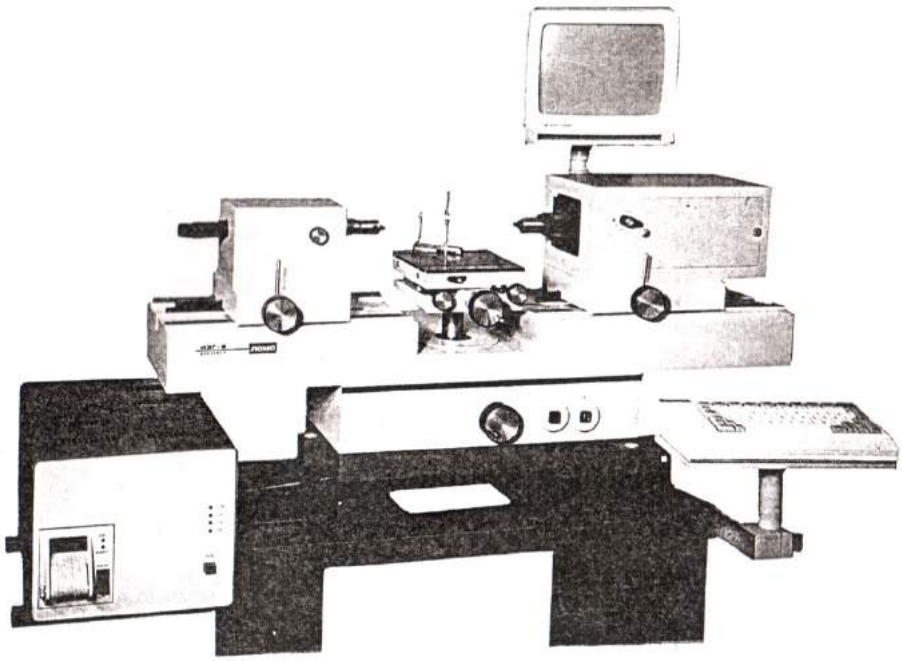


Рис. 24.14 – Горизонтальный длинномер ИЗГ-6

Выпускаются вертикальные и горизонтальные длинномеры. Принцип работы этих приборов основан на использовании точной стеклянной миллиметровой шкалы длиной 100 мм и спирального микроскопа для отсчёта долей делений основной шакалы. Оптическая схема вертикального длинномера изображена на рис. 24.15.

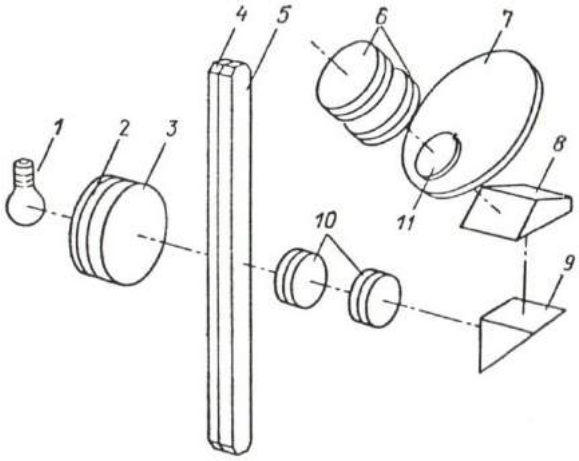
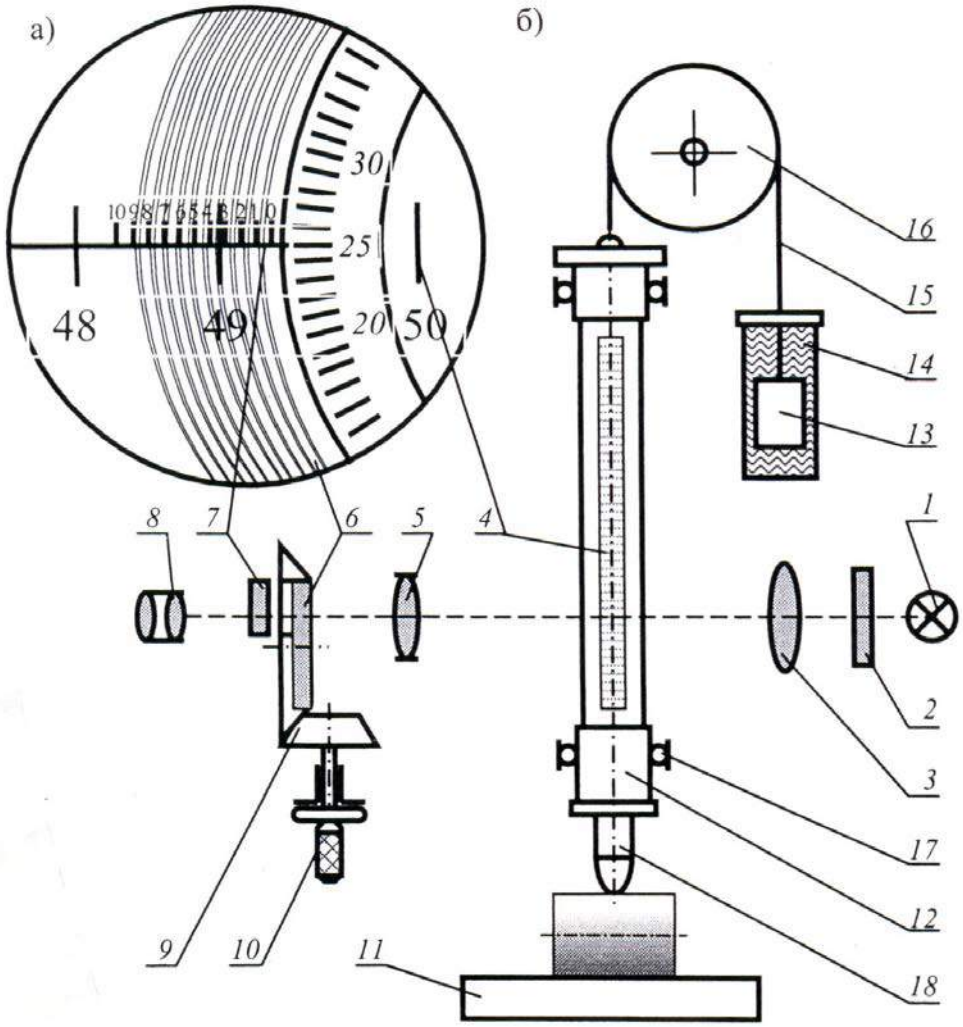


Рис. 24.15 – Оптическая схема вертикального длинномера ИЗВ-2

Оптико-механическая схема вертикального длинномера изображена на рис. 24.16.



24.16 – Схема вертикального длинномера

Измерительный шпиндель *12* вертикального длинномера с измерительным наконечником *18* и вместе с миллиметровой шкалой 4 может перемещаться в шариковых направляющих *17*, которые расположены в корпусе прибора. Он подвешен на гибкой стальной ленте *15*, перекинутой через блок *16* и прикрепленной на другом конце к противовесу *13*, который перемещается в цилиндре *14*, заполненном вазелиновым маслом. Это обеспечивает плавное опускание шпинделя, исключающее возможность ударов. Измеряемая деталь размещается на столике *11* вертикального длинномера.

Шкала *4* освещается лампой *1* через светофильтр *2* и конденсор *3*. Пройдя через миллиметровую шкалу, свет попадает в спиральный микроскоп.

Спиральный микроскоп состоит из объектива *5*, поворотной *6* и неподвижной *7* шкал, и окуляра *8*. Объектив спирального микроскопа *5* проектирует изображение основной миллиметровой шкалы 4 на стеклянные дополнительные шкалы *6* и *7*, расположенные в фокальной плоскости окуляра. Все три шкалы одновременно рассматриваются через окуляр *8*. В

поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 24.16, а) видны три или два штриха основной шкалы *4* (на рис. 24.16, а дан пример со штрихами 48, 49 и 50), а также неподвижная шкала *7* с делениями от 0 до 10 (десятые доли миллиметра). Кроме того, в поле зрения видны десять витков двойной спирали Архимеда и круговая шкала для угла поворота этой спирали.

Десять делений неподвижной шкалы и десять участков спирали Архимеда точно укладываются в интервал между штрихами основной шкалы (1 мм). Таким образом, цена деления неподвижной шкалы и шаг архимедовой спирали будут равны 0,1 мм.

Спираль Архимеда описывается равномерно двигающейся точкой по равномерно вращающейся прямой. Следовательно, если одному обороту пластинки со спиралью соответствует поступательное движение точки спирали вдоль радиальной прямой на 0,1 мм, то при повороте на одно деление цена деления круговой шкалы при ста делениях будет 0,001 мм.

По спиральному микроскопу показания снимаются следующим образом:

1. Целое число миллиметров отсчитывается по тому штриху основной шкалы, который находится в пределах неподвижной шкалы десятых долей миллиметра (49 мм на рис. 24.16, а);

2. Десятые доли миллиметра отсчитываются по неподвижной шкале в зависимости от того, какой последний штрих этой шкалы прошел зафиксированный ранее штрих основной шкалы (на рис. 24.16, а штрих 49 мм прошел штрих вспомогательной шкалы 0,4 мм);

3. Сотые и тысячные доли миллиметра отсчитываются после поворота круговой шкалы со спиралью Архимеда за рукоятку *10*. Шкалу поворачивают так, чтобы штрих основной шкалы в области указателя располагался симметрично между рисками витка двойной спирали. Отсчет производится по круговой шкале и указателю (на рис. 24.16, а 25 мкм).

Таким образом, полный отсчет в данном примере 49,425 мм.

Общий вид вертикального оптического длинномера изображен на рис. 24.17. Вертикальный длинномер смонтирован на колонне *1*, которая запрессована в основание *2*. Измерительная головка *3* может перемещаться вдоль колонны *1* при помощи гайки *4*, фиксация в нужном положении производится двумя винтами *5* и *6*. В направляющих измерительной головки (две опоры по три шарикоподшипника в каждой) перемещается измерительный шпиндель *7* с основной миллиметровой шкалой. Шпиндель связан с противовесом, расположенным в масляной ванне *8* лентой *9*.

Положение измерительного наконечника *10* относительно столика *11* определяется при помощи отсчетного микроскопа *12*.

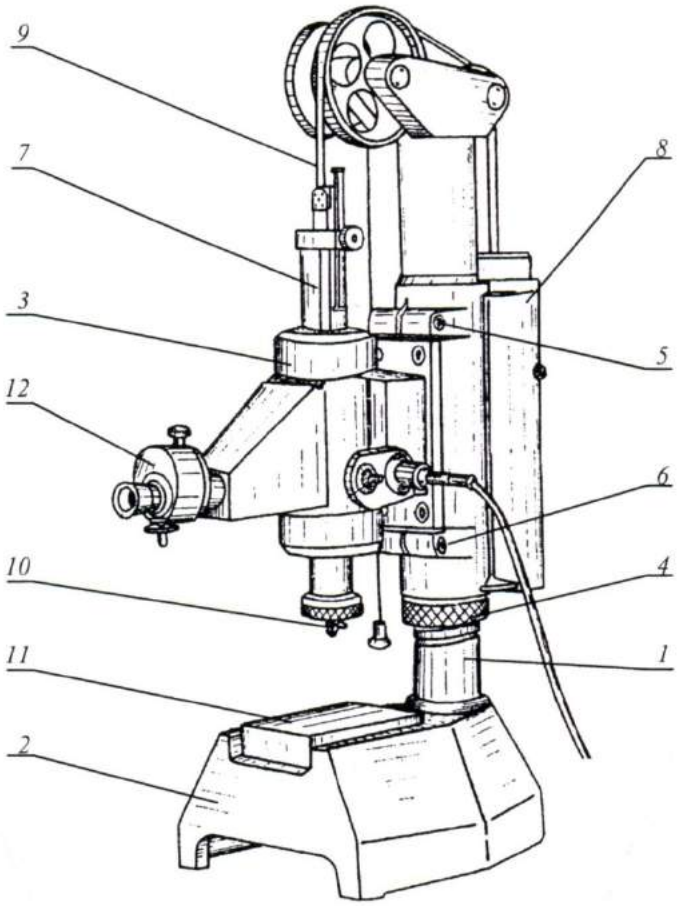


Рис. 24.17 – Схема вертикального длинномера



Рис. 24.18 – Вертикальный длинномер ИЗВ-6

24.4.5 Оптические делительные головки (ГОСТ 9016-77) – предназначены для контроля угловых размеров. На оптических делительных головках можно совершать повороты детали, закрепленной на шпинделе прибора, на требуемый угол или выполнять угловое деление на заданное число частей по окружности.

Основными частями оптической делительной головки (ОДГ) являются цилиндрический корпус с шпинделем, жестко связанным со стеклянным лимбом, осветительная часть, отсчетный микроскоп.

ОДГ с экраном имеет дополнительное проекционное устройство.

ОДГ как измерительное устройство, в основном, используется со станиной, как технологическое приспособление – без станины.

Выпускаемые отечественной промышленностью делительные головки ОДГ-60, ОДГ-30, ОДГ-10А, ОДГ-5, ОДГ-2 и с экраном ОДГ-30Э, ОДГ-5Э и ОДГ-2Э различаются между собой главным образом ценой деления отсчетных устройств.

По особому заказу изготовляют головку ОДГЭ-1.

Общими характеристиками для всех ОДГ являются:

- цена деления лимба 1 гр.,
- предел поворота оси шпинделя в вертикальной плоскости 90 гр.,
- предел измерения 360 гр.,
- высота центров около 130мм,
- масса головки около 76 кг.

Цена деления отсчетного устройства определена типом головки: у ОДГ-60 1”,

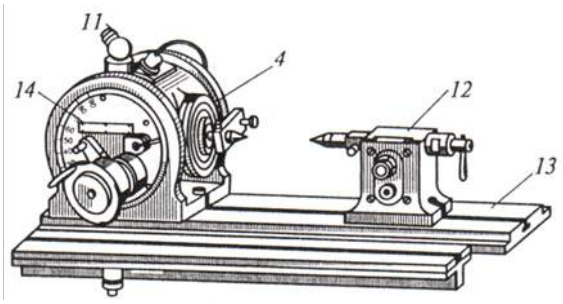
у ОДГ-30 -30 “, у ОДГ-2 -2”.

Предельные погрешности оптических делительных головок:

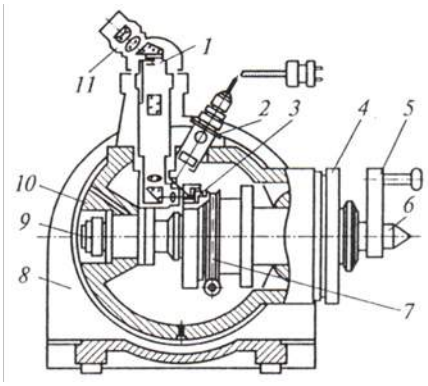
ОДГЭ-1 + (1 + Sin α/2) ОДГ-2 ±(2 + 2Sin α/2)

ОДГ-5 + (5 + 5Sin α/2) ОДГ-20 ±20’’

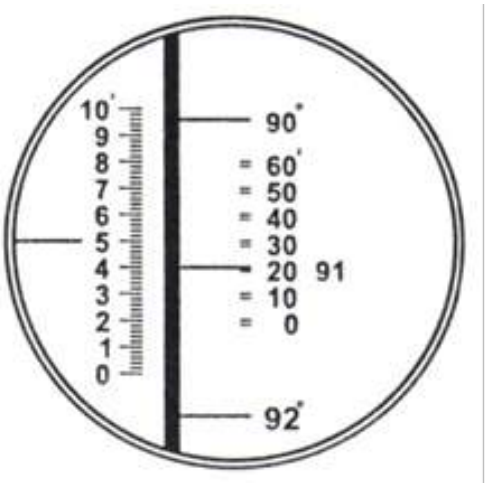
ОДГ-60 + 60”



а



б



в

1–тубус; *2*–лампа подсветки; *3, 4* и *14*–шкала; *5*–поводок; *6*–передний центр; *7*–червячное колесо; *8*–корпус; *9*–шпиндель; *10*–полусфера; *11*–микроскоп; *12*–задняя бабка; *13*–станина

Рис. 24.19 – Оптическая делительная головка

24.4.6 Проекторы измерительные (ГОСТ 19795-82) предназначены для контроля измерений деталей сложного контура.

Проектор состоит из объектива, дающего увеличенное изображение контролируемой детали, и экрана, на котором оно рассматривается или сравнивается. Проекторы могут контролировать детали в проходящем и отраженном свете.

Проекторы

Измерительные проекторы предназначены для измерения и контроля линейных и угловых размеров изделий со сложным контуром: профильных шаблонов, мелкомодульных зубчатых колес, режущего инструмента, резьбовых изделий, часовых механизмов и так далее. Проекторы позволяют получать на экране увеличенное изображение контура изделия при измерениях в проходящем свете или изображение поверхности изделия при измерениях в отраженном свете. Второй метод менее точен; его применяют, когда необходимо измерить размер на поверхности изделия. В качестве измерительного устройства используют либо микрометрический винт с ценой деления 0,05 мм, либо индуктивную систему с цифровым отсчётом и дискретностью 0,001 мм.

Отечественные проекторы выпускаются Новосибирским приборостроительным заводом различных типоразмеров: большой БП, проектор часового типа ЧП, проектор массового контроля ПМК.

Таблица 24.2

Измерительные проекторы Новосибирского приборостроительного завода

Технические требования	ПИ 300ЦВ	ПИ360ЦВ1	ПИ600ЦВ1
Диаметр экрана, мм	300	360	600
Предел допускаемой погрешности, мм	±0,003	+0,001	+0,001
Линейное увеличение крат	10, 20, 50, 100	10, 20, 50, 100, 200	10, 20, 50, 100, 200
Диапазон измерения длин: в продольном направлении, мм	150	50	150
в поперечном направлении, мм	75	25	75
Дискретность отсчета линейных перемещений, мм	0,0001	0,0001	0,0001
Максимальная масса детали, устанавливаемой на измерительном столе, кг	20	40	150
Габаритные размеры, мм	780×470×1000	650×760×1500	1700×2075×1950
Масса, не более, кг	120	150	600

Проекторы, как средства измерений весьма востребованы в машиностроении. Выпускаются различными фирмами Англии, Швейцарии, Германии, США, Японии.

Рассмотрим проектор фирмы "Tesa" Швейцария модели Scope 500V (рис. 24.20 и 24.21).

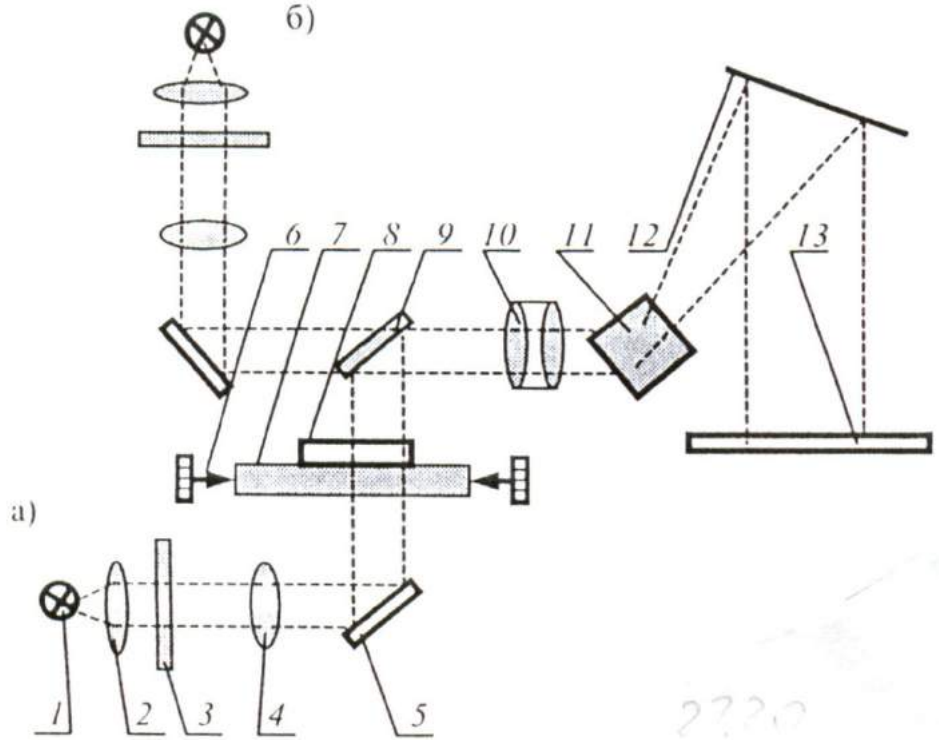


Рис. 24.20 – Оптическая схема проектора

Оптическая схема проектора изображена на рис. 24.20. На схеме цифрами обозначены. *1* – лампа, *2* – конденсор, *3* – светофильтр, *4* – сменный конденсор, *5* – зеркало, *6* – микрометрические винты, *7* – прозрачный стол, *8* – измеряемая деталь, *9* – полупрозрачное зеркало, *10* – сменный объектив, *11* – призма, *12* – зеркало, *13* – экран. Варианты расположения осветительного узла, а) предназначен для измерений в проходящем свете; б) предназначен для измерений в отраженном свете.

Увеличение сменных объективов составляет соответственно 10, 20, 50, 100 крат. Каждому объективу соответствует свой сменный конденсор 4, обеспечивающий равномерное освещение объектива.

Проектор фирмы Tesa модели Scope500V показан на рис. 24.21. Этот проектор имеет диаметр экрана 500 мм и стол размером 200×100 мм, оснащенный оптоэлектронными линейками с дискретностью 0,1 мкм.

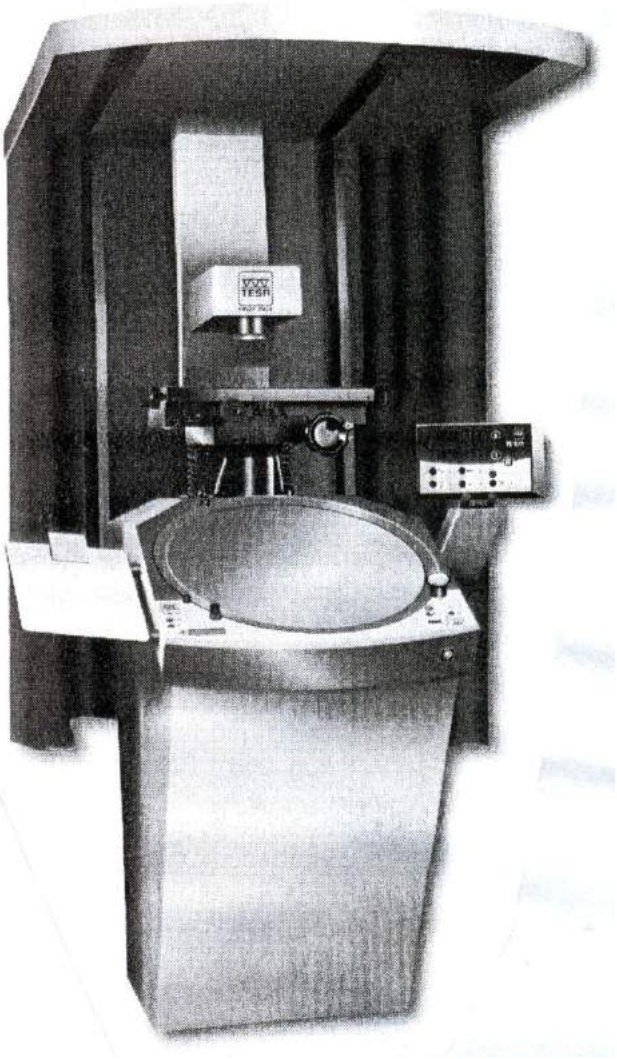


Рис. 24.21 – Измерительный проектор Tesa Scope 500V

Экран проектора имеет постоянные размеры и рассчитан на полное использование при любом увеличении.

Поэтому поле зрения проектора изменяется обратно пропорционально использованному увеличению. Поле зрения проектора приблизительно равно

размеру экрана, деленному на увеличение используемого объектива.

Различают три способа проверки размеров деталей на проекторе:

– путем сравнения изображения детали с нормальным или предельным контуром, вычерченным на кальке и установленном на экране.

– по характеру освещенности экрана проектора и совмещенного изображения,

– с помощью измерительных устройств, которыми снабжен проектор.

Для удобства проверки деталей крупносерийного или массового производств на столике проектора устанавливают специальные приспособления, центрирующие устанавливаемую деталь и обеспечивающие совмещение изображения с вычерченным на экране контуром.

Обычно на проекторах применяют 20 – 50кратные увеличения.

24.4.7 К оптическим приборам для контроля малых углов, плоскостности, соосности и прямолинейности относятся оптические линейки и визирные измерительные трубы.

а) Оптические линейки (ГОСТ 24703-81) предназначены для определения отклонения от прямолинейности и плоскостности поверочных линеек, плит, а также направляющих поверхностей станков и образующих валов.

Существуют следующие типы оптических линеек:

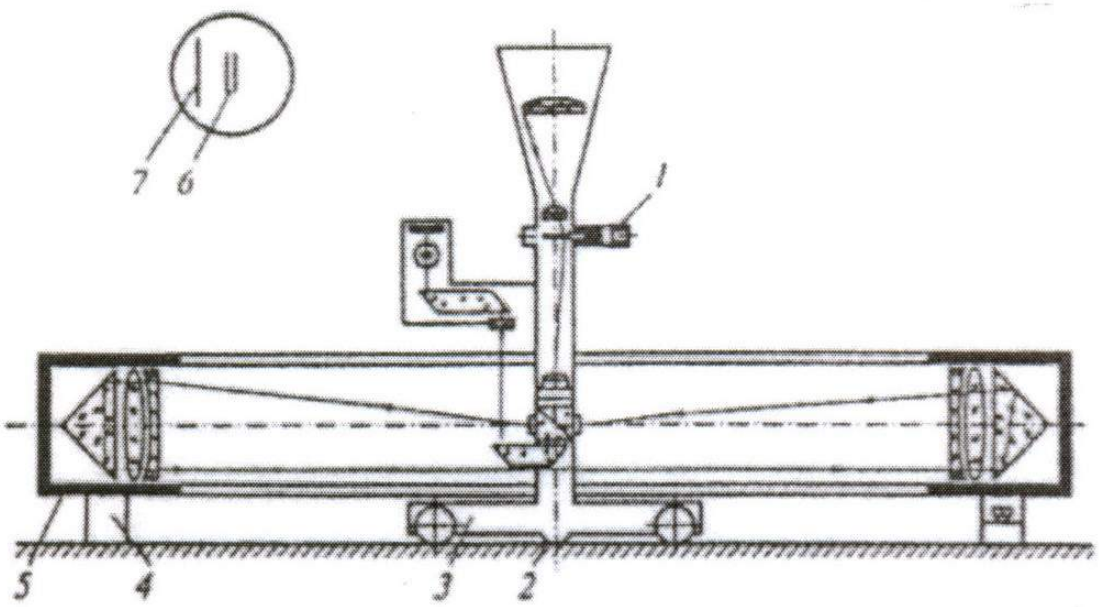
ОЛ – контактные с визуальной системой отсчета

ОЛА – контактные с автоматической регистрацией

ОЛБ – бесконтакные

ОЛУ – универсальные с контактным и бесконтактным методом измерений.

Схема оптической линейки приведена на рис. 24.22.



1 – микрометр; 2 – щуп; 3 – измерительная каретка; 4 – опоры; 5 – линейка; 6 – бифиляр; 7 – визирный штрих.

Рис. 24.22 – Схема оптической линейки

Прибор основан на измерении отклонений точек поверхности контролируемой детали от воображаемой оптической оси. Линейка *5* (тонкостенная труба с оптической системой) устанавливается на две опоры *4*. Она имеет сквозной шлиц, вдоль которого перемещается измерительная каретка *3* со щупом *2*, касающимся контролируемой поверхности.

Для определения отклонения точек поверхности необходимо совмещать видимые на экране визирный штрих *7* и бифиляр *6* и снимать отсчеты по барабану микрометра *1*.

Оптические линейки могут иметь регистрирующее устройство в виде профилографа, позволяющее графически воспроизводить на бумаге профиль контролируемой поверхности.

В табл. 24.3 приведены основные параметры оптических линеек.

Таблица 24.3

Основные параметры оптических линеек

Типоразмер	Наибольшая длина контролируемого участка поверхности, мм	Диапазон измеряемых отклонений с отсчетного и регистрирующего устройства, мм	Пределы дополнительной погрешности прибора, мм	Цена деления отсчетного устройства, мм	Измерительное усилие наконечника, Н
ОЛ–800	до 800	±(0,2…0,05)	±(0,5+3h)	0,5	7,0
ОЛ–1600	160	±(0,4…0,1)	±(1,0+10h)	1,0	7,0
ОЛА–800	800	±(0,025…0,1)	±(1,2+10h)	–	18,0
ОЛБ–800	800	±(0,2…0,5)	±(0,5+3h)	0,5	–
ОЛУ–800	800	±(0,2…0,05)	±(0,5+3h)	0,5	7,0

б) Визирная измерительная труба ППС-11 предназначается для измерения в линейных единицах отклонений от прямолинейности, соосности, параллельности, перпендикулярности и горизонтальности объектов протяженностью до 30 метров.

Внутри визирной трубы смонтирована *марка* авторефлектора, плоскопараллельная пластина оптического микрометра, объектив, подвижная фокусирующая линза, сетка визирной трубы, линзы оборачивающей системы, отсчетный механизм, система подсветки. Система подсветки в свою очередь состоит из лампы ОП8-0,6 в патроне, конденсора, зеркала и полупрозрачной пластинки.

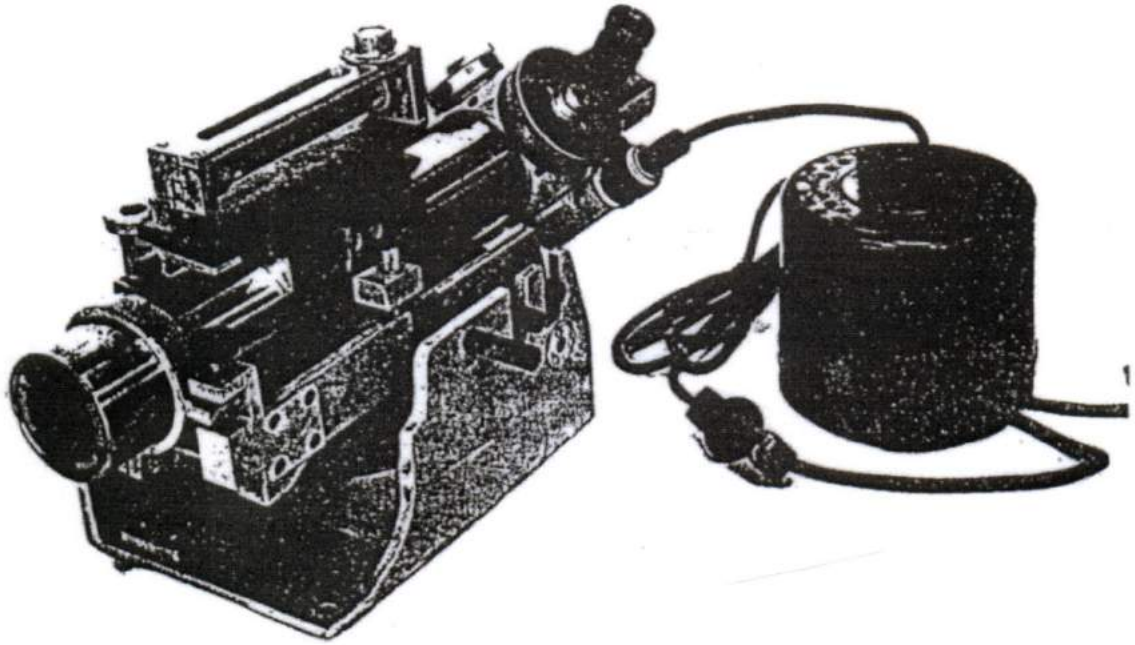


Рис. 24.23 – Визирная измерительная труба ППС-11

Визирная измерительная труба комплектуется марками авторефлектора, при помощи которых и производят измерения.

Величина отклонения точек реальной поверхности измеряемой детали (объекта) от линии визирования определяется с помощью оптического микрометра и шкалы марки авторефлектора в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

При измерении прибором ППС-11 за базу принимается прямая, проходящая через две крайние точки контролируемой поверхности. В зависимости от расположения линии визирования относительно выбранной базы измерения производят способом параллельного или наклонного луча.

Способ параллельного луча заключается в измерении отклонений центра марки относительно линии визирования трубы, устанавливаемой параллельно выбранной базе. Этот способ требует тщательной установки линии визирования относительно базы, так как точность измерений зависит от погрешности установки.

Способ наклонного луча заключается в измерении отклонений центра марки относительно линии визирования трубы, установленной под небольшим углом наклона к выбранной базе. Этим способом можно производить измерения с большей точностью, чем способом параллельного луча.

Основные технические данные визирной измерительной трубы ППС-11

а) Пределы регулирования визирной трубы в установочном устройстве:

- линейные

  по горизонтали – 12 мм

по вертикали – 7 мм

– угловые

по горизонтали – 4 град.

по вертикали – 2,5 град.

вокруг оптической оси – 6 град.

б) Увеличение визирной трубы при фокусировке на бесконечность, крат – 25 + 5%

в) Пределы измерения отсчетного устройства – от 0 до 2 мм

г) Цена деления отсчетного устройства – 0,01 мм

д) Предел допустимой погрешности + (0,02 + 0,005 D), где D – расстояние от торца визирной трубы до марки в метрах.

в) Автоколлиматоры (ГОСТ 11899-77) являются наиболее точными измерительными приборами контроля углов. Работа автоколлиматоров основана на применении автоколлимационных зрительных труб.

Автоколлиматор предназначен для измерения углов, прямолинейности и плоскостности направляющих.

Характеристики автоколлиматоров визуальных: Таблица 24.4.

Автоколлиматор с фотоэлектрической регистрирующей системой результатов АФ-2 измеряет угловые перемещения с точностью 1". Он обеспечивает более высокую точность и скорость измерения по сравнению с визуальными автоколлиматорами.

Таблица 24.4.

Характеристика автокаллиматоров

Характеристика	АКУ-0,2	АКУ-0,5	АКУ-1	АКТ-15	АКТ-60
Цена деления	0,2"	0,5"	1"	15"	60"
Диапазон измерения	10"	20"	40"	±25'	±60'
Погрешность	1,5"	3"	5"	10"	45"
Увеличение	58	29	14,5	23	5,6

24.4.8 Измерительные машины (ИЗМ) предназначены для линейных измерений наружных и внутренних размеров деталей (объектов) абсолютным и относительным методами.

Отечественная промышленность выпускает измерительные машины марок ИЗМ-10М, ИЗМ-11, ИЗМ-12, которые отличаются друг от друга пределами измерения.

У машины ИЗМ-10М предел измерения наружных размеров находится в пределах от 0 до 1000 мм, у машины ИЗМ-11 – от 0 до 2000 мм, у машины ИЗМ-12 – от 0 до 4000 мм.

Пределы измерения внутренних размеров - 13,5 – 150 мм.

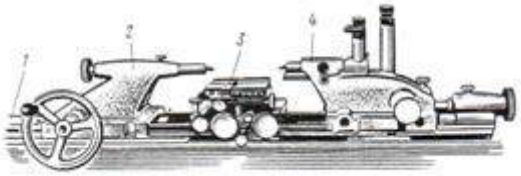
На всех указанных измерительных машинах цена деления:

метровой шкалы - 100 мм,

дециметровой (стомиллиметровой) - 0,1 мм,

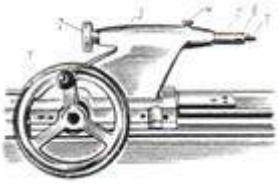
шкалы трубки оптиметра - 0,001 мм.

Измерительная машина



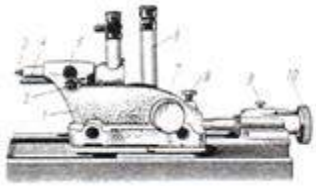
1– станина; *2*–пинольная бабка; *3*–предметный стол; *4*–измерительная бабка.

Пинольная бабка



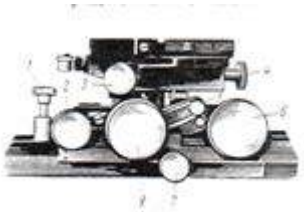
1–маховик перемещения бабки; *2*–микроподача пиноли; *3*–корпус бабки; *4*–зажимный винт пиноли; *5*–пиноль; *6*–регулировочный винт измерительного штифта; *7*–измерительный наконечник.

Измерительная бабка



1–корпус бабки; *2*–арретир; *3*–измерительный наконечник; *4*–трубка оптиметра; *5*–стопор трубки оптиметра; *6*–отсчетный микроскоп; *7*–маховичок перемещения бабки; *8*–стопорный винт; *9*–зажимной винт микроподачи; *10*–маховичок микроподачи.

Устройство управления предметным столом



1–упоры вертикального перемещения; *2*–маховичок закреплений качания вокруг горизонтальной оси; *3*–маховичок поворота вокруг вертикальной оси; *4*–маховичок горизонтального (поперечного) перемещения; *5*–винт крепления вертикального перемещения; *6*–маховичок качания вокруг горизонтальной оси; *7*–винт крепления стола к станине; *8*–маховичок вертикального перемещения.

Рис. 24.24 – Измерительная машина

Оптическая схема измерительных машин приведена на рис. 24.25. Она состоит из двух коллиматоров с ломанной оптической осью, отсчетного микроскопа и трубки оптиметра.

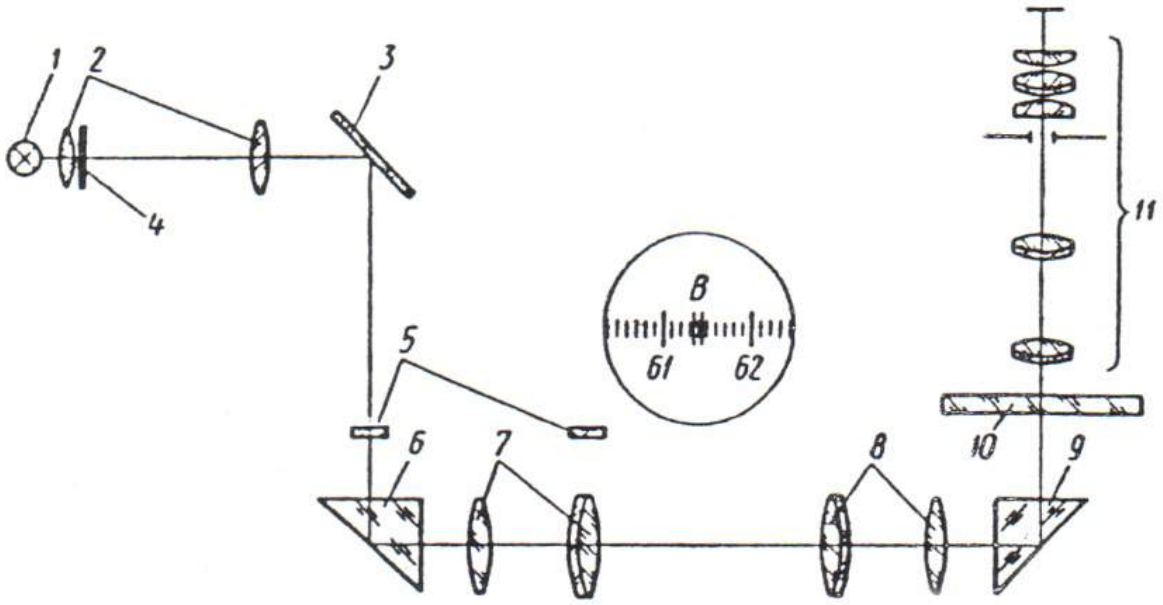


Рис. 24.25 – Оптическая схема измерительной машины

Пучок лучей от лампочки *1* через конденсор *2* и светофильтр *4* направляется зеркалом *3* на одну из пластинок дециметровой (стомиллиметровой) шкалы *5*. На нижней поверхности пластинки, установленной в фокальной плоскости объектива *7* ломанного коллиматора с призмой *6*, нанесены двойной штрих (биссектор) и число, обозначающее количество сотен миллиметров. Расстояние между соседними биссекторами равно 100 мм.

Из объектива *7* выходящий параллельный пучок лучей падает на объектив *8* второго ломанного коллиматора с призмой *9*, образующий изображение в своей фокальной плоскости на миллиметровой шкале *10*.

Наблюдение за изображением и отсчет по шкале производят с помощью микроскопа *11*. Поскольку между объективами *7* и *8* проходит параллельный пучок лучей, расположенные на направляющих горизонтальной станины пинольная и измерительная бабки можно свободно раздвигать на требуемое расстояние.

При непосредственных измерениях и получении абсолютных величин номинальный размер проверяемого объекта определяют по метровой и миллиметровой шкалам, а отклонение от этого размера – по шкале трубки оптиметра.

24.4.9 Интерферометры

Одним из наиболее точных методов измерения линейных величин, широко применяемым как в метрологии, так и в технических измерениях, является интерференционный метод. Этот метод основан на явлении интерференции света, то есть сложении двух когерентных световых колебании (волн), приходящих в одну точку с разными фазами колебаний. При этом происходит усиление или ослабление энергии результирующего пучка в зависимости от разности фаз, или от разности пройденных расстояний. Когерентными являются волны, имеющие одинаковую длину волны и приходящие в любую точку пространства с постоянной разностью фаз. Когерентные волны на практике получают путем разделения световою пучка, исходящею из одного источника, на две пли несколько частей.

Из физики известно, что интерференция возникает при прохождении лучей света через клин между двумя отражающими поверхностями прозрачных пластин. На рис. 24.26 показано, что лучи света, пройдя через плоскопараллельное стекло на нижней плоскости А, разделяются на два пучка. Первый пучок, отразившись от плоскости А вверх, выходит из стекла наружу. Второй пучок проходит в клин между плоскостями А и Б, отражается от плоскости Б снова на плоскость А, проходит сквозь нее внутрь стекла и вместе с первым пучком выходит наружу. При этом второй пучок на своем пути через клин получает оптическую разность фаз по сравнению с первым, а потому создаст интерференционную картину с ним при выходе у стекла. В тех местах, где разность фаз кратна $\lambda/2$ мы видим темную полосу. В итоге мы видим картину интерференции, состоящую из ряда темных и светлых полос, Для белого света темные полосы возникают в сечениях с

разностью фаз в 0,3; 0,6; 0,9 мкм и т.д. При уменьшении угла клина расстояние между полосами интерференции увеличивается, а при увеличении угла шаг полос уменьшается.

Это явление интерференции при применении плоскопараллельной Стеклянной пластины используется при техническом интерференционном методе определения размера концевых мер длины, плоскостности поверхностей и плоскопараллельности измерительных поверхностей приборов.

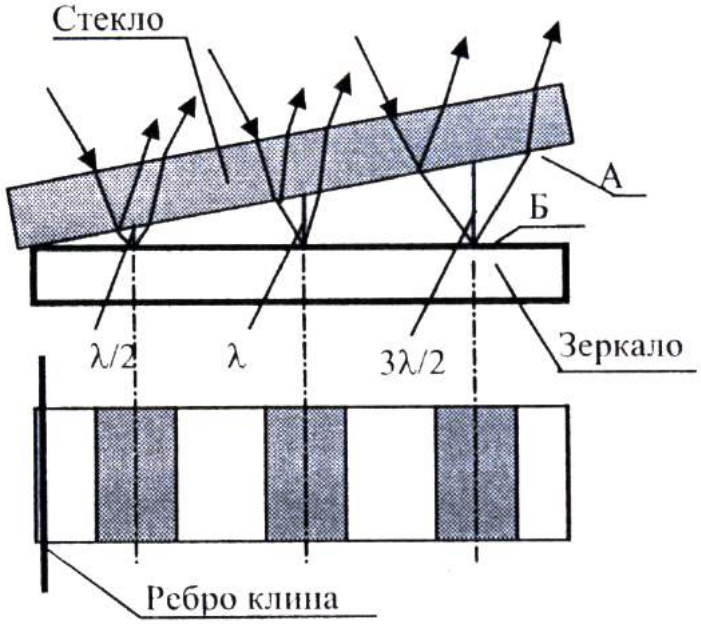


Рис. 24.26 – Картина интерференции

Измерительные приборы, основанные на интерференционном принципе, называются интерферометрами. В настоящее время в основном применяются бесконтактные интерферометры с монохроматическим источником света.

Контактные интерферометры

Основой оптической схемы контактных интерферометров является схема Майкельсона, приведенная на рис.24.24.

Лучи от источника света *1* собираются конденсором *2* в параллельный пучок и падают на разделительную пластину *3,* имеющую на нижней поверхности полупрозрачное покрытие. Здесь пучок лучей разделяется на два пучка. Первый пучок идет в горизонтальном направлении налево и доходит до неподвижного регулируемого зеркала *4,* отражается от него, возвращается на пластину *6*, проходит через нее и сквозь объектив *5*, попадает на пластину *6*. Второй пучок идет в вертикальном направлении, проходит через компенсатор *7* до подвижного зеркала *8* и отражается от него.

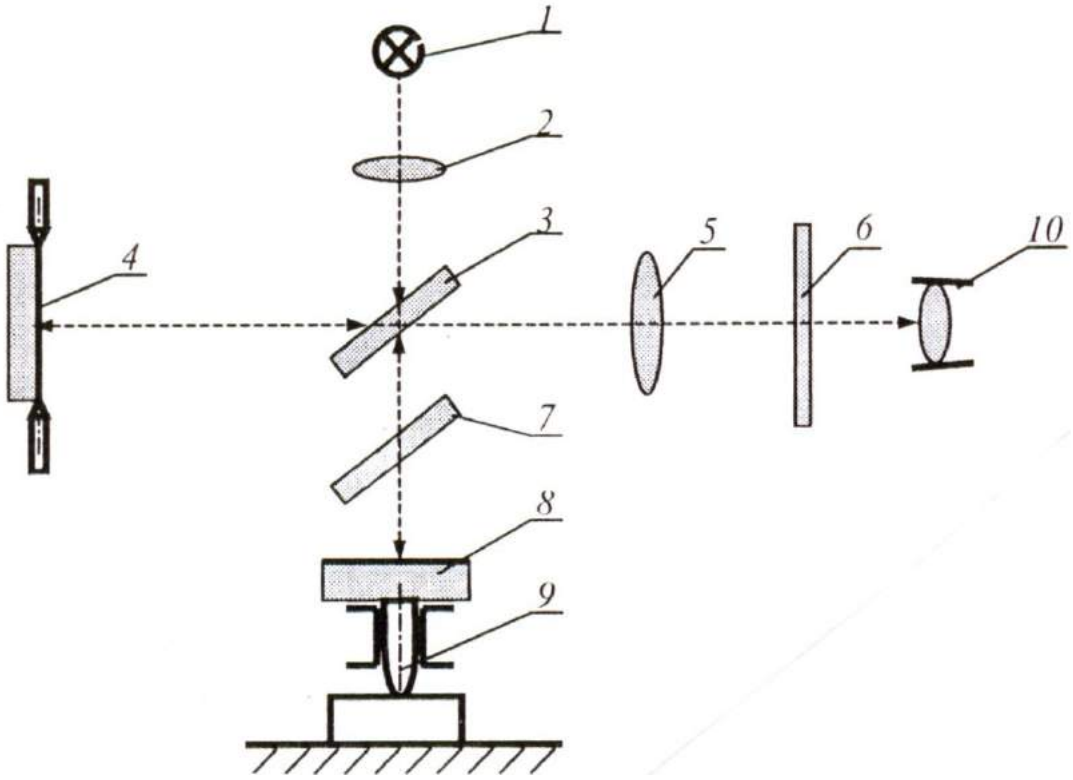


Рис. 24.27 – Оптическая схема контактного интерферометра

Отраженный пучок вновь проходит сквозь компенсатор *7* и, преломившись от нижней поверхности пластины *3*, пройдя объектив *5*, также попадает на пластину *6*. В плоскости пластины *6* оба пучка интерферируют. Интерференционная картина, состоящая из черных и белых полос, рассматривается оператором через окуляр *10*. При перемещении подвижного зеркала *9*, которое соединено с измерительным наконечником, интерференционная картина начинает смещаться.

Измерения проводят при освещении белым светом. На шкале видны цветные радужные полосы убывающей яркости, расположенные по обе стороны от черной полосы указателя шкалы, от которой берется отсчет. Указатель передвигается по шкале одновременно с перемещением измерительною стержня *9* и закрепленного на нем зеркала *8*.

Цена деления шкалы интерферометров переменная, так как ширина интерференционных полос зависит от утла наклона зеркала *4*. Цена деления $b = \lambda/2\alpha$, где λ – длина волны света, α – угол наклона зеркала *4*. Её выбирают в зависимости от требуемого предела измерения и регулируют, изменяя наклон зеркала *4*.

Градуировка выполняется при освещении монохроматическим светом через светофильтр, так как в этом случае интерференционная картина состоит из большого числа черных и цветных полос, которые легко поддаются счету. Подсчитывают число интерференционных полос *k*, расположенных между *n* делениями шкалы, и определяют цену деления по формуле $C = (\lambda/2)(k/n)$ мкм.

Рекомендуемые значения цены деления шкалы интерферометров С

0,05, 0,1 и 0,2 мкм. При длине волны λ = 0,55 мкм этим значениям С соответствует число полос для счета *k*, равное 8, 16 и 32, и число делений шкалы *n,* равное 44.

При настройке, поднимая измерительный стержень, выводят на середину шкалы наиболее отчетливые интерференционные полосы. Изменяя наклон зеркала *4*, смещают требуемое число полос *k* с рассчитанным числом делений шкалы *n*. Регулировку считают удовлетворительной, если при многократном арретировании измерительного стержня погрешность совмещения *k* полос с *n* делениями не превысит десятой доли деления.

Шкала интерферометра содержит по 50 делений слева и справа от нулевого штриха. Пределы показаний по шкале составляют ±(2,5–10) мкм. Допускаемая погрешность измерения при цене деления 0,1 мкм составляет 0,09 мкм.

Контактный интерферометр закрепляется в специальной стойке (рис. 24.28). В комплект прибора входят сферический и плоский измерительный наконечники и три плоских сменных стола: основной – плоский стол для измерения цилиндрических и сферических изделий размером до 150 мм; ребристый стол с выступающей сферической вставкой для концевых мер длины и ребристый стол для плоскопараллельных изделий размером до 150 мм.

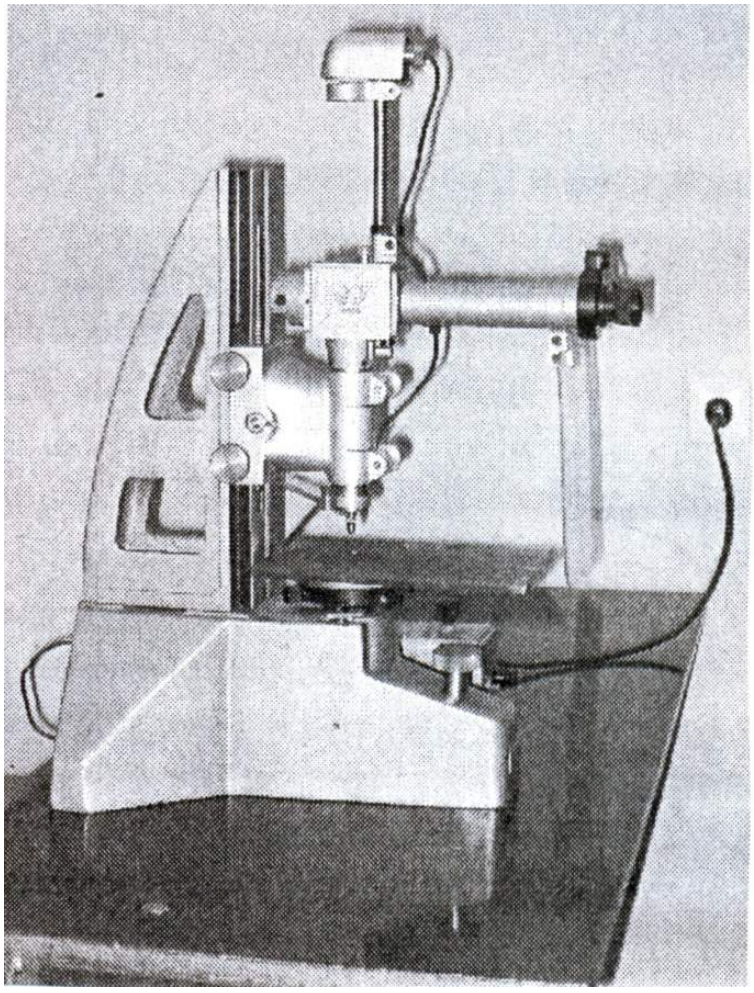


Рис. 24.28 – Контактный интерферометр в стойке

Контактные интерферометры применяют для аттестации концевых мер третьего разряда дифференциальным методом и измерения калибров и особо точных деталей в условиях лаборатории.

Контактные интерферометры Уверского – вертикальный ИКПВ и *горизонтальный ИКПГ* предназначены для контроля концевых мер и деталей (объектов) относительным методом.

В контактных интерферометрах основным узлом является трубка с оптической схемой двухлучевого интерферометра Майкельсона.

Различие между вертикальным и горизонтальным интерферометрами состоит в размещении на них оптической трубки и предметного стола.

У вертикального интерферометра трубка перемещается на кронштейне по вертикальной стойке и наконечник измерительного стержня при отсутствии контролируемого объекта может быть приведен в контакт с поверхностью предметного стола, который находится в постоянном положении на литом основании.

У горизонтального интерферометра на горизонтально расположенной станине перемещаются оптическая труба и пиноль, закрепленные в бабках, и предметный стол.

Оптическая схема трубки интерферометра (рис, 24.29) состоит из источника света *1,* освещающего с помощью конденсора *2* отверстие диафрагмы или интерференционный светофильтр *3,* который вводится сзади отверстия. Далее пучок попадает на полупрозрачную пластинку *4* и делится ею на две части.

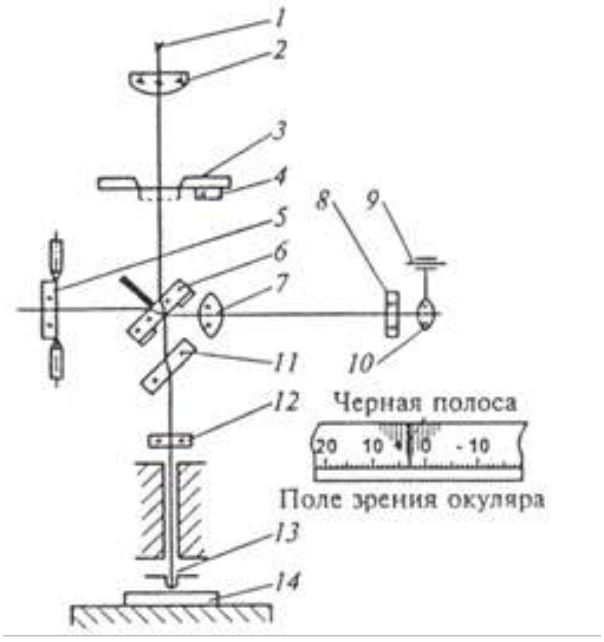


Схема трубки интерферометра:
1–лампа; *2*–конденсатор; *3*–диафрагма; *4*–шторка; *5*–поворотное зеркало; *6*–полупрозрачная пластина; *7*–объектив; *8*–сетка; *9*–механизм перемещения окуляра; *10*–окуляр; *11*–компенсатор; *12*–зеркало; *13*–измерительный стержень; *14*–объект измерения.

Рис. 24.29 – Оптическая схема трубки интерферометра

Одна часть пучка идет к зеркалу *5,* отражается от него и возвращается к пластине *6*. Для устранения лучей, искажающих интерференционную картину, на полупрозрачной пластине *6* имеется ограничительная диафрагма.

Другая часть пучка проходит компенсационную пластинку *11* и направляется к подвижному зеркалу *12,* жестко связанному с измерительным стержнем *13,* от которого отражается и идет также к пластине *6.* Обе части пучков, встречаясь, интерферируют и образуют картину полос, проецируемую объективом *7* на шкалу, рассматриваемую через окуляр *10.* Перемещение окуляра вдоль шкалы путем поворота вокруг оси *9* позволяет наблюдать выбранный участок шкалы и интерференционной картины.

Путем наклона зеркала *5* наблюдаемые в поле зрения интерференционные полосы можно расположить параллельно штрихам шкалы *8* и изменить их ширину и вместе с этим цену деления шкалы, определяемую числом интерференционных полос **N,** укладывающихся в **n** делениях шкалы:

$$n = \frac{lN}{2t}$$

откуда цена деления шкалы

$$t = \frac{lN}{2n}$$

где ***l*** – длина волны монохроматического света (интерференционный светофильтр введен в ход лучей).

С изменением ширины интерференционных полос меняется и цена деления шкалы в пределах от 0,2 до 0,05 мкм.

Техническая характеристика оптической трубки интерферометров

Увеличение	37,5
Пределы измерения, мм:	
на ИКПВ	150
на ИКПГ	500
Число делений шкалы	100 (+ 50)
Цена деления шкалы, мкм	0,2…0,05
Пределы измерения по шкале, мм	0,02 – 0,005
Пределы измерения горизонтального стержня, мм	0,05

Измерения размеров деталей (объектов) на приборе ведут в белом свете (при исключении интерференционного светофильтра). В поле зрения окуляра наблюдаются окрашенные интерференционные полосы с убывающей интенсивностью и расположенные симметрично относительно центральной черной полосы. Черная ахроматическая полоса служит подвижным индексом измерительного стержня по отношению неподвижной шкалы.

При контроле детали (объекта) методом сравнения с концевой мерой или образцовой деталью черную полосу устанавливают серединой на нулевой штрих шкалы. Сменив концевую меру или образцовую деталь контролируемой деталью, определяют разность длин по смещению черной полосы по шкале. Ошибка измерения в мкм определяется формулой:

$$D = + \left(0{,}03 + 1{,}5nt\,\frac{a \cdot l}{L}\right),$$

где «***a·l***» – погрешность измерения длины волны света (взятая из аттестата).

Бесконтактные интерферометры

Для аттестации концевых мер длины высших разрядов применяется бесконтактный интерферометр Кёстерса, который производит измерения абсолютным интерференционным методом, сравнивая размер меры с длиной волны света.

У бесконтактного интерферометра диапазон измерения составляет от 0 до 100 мм и погрешность измерения не более 0,1 ширины интерференционной полосы, то есть находится от 0,01 до 0,02 мкм в зависимости от длины волны света.

В качестве источника света в бесконтактных интерферометрах применяют криптоновые, кадмиевые или ртутные газоразрядные лампы, которые дают линейчатый спектр.

Схема интерферометра показана на рис. 24.30. Перед измерениями проверяемая мера *13* притирается к поверочному стеклу *14* и устанавливается на стол прибора *15*. Источником света служит газоразрядная лампа *1*, которая излучает свет линейчатого спектра. Далее световой поток, пройдя через конденсор *2*, попадает в оптическую трубу *3*, которая состоит из входной щели *4* и объектива *5*. Оптическая труба создает параллельный световой поток. Специальная призма-монохроматор делит световой поток на ряд монохроматических потоков, которые поочередно направляются на полупрозрачное зеркало *10.* Полупрозрачное зеркало делит свет на два когерентных потока. Первый поток, пройдя через компенсационную пластину *11,* отражается от зеркала *12* и попадает в объектив *9*. Второй поток отражается от поверочного стекла *14* и притертой к нему меры *13* и далее попадает в объектив *9*, который проецируют его на прозрачную шкалу *8.* На шкале *8* два когерентных потока создают интервенционную картину.

При работе с интерферометром, в окуляр *7* наблюдается две системы интерференционных полос. Одна система полос возникает на поверхности стеклянной пластины *14,* вторая – на поверхности проверяемой меры *13*. Если длина меры не равна целому числу полуволн света, то полосы на пластине будут смещены относительно полос на мере на величину Δb (рис.24.30).

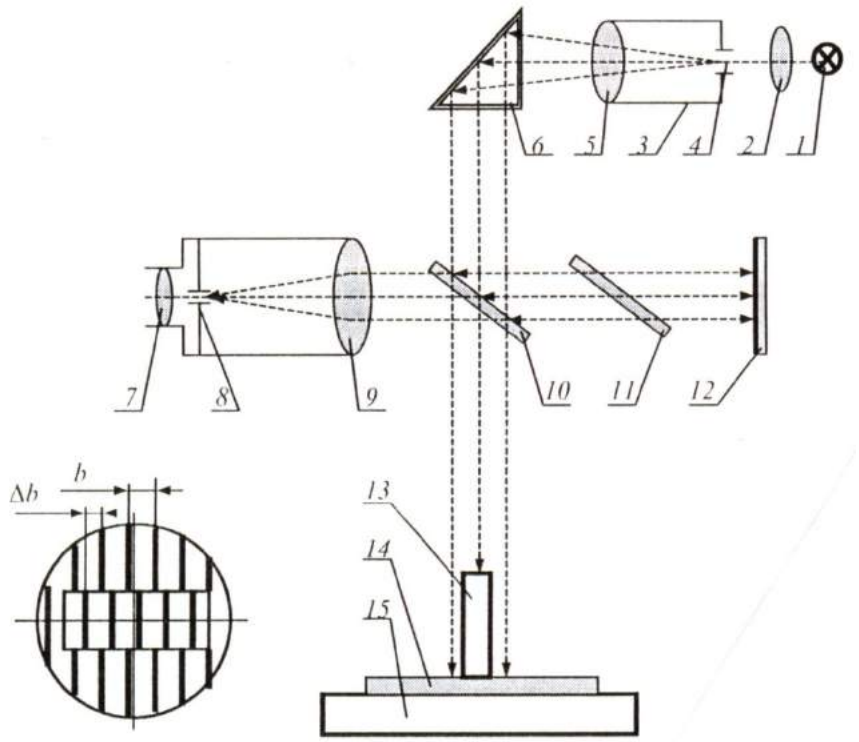


Рис. 24.30 – Оптическая схема бесконтактного интерферометра

Длину меры L определяют по уравнению $L = (n + \Delta b)\lambda/2$, где n – целое число полуволн. Для определения целого числа полуволн проводят серию измерений со световыми потоками, имеющими разные длины волн: Δ_1, Δ_2, Δ_3 и т. д. Далее методом подбора определяют целое число полуволн, и вычисляют длину меры. Применение ЭВМ повышает скорость и точность расчета длины L. Бесконтактный интерферометр является эталонным прибором и имеет наивысшую точность измерения. Он применяется для поверки концевых мер длины первого разряда абсолютным интерференционным методом, и концевых мер второго разряда методом сравнения с первым.

Лампы накаливания обеспечивают хорошую видимость интерференционной картины только до 300 мм. Для повышения диапазона измерения интерферометров, стали применять оптические квантовые генераторы на основе гелия, неона, рубина, которые называют лазерами. Лазер – аббревиатура от английских слов: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – усиление света в результате вынужденного излучения.

На основе лазерного источника света различными фирмами выпускаются портативные блочные измерительные интерферометры, с помощью которых можно измерять: линейные перемещения; скорость перемещения; угловые перемещения; прямолинейность; плоскостность; параллельность и перпендикулярность.

Примером такого интерферометра является лазерная измерительная установка фирмы Hewlett Packard (США) (рис. 24.31).

Лазерная и измерительная установка состоит из блоков: лазерная головка *1*, интерферометр *2*, неподвижный отражатель *3*, подвижный

отражатель *4* и электронного блока *5*. Лазерная головка содержит лазерную трубку с максимальной выходной мощностью 1 Вт. Импульс состоит из незатухающей гармонической световой волны длиной 632,991 им. Лазерная головка содержит также приемник, в который лазерный луч возвращается после прохождения через измерительные оптические устройства и где осуществляется интерференция.

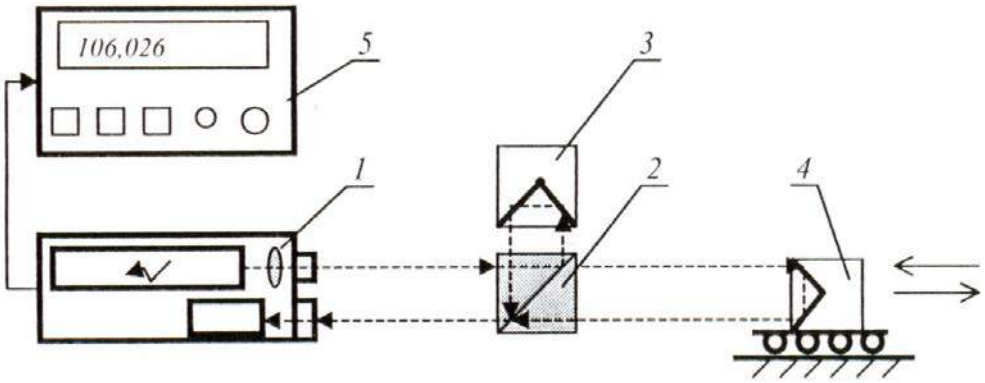


Рис. 24.31 - Схема лазерного интерферометра

Электронный блок 5 выполняет следующие функции:

- подача напряжения на лазерную головку;
- преобразование информации об измерениях, полученной от лазерной головки в вид, выраженный в линейных или угловых величинах,
- индикация показаний; возможность корректировки процесса со стороны оператора и обеспечение связи с периферийными устройствами (компьютер, графопостроитель или принтер).

К электронному блоку подключаются датчики характеристик окружающей среды (температура, давление, влажность) и датчики температуры измеряемого объекта.

Интерферометр *2* представляет собой оптическую систему, разделяющую лазерный луч на два когерентных луча. Отражатели *3* и *4* представляют собой уголковые отражатели.

Технические характеристики установки:

- дискретность отсчета 0,01 мкм;
- диапазон измерении от 0 до 50 м;
- максимальная измеряемая скорость перемещения 180 м/мин.

Уникальный двухконтактный лазерный интерферометр создан на фирме Federal (США) для аттестации плоскопараллельных концевых мер длины. Дискретность отсчёта этого прибора составляет 0,001 мкм, диапазон измерений от 0,1 до 127 мм. Обработка полученных данных происходит с помощью персонального компьютера, компьютер же управляет процессом измерения.

24.4.10 Гониометры

Гониометрический метод измерения точных углов заключается в сравнении измеряемого утла с точно градуированной круговой угломерной

линейкой – лимбом. Для этого используют специальные оптические приборы – гониометры.

Принцип измерения углов на гониометрах показан на рис. 24.31. Основными узлами прибора являются стол *4*, лимб *2*, автоколлиматор *5*, отсчетный микроскоп *9*. Современные конструкции гониометров позволяют поворачивать и фиксировать зрительную трубу, лимб и стол в любых положениях относительно автоколлиматора *5*, жестко связанного с основанием. Труба и лимб имеют микрометрическую подачу *10*.

Гониометр Г5 смонтирован на основании *7*, с которым жестко связан коллиматор *3*. На вертикальной оси вращается алидада *13* и столик для детали *4*. Алидада состоит из зрительной трубы *5* с автоколлимационным окуляром-кубом, лимба *2* с проекционной системой, освещаемой лампой *12*, клиновым микрометром *11* и отсчетным микроскопом *9*.

Вместе с окуляром-кубом зрительная труба работает как авто-коллиматор. Клиновой оптический микрометр предназначен для отсчитывания минут и секунд. Он состоит из двух пар клиньев *11* – пары подвижных и пары неподвижных. При перемещении подвижных клиньев изображения штрихов лимба (прямое и обратное) движутся

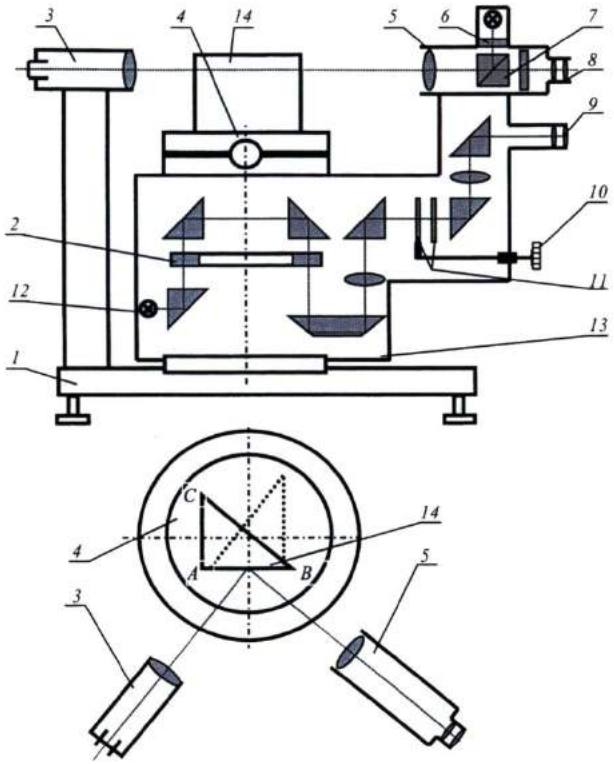


Рис. 24.32 – Схема гониометра

Затем стол поворачивают, и все измерения проводят на второй измеряемой грани *AC*. Угол β поворота стола равен разности отсчетов по лимбу в первом и во втором положении стола. Измеряемый угол α дополняет угол β до 180°, следовательно: $\alpha = 180° - \beta$.

Диапазон измерений углов 0–360°, цена деления шкалы оптического микрометра гониометра 1". Внешний вид гониометра показан на рис. 24.33.

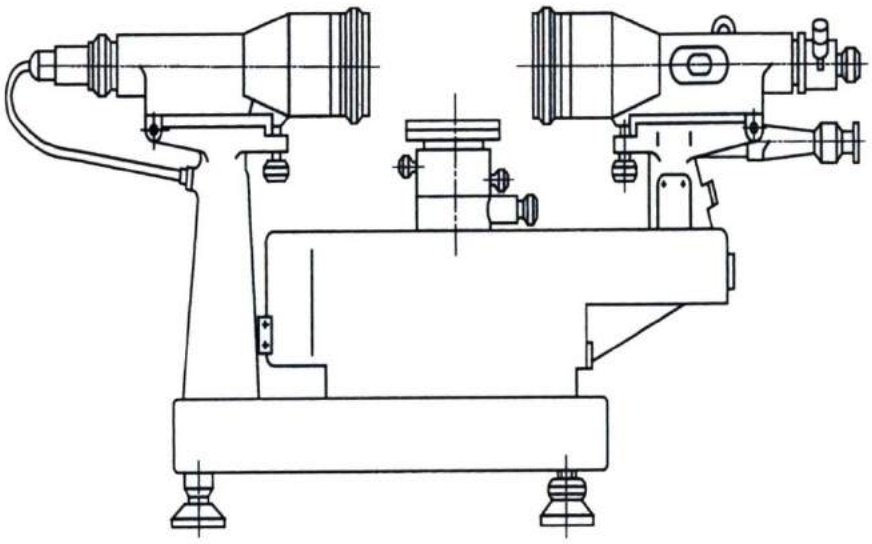


Рис. 24.33 – Гониометр

Гониометры типа ГС1 имеют допускаемую погрешность Δ = 1" и служит для поверки угловых мер 3-го разряда и класса точности 0. Гониометры ГС2, Г3 и Г5 имеют допускаемую погрешность 2", 3" и 5" соответственно.

Гониометр является точным лабораторным прибором и служит для поверки угловых мер и оптических призм, а также для проверки других измерительных приборов.

Преимущество и недостатки оптических приборов

Преимущества оптических измерительных приборов:

1. Высокая точность (до недавнего времени самые точные).
2. Возможность бесконтактных измерений.
3. Высокая стабильность показаний.
4 Не стареют, но требуют модернизации.
5. Допускают большие пределы измерения.

Недостатки оптических измерительных приборов:

1. Чувствительность к вредным факторам.
2. Сложность конструкции и большая цена.
3. Требуют высокую квалификацию персонала.
4 Требуют наличие света или осветительных приборов.

Преимущества и недостатки диктуют область применения оптических измерительных приборов, как высокоточных (в основном стационарных) лабораторных приборов. В цеховых условиях, как правило, оптические приборы не применяются. Лазерный интерферометр может применяться в цеховых условиях для проверки точности металлорежущих станков, координатно-измерительных машин.

Послесловие

Приведенный обзор не охватывает всех оптико-механических

приборов для контроля линейно-угловых размеров, используемых в настоящее время в машиностроении. В обзор не вошли катетометры КМ-8, КМ-9, компараторы ИЗА-8, ИЗА-10 (предназначенные для абсолютных измерений внутренних размеров деталей, расстояний между штрихами шкал, деталей к оптическим приборам), визирная измерительная труба ППС-7 для проверок параллельности и соосности осей пинолей горизонтально-расточных станков до 6 метров, интерферометры ИКД-110 для проверки плоскостности полированных стекол до 300 мм, сферометры ИЗС-11, -12 для проверки радиусов кривизны от 10 до 5000 мм, гониометры ГС-30, ГС-10, ГС-5 и ГС-1М для проверки углов между плоскими поверхностями и ряд других специфических приборов.

Приборы контроля шероховатости описаны в главе 28 "Контроль шероховатости поверхности".

В обзоре освещены приборы, выпускаемые в 80 – 90-х годах прошлого века, которыми до настоящего времени оснащены измерительные лаборатории и КПП ОТК заводов.

Ведущие фирмы Запада имеют разработки приборов с оптоэлектронными схемами работы. Эти приборы будут освещены в последующих главах.

Контрольные вопросы

1. Какие типы оптико-механических приборов применяются в машиностроении?
2. Какие приборы используются для измерения длин и углов?
3. Какие специальные приспособления применяются в составе универсальных микроскопов?
4. Какие типы оптиметров и длинномеров применяются для аттестации средств измерений?
5. Принципы работы оптических делительных головок.
6. Принципы работы на машинах длины.
7. Что из себя представляют интерферометры?
8. Принципы работы гониометра.

Глава 25 Контроль шероховатости поверхностей

Наиболее простыми средствами контроля шероховатости являются образцы шероховатости.

25.1 Образцы шероховатости поверхности (сравнения)

Контроль шероховатости поверхности с помощью образцов осуществляют путем визуального сравнения или на ощупь (ногтем) с поверхностями изделий, полученными обработкой резанием, полированием, электроэрозионной, дробеструйной и пескоструйной обработкой. Применение образцов шероховатости является самым дешевым и доступным способом контроля, т.к. этот способ не даёт численных значений параметров шероховатости, а действует как средство допускового контроля.

Технические требования к образцам шероховатости поверхности установлены ГОСТ 9378-75.

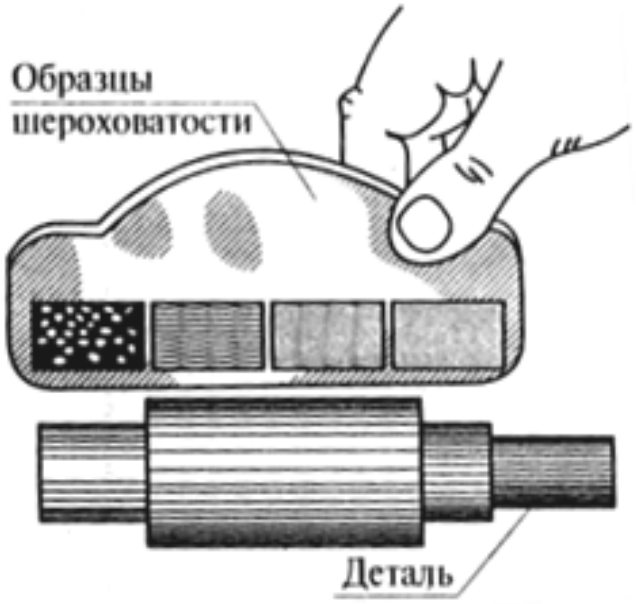


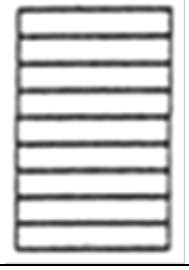
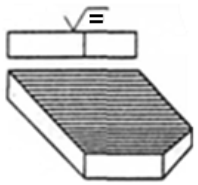
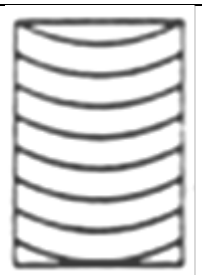
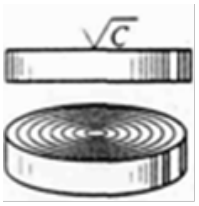
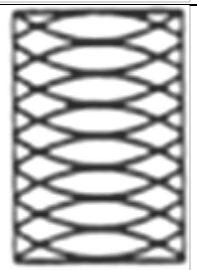
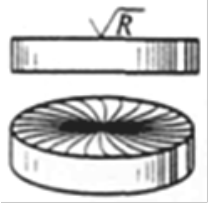
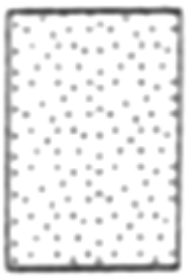
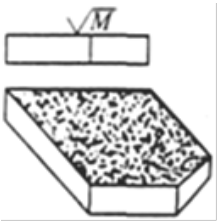
Рис. 25.1 – Метод сравнения с образцами

Ширина образцов сравнения составляет не менее 20 мм., а длина 20…50 мм, образцы комплектуются в наборы.

Способы обработки, воспроизводимые образцом, и формы образцов должны соответствовать указанным в таблице 25.1.

Таблица 25.1

Способы обработки, воспроизводимые образцами, форма образца и основное направление неровностей поверхности образца.

Способ обработки	Форм образца	Расположение неровностей			
		Описание	Условное изображение	Условное обозначение	Вид поверхности и условное изображение на чертеже
Точение	Цилиндрическая выпуклая	Прямолинейное		Т	
Расточка	Цилиндрическая вогнутая			Р	
Фрезерование цилиндрическое	Плоская			ФЦ	
Строгание	Плоская			С	
Шлифование периферией круга	Плоская, цилиндрическая выпуклая, цилиндрическая вогнутая			ШП ШЦ ШЦВ	
Точение торцевое	Плоская	Дугообразное		ТТ	
Фрезерование торцевое	Плоская			ФТ	
Фрезерование торцевое	Плоская	Перекрещивающееся дугообразное		ФТП	
Шлифование торцовое	Плоская			ШТ	
Шлифование чашеобразным кругом	Плоская			ШЦ	
Электроэрозионная обработка	Плоская	Не имеющее определенного направления штриха		Э	
Дробеструйная, пескоструйная обработка	Плоская			ДС ПС	
Полирование	Плоская, цилиндрическая выпуклая	Путанный штрих		ПП ПЦ	

Образцы шероховатости поверхности должны изготавливать для значений Ra, иметь одинаковый цвет и блеск по всей рабочей поверхности и быть размагничены.

В России в настоящее время образцы шероховатости изготавливаются индивидуальным методом из стали (ОАО з-д "Калибр") и гальванопластическим методом (ООО "Метролог"). Образцами шероховатости могут быть и аттестованные детали. Но ГОСТ 9378-75 на них не распространяется.

Однако глазомерная оценка, на ощупь субъективны и могут вызвать недоразумения.

Допустимые отклонения среднего значения параметра Ra от номинального и допускаемое среднее квадратическое отклонение σ от среднего значения Ra должны соответствовать указанным в таблице 25.2.

Таблица 25.2

Способ обработки	Допускаемое отклонение среднего значения Ra от номинального, %	Допускаемое среднее квадратическое отклонение у,%
Шлифование	+12 -17	9
Точение		4
Расточка		4
Фрезерование		9
Строгание		3
Электроэрозионная обработка		12
Пескоструйная и дробеструйная обработка		12
Полирование		12

Для точно обработанных деталей оценка шероховатости по образцам недопустима из-за большой погрешности при субъективной оценке.

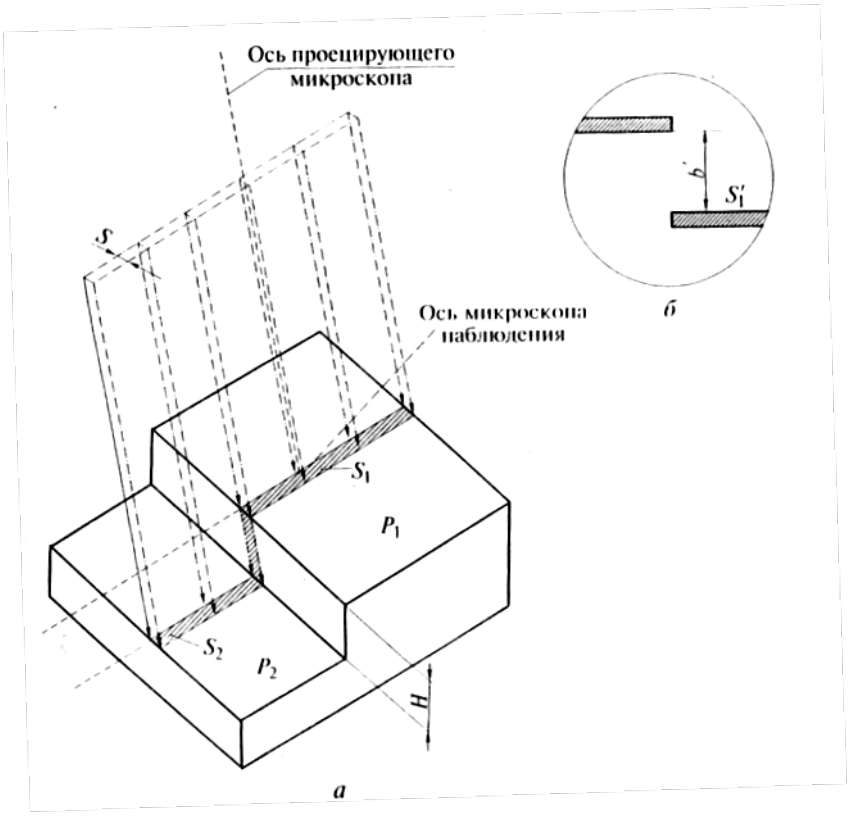
Для количественной оценки параметров неровностей применяются бесконтактные и контактные методы измерений.

В 60 – 70 годы прошлого столетия на предприятиях Советского Союза широкое распространение получили методы светового сечения, теневой проекции, микроинтерференционные и другие методы.

25.2 Оптические приборы

25.2.1 Приборы светового сечения

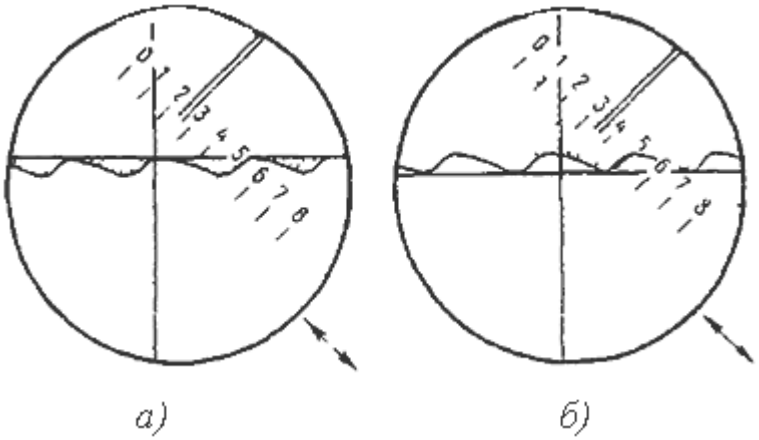
Рассмотрим один из методов – метод светового сечения, реализуемый в приборах МИС-11 и ПСС-2.



а – принципиальная схема; б – увеличенное изображение щели.

Рис. 25.2 – Метод светового сечения

Освещенная узкая щель проецируется микроскопом на ступенчатую поверхность P_1P_2. При падении света в направлении, указанной стрелками, изображение светящейся щели на ступенчатой поверхности займет положение S_2 на нижней части поверхности P_2 и положение S_1 – на нижней части поверхности P_1. В поле зрения микроскопа наблюдения расположенного под углом 90^o к оси проецирующего микроскопа изображение щели будет иметь вид, показанный на рисунке 25.2, т. е. в данном случае видна не высота ступеньки h, измеряемая по нормали к поверхности и P_1 и P_2, а её проекция, которая определяется при помощи винтового окулярного микрометра 2 (рис. 25.3).



Измерение высоты неровности на двойном микроскопе: а – при первом отсчете; б – при втором отсчете.

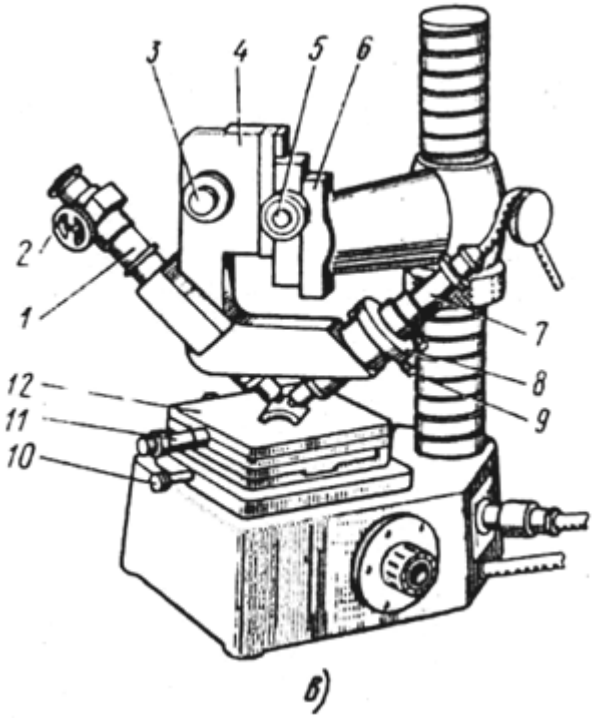
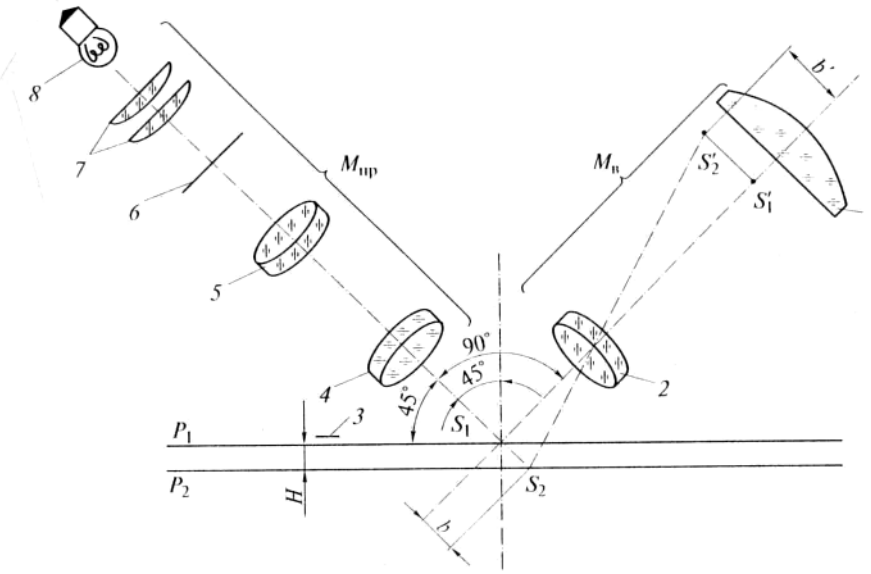


Рис. 25.3 – Микроскоп МИС-11



1–окулярный микрометр; *2*–объектив; *3*–исследуемая поверхность; *4* и *5*–система линз; *6*–диафрагма; *7*–конденсор; *8*–осветительные устройство.

Рис. 25.4 – Оптическая схема микроскопа МИС-11

В микроскопах светового сечения МИС-11 (рис. 25.4) объектив $M_{пр}$ проецирует на поверхность изделия узкий пучок света, идущий от источника *8* через щель *6*. На поверхности образуется освещенная полоса в 1 представляющая собой след пересечения профиля плоскостью светового потока. Изображение щели фокусируется объективом в плоскость сетки S'_1 – S'_2 окуляра *I*. Лучи, отраженные от выступов и впадин профиля, на окулярной сетке будут смещены один относительно другого. Значение смещения зависит от высоты неровностей. Совмещая линии, нанесенные на

сетке окуляра-микрометра, с выступами и впадинами профиля, определяют высоту неровностей на базовой длине и затем подсчитывают параметр *Rz*.

Микроскоп МИС-11. (рис. 25.3), предназначенный для измерения шероховатости поверхности, имеет осветительный тубус *7* и микроскоп *1*, закрепленные в корпусе *4*. Салазки корпуса перемещаются по кронштейну *6* кремальерой *5* для предварительной установки на резкость. Точная фокусировка осуществляется микроподачей *3*. Винтом *9* изображение щели переводят на середину окуляра. Кольцом *8* регулируют ширину щели. Измерения выполняют окулярным микрометром *2*. Стол *12* перемещается винтами *11* и поворачивается в горизонтальной плоскости при освобожденном винте *10*.

Микроскоп имеет четыре пары сменных объективов с увеличением от 87 до 517^{x}. Пределы измерения микроскопа (параметр *Rz*) от 0,8 до 80 мкм. Погрешность измерения зависит от общего увеличения микроскопа и составляет от 7,5 до 24%.

Оптические системы микроскопов МИС-11 имеют относительно малые диаметры линейного поля зрения, которые не соответствуют стандартным базовым длинам, что является существенным недостатком прибора.

Микроскоп ПСС-2 (рис. 25.3) в отличие от микроскопа МИС-11 имеет большее увеличение, снабжен комплектом встроенных объективов, содержит винтовой окулярный микрометр с внутренним отсчетом, сменные щели и встроенную фотокамеру. Он предназначен для измерения и фотографирования высоты микронеровностей на наружных поверхностях деталей.

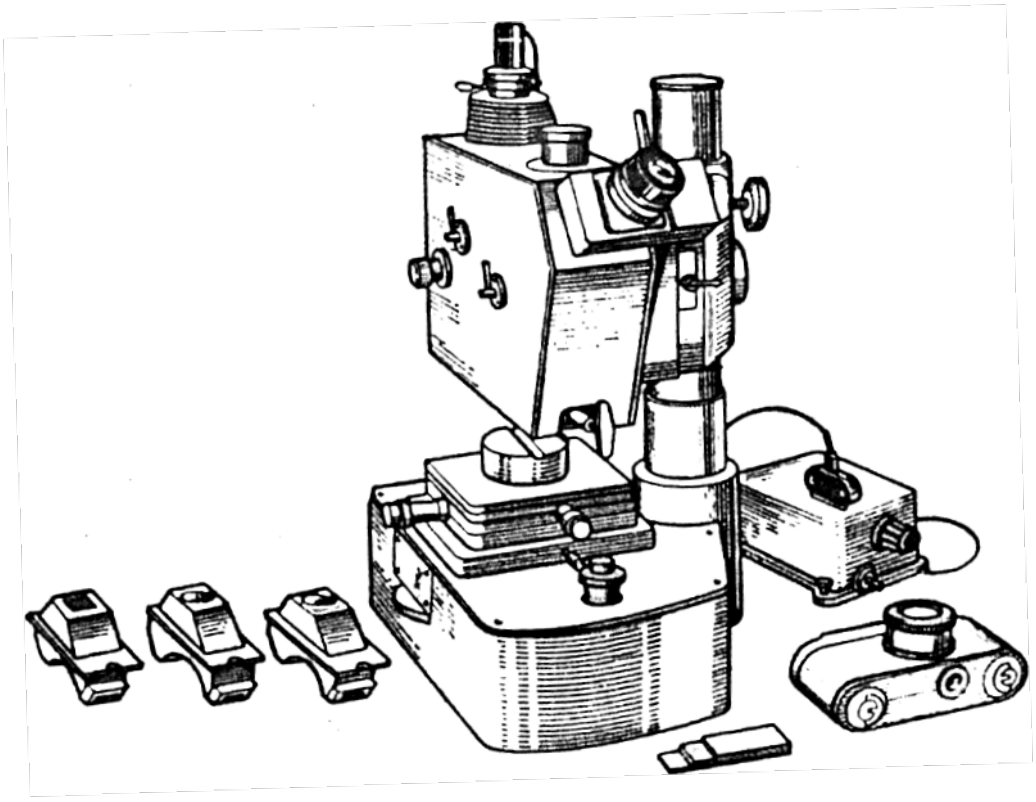


Рис. 25.5 – Микроскоп ПСС-2

Приборы светового сечения МИС-II и ПСС-2 малоэффективны и вытесняются щуповыми приборами.

25.2.2 Микроинтерферометры применяют для измерения параметров шероховатости поверхности *Ra, Rz, S*. Оптическая схема представляет собой сочетание интерферометра и микроскопа.

Схема микроинтерферометра приведена на рис. 25.6. Свет из осветительного устройства *1*, проходит через сменный светофильтр *13* и разделяется на полупрозрачной пластине *4*. Один световой поток проходит компенсационное стекло *5* и объектив *6*, отражается от зеркала *7* и возвращается к пластине *4*. Другой поток света проходит сменный объектив *3*, и отразившись от поверхности исследуемого изделия, которое лежит на столике *2*, тоже возвращается к пластине. Интерферирующий световой поток направляется объективом *8* через поворотное зеркало *9* в фокальную плоскость окулярмикрометра *10*.

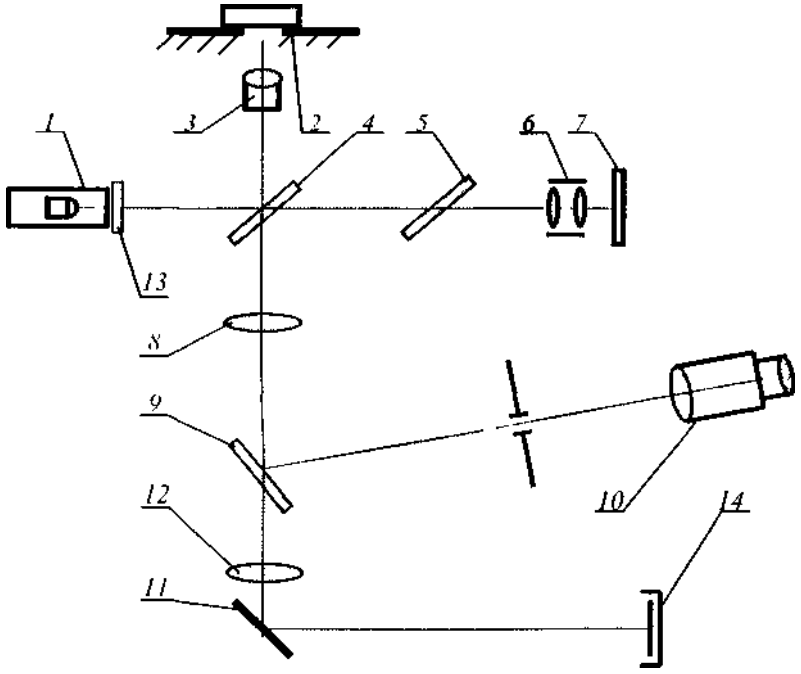


Рис. 25.6 – Оптическая схема микроинтерферометра

Наблюдаемая интерференционная картина может быть сфотографирована с помощью зеркала *11*, которое дает изображение, через объектив *12* на фотоаппарат *14*. Зеркало *9* при этом выводят из хода лучей. Неровность исследуемой поверхности приводит к искривлению интерференционных полос.

Значения микронеровности измеряются по отношению высоты – a искривления полос к ширине полос – b (рис. 25.7) $h = \frac{\lambda\alpha}{2b}$. Измерения можно производить с помощью окулярмикрометра. По результатам измерения на базовой длине l

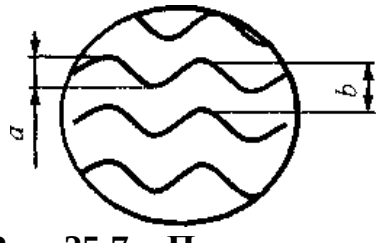


Рис. 25.7 – Поле зрения микроинтерферометра

вычисляют параметр *Rz*. Если используется желтый свет с длиной волны λ = 0,55 мкм то $h = 0{,}21a/b$ мкм. Для определения параметра *Ra* фотографируют интерференционную картину и обрабатывают фотографию на проекторе.

На основе этой схемы сделаны микроинтерферометры МИИ-4 и МИИ-10. Микроинтерферометр МИИ-4 позволяет измерить шероховатость поверхности по параметру *Rz* и R_{max} от 0,01 до 1 мкм, а по параметру *S* от 0,02 до 0,25 мм

Микроинтерферометр МИИ-4 (рис. 25.8) имеет цилиндрическое основание *7*, на которое установлен измерительный стол *1* с микрометрическими винтами *3*. Измеряемое изделие *2* кладут на стол проверяемой поверхностью вниз. Винтом точной настройки *6* фокусируют объектив прибора. Поворотом корпуса зеркала *4* и винта *5* изменяют ширину и направление интерференционных полос. Ручка *10* закрывает интерференционное зеркало шторкой, что позволяет рассматривать поверхность без интерференционной картины. Величину шероховатости измеряют с помощью окулярного микрометра *9*. Фотокамера *8* служит для фотографирования интерференционной картины

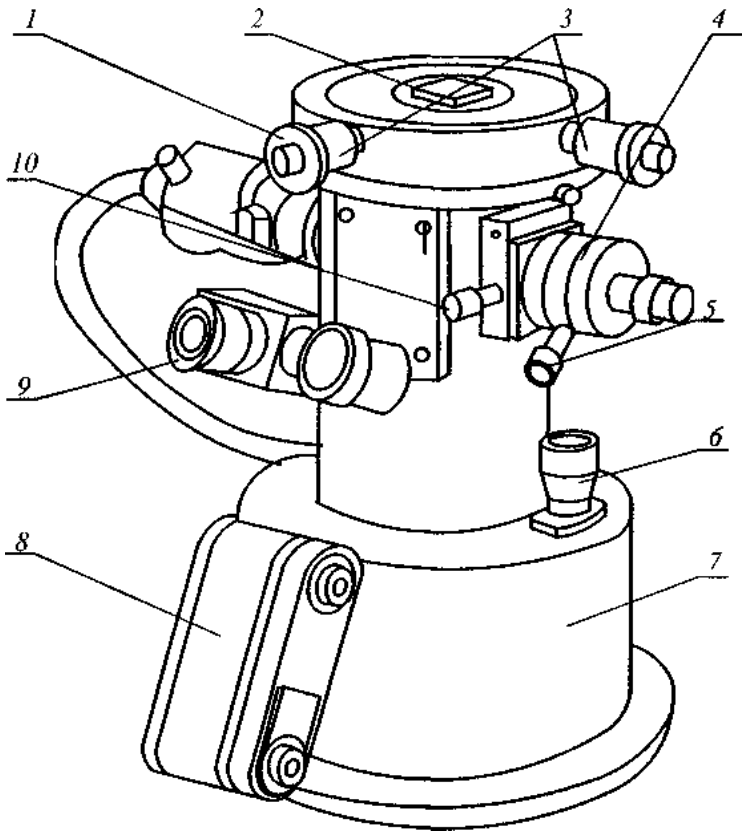


Рис. 25.8 – Микроинтерферометр МИИ-4

Фирмой Feilor-Gobson создан оптический бесконтактный прибор Talyfine, который работает на основе дифракции света, и предназначен для измерения шероховатости поверхности полученной алмазной обработкой Источником света служит специальный лазер. Он измеряет параметры *Ra* и *Rq* в диапазоне от 5 до 120 нанометров.

25.3 Щуповые (контактные) приборы контроля профиля поверхности.

В 60^{е} годы прошлого столетия начали развиваться методы контактного контроля шероховатости как в Советском Союзе. (з-д "Калибр" Москва), так и за рубежом фирмы "Тейлор Гобсон" Англия, "Пертхен", "Хомель Верке", "Мар" Германия и ряд других фирм Швейцарии, США, Японии.

Эти приборы являются самыми совершенными приборами для измерения шероховатости поверхности, позволяющие измерять все параметры шероховатости регламентирующие ГОСТ 25142-82, ГОСТ 2789-73, ИСО 4287:1997, ИСО 4287:1984. Основной параметр при контроле щуповыми приборами – *Ra*. Контактные, щуповые приборы подразделяют на профилометры, профилографы и профилографы-профилометры.

Профилометр – контактный прибор системы М (в системе средней линии профиля) для определения числовых значений параметров шероховатости поверхности.

Профилограф – прибор для регистрации координат профиля измеряемой поверхности (профилограммы поверхности).

Профилограф – профилометр – прибор для регистрации координат профиля измеряемой поверхности и определения числовых значений параметров шероховатости поверхности.

В зависимости от точностных характеристик профилографы делят на две группы: группа I – для исследовательских работ и лабораторных измерений повышенной точности; группа II – для измерений в процессе послеоперационного контроля (цеховые профилографы).

Типы и основные параметры профилометров стандартизованы ГОСТ19300-73.

Измерение шероховатости поверхности является сложным процессом, зависящим от многих факторов. Погрешность измерений и особенно сходимость результата измерений одной поверхности в разных условиях и различными приборами зависит от понимания влияющих факторов и соблюдения правил выполнения измерений.

К факторам, влияющим на результаты измерения можно отнести:

- условия подготовки и проведения измерения;
- выбор отсечки шага (базовой длины);
- выбор количества отсечек шага или длины оценки;
- тип фильтра;
- радиус и состояние иглы;
- скорость трассирования;
- измерительное усилие;
- опорные или безопорные измерения;
- калибровка приборов.

Профилографы – профилометры – контактные, щуповые приборы. При измерении по контролируемой поверхности перемещается алмазная игла с очень малым радиусом закругления (R = 0,002÷0,010 мм). Неровности

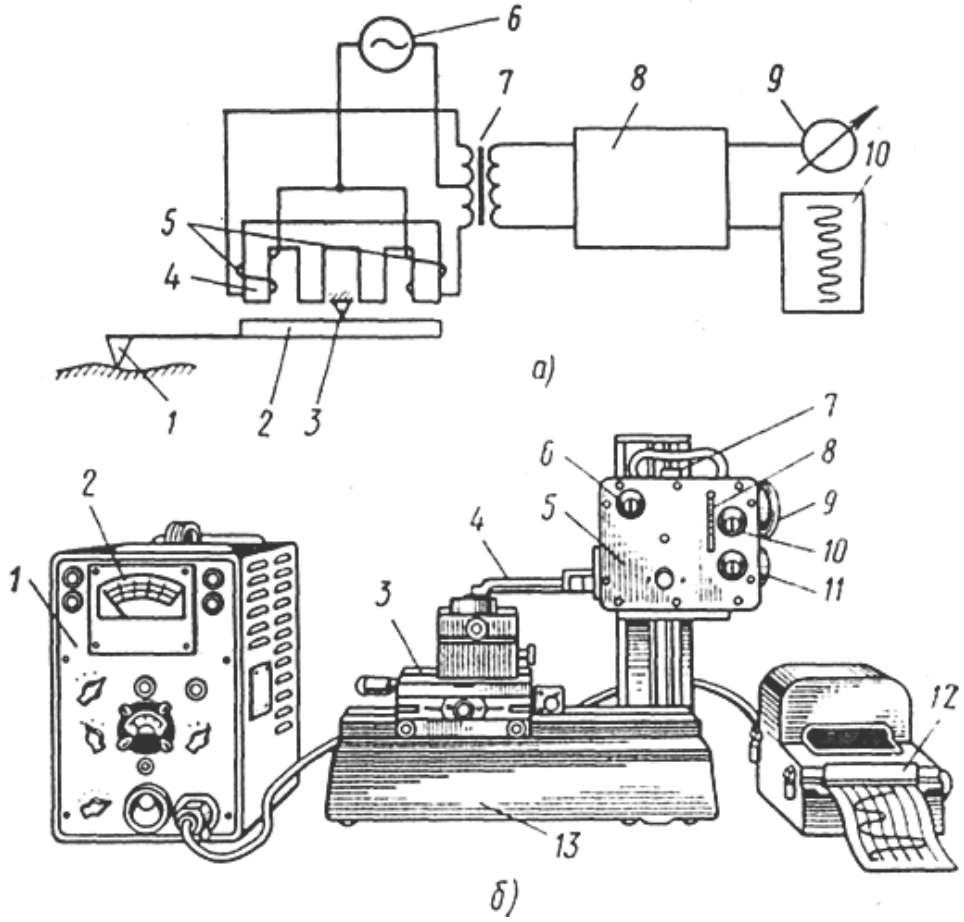
поверхности вызывают осевое перемещение иглы, которое с помощью различных датчиков (индуктивных, механотронных и др.) преобразуется в колебания напряжения электрического тока.

Контактные измерения шероховатости выполняются непрерывным ощупыванием поверхности изделия. Щуповые приборы делятся на профилометры, показывающие отдельные параметры шероховатости, как правило, *Ra* и профилографы, записывающие профиль поверхности. По профилограмме определяются все параметры шероховатости.

Профилограф снабжен записывающим устройством, выдающим профилограмму изображение реального профиля контролируемой поверхности в определенном масштабе (см. рис. 25.9). Предпочтительные значения вертикального увеличения в 100, 200, 500, 1000 раз и т. д., а горизонтального – 10, 20, 50, 100 раз и т. д. Вертикальное увеличение много больше горизонтального.

Работая в режиме профилометра, он измеряет: *Ra* в пределах 0,02–100 мкм; R_{max} – 0,1–200 мкм и t_p – от 0 до 100%. При работе в режиме профилографа – все параметры шероховатости.

Профилографы-профилометры удобны тем, что позволяют не только быстро и с высокой точностью определять один или несколько параметров шероховатости, но и получить документ – профилограмму поверхности. К недостаткам относятся сложность и высокая стоимость приборов.



а–схема измерения; *б*–внешний вид.

Рис. 25.9 – Профилограф-профилометр

При работе профилографа-профилометра с индуктивным датчиком (рис. 25.9) перемещение алмазной иглы *1* с радиусом закругления 2 мкм по проверяемой поверхности приводит к колебанию якоря *2*, установленного на оси *3*. При этом изменяется индуктивное сопротивление датчика, состоящего из сердечника *4* и катушек *5* обмотки. Колебания напряжения на выходе дифференциального трансформатора *7*, получающего питание от генератора звуковой частоты *6*, усиливается электронным блоком *8*. Прибор *9* показывает значение параметров шероховатости. Записывающее устройство *10* вычерчивает профилограмму.

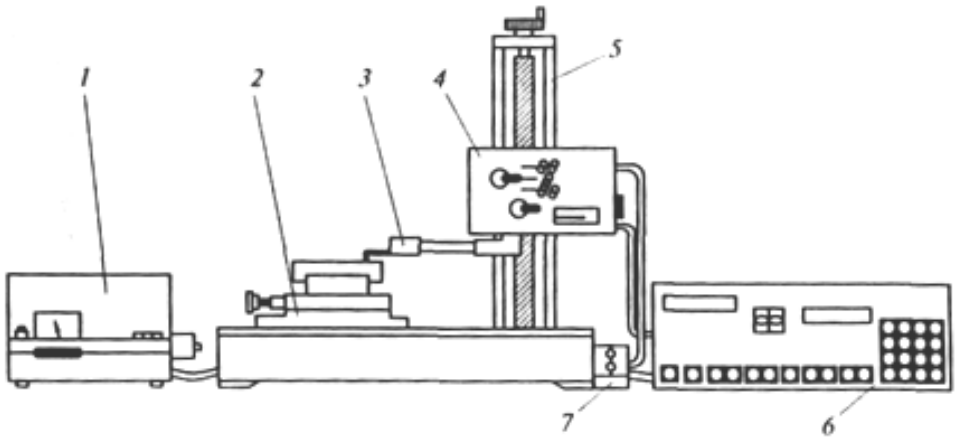
Прибор 201 (рис. 25.9) имеет стойку *13* с кареткой, стол *3*, датчик *4*, привод *5*, электронный блок *1* с отсчетным устройством *2*, показывающим параметр *Ra* и записывающий прибор *12*. Прибора работает или как профилограф, или как профилометр. Переключение осуществляется ручкой *6*. Привод грубо перемещается по стойке винтом *9* и тонко – винтом *7*, затем стопорится винтом *11*. Поворотом рычага *8* влево до упора датчик переводится в исходное положение. Переключателем *10* изменяют скорость движения датчика. Изделие устанавливают в нужном положении относительно датчика *4* перемещениями стола.

Профилограф-профилометр 252 имеет электронный блок с цифровым отсчетным устройством, которое показывает значения параметров *Ra*, t_p H_{max} и H_{min} и дает возможность определить параметры. $R_{max}=(H_{max}+H_{min})$ и S_m. Профилометры 240 и 253 предназначены для измерения параметра *Ra*.

Кроме того, некоторые щуповые приборы имеют наибольшую длину трассы, значительно превышающую максимальное значение базовой длины. Они могут использоваться для измерения волнистости.

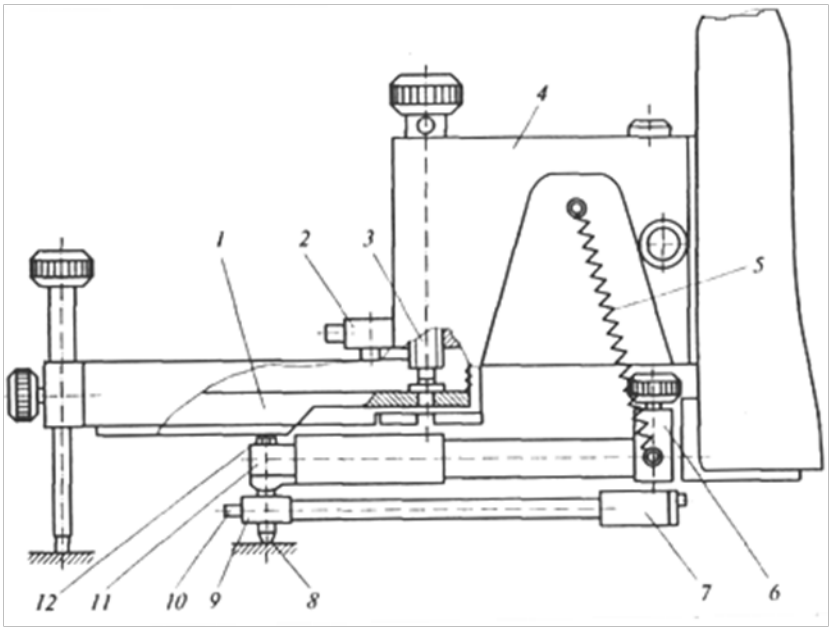
К таким приборам относится профилометр – профилограф мод.170311.

К прибору мод. 170311 может быть подключено приспособление для проверки волнистости.



1–записывающий прибор; *2*–предметный столик, *3*–датчик; *4*–мотопривод; *5*–стойка; *6*–электронный блок; *7*–блок-приставка.

Рис. 25.10 – Профилометр-профилограф мод. 170311 завода «Калибр»



1–коромысло; *2*–пятка; *3*–микровинт, *4*–корпус; *5*–плоская пружина; *6*–хомут: *7*–подвес; *8*–шуп; *9*–переходник; *10* и *12*–винт; *11*–опора.

Рис. 25.11 – Приспособление для проверки волнистости

Волнистость поверхности с шагами, большими 2,5 мм, а также неровности поверхности в отверстиях диаметром от 4 мм при глубине до 10 мм записывают и измеряют с помощью приспособления для проверки волнистости (рис. 25.11). Оно применяется в комплекте с обычным датчиком.

Корпус *4* приспособления устанавливается на направляющую мотопривода. К подвесу *7* на плоской пружине *5* крепится коромысло *1*, имеющее доведенную опорную плоскость, на которой перемещается сферический винт *12* опоры *11*. Пятка *2* коромысла *1* опирается на микровинт *3*, предназначенный для регулировки положения опорной плоскости, выставляемой параллельно исследуемой поверхности. Подвес *7* с помощью хомута *6* устанавливается на корпусе датчика. На переднем конце подвеса закреплен переходник *9* с доведенной верхней плоскостью, размещаемой непосредственно под иглой датчика. В отверстие переходника вставляется щуп *8* с закрепленным концом, который фиксируется в наконечнике винтом *10*.

Контакт сферической поверхности винта *12* с опорной плоскостью опоры *11* обеспечивается двумя спиральными пружинами, одеваемыми на штифты подвеса и корпуса.

С помощью такого устройства определяются параметры волнистости – высота волнистости *Wz*, наибольшая высота волнистости W_{max} и средний шаг волнистости.

Одним из важных элементов щуповых приборов является щуп.

При щуповом методе измерения шероховатости поверхности щуп является первым элементом измерительной системы прибора.

Действие прибора основано на принципе ощупывания неровностей измеряемой поверхности щупом датчика в процессе его перемещения вдоль

измеряемой поверхности и последующего преобразования возникающих при этом механических колебаний щупа в пропорциональные электрические колебания, которые усиливаются и преобразуются электронным блоком. Результаты измерений выводятся на дисплей в виде записи профиля или в виде численного значения соответствующего параметра поверхности, могут быть распечатаны или переданы на другой компьютер для выполнения дальнейших расчетов.

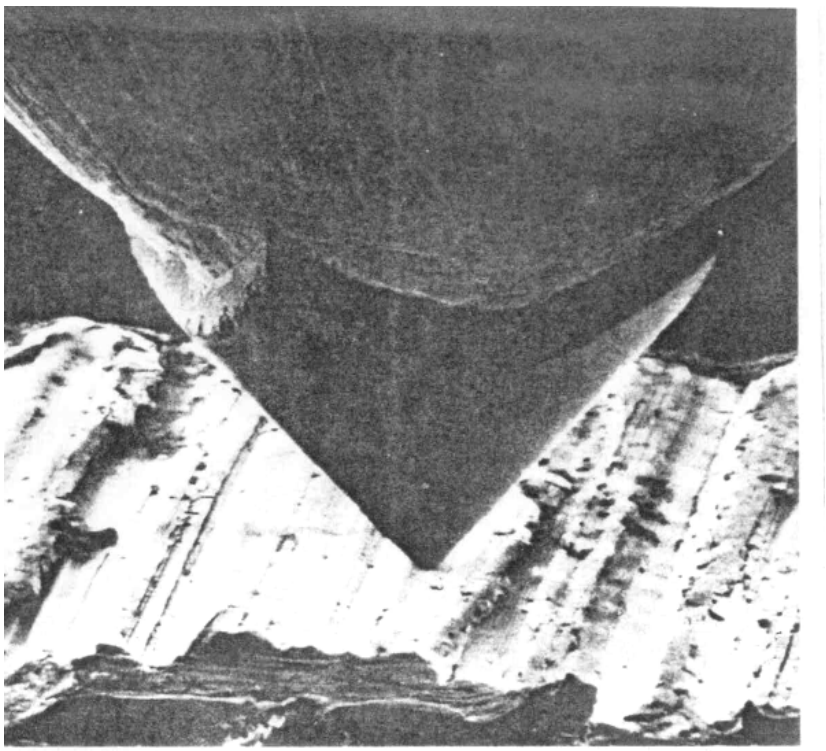


Рис. 25.12 – Игла

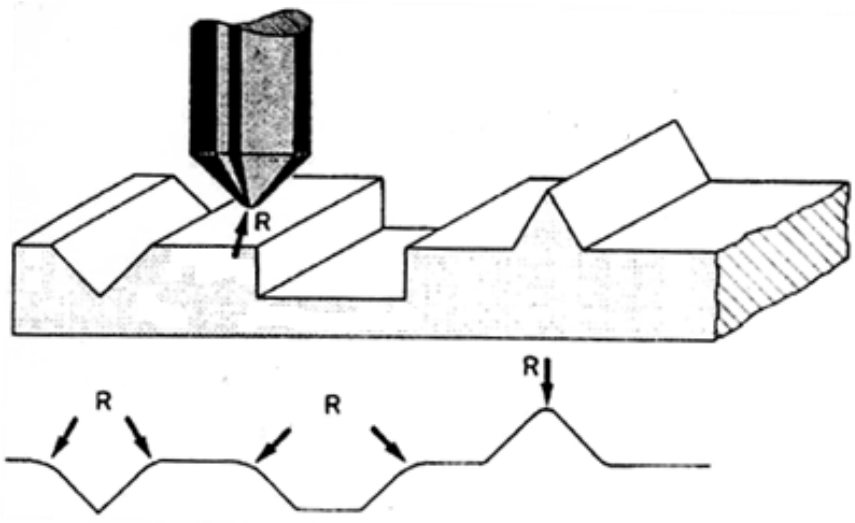


Рис. 25.13 – Влияние параметров иглы на измеряемый профиль

Игла при большом увеличении показана на рис. 25.12 и представляет собой конус с углом 90º и радиусом при вершине 2,5 или 10 мкм. Влияние геометрии иглы на процесс измерения является первым источником

погрешности измерения. Геометрия вершины иглы влияет на измерение поверхностей, имеющих очень мелкие или крутые элементы. При игле 90º/5 мкм измерения элементов поверхности, имеющие угол больше чем 45º к горизонту и радиус меньше чем 5 мкм будут несколько искажены. Влияние этого эффекта показано на рис. 25.13. Все ступеньки и выступы с углом более 45º, будут измеряемы как элементы имеющие угол 45º. Это важно помнить, когда необходимо исследовать геометрию ступенек.

Так как узкие или мелкие элементы не могут быть ощупаны иглой, то игла выступает в роли механического фильтра профиля, действуя как высокочастотный фильтр. Это значит, что высокочастотные элементы поверхности не воспринимаются, в то время как более низкие частоты учитываются.

Применяются различные размеры и формы иглы, но необходимо помнить о последствиях. Игла 2 мкм/60º, для примера, позволит более точно воспроизвести форму профиля, но увеличивается контактное движение иглы, что может вызвать появление следов от иглы на измеряемой поверхности и ускорить износ иглы.

Наиболее полезной альтернативой конической игле является игла в форме топорика. Игла-топорик может быть использована при измерении на очень узких поверхностях, таких как лезвие ножа, бритвы, режущая кромка протяжки, проволока, или деталь с очень маленьким диаметром, на которой невозможно обеспечить перемещение конической иглы.

Кроме того, игла-топорик иногда применяется для измерения пористых материалов, таких как продукты порошковой металлургии и керамике. Ширина иглы не позволяет ей проваливаться в поры, поэтому измерение более чувствительно к выступам, чем к впадинам. Трудность применения такой иглы в том, что необходимо обеспечить параллельность кромки иглы направлению перемещения датчика.

Измерения, выполненные с различными радиусами игл, могут давать разные результаты. Это частично справедливо для пористых материалов, таких как керамика. Меньший радиус и угол иглы позволяет глубже проникать во впадины, полностью измеряя высоту неровности.

Высока твердость алмазной иглы по сравнению с материалом деталей, позволяет применять ее в течение нескольких лет.

Геометрия вершины иглы должна, однако регулярно проверяться на предмет износа и повреждения. Поврежденную вершину иглы можно увидеть на электронном микроскопе или установить повреждение при калибровке с помощью специального эталонного образца шероховатости, предназначенного для этих целей.

Техническая характеристика профилографа-профилометра мод.252

Пределы измерения параметров	
профилографа *Rz*, мкм	0,02–250
профилометра	
Ra, мкм	0,02–100
H_{max}, H_{min}, мкм	0,1–100
t_p, %	0–100
n	до 1000
Уровни сечения профиля при измерении tp, %	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70,
Вертикальное увеличение	от 200 до 100 000 (9
Горизонтальное увеличение	от 0,5 до 2000 (12
Максимальна длина трассы ощупывания для профилографа, мм	50
Длина трассы ощупывания для профилометра, мм	1,5; 3; 6
Значение отсечек шага, мм	0,08; 0,25; 0,5; 2,5
Вид отсчетного устройства	Цифровое
Наименьший диаметр измеряемого отверстия или паза на глубине до 5 мм, мм	3
Потребляемая мощность Вт, не более	100
Масса прибора, кг	107,6

Профилометры

Профилометр мод. 253 завода «Калибр». Профилометр представляет собой контактный прибор последовательного преобразования профиля, предназначенный для измерения в цеховых условиях параметров шероховатости поверхности металлических и неметаллических (пластмасса, стекло и т. п.) изделий.

Принцип действия профилометра основан на ощупывании исследуемой поверхности алмазной иглой с радиусом кривизны при вершине 10 мкм и преобразовании с помощью механотронного преобразователя механических колебаний иглы в пропорциональные изменения электрического напряжения.

Конструкция механотронного преобразователя показана на рис. 25.14. Алмазная игла *13* закреплена на конце щупа *12*, который через тонкую мембрану связан с подвижным анодом механотронного преобразователя *11*. При перемещении подвижного анода соответственно изменяется выходной электрический сигнал механотронного преобразователя. Механотрон вставлен, а корпус *1*, в передней части которого расположена твердосплавная опора *14*. Крепление механотрона в корпусе осуществляется с помощью кольца *4* со штырем *3*, который упирается в лунку винта *2* под усилием пружины *7*. Такая конструкция крепления позволяет регулировать положение механотрона и осуществлять точную установку алмазной ощупывающей иглы относительно твердосплавной опоры. Положение щупа регулируется и фиксируется винтами *6*, которые упираются в кольцо *5*. Преобразователь соединяется со штоком привода вилкой разъема *9* и фиксируется штифтом *8*. Снизу механотрон закрыт крышкой *10*.

Перемещение механотронного преобразователя с постоянной скоростью осуществляется с помощью привода. Выходные сигналы с механотронного

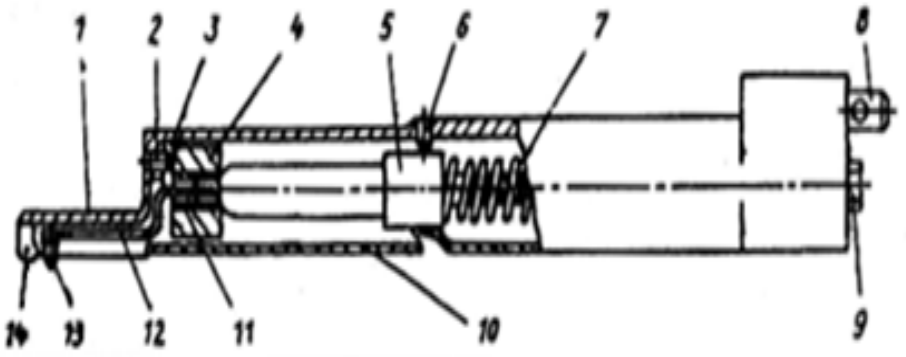


Рис. 25.14 – Механотронный преобразователь профилометра мод. 253

преобразователя подаются на электронный блок с электронным усилителем, электрическими фильтрами и стрелочным показывающим прибором, который используется в качестве интегрирующего устройства и для отсчета результатов измерения шероховатости поверхности. Шкала показывающего прибора градуирована в значениях параметра *Ra*.

Техническая характеристика профилометра мод. 253

Пределы измерении параметра *Ra*, мкм	0,02–3,2
Скорость трассирования преобразователя, мм/с	0,02
Измерительное усилие ощупывающей иглы, сН	не более 1
Радиус кривизны ощупывающей иглы, мкм	10
Наименьший диаметр проверяемого отверстия, мм, на	
до 20 мм	6
» 130 мм	16
Погрешность показании, %	16
Масса прибора, кг	12

Профилометр мод. 283 завода «Калибр». Профилометр относится к контактным приборам последовательного преобразования профиля типа А11 по ГОСТ 19300-73 и предназначен для измерения в цеховых условиях шероховатости наружных и внутренних поверхностей деталей с твердостью не менее НВ 10 и прямолинейным сечением в плоскости измерения.

Принцип действия прибора основан на ощупывании измеряемой поверхности алмазной иглой с радиусом кривизны при вершине 10 мкм и преобразовании с помощью механотронного преобразователя механических колебаний иглы в пропорциональные изменения электрического напряжения.

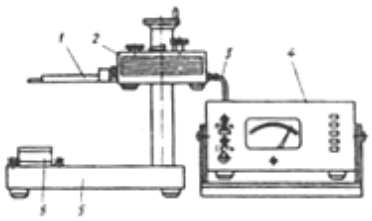


Рис. 25.15 – Общий вид профилометра мод.283

Общий вид профилометра мод. 283 показан на рис. 25.15. Механотронный преобразователь *1* с алмазной ощупывающей иглой (в преобразователе применен механотрон 6МХ1Б) закреплен в гнезде штока привода *2*. Привод установлен на вертикальной колонке стойки *5*, на которой устанавливается измеряемая деталь. Выходные электрические сигналы с механотронного преобразователя по проводу *3* поступают на электронный блок *4*. В профилометре применен электронный блок с унифицированной электронной системой, построенной на основе полупроводниковых элементов. Провод *3* используется также для электрического соединения привода с электронным блоком. Отсчет результатов измерения шероховатости поверхности производится с помощью стрелочного показывающего прибора, шкала которого градуирована по параметру *Ra*. Призма *6* предназначена для установки цилиндрических деталей.

Техническая характеристика профилометра мод. 283

Пределы измерения параметра Ra, мкм	0,02–10
Характеристики основной приведенной погрешности. %:	
предел допускаемой систематической составляющей	10
предел допускаемого среднего квадратического отклонения случайной составляющей	2
Длина трассы ощупывания при измерении, мм	1,5 и 4,8
Скорость трассирования измерительного преобразователя,	0,25 и 0,8
Значения отсечки шага, мм	0,25 и 0,8
Минимальный диаметр проверяемого отверстия, мм. на	
20 мм	6
130 мм	16
Масса прибора, кг, не более	23

Таблица 25.3

Приборы выпущенные заводами "Калибр" Москва и "ЛОМО" С-Петербург

Тип прибора		Параметры	Пределы измерения	Базовые длины, мм	Изготовитель
Профилограф-профилометр мод. 201	Профилометр	*Ra*	8,0–0,02 мкм	0,08; 0,25; 0,8; 2,5	Завод "Калибр"
	Профилограф	*Ra* *Rz* R_{max} *S*, S_m *tp*	20,0–0,008*мкм 100–0,025 мкм 12,5–0,003 мкм 90–10%	Весь ряд	
Профилометр мод.253		*Ra*	2,5–0,04 мкм	0,25; 0,8; 2,5	Завод "Калибр"
Профилометр мод. 283		*Ra*	10–0,02 мкм	0,25; 0,5	Завод "Калибр"

Продолжение таблицы 25.3

Профилограф-профилометр мод. 252 (с цифровым отсчетом)	Профилометр	Ra R_{max} S_m t_p	100-0,02 мкм 200–0,1 мкм 12,5–0,003 мкм 100–0%	2,5; 0,8; 0,25; 0,08	Завод "Калибр"
	Профилограф	Rz R_{max} S, S_m t_p	250–0,02 мкм 60–0,05 мкм 12,5–0,003 мм 100–0%	Весь ряд	
Приборы светового сечения МИС-11 и ПСС-2	МИС-11	Rz R_{max}	80–0,8 мкм	0,8; 0,25	ЛОМО
	ПСС-2	Rz R_{max} S, S_m	40–0,8 мкм 2,5–0,002 мм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01	
Микроинтерферометр МИИ-4		Rz R_{max} S, S_m	0,8–0,1 мкм 0,25–0,02 мм	0,25; 0,08; 0,03; 0,01	ЛОМО

В России выпускаются приборы для измерения шероховатости типа Сейтроник.

Модель	Измеряемые параметры	Пределы измерения, мкм	Исполнение
170311	Ra, Rz, R_{max}, S_m, t_p	по Ra 0,02-100	Стационарный
Сейтроник ПШ8-1	Ra, Rz, R_{max}, S_m	по Ra 0,04-12,5	Переносной
Сейтроник ПШ8-2	Ra, Rz, R_{max}, S_m	по Ra 0,04-2,5	Переносной
Сейтроник ПШ8-3	Ra, Rz, R_{max}, S_m, S t_p и др.	по Ra 0,04-2,5	Стационарный
Сейтроник ПШ8-4	Ra, Rz, R_{max}, S_m, S t_p и др.	по Ra 0,04-12,5	Переносной
Импортные средства измерения			
Pocket-Surf	Ra, Rz, R_{max}	по Ra 0,03-6,3	Накладной
Mar Surf PS1	Ra, Rz, R_{max} всего 24 параметра	по Ra 0,02-90	Накладной
Perthometer M1	Ra, Rz, R_{max}	по Ra 0,02-100	Переносной
Perthometer M1	Ra, Rz, R_{max}, S_m, t_p и др.	по Ra 0,02-100	Переносной
Perthometer M1	Ra, Rz, R_{max}, S_m, t_p всего 40 параметров	по Ra 0,02-100	Стационарный
Mar Surf XP20	Ra, Rz, R_{max}, S_m, t_p всего 65 параметров	по Ra 0,02-100	Стационарный

При контроле шероховатости от 320 до 20 мкм предпочтение отдаётся параметру Rz, от 2,5 до 0,04 мкм – Ra и от 0,08 до 0,02 – Rz.

Методы и средства поверки контактных профилометров и профилометров-профилоградов установлены ГОСТ 8.241-77 и ГОСТ 8.242-77.

Прогрессивные средства и технологии контроля шероховатости рассмотрены в главе 30.

25.4 Слепочная масса для получения высокоточных копий поверхностей

В производстве часто возникает проблема контроля шероховатости в труднодоступных или на крупногабаритных деталях. В особенности западные фирмы выпускают приборы и к ним принадлежности, способные решить любую производственную задачу по контролю шероховатости поверхностей. На предприятиях стационарными приборами контроля шероховатости поверхностей оснащены только в лаборатории.

Ещё в 60 – 70 ^{х} годах прошлого столетия выходили из положения изготовлением отпечатков поверхности из пластилина. Таким способом можно производить измерение только на оптических приборах. Погрешность при этом значительно возрастала. Оптические приборы имеют погрешность до 16%. При изготовлении отпечатков из пластилина погрешность измерения достигала 35 – 40%. Но такой способ непригоден для щуповых приборов.

Вначале на Западе, но в последние годы в России разработана слепочная масса.

Компар-П

Материал композиционный оттискно-слепочный Компар-П, предназначен для получения высокоточных твердых оттисков с поверхности металлических, стеклянных и других совместимых с ним деталей с целью последующего метрологического контроля по полученному оттиску параметров шероховатости и локальных дефектов поверхности деталей.

Воспроизведение параметров шероховатости: *Ra* от 0,04 мкм.

Проникающая способность: микротрещина с шириной раскрытия 0,5 мкм на глубину до 5 мкм.

Время смешивания – не более 1 мин.

Время формования – не более 1,5 мин.

Время отверждения – от 8 до 20 мин.

Твердость - не менее 200 МПа. ТУ 2243-015-00482134-2001

Компар-С

Упругий оттискно-слепочный материал Компар-С предназначен для получения слепков с поверхности металлических, стеклянных и других совместимых с ним деталей с целью последующего метрологического контроля по полученному слепку геометрических параметров деталей в местах, доступ к которым, а также съем слепка, в которых затруднен. Упругие свойства этого материала позволяют вынимать слепок, деформируя его, после чего исходная форма слепка восстанавливается. Кроме этого, отвержденный материал легко режется, что позволяет проводить экспресс-измерение без каких либо приспособлений для базирования слепка на приборе. Слепок режется в плоскости измерения так, чтобы получилась пластина толщиной менее 1 мм. Пластина устанавливается на предметный стол измерительного прибора, и в проходящем свете измеряются требуемые

параметры. При базировании на измерительном приборе следует учитывать упругие свойства материала. Компар-С относится к материалам, изготовленным из поливинилсилоксанов аддитивной сшивки с неорганическим наполнителем.

Неточность воспроизведения линейного размера – не более 0,2%. Время смешивания – не более 20 с.

Время формования – не более 30 сек.

Время отверждения – не более 5 мин.

Восстановление после деформации – 99%

ТУ 2243-015-00482134-2001.

Контрольные вопросы

1. Что из себя представляют образцы шероховатости?
2. Какие принципы работы оптических приборов измерения шероховатости?
3. Принципы работы щуповых приборов для контроля шероховатости.
4. Какие основные параметры шероховатости поверхности?
5. Что из себя представляют слепочные массы?

Глава 26 Измерение деталей сложной конфигурации, станочных приспособлений и аттестация контрольных приспособлений

В серийных и массовых производствах, для повышения производительности труда применяется различная специальная оснастка: спутники автоматических линий, рабочие и сварочные приспособления, контрольные приспособления.

При изготовлении вся оснастка проверяется на соответствие чертежам и нормативной документации. В процессе эксплуатации рабочие приспособления проверяются на геометрическую точность, а контрольные приспособления проходят периодическую аттестацию.

Сварочная оснастка имеет большие габариты и контролируется на месте.

Наиболее эффективный и производительный метод контроля переносными контрольно-измерительными портативными машинами – измерительная рука. В настоящее время многие фирмы, специализируются на выпуске координатно-измерительных машин, выпускают различные по конструкции КИМ – измерительная рука. Допустимы размеры для контроля – 2,4 – 3,6 м, точность измерения длины – 0,007 – 0,155 мм.

Что такое измерительная рука?

Рука это переносное измерительное устройство с шестью осями (рис. 26.1, 26.2). Каждый угол руки измеряется с помощью угловых датчиков.

Имея надёжную и точную механику, зная углы и расстояния шарниров, можно вычислить координаты X, Y, Z точек в пространстве.

Компьютер используется для расчёта и демонстрации измеряемых величин.

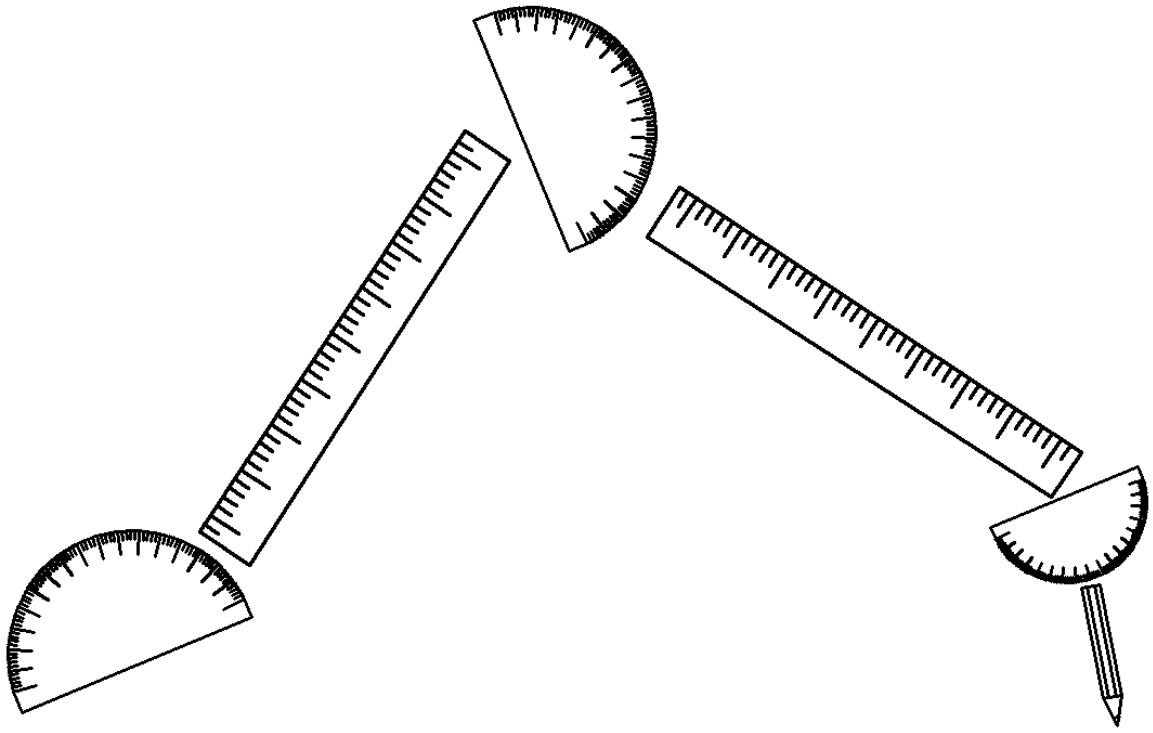


Рис. 10.1 – Схема измерительной руки

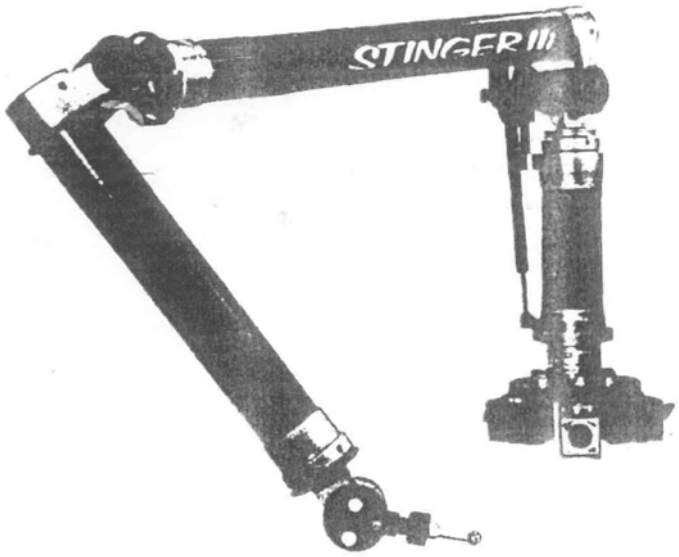


Рис. 26.2 – Измерительная рука

Измерительная рука может крепиться как на крупногабаритное изделие с помощью магнитных или механических прихватов, так и на контрольную плиту.

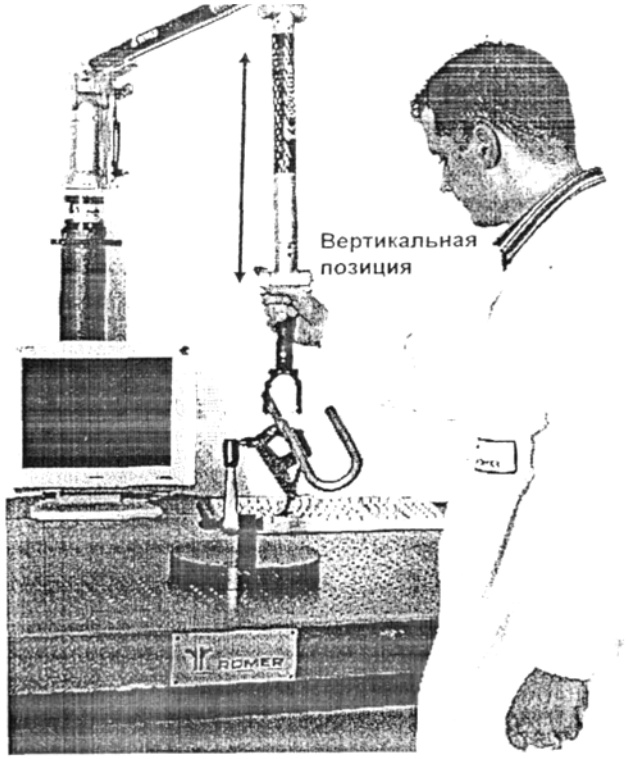


Рис. 26.3 – КИМ – измерительная рука в работе

Точнее контрольные приспособления аттестуются на портальных координатно-измерительных машинах (КИМ).

В процессе измерения на КИМ выполняются расчёты координат, как линейных, так и угловых величин, выдаётся протокол аттестации.

При отсутствии КИМ аттестация контрольных приспособлений производится на контрольной плите с применением различных

универсальных измерительных средств: концевых мер длины, угловых мер, индикаторных головок со стойками и других вспомогательных средств. При определении координат производятся математические расчёты положения приспособления в пространстве.

26.1 Приспособления для установки габаритных деталей и контрольных приспособлений на контрольной плите

Приспособления для установки деталей на контрольной плите могут быть разделены на два класса – **установочные и поворотные**.

Установочные приспособления подразделяются на опорные и выравнивающие.

Поворотные приспособления, в зависимости от кинематической схемы, положенной в основу конструкции, делятся на два вида: **одноосные** (кинематическая цепь с одной степенью свободы) и **двухосные** (цепь с двумя степенями свободы). В зависимости от однотипных элементов конструкции каждый из этих видов поворотных приспособлений делятся на три группы:

а) приспособления с устройствами для измерения положения детали (приспособления) на углы кратные 90° или на 15°, 30° и т.д.;

б) приспособления, позволяющие из исходного положения поворачивать изделие на любые углы благодаря наличию в конструкции лимбов, ноиусов и фиксирующих устройств;

в) приспособления, обеспечивающие поворот изделия из исходного положения на заданный угол с повышенной точностью благодаря замене лимбов и ноиусов специальными устройствами, например синусными линейками или делительными дисками.

Каждая из перечисленных групп в зависимости от характера контрольных работ делятся на ряд типовых конструкций.

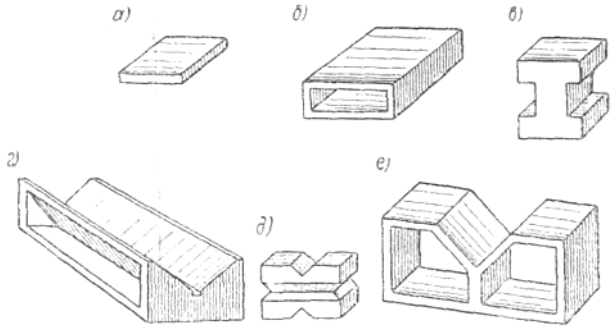
1 Установочные приспособления

Детали и приспособления средних и крупных размеров, а также с необработанными установочными базами обычно на контрольную плиту не устанавливаются во избежание её повреждения. В этих случаях между приспособлением или деталью и плитой устанавливаются опорные подкладки или регулируемые по высоте выравнивающие устройства.

1.1 Опорные подкладки

Простейшими подкладками могут служить подкладки, показанные на рисунке 26.4.

Для установки деталей тел вращения подкладки с вырезом в виде двухгранного угла (26.4, *г*, *д*, *е*). Угол между гранями обычно равен 90°.



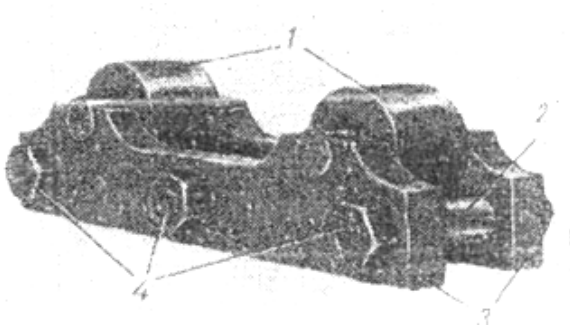


Рис. 26.4 **Рис. 26.5**

Роликовые подкладки (рис. 26.5) используются для тяжёлых деталей формы тел вращения. Подкладка состоит из двух щёк *3*, соединённых шпильками *4*, на которые одеты роликовые втулки *2*. В прорези щёк вставлены ролики *1*, поддерживающие деталь.

Преимущество роликовой подкладки:

- облегчение поворота детали при её установке;
- малый износ (отсутствие истирания);
- простые конструкции.

Недостаток конструкции – ограниченное число диаметров, устанавливаемых деталей.

2 Выравнивающие приспособления

В большинстве случаев при установке детали или приспособления на плите, их положение в пространстве приходится изменять по высоте и по угловой ориентации. Это бывает необходимо для установки измерительных баз параллельно контрольной плите. Для этих целей используют **домкраты винтовые.** Они применяются как для небольших деталей, так и для крупногабаритных, а также для приспособлений по весу колеблющихся в значительных пределах. На рисунке 26.6 показаны конструкции домкратов.

а) **домкрат с остроконечной головкой.** Хвостовик *1* ввинчивается в основание *2* при помощи рычага, вставляемого в радиальное отверстие *3* головки.

Домкрат применяется для установки изделий среднего веса.

Преимущество конструкции:

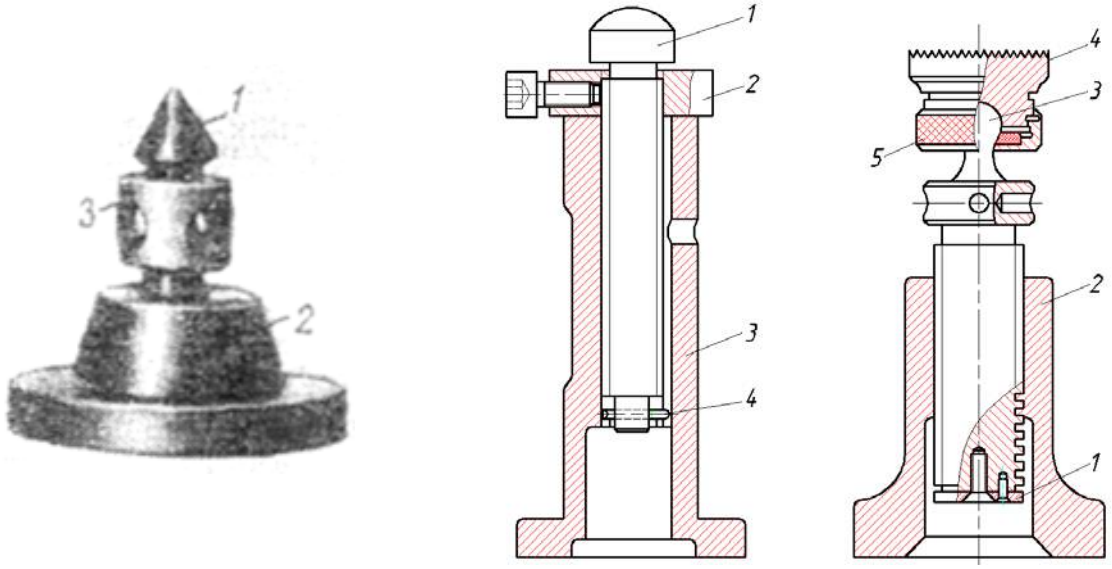
- простота конструкции;
- допускает установку изделий до 20 кг.

недостаток конструкции – невозможность установки изделий с наклонной поверхностью.

б) **домкрат с опорной сферической головкой** предназначается для установки изделий весом свыше 20 кг (рис. 26.6, *б*).

Грузовой винт *1* со сферической головкой перемещается в корпусе *3* только поступательно благодаря шпонке *4*, скользящей по пазу корпуса *3*. Подъём осуществляется вращением гайки *2*.

Преимущество конструкции – опорная поверхность изделия меньше повреждается, т.к. винт с опорой перемещается без вращения.



а) б) в)

Рис. 26.6 – Конструкции выравнивающих приспособлений – домкратов

Недостатки:

- сложность конструкции;
- возможность соскальзывания изделия с домкрата из-за большой высоты.

в) **домкрат с самоустанавливающейся опорой** (рис. 26.4, *в*) предохраняет деталь от сползания и не портит опорную поверхность, т.к. обеспечивает небольшое удельное давление благодаря большой площади опоры.

Домкрат состоит из основания *2* с резьбой и грузового винта *3*, на одном конце которого сидит опорная головка *4*, фиксируемая резьбовым кольцом *5*. Для ограничения подъёма винта и предотвращения его от полного выворачивания, к торцу винта привёрнута шайба *1*.

Преимущества конструкции:

- рифлёная головка входит выступами в опорную поверхность изделия и предотвращает скольжение опоры по изделию;
- большая площадь головки уменьшает удельное давление и снятие опорных поверхностей.

26.2 Поворотные приспособления с синусным устройством

Наиболее эффективные приспособления для контроля угловых параметров приспособлений и деталей являются двухосные поворотные приспособления и синусные линейки, позволяющие измерить углы поворота косвенным методом по превышению двух точек, расположенных на определённом расстоянии. Углы поворота определяются тригонометрическим методом с помощью блока концевых мер (БКМ).

На рисунке 26.7 показано поворотное приспособление фирмы "Фейнпрюф" Германия. Приспособление позволяет крепить изделия длиной до 500 мм.

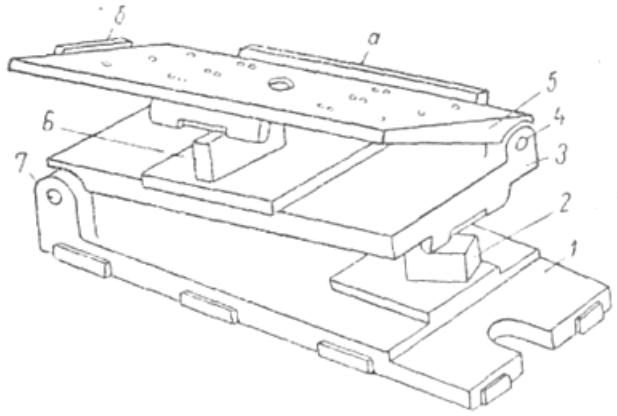


Рис. 26.7 – Синусное приспособление

Приспособление состоит из основания *1*, устанавливаемое на контрольную плиту. Между основанием и поворотной плитой *3* в продольном направлении устанавливается БКМ-2. Плита *3* поворачивается вокруг оси *7*, параллельно плоскости контрольной плиты.

Изделие устанавливается на плите *5*. Буртики *а* и *б* предохраняют от сползания изделия со стола приспособления.

Второй угол наклона при повороте вокруг оси *4* устанавливается также при помощи БКМ – поз.*6*.

Преимущества конструкции:

- высокая точность угловой установки изделий;
- возможность крепления изделий на верхней плите 5 с помощью резьбовых прихватов.

Недостаток:

– ограниченный вес контролируемых изделий.

Из отечественных изделий хорошо зарекомендовал себя стол магнитный поворотный синусный Читинского станкозавода, изготавливаемый по ГОСТ 16528-87. Габариты стола 200×630 мм, угол поворота 30° (рис. 26.8).

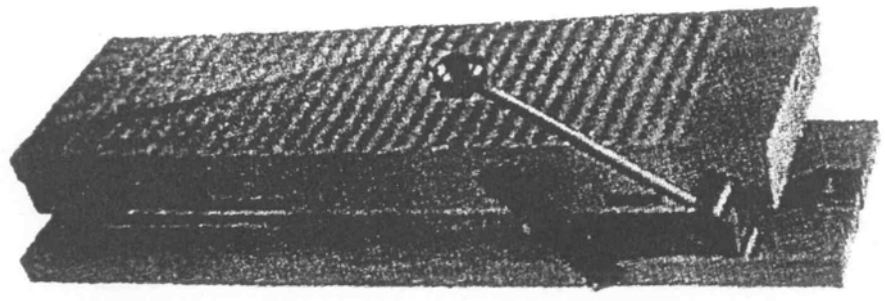


Рис. 26.8 – Синусный магнитный стол

Для контроля углов изделий малого веса используют синусные линейки.

Наиболее эффективны синусные линейки с магнитным столом (рис. 26.9).

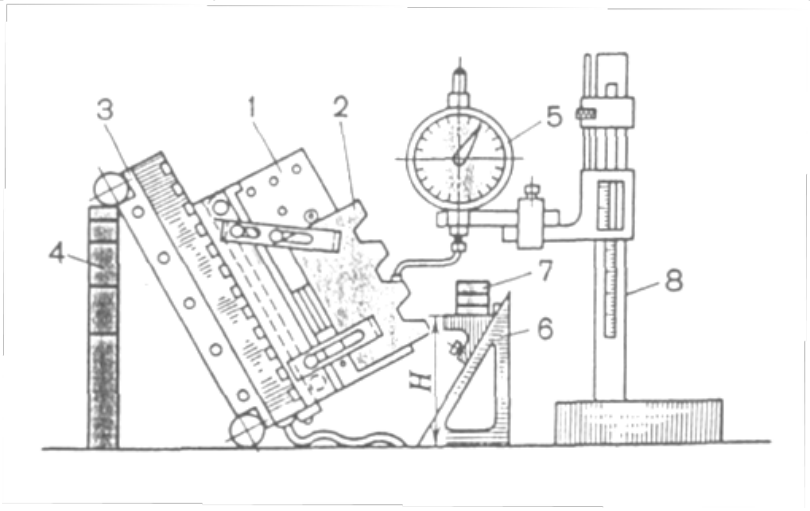


Рис. 26.9 – Контроль шаблона на синусной линейке

1. упор;
2. шаблон;
3. синусная линейка;
4. БКМ для синусной линейки;
5. индикатор;
6. установ;
7. БКМ для настройки индикатора;
8. штангенрейсмасс.

26.3 Установ

Весьма точный вспомогательный инструмент, применяемый при относительных и косвенных измерениях сложных и точных координат контрольных приспособлений, сборочных калибров, пресс-форм и других изделий.

В процессе измерений установ (рис. 26.10) устанавливается рядом с измеряемым изделием на контрольную плиту основанием.

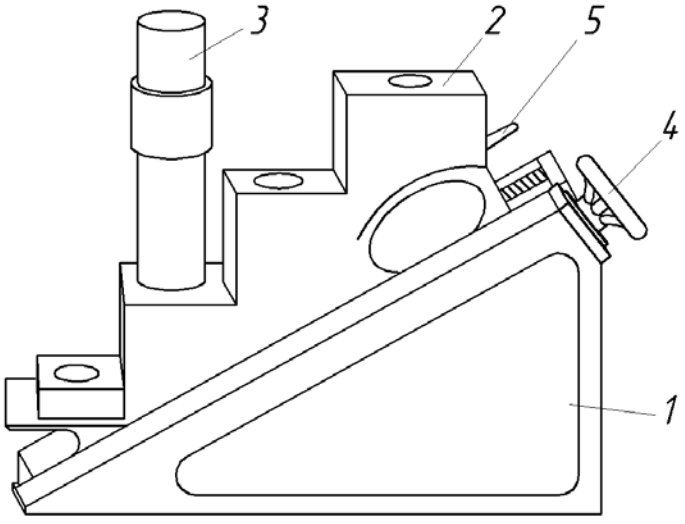


Рис. 26.10 – Установ

Ступенчатая салазка *2* со стойкой *3*, служащая базой для установки блока концевых мер, при помощи ходового винта *4* передвигается по наклонной плоскости основания и закрепляется в нужном положении стопорным устройством *5*. Стойка *3*, в зависимости от нужной высоты устанавливается на любую ступеньку салазок.

26.4 Вертикальные измерительные устройства

Большую эффективность и распространение получили одномерные измерительные устройства – **высотомеры.**

Первое поколение – вертикальные микрометры.

Второе поколение – электронные высотомеры: фирмы "Браун и Шарп – Предизика" Литва, "Мицутойо" Япония, мера высоты ступенчатая с цифровым отсчётом мод. БВ-6151 завода "Красный инструментальщик" г. Киров.

Третье поколение - высотомеры широкопрофильные с автоматизированной обработкой результатов измерений.

Высотомеры третьего поколения выпускают многие фирмы: "Мицутойо" Япония, "Теза" Швейцария, "Мар" Германия.

При работе с высотомерами первого и второго поколения без расчётов не обходилось ни одно измерение, что приводило к большим затратам времени и требовалась высокая квалификация оператора.

Высотомеры третьего поколения, позволяют решать на ряду с измерением и вычисления требуемого параметра: перпендикулярности, прямолинейности, отклонения от параллельности, овальности, расположения угловых размеров и другие функции.

На примере высотомера "**Digimar 817 CLM**" фирмы "Mahs" Германия рассмотрим эти функции.

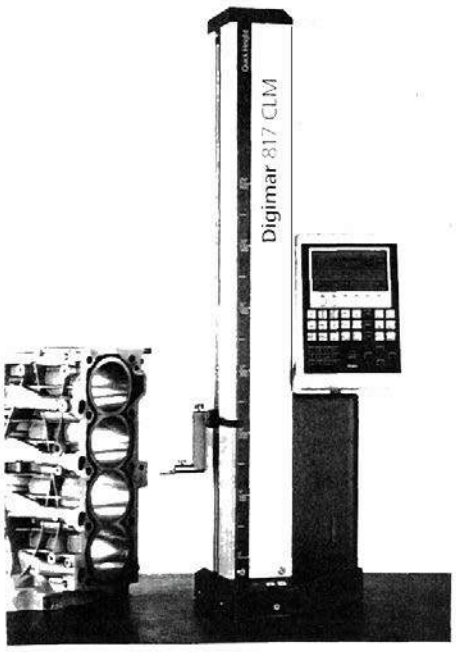


Рис. 26.11 – Высотомер Digimar 817 CLM

Высотомер Digimar 817 CLM обладает инновационной системой **Quick Mode,** обладающей широким диапазоном возможностей при измерениях и обработке результатов.

В основании высотомера встроены воздушные подшипники, позволяющие легко перемещать высотомер по плите.

Возможности измерения параметров деталей:

а) **перпендикулярность и прямолинейность**

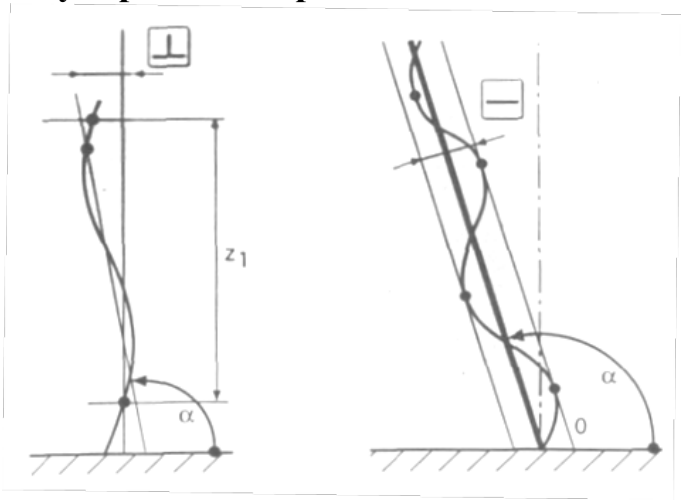


Рис. 26.12 – Схемы контроля перпендикулярности и прямолинейности

б) **отклонение от параллельности и овальности (отклонение от круглости)**

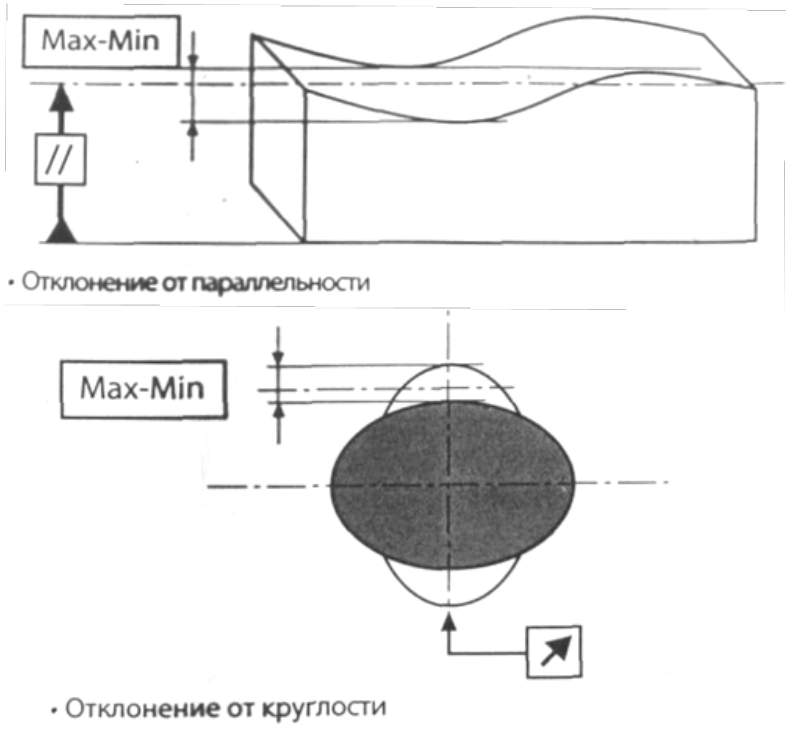


Рис. 26.13 – Схемы контроля отклонения от параллельности от круглости

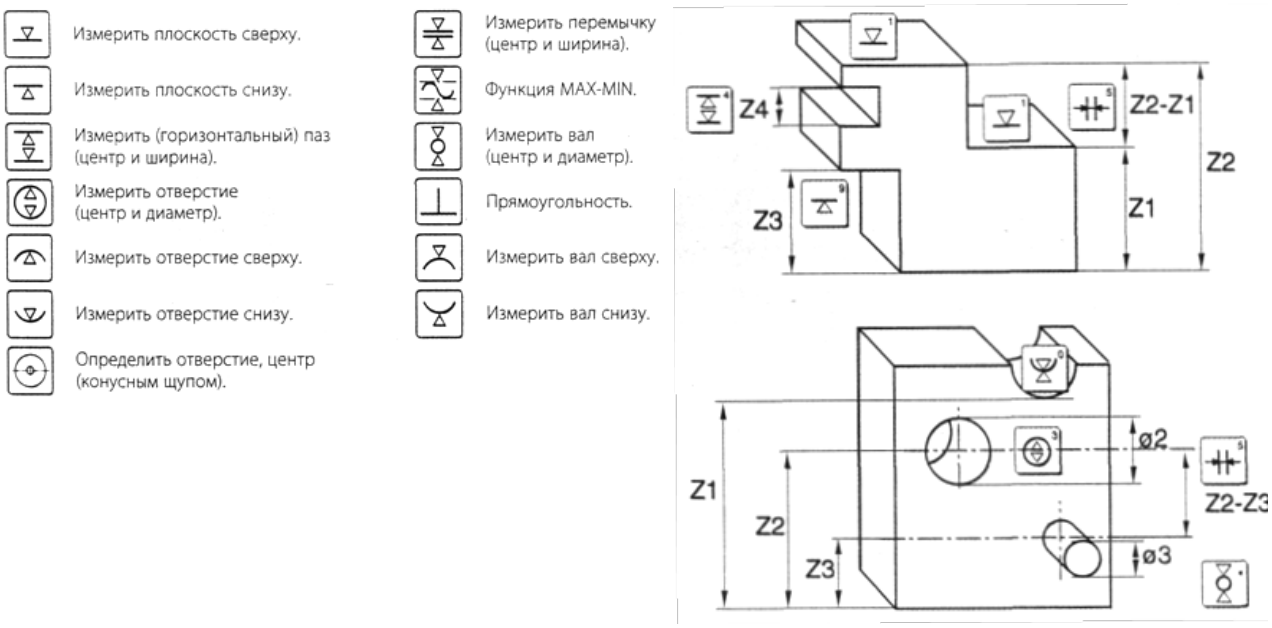


Рис. 26.14 – Функции измерения, вызываемые клавишами на панели управления.

в) **расчетные функции, вызываемые нажатием клавиши на пульте управления.**

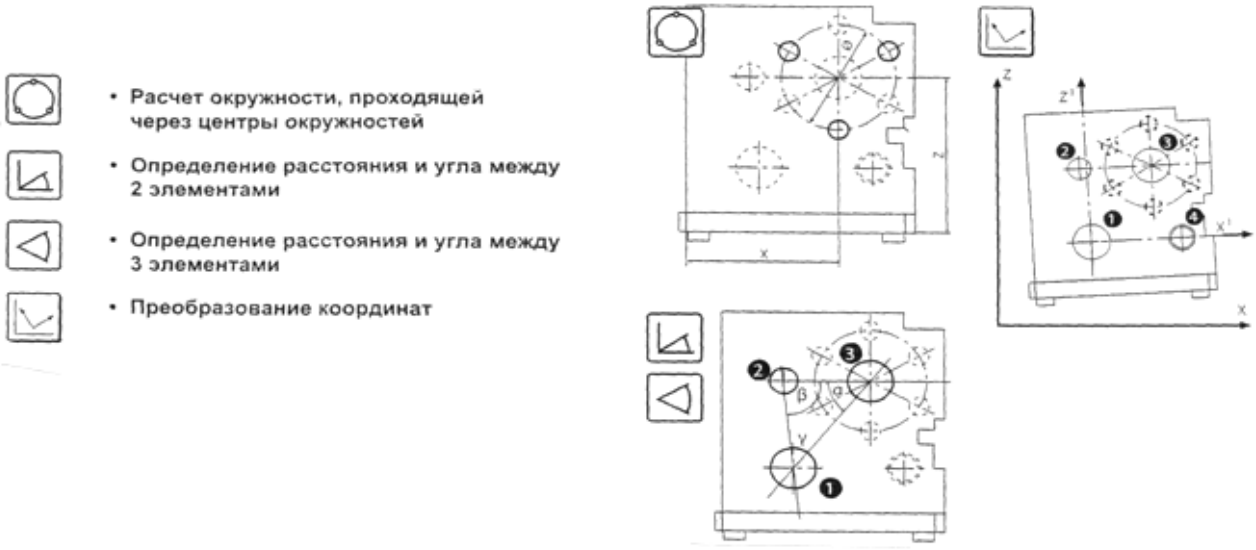


Рис. 26.15 – Расчётные функции высотомера Digimar 817 CLM

Использование высотомера Digimar 817 CLM в серийном производстве позволяет хранение до 40 измерительных программ, которые могут быть сохранены на ПК.

В процессе измерений осуществляется контроль допусков, создание карт контроля (аттестации), построение графиков изображающих погрешности формы и расположения поверхностей.

Контрольные вопросы

1. Что такое измерительная рука?
2. Какие приспособления применяются при измерении габаритных деталей?
3. Назначение синусных приспособлений.
4. Принципы работы и вертикальных высотомеров.

Глава 27 Прогрессивные средства измерений линейно-угловых величин

27.1 Анализ оснащённости средствами измерений и контроля

Развитие технического прогресса влечёт за собой совершенствование средств производства в том числе и средств измерений.

Мировая тенденция в промышленно развитых странах ужесточение полей допусков на изготовление изделий. По данным NIST (США) с 1940 года до 2000 года допуски для многих станочных операций уменьшились в 5 раз. Но с уменьшением поля допуска на размер увеличивается доля допуска, приходящегося на шероховатость (с 15% в 1940 году до 50% в настоящее время). Увеличение доли шероховатости в общем допуске на размер резко ужесточает требования к допускам на отклонение формы (отклонение от круглости, прямолинейности, цилиндричности). Особые требования предъявляются и к средствам измерений.

Если проследить соотношение средств измерений и контроля с 1940 года до 2000 года на предприятиях средней серийности, то можно увидеть следующие соотношения.

В 1940 году (ориентировочные данные) средства допускового контроля составляли 65%. Универсальные средства измерений – 30%, приборы – 5%.

2000 год. Средства допускового контроля – 20%. Универсальный измерительный инструмент (механический и электронно-механический) – 50%, приборы – 30%.

Если в начальные годы анализа приборы находились исключительно в измерительных лабораториях, то в настоящее время располагаются непосредственно в цехах. Проекторы, приборы шероховатости, зубоконтрольные приборы порой встраиваются в технологический процесс. Комнаты точных измерений, зубоконтрольные участки, термоконстантные помещения с координатно-измерительными машинами располагаются непосредственно возле технологического оборудования при выполнении требований ГОСТ 8.050-76.

В автомобильной промышленности с массовым производством оценка оснащённости средствами измерений и контроля осуществляется по-другому – от общей суммы средств производства.

По данным Ассоциации метрологов автотракторного машиностроения на 1990 год процент оснащённости средствами измерений и контроля составил:

ВАЗ – 14-16% (в производстве оборудования – 20-25%);

КамАЗ – 10-12%;

УралАЗ, МАЗ, ЗМЗ – 5-8%;

Mersedes, Volkswagen – 25-30%.

При этом на западных фирмах процент контрольных операций (ручных, автоматизированных), от общего количества производственных операций составляет 9-10%.

Доля средств допускового контроля на основном производстве отечественных предприятий остаётся высокой (калибры, контрольные приспособления) – до 60% на ВАЗе и КамАЗе, на УралАЗе, ЗМЗе – до 80%.

В настоящее время (2010 г.) системного анализа оснащенности средствами измерений и контроля не ведётся. Но судя по оснащённости малых и средних предприятий, поставщиков комплектующих на автомобильные заводы – оснащённость средствами измерений и контроля упала до 3-5%.

В 80-е – 90-е годы прошлого столетия отраслевыми ассоциациями метрологов проводился анализ оснащённости средствами контроля отечественных механообрабатывающих предприятий и западных фирм. Анализу подвергались западные фирмы средней серийности с переналаживаемым производством, отечественные предприятия массового производства.

Инструментальные заводы России не удовлетворяли потребность предприятий в универсальном измерительном инструменте. На предприятиях массового производства (ВАЗ, ЗИЛ, МАЗ, КамАЗ) использовалось много измерительного инструмента фирм «Карл Цейсс» ГДР, «Теза» Швейцария, «Мар» Германия, «Митутойо» Япония и других фирм. На предприятиях массового производства, с редко меняющейся номенклатурой выпускаемой продукции, основными средствами контроля являлись контрольные приспособления и калибры. Из средств автоматического контроля контрольные станции и приборы фирмы «Марпосс» Италия, завода «Калибр» Москва. Из средств автоматизированного ручного контроля приборы «Марпосс», завода «Калибр» разработки СКБСА и ВНИИ измерений Москва.

В постсоветский период российские предприятия среднего бизнеса в чём-то напоминают западные фирмы, программа которых колеблется от малой до средней серийности и большой номенклатурой изделий. Следовательно, оснащение производства осуществляется универсальными средствами контроля или координатно-измерительными машинами.

По универсальному измерительному инструменту ведущими в мире являются упомянутые фирмы: Мар, Теза, Митутойо, Мар–Федераль США. Они выпускают примерно одинаковую номенклатуру измерительного инструмента. Из отечественных заводов Челябинский, Кировский, Ставропольский инструментальные заводы, Одесский завод "Микрон" Украина, дочернее предприятие завода "Микрон" Чехия. На российском рынке работают завод «Эталон» Москва, ГЦ ТУЛЗ Димитровград являющиеся дилерами китайских заводов. ИМЦ «Микро» Санкт-Петербург, Холдинг "Интра Тул" Санкт-Петербург являются дилерами западных фирм по поставкам измерительного инструмента, лабораторного, образцового оборудования. Вся документация и программное обеспечение на русском языке и полностью адаптированы к нормативным требованиям Росстандарта. Холдинг из предприятий Челябинский инструментальный завод, Одесский завод "Микрон", "Завод Микрон" Чехия, ТД "Меритель" и "Микрон" Москва осуществляет поставки универсального измерительного инструмента

аккредитован на право поверки (калибровки) на измерительный инструмент собственного производства. Ряд предприятий выпускают ограниченную номенклатуру средств измерений. В частности Южно-Уральский опытно-механический завод г. Челябинск выпускает синусные линейки по ГОСТ 4046-80.

В этой главе описаны прогрессивные средства измерения линейно-угловых величин западного и отечественного производства.

27.2 Обзор измерительного инструмента линейно-угловых средств измерений

27.2.1 Концевые меры длины (КМД) и угловые меры

Концевые меры длины (КМД) и угловые меры являются основными эталонными мерами при передаче единицы длины и плоского угла от рабочих эталонов до рабочих средств измерений и изделий. Со времени изобретения (18 век плитки Йогансона) КМД не претерпели особых изменений. В целях повышения стойкости КМД изготавливаются не только из стали, но и из твёрдого сплава и керамического материала – оксида циркония. Отечественные производители: Кировский инструментальный завод – концевые меры длины, Челябинский инструментальный завод – угловые меры, не уступающие образцам западных фирм, как по точности, так и по типоразмерам их применения.

В главе 16 (рис. 16.5) показан анализ повышения стойкости КМД за счёт замены материала: стали – твёрдого сплава – керамического материала.

27.2.2 Средства допускового контроля

Средства допускового контроля являются не только пионерами в организации контроля (кружала для контроля ядер при Иване Грозном), но и самыми массовыми средствами в серийном и массовом производствах механообработки. К ним относятся калибры гладкие, резьбовые, шлицевые, угловые, шаблоны, угольники и другие средства допускового контроля (главы 17, 18, 19).

Преимущество средств допускового контроля:

- быстрый контроль непосредственно в цеху;
- комплексный контроль (гладкие калибры: контроль отклонения диаметра, прямолинейности, погрешности формы, резьбовые калибры: контроль среднего, наружного диаметров, отклонение угла профиля и шага);
- не требуют высокой квалификации у контрольного персонала.

Недостаток:

- Рассортировывают детали на "годен" – "брак". Не дают количественной оценки.

При изготовлении ответственной детали приходится производить дополнительные измерения для окончательной оценки качества изделий.

Средства допускового контроля, выпускаемые отечественными инструментальными производствами предприятий вполне удовлетворяют требования производства.

Следует остановится только на одном. В главах 8, 11 и 12 описаны методы контроля с помощью шариков. Их же используют при шлифовке сложных профилей, пуансонов, шаблонов. Но отечественная инструментальная промышленность не выпускает наборов шариков. В лабораториях используются шарики, из шарикоподшипников скомплектованные в пары одинакового размера.

Фирма "Орион" Германия выпускает наборы шариков от 1 до 25 мм с допуском ± 0,003 мм. Комплект одного размера состоит из двух шариков.

Контрольные приспособления

Использование контрольных приспособлений в серийном и массовом производствах даёт преимущество по быстрому определению отклонений. Благодаря тому, что они настраиваются по установочным мерам (зачастую аналог контролируемой детали с более жесткими допусками), имеется возможность оценить величину отклонения относительным методом по индикаторам, индуктивным датчикам с вторичным прибором. Контрольные приспособления, описанные в главе 14.

Недостаток: – высокая стоимость изготовления приспособлений; – для их изготовления необходимо прецизионное оборудование.

Автоматизированные средства обработки результатов измерений

В мировой практике широкое распространение получили электронные пробки, скобы (рис. 27.1) для обработки результатов измерений системы SPC – регулирования технологических процессов.



Рис. 27.1 – Электронная пробка Millimar фирмы "Мар" Германия

Пробка Millimar позволяет визуально контролировать процесс измерения, а результаты измерения поступают для обработки результатов измерения статистическими методами.

На базе контрольных приспособлений, с помощью индуктивных датчиков ведётся обработка результатов измерений непосредственно в цехе, и информация передаётся в банк данных для статконтроля.

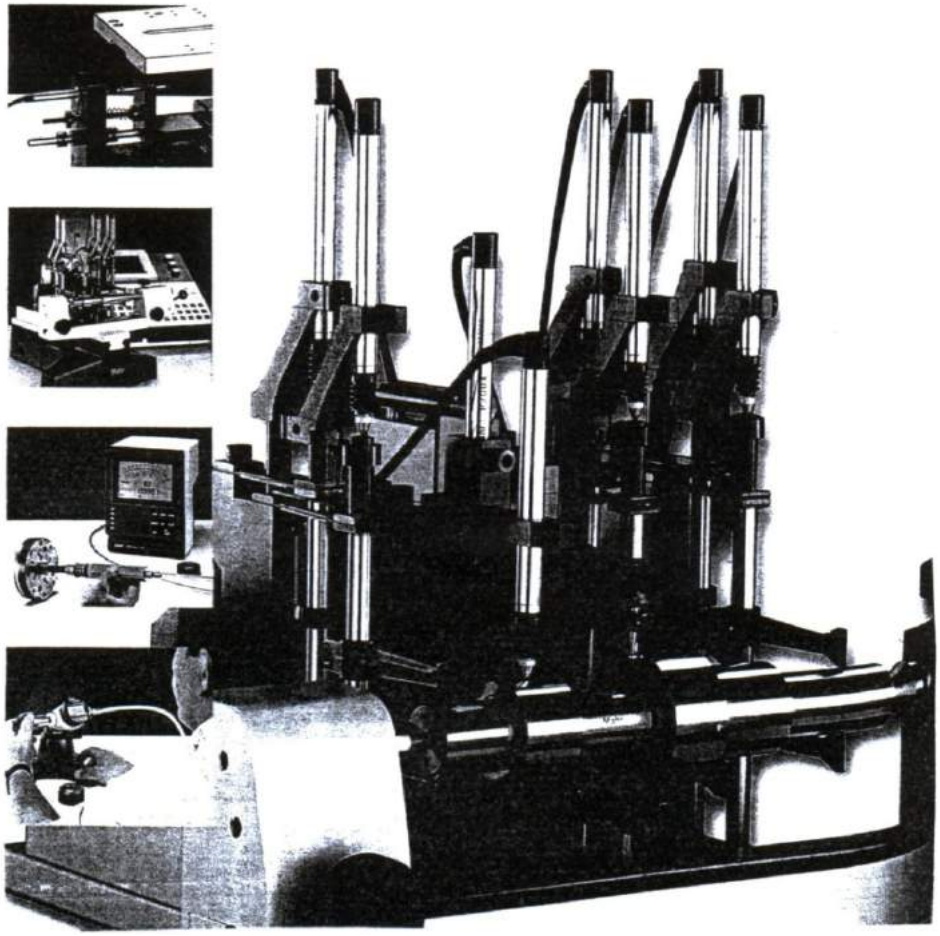


Рис. 27.2 – Контрольное приспособление для контроля межоперационной и финишной обработки деталей

27.2.3 Штангенинструмент

После средств допускового контроля штангенинструмент является наиболее массовым по использованию.

Погрешность измерения 0,03 мм (электронный штангенинструмент) – 0,3 мм, вполне удовлетворяет по точности контроль деталей обработанных по 10-14 квалитетам.

Российские инструментальные заводы, ЧИЗ и СИЗ выпускают качественный штангенинструмент.

Недостаток отечественного штангенинструмента

Он выпускается строго по номенклатуре, оговоренной ГОСТ 166-89. Если посмотреть номенклатуру фирм "Мар", "Теза", "Митутойо" то по универсальности она превышает российские в 2-3 раза.

В 90[е] годы на российском рынке появился завод "Эталон"; "Микрон" Москва. Среди номенклатуры штангенинструмента, выпускаемой по ГОСТ 166-89 появился измерительный инструмент, так называемый отраслевой. Это специальный измерительный инструмент (нониусный, цифровой) предназначен для измерения конкретных деталей, а также для сплошных конфигураций деталей;

– штангенциркули для измерения дисковых тормозов автомобилей;

– штангенциркули для измерения внутренних размеров труднодоступных канавок;

– штангенциркули с удлинёнными измерительными губками;

– штангенциркули для измерений межцентровых расстояний, труб, внутренних канавок, зубомерный штангенциркуль и ряд других видов измерений.

Отраслевые штангенциркули



Рис. 27.3 – Штангенциркуль отраслевой цифровой для измерений тормозных дисков автомобиля

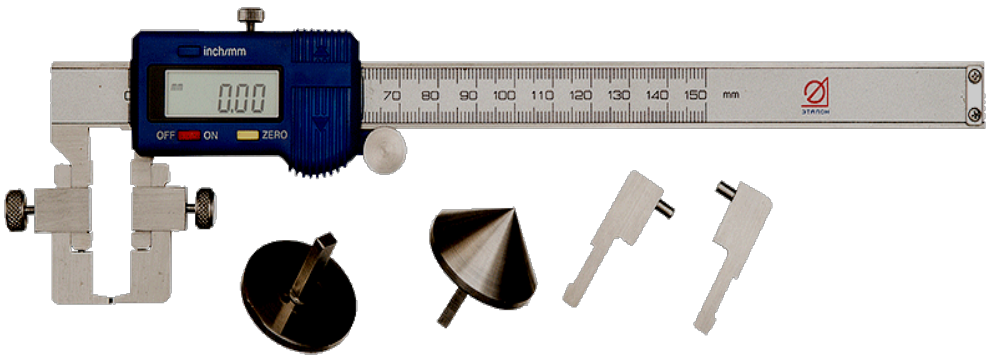


Рис. 27.4 – Штангенциркуль отраслевой цифровой односторонний для измерений внутренних и внешних линейных размеров

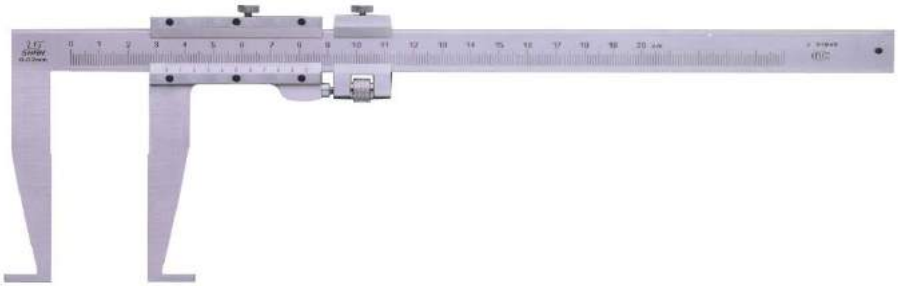
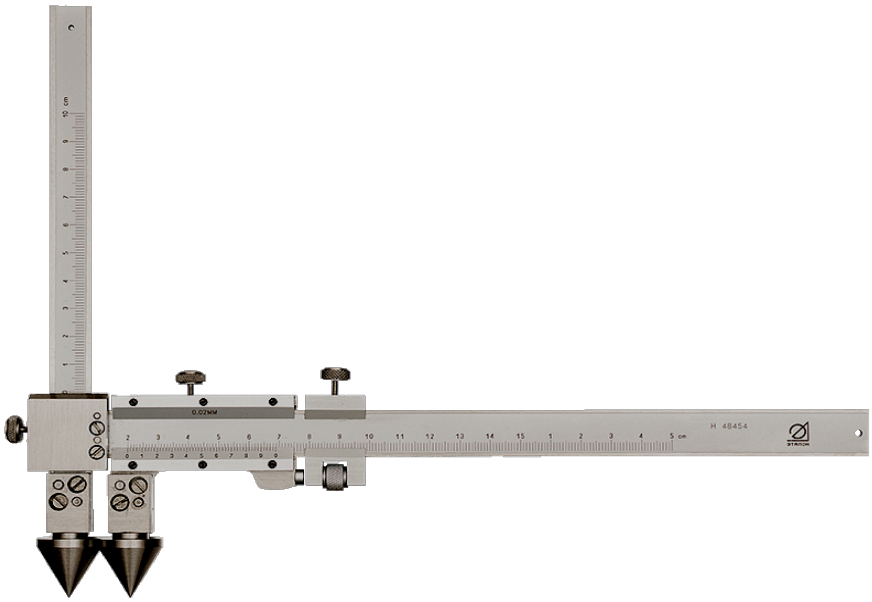


Рис. 27.5 – Штангенциркуль отраслевой цифровой односторонний для измерения внутренних размеров в труднодоступных канавок



а



б

а – штангенциркуль отраслевой цифровой для измерения расстояний между двумя цилиндрическими отверстиями; б – штангенциркуль отраслевой с коническими вставками для измерения расстояния между центрами отверстий.

Рис. 27.6 – Штангенциркули межцентромеры

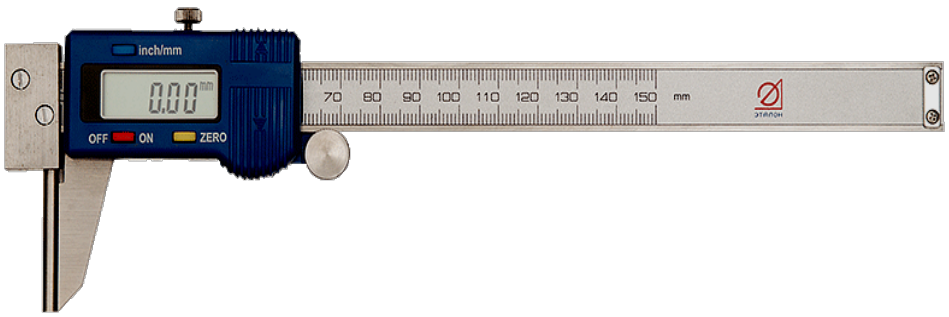


Рис. 27.7 – Штангенциркуль отраслевой цифровой для измерения толщины труб

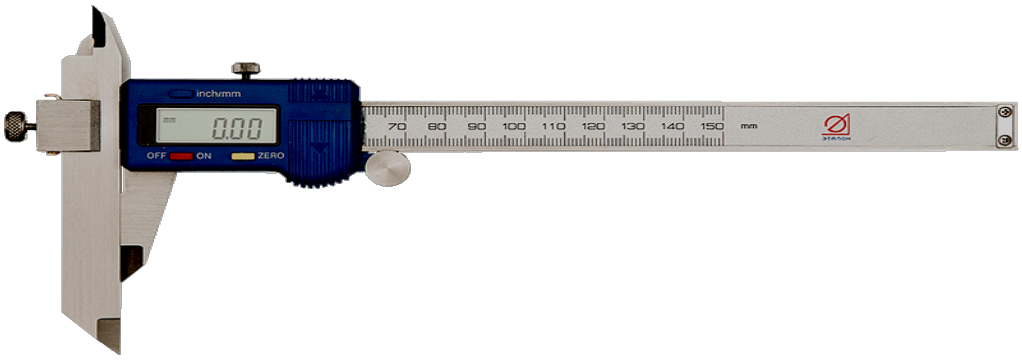


Рис. 27.8 – Штангенциркуль отраслевой цифровой для измерения расстояний на деталях с уступом

27.2.4 Штангенциркули западного производства

На российском рынке, а следовательно и в производстве, растёт доля измерительного инструмента и приборов западных производителей. Как упоминалось ранее в мире четыре ведущие фирмы по универсальному измерительному инструменту: "Теза" Швейцария, "Мар" Германия, "Митутойо" Япония и "Федераль" США. Они производят примерно аналогичный инструмент с некоторыми конструктивными различиями. Рассмотрим некоторый специальный инструмент на примере фирмы "Мар".

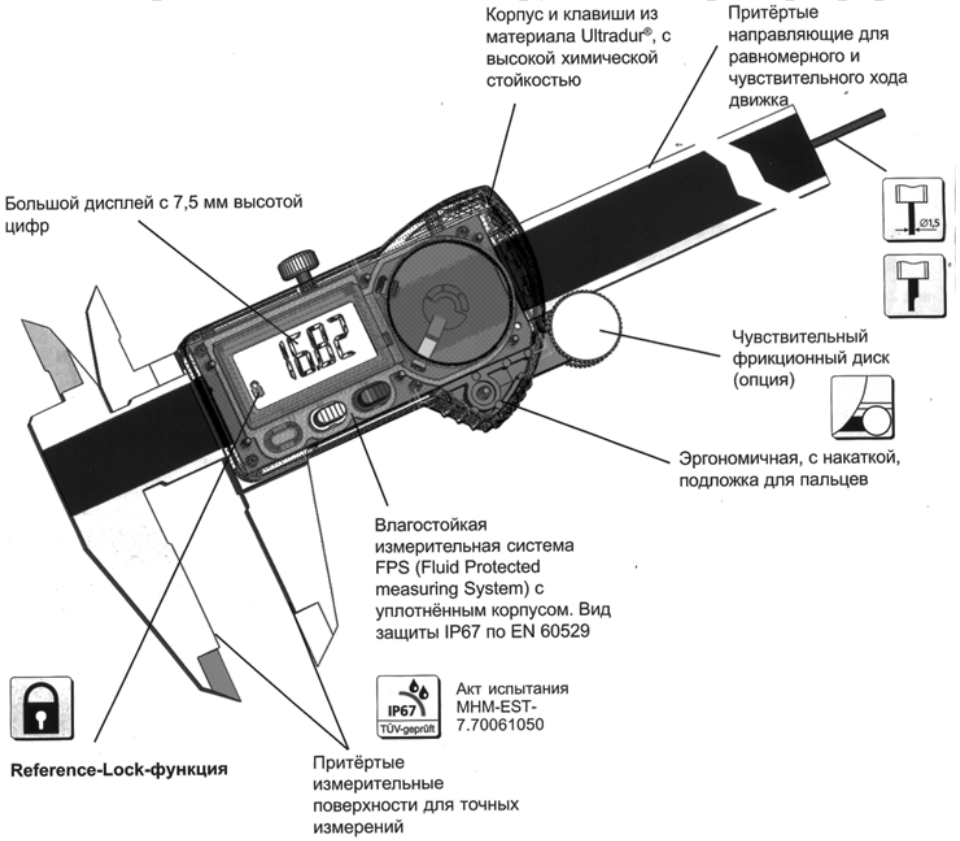


Рис. 27.9 – Штангенциркуль цифровой MarCal16EW

Штангенциркуль обладает рядом особенностей.

1. Функция Reference – Lock обеспечивает измерения относительно

заложенного в память номинального размера.

2. Интернациональная защита IP от пыли 6 и влаги 7 (IP67) гарантирует точность в экстремальных условиях работы.

Широкая гамма специнструмента у западных фирм, способных решать задачи мелкосерийного и даже серийного производств не прибегая к изготовлению контрольных приспособлений. Одним из примеров может служить штангенциркуль 16EXV фирмы "Мар" Германия.

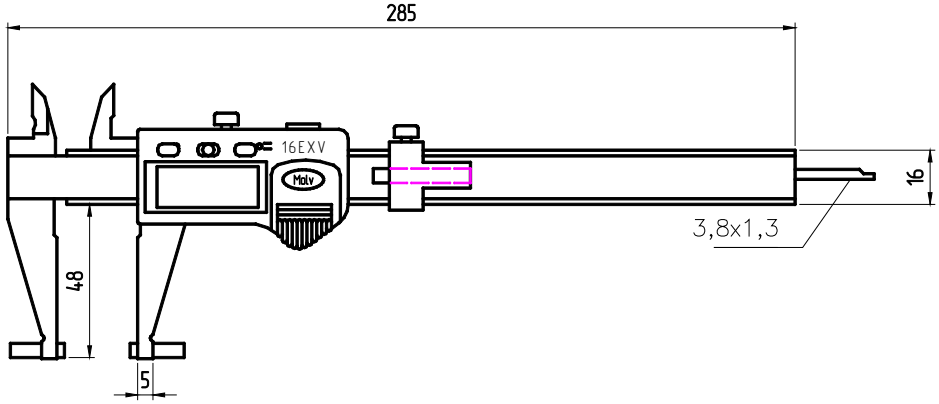


Рис. 27.10 – Универсальный штангенциркуль 16EXV для выполнения наружных и внутренних измерений в труднодоступных местах

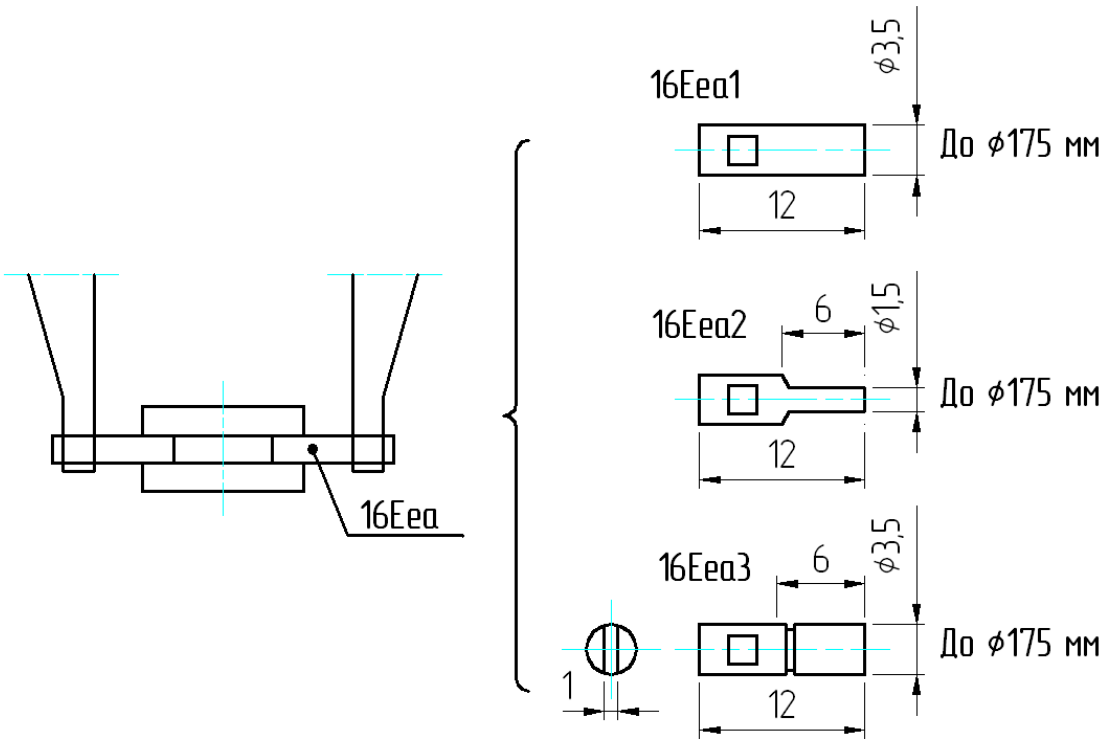


Рис. 27.11 – Схема измерения наружных размеров и съёмные наконечники

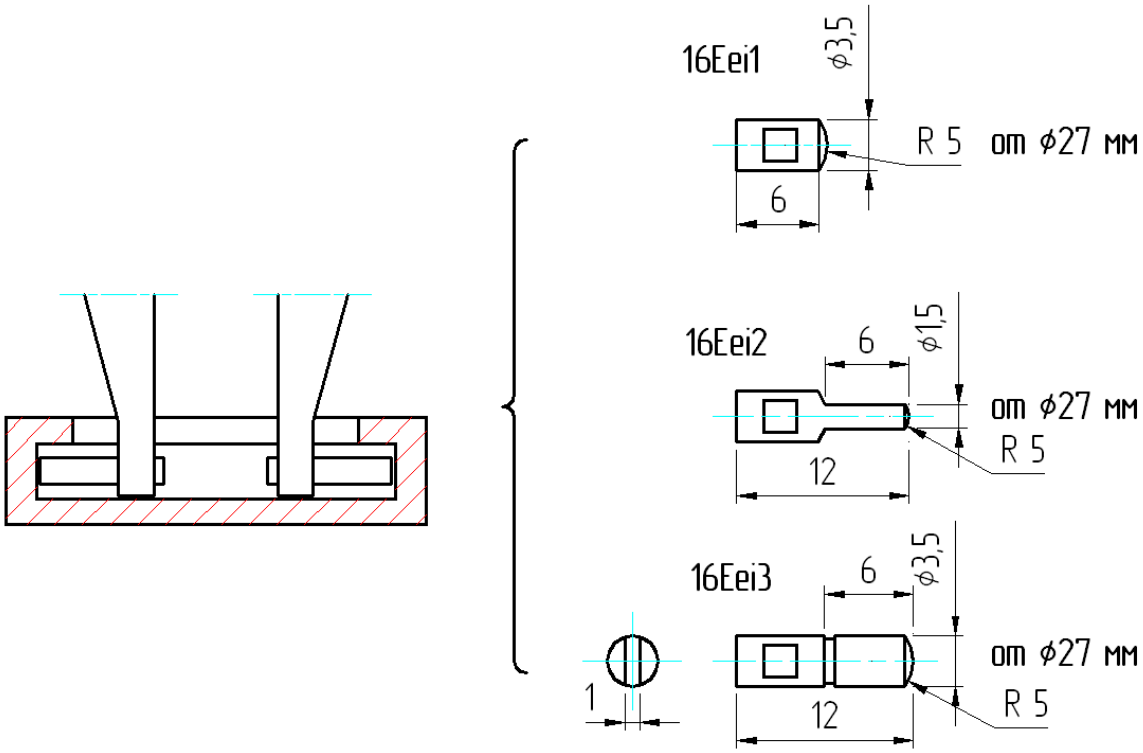


Рис. 27.12 – Схема контроля внутренних размеров и сменные наконечники

Кроме стандартных наконечников штангенциркуль комплектуется специальными наконечниками.

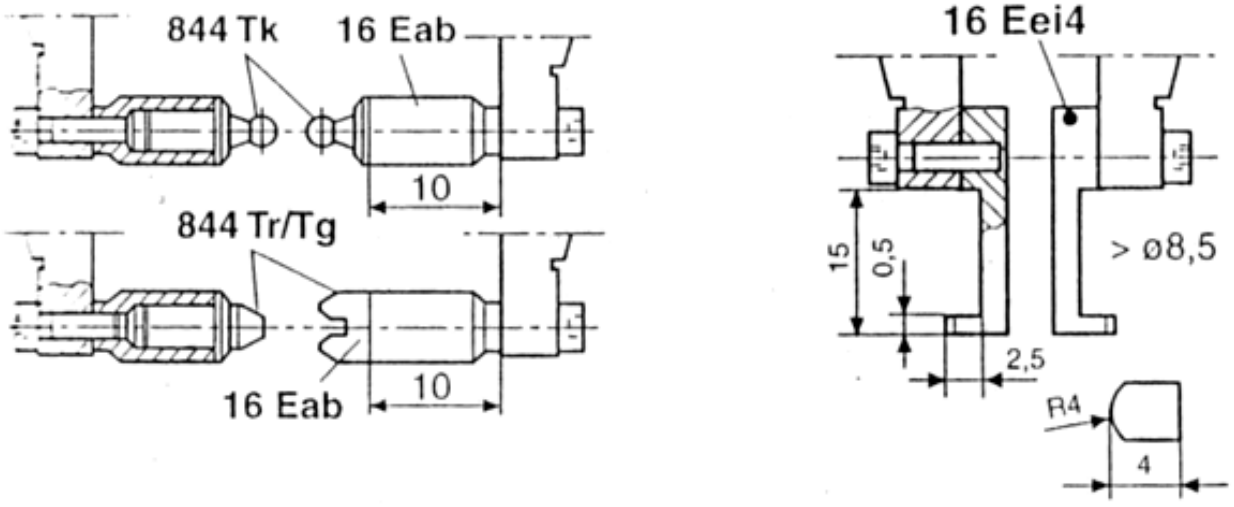


Рис. 27.13 – Специальные наконечники для выполнения измерений в деталях сложной формы

При измерении внутренних размеров необходима настройка штангенинструмента. Для этих целей служит шаблон входящий в комплект штангенциркуля.

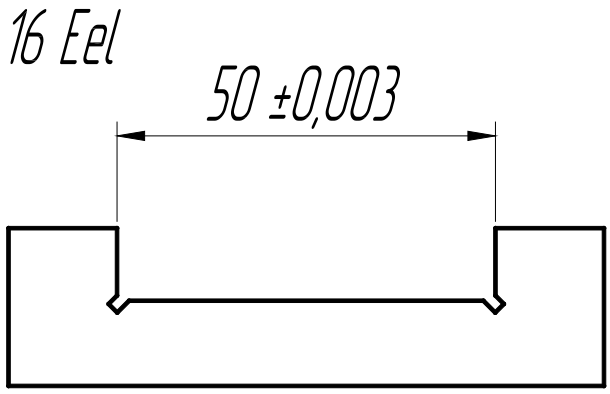


Рис. 27.14 – Шаблон для настройки наконечников для внутренних измерений

Для расширения возможностей измерения размеров глубины в деталях, штангенциркуль комплектуется основанием глубиномера.

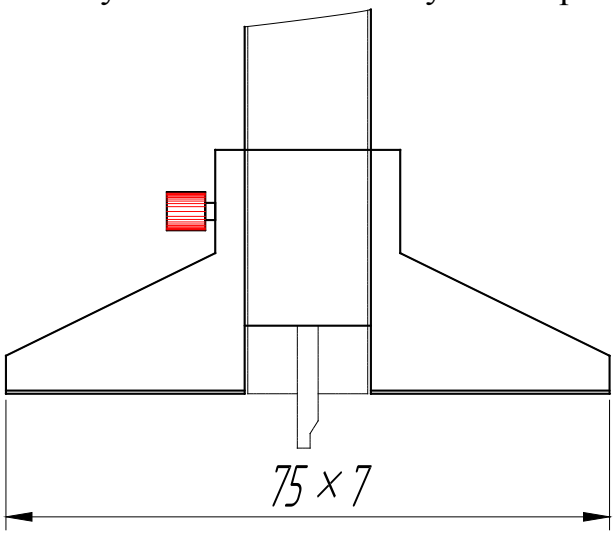
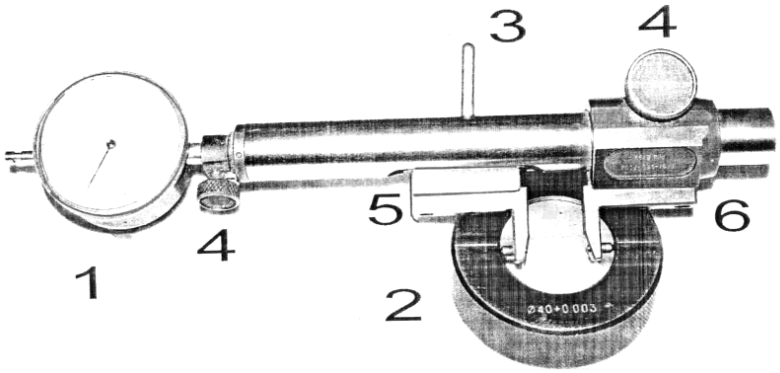


Рис. 27.15 – Основание глубиномера

Контроль диаметров внутренних канавок, из-за отсутствия специального универсального инструмента производится контрольными приспособлениями.



1–индикатор; 2–установочное кольцо; 3–арретир; 4–стопорные винты; 5–подвижная пятка; 6–неподвижная пятка.

Рис. 27.16 – Контрольное приспособление для контроля диаметра внутренних канавок

Приспособление имеет возможность производить контроль диаметров от 20 до 80 мм. Для настройки на указанный диапазон требуется три установочных кольца, изготовленных с точностью ± 3 мкм. Стоимость приспособления в 2-2,5 раза выше по сравнению с универсальным штангенциркулем. Учитывая, что штангенциркулем можно производить и замеры наружных размеров в труднодоступных местах, эффективность его значительно возрастает.

27.2.5 Цифровой микрометрический инструмент

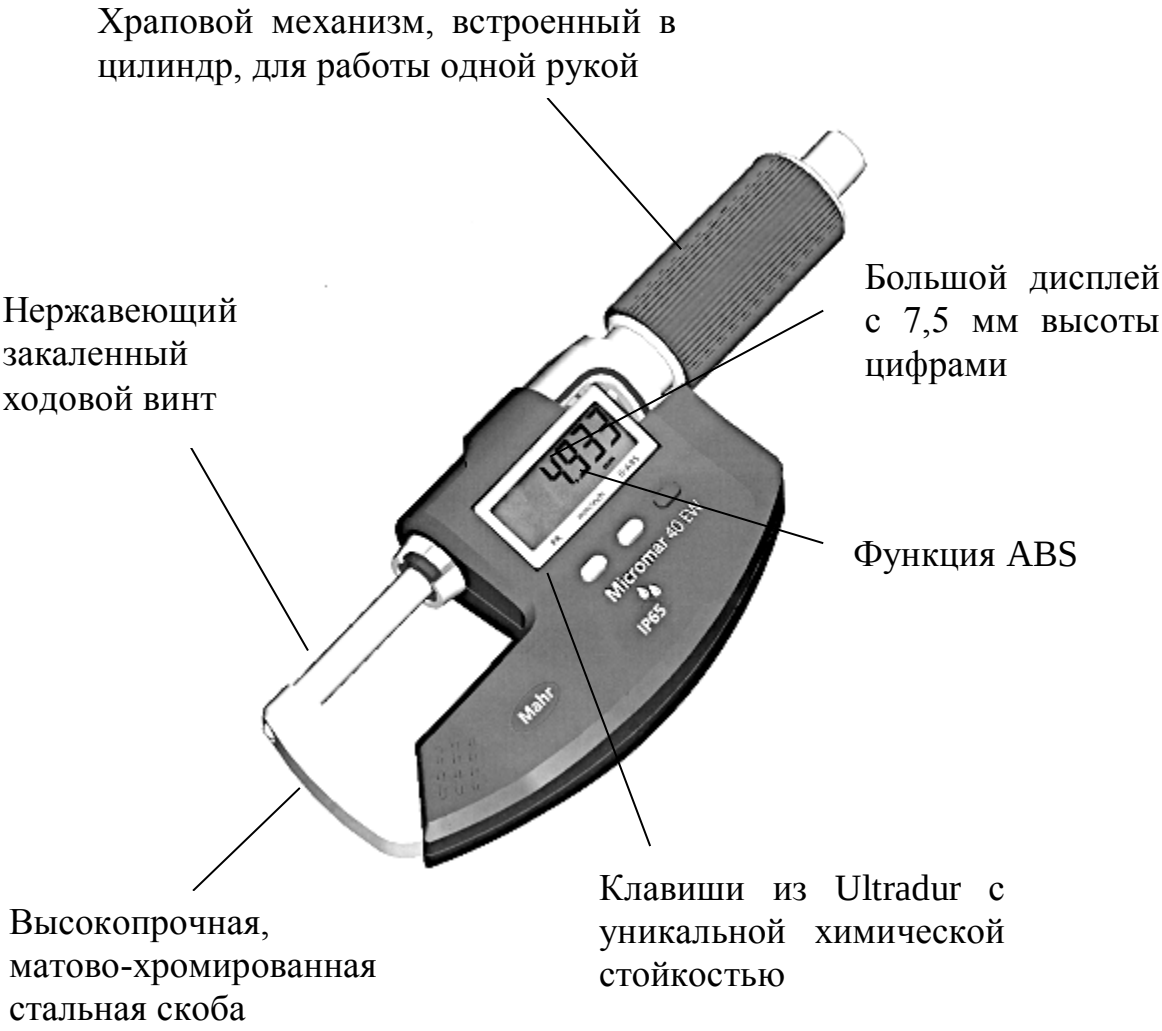


Рис. 27.17 – Цифровой микрометр фирмы "Мар"

Микрометрический инструмент широкого применения описан в главе 25. В последние 10-15 лет получили широкое распространение цифровые микрометры.

Отличительные особенности цифровых микрометров.

1. Дискретность (цена разряда) – 0,001 мм, при этом погрешность остается в пределах 4 мкм.
2. Ходовой винт имеет шаг 0,635 мм (стандартные микрометры выпускаются с шагом 0,5 мм).

3. Микрометры имеют степень защиты IP65 (защита от пыли и влаги).
4. Храповой механизм встроен в барабане, что создаёт удобство контролёру при работе.
5. Микрометр позволяет кроме абсолютных измерений производить относительные измерения с любой точки диапазона (функции установки индикации на "0" для относительных измерений и функция ABS – переключение на абсолютные или относительные измерения).

27.2.6 Самоцентрирующие микрометрические нутромеры

Самоцентрирующие микрометрические нутромеры пользуются популярностью у контрольного персонала. Но кроме удобств в эксплуатации обладают повышенной точностью.



Рис. 27.18 – Элемент внутреннего устройства нутромера самоцентрирующего

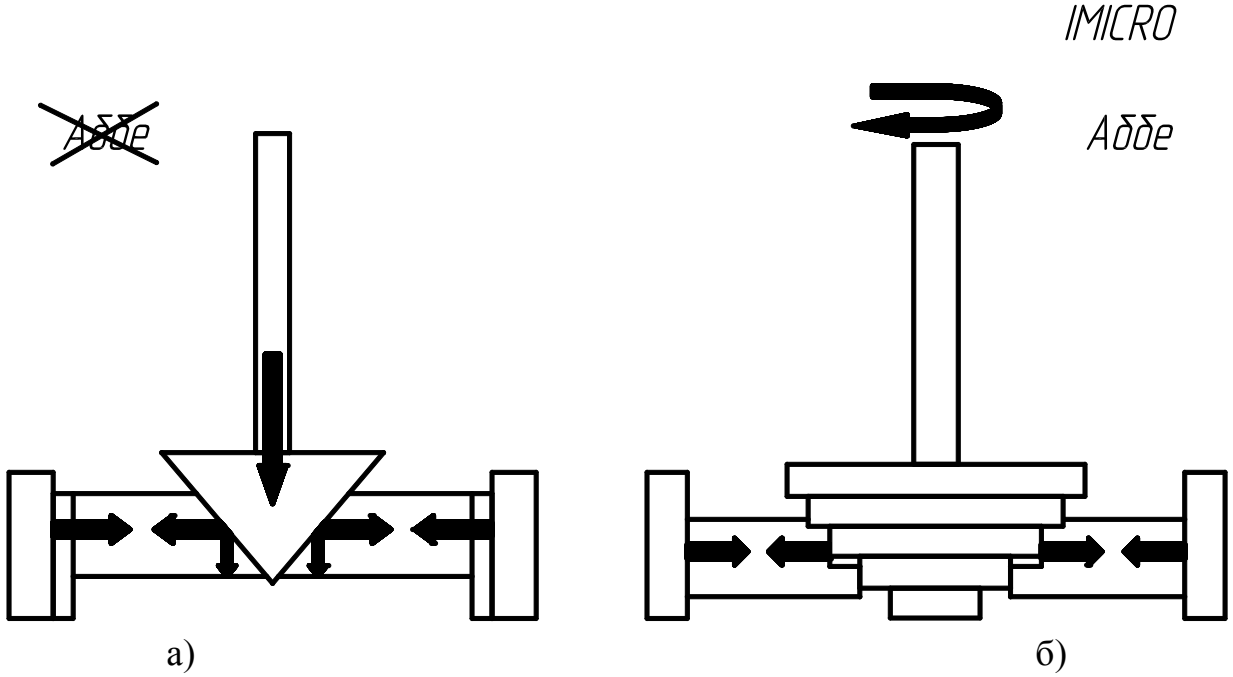
Таблица 27.1

в миллиметрах

<table>
<tr><td rowspan="3">Диапазон измерений</td><td colspan="4">Самоцентрирующийся микрометрический нутромер</td><td colspan="4">Индикаторный нутромер</td></tr>
<tr><td colspan="2">Микрометрический нутромер</td><td colspan="2">Цифровой нутромер</td><td colspan="2">Нормальной точности</td><td colspan="2">Повышенной точности</td></tr>
<tr><td>Цена деления</td><td>Погреш-ность</td><td>Цена деления</td><td>Погреш-ность</td><td>Цена деления</td><td>Погреш-ность</td><td>Цена деления</td><td>Погреш-ность</td></tr>
<tr><td>6–10</td><td rowspan="6">0,005</td><td rowspan="3">0,004</td><td rowspan="6">0,001</td><td rowspan="3">0,004</td><td rowspan="3">0,01</td><td>±0,008(1кл)</td><td>0,001</td><td>±0,0018</td></tr>
<tr><td>10–18</td><td>±0,012(2кл)</td><td rowspan="4">0,002</td><td rowspan="4">±0,0035</td></tr>
<tr><td>18–50</td><td rowspan="4">±0,012(1кл)
±0,015(2кл)</td></tr>
<tr><td>50–100</td><td>0,005</td><td>0,005</td><td rowspan="4">0,01</td></tr>
<tr><td>100–0</td><td>0,006</td><td>0,006</td></tr>
<tr><td>150–200</td><td>0,007</td><td>0,007</td></tr>
<tr><td>50–200</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>±0,012(1кл)
±0,018(2кл)</td><td>0,002</td><td>±0,004</td></tr>
</table>

Повышенная точность (допустимая погрешность) достигается не только за счёт точности отсчёта, но и за счёт конструктивных особенностей.

В индикаторных нутромерах не соблюдён принцип Аббе (направление измерения и отсчёта показаний должно находиться на одной оси)



а) индикаторный нутромер;
б) микрометрический самоцентрирующий нутромер.

Рис. 3019 – Схема соблюдения принципа Аббе

Трёхточечные нутромеры – это самоцентрирующиеся самоустанавливаюшиеся нутромеры, делающие измерения отверстий надежным независимо от чувствительности оператора.

Кроме того, трёхточечный нутромер определяет значение диаметра, близкое к диаметру прилегающей окружности. А именно прилегающая окружность отверстия определяет характер сопряжения. По этой причине трёхточечный нутромер аналогичен калибру пробке. Только один нутромер может заменить сотни калибров.

В зависимости от исполнения трёхточечный нутромер может измерять сквозные или глухие отверстия, а также короткие центрирующие пояски.

Применяются две схемы трёхточечных нутромеров.

При первой схеме (рис. 27.20) передаточным механизмом служит конус со спиральной поверхностью *1*, вращение и продольное перемещение конуса раздвигает измерительные наконечники *2* до касания с измеряемым отверстием. Продольное перемещение конуса измеряется с помощью микрометрического винта или цифрового измерительного преобразователя. Чтобы продольное перемещение конуса соответствовало изменению диаметра отверстия, угол конуса α выбран равным 53°8'. В этом случае tg(α/2) равен 0,5.

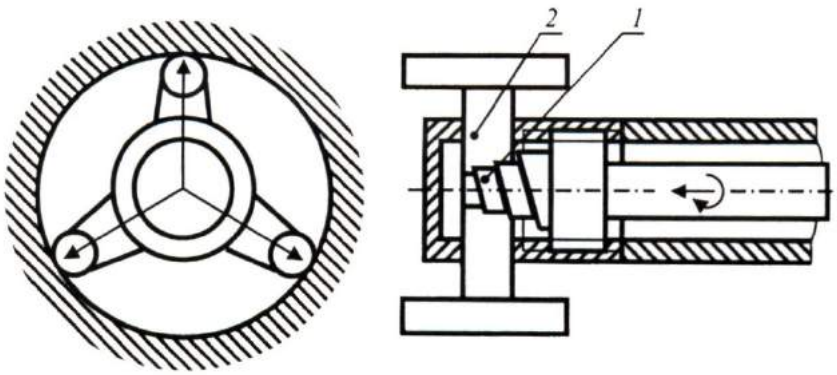


Рис. 27.20 – Схема трёхточечного нутромера

Такие нутромеры предварительно настраиваются по установочным кольцам и потом измеряют отклонение от настроенного размера. Рабочее перемещение в этих нутромерах около 5 мм, поэтому они снабжаются сменными измерительными головками (например, от 15 до 20 мм, от 20 до 25 и т. д.).

Самую широкую гамму трёхточечных нутромеров предлагает швейцарская фирма TESA. Нутромеры выпускаются с микрометрическим винтом и с цифровым отсчетом (рис. 27.21) с пределами измерения от 3,5 до 300 мм с дискретностью отсчета 1 мкм. Погрешность измерения такими нутромерами составляет от 4 до 8 мкм.

На рис. 27.21 цифрами обозначены *1* – сменные измерительные наконечники, *2* – изолированная державка, *3* – корпус нутромера, *4* – жидкокристаллический дисплей, *5* – трещотка, *6* – кнопка включения, *6* – кнопка выбора единицы измерения, max/min и допуска, *7* – крышка батареи, *8* – разъем для выхода данных, *9* – отверстие для активирования прибора после замены батареи.

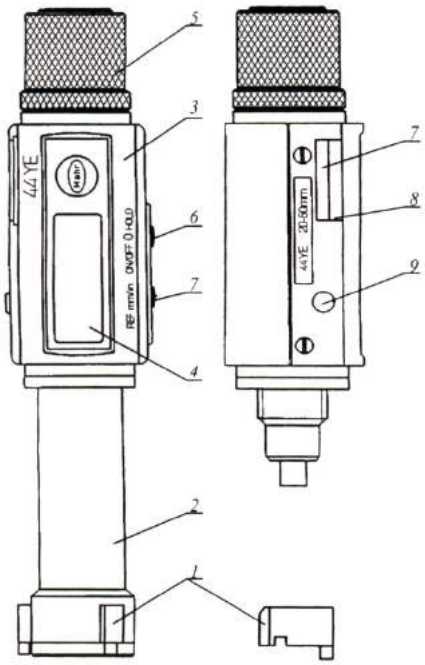


Рис. 27.21 – Самоцентрирующийся цифровой микрометрический нутромер 44YE фирмы TEZA

При второй схеме (рис. 27.22) конус измерительной головки выполнен гладким и имеет только продольное перемещение. Угол конуса также равен 53°8'.

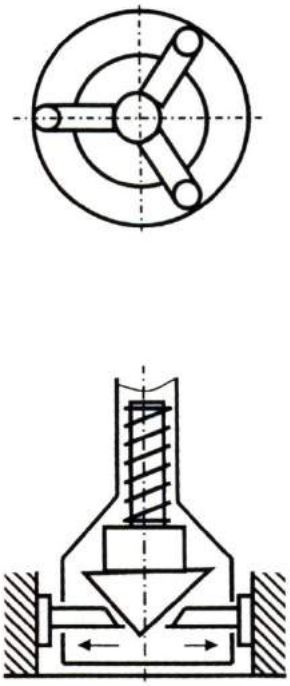


Рис. 27.22 – Схема работы трёхточечного нутромера

По этой схеме фирма Mahr выпускает гамму нутромеров с микрометрическим и цифровым отсчетом, а также нутромеры в виде измерительного пистолета (рис. 27.23).



Рис. 27.23 – Нутромер фирмы Mahr

Нутромер состоит из корпуса с арретиром в виде курка, сменного отсчетного устройства и сменных измерительных головок.

Нутромеры выпускаются с диапазонами измерения от 6 до 200 мм и с погрешностью измерения от 3 до 6 мкм.

Применение самоцентрирующих нутромеров уменьшает допустимую субъективную погрешность, исключается ошибки перекоса.



Рис. 27.24 – Самоцентрирующийся микрометрический нутромер 44А

Самоцентрирующаяся головка имеет три боковые, развёрнутые на 120º измерительные щупы. Благодаря такой конструкции, кроме измерения внутреннего диаметра, нутромер позволяет контролировать погрешность формы отверстия.

С размера головки нутромера 44 AS фирмы Мар, на диапазон с 6 до 100 мм комплектуется набор из 4 нутромеров.

Фирма "Микрон" Чехия выпускает трёхточечные нутромеры типа НМТЦ с пределами измерений от 10 до 200 мм (рис. 27.35).



Рис. 27.25 – Трёхточечный цифровой нутромер НМТЦ фирмы "Микрон" Чехия

С размера головки 12,5 мм щупы нутромеров упрочняются твёрдым сплавом. В целях облегчения головки с размера 40 мм изготавливаются из прочного алюминиевого сплава.

Для настройки на размер наборы нутромеров комплектуются установочными кольцами. Для поверки нутромеров используются образцовые кольца.

27.2.7 Цифровые измерительные головки

У цифровых измерительных головок вместо шкалы и стрелки в качестве отсчетного устройства используется цифровой дисплей. Он отображает число, соответствующее измеренному значению.

Цифровые измерительные головки западных производителей

выпускаются с дискретностью 0,01 и 0,001 мм, главным образом для промышленного применения. Головки имеют присоединительный размер Ø8*h*7.

Все головки имеют вывод информации с помощью разъема *RS* 232, что и определяет основное направление и область применения цифровых измерительных головок. Это статистические методы управления технологическими процессами (*SPC*), суть которых заключается в следующем. Результаты измерения или контроля размеров изготавливаемых изделий поступают в управляющий компьютер, с помощью которого высчитываются статистические характеристики и строятся карты контроля, которые позволяют следить за состоянием технологического процесса и своевременно им управлять. Цифровые измерительные головки имеют ряд преимуществ по сравнению с аналоговыми измерительными головками:

- лучшая объективность показаний;
- возможность установки нуля в любом месте диапазона измерений;
- возможность измерять и в миллиметрах, и в дюймах;
- возможность автоматически корректировать результаты измерения;
- больший диапазон измерения;
- возможность выполнения дифференциальных и непосредственных измерений.

Цифровые измерительные головки выпускаются с различными диапазонами измерения и на основе различных принципов измерений: оптоэлектронный, емкостной, индуктивный.

Оптоэлектронный принцип измерения применяется для больших диапазонов измерения.

Типичными представителями этого типа головок являются цифровые измерительные головки фирмы TESA DIGICO 1 и DIG1CO 2 (рис. 27.36).

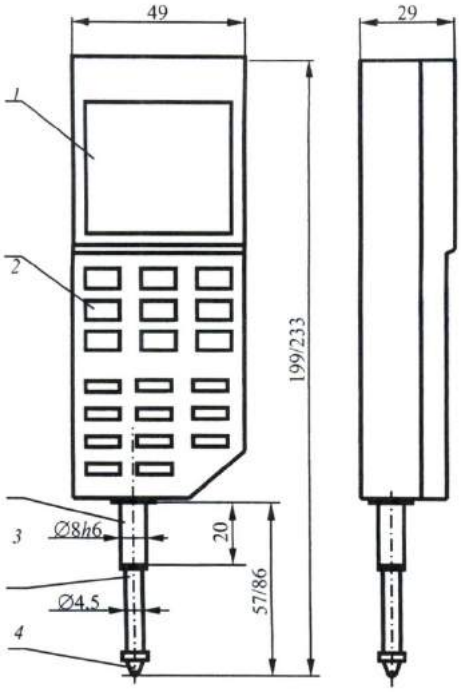


Рис. 27.26 – Измерительные головки DIGICO 1/2

На рис. 27.26 цифрами обозначены: *1* – цифровой жидкокристаллический дисплей; *2* – кнопки управления; *3* – присоединительный цилиндр диаметром 8 мм; *4* – шток; *5* – измерительный наконечник.

Дополнительные функции головок:

– ввод данных с клавиатуры;

– установка значений границ ноля допуска;

– подсветка шкалы с выделением цветом в зависимости от значения измеренного размера (зеленый – годная деталь, красный – брак);

– ввод значений функции максимума, минимума и максимума-минимума для динамических измерений;

– возможность различных способов арретирования измерительного штока (механическое, вакуумное, пневматическое);

– питание от батареи и от сетевого блока питания.

Цифровые измерительные головки фирмы TESA DIGICO 10 (рис. 27.37) основаны на емкостном принципе. Подобный принцип применяется в цифровом штангенциркуле.

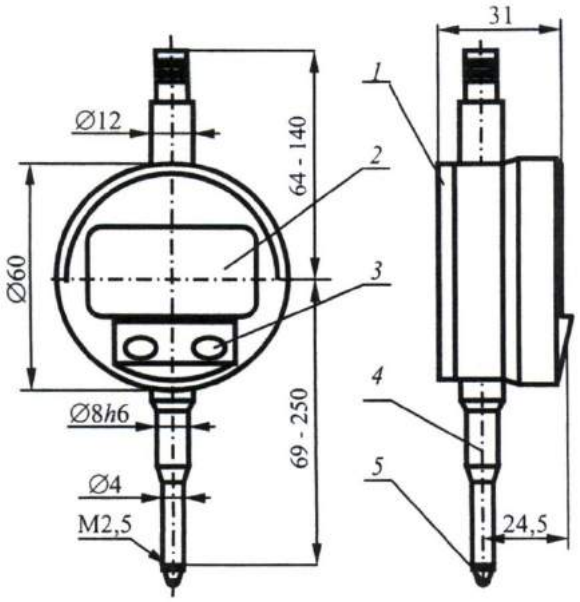


Рис. 27.27 – Цифровые измерительные головки DIGICO 10

На рис. 27.27 цифрами обозначены: *1* – корпус головки; *2* – цифровой жидкокристаллический индикатор; *3* – кнопки управления; *4* – присоединительный цилиндр диаметром 8 мм; *5* – измерительный наконечник.

Дополнительные функции головок:

– цифровая шкала и клавиатура поворачиваются на 270°;

– возможность запомнить измеренное значение;

– предустановка размера;

– возможность различных способов арретирования измерительного штока (механическое, вакуумное, пневматическое).

Сравнительные характеристики измерительных головок фирмы TESA приведены в табл. 27.2.

Таблица 27.2

Характеристики измерительных головок фирмы TESA

Название головки	Диапазон измерения, мм	Дискретность отсчета, мм	Погрешность измерения, мкм	Измерительное усилие, Н
DIG1CO 1	0-30	0,01 и 0,001	2	1,3
DIGICO 2	0-60	0,01 и 0,001	3	1,6
DIG1CO 10	0-12,5	0,01 и 0,001	10 и 5	0,95
	0-25		10 и 5	1,1
	0-50		20 и 12	4
	0-100		20 и 15	4

Цифровые измерительные головки фирмы TESA 1P65 (рис. 27.28.) аналогичны рычажно-зубчатым индикаторам бокового действия. Они предназначены для измерения в труднодоступных местах. Эти головки основаны на индуктивном принципе измерения.

Головки могут иметь дискретность отсчета 0,01 и 0,001 мм, предел допускаемой погрешности 10 мкм и малое измерительное усилие 0,13 или 0,07 Н в зависимости от длины измерительного наконечника.

Дополнительные функции головок:

- аналоговая и цифровая индикация;
- защита от воды и смазочно-охлаждающей жидкости;
- ввод значений функции максимума, минимума и максимума-минимума для динамических измерений;
- вывод информации на стандартный разъем RS 232;
- автоматическое отключение.

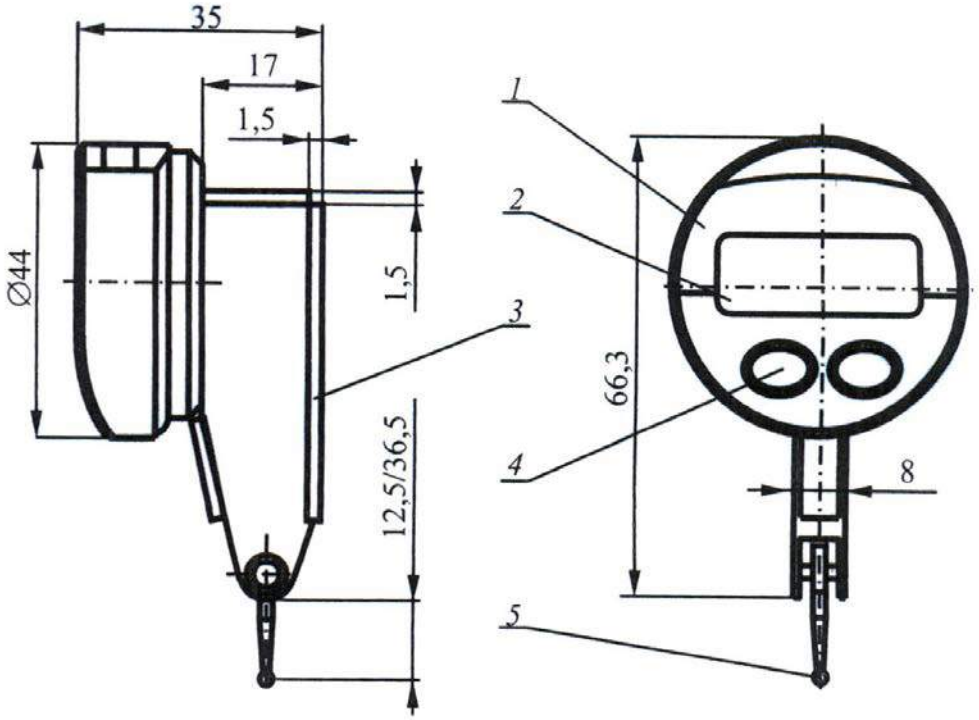


Рис. 27.28 – Цифровые измерительные головки IP65

На рис. 27.28 цифрами обозначены: *1* – корпус головки; *2* – цифровой

жидкокристаллическим индикатор; *3* – присоединительная направляющая типа ласточкин хвост; *4* – кнопки управления; *5* – измерительный наконечник.

Гамму цифровых измерительных головок на индуктивном принципе выпускает фирма Mahr (ФРГ). Индуктивный принцип измерения рассмотрен в главе 31. На рис. 27.29 показана головка с измерительным штоком па шариковых направляющих.

Дополнительные функции головок;

- предустановка размера;
- функция нахождения экстремума;
- нахождения максимального и минимального значения в ряду измерений (например, при измерении плоскостности);
- ввод значений предельных отклонений;
- фоновая подсветка шкалы;
- возможность дистанционного управления измерениями через подключаемый интерфейс;
- разворот шкалы на 28°;
- влагопылезащита;
- питание от батареи и от сетевого блока питания.

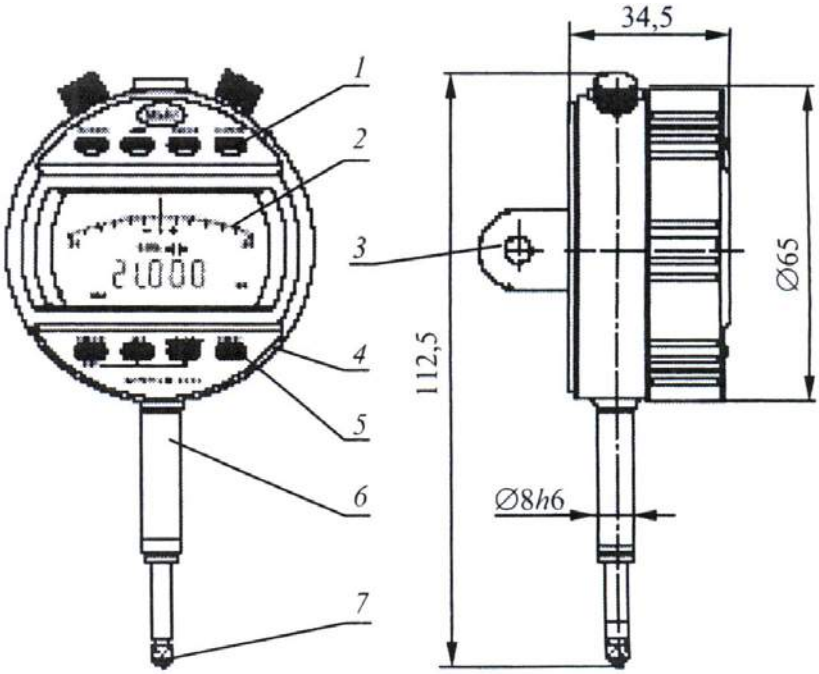


Рис. 27.29 – Измерительная головка Millimass 2100

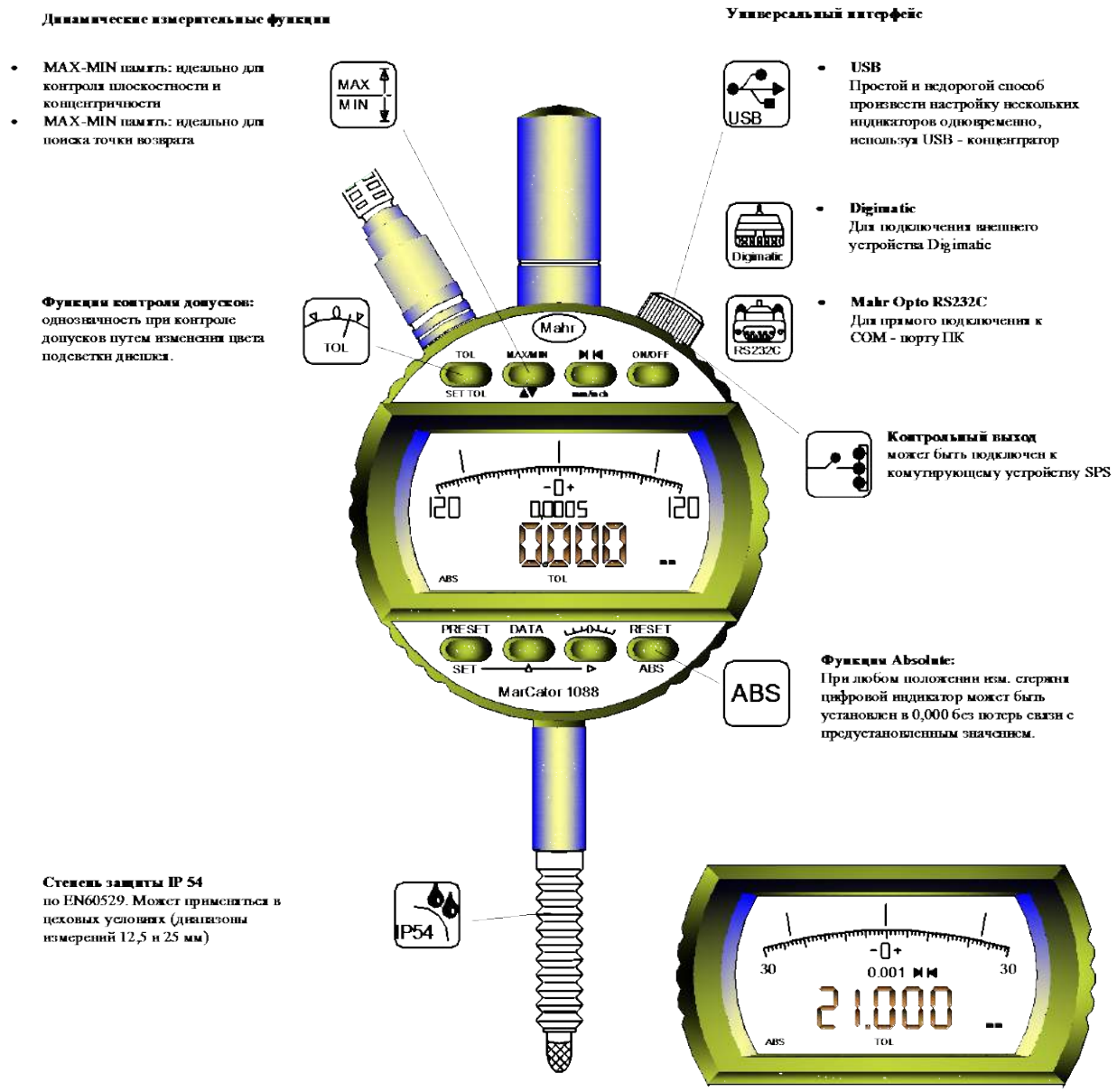


Рис. 27.30 – Индикатор MarCator 1088 для контроля допусков

Индикатор MarCator имеет цифровую шкалу для измерения размеров абсолютным методом до 12,5 и 25 мм. Аналоговая шкала с ценой деления от 0,001 до 0,01 мм и пределом измерения ± 0,03÷0,3 мм служит для контроля допусков. Для облегчения работы контролёра, при выходе размера за пределы допуска, шкала изменяет цвет – с зеленой на красную.

Индикатор имеет функцию MAX – MIN, которая обеспечивает контроль плоскостности и концентричности. Используя функцию MAX – MIN легко находить точку возврата, что необходимо при контроле плоскостности.

Благодаря функции ABS при любом положении измерительного стрежня цифровой индикатор может быть установлен в положение 0,000 без потери связи с предустановленным значением.

Как и весь измерительный инструмент с цифровой индикацией,

благодаря защитному чехлу на измерительном стержне, имеет степень защиты IP54 от пыли и водяных брызг.

Инженерно-метрологический центр "Микро" Санкт-Петербург разработал индуктивные преобразователи с USB выходом. Серия индуктивных преобразователей с непосредственной связью с компьютером:

– питание преобразователей и обмен данными через USB-порт;

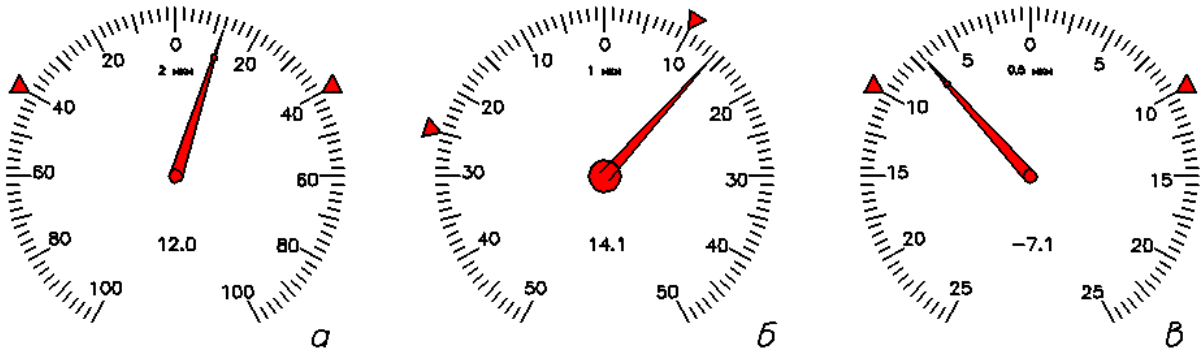
– подключение до 127 преобразователей одновременно;

– цифровой и аналоговый отсчет с управляемой дискретностью и ценой деления;

– допусковый контроль, размерная сортировка, амплитудные измерения, любые математические и логические операции с отсчетами по разным каналам;

– интуитивно понятный, выразительный интерфейс;

– полная механическая совместимость с традиционной измерительной техникой – стойками, оптиметрами, многомерными приборами.



а – шкала с ценой деления 2 мкм; *б* – шкала с ценой деления 1 мкм; *в* – шкала с ценой деления 0,5 мкм.

Рис. 27.31 – шкалы индуктивных преобразователей с USB

Показание приборов на шкалах *а* и *в* в пределах допуска.

На шкале *б* показания вышли за пределы допуска. При этом меняется цвет и форма стрелки.

Таблица 27.3

Краткие технические характеристики преобразователей с USB выходом

Наименование характеристик	Модель преобразователей и его исполнение					
	М-021 М-021-01 М-021-02 М-026	М-022-02 М-022-02П М-022-02В М-022-03 М-022-03П М-022-03В М-022-04	М-023-02 М-023-02П М-023-02В М-023-03 М-023-03П М-023-03В	М-024-02 М-024-02П М-024-02В М-024-03 М-024-03П М-024-03В	М-025 М-030 М-030П	
Тип датчика	Осевой	Осевой	Осевой	Осевой	Осевой	
Диапазон измерений, мкм	±200	±1000	±5000	±2500	±300*	±150**

Продолжение таблицы 27.3

Нормированный участок, мкм	±200	±20	±1000	±500	±5000	±500	±2500	±500	±300	±150
Дискретность отсчета, мкм	0,05		0,1		0,1		0,1		0,1	0,1
Предел допускаемой погрешности, мкм	±0,3	±0,1	±3,0	±1,0	±15,0	±2,0	±6,0	±1,5	±1,0	±0,5
Присоединительный размер, мм	Ø28h8		Ø8h8		Ø8h8		Ø8h8		Ø8h8 Ø28h8	

Примечание: * с наконечником длиной 62 мм;
** с наконечником длиной 30 мм.

27.2.8 Универсальный измерительный блок 818 GX

Как в лабораториях, так и в цехах популярен универсальный измерительный блок 818GX.



Рис. 27.32 – Универсальный измерительный блок 818 GX

Измерительный блок является комбинацией синусной линейки, центров на биение и устройства для контроля перпендикулярности.

На основании блока установлены опорные цилиндры с расстоянием

между осями 200±0,002 мм. Параллельность установки цилиндров 3 мкм, расстояние до оси скалок – 200 мм.

Универсальный измерительный блок служит для измерений радиального, торцевого биений, параллельности и прямолинейности образующих деталей, конусности по принципу синусной линейки, а также используется при выполнении разметочных работ.

27.3 Оптико-механические приборы

27.3.1 Универсальные микроскопы

На подавляющем числе машиностроительных предприятий основными приборами были двухкоординатные измерительные приборы УИМ-200 (УИМ-21), УИМ -200Э (УИМ-23), УИМ500Э, (УИМ-24). Оптическая система со стеклянными линейками обеспечивала точность ±(6+L/70) (раздел 5.11 таблица 1). Но срок их эксплуатации превысил 20 – 40 лет. В настоящее время приборы и запасные части к ним не выпускаются. Механическая часть микроскопов подлежит доводке, а порой и модернизации измерительных бабок, направляющих, шкалы, зеркала, призмы, компенсационные стёкла из-за микрорасслоений, царапин, помутнений теряют первоначальные свойства в результате слабой освещённости, а следовательно и потеря точности прибора.

Выход из строя преобразователя линейных перемещений, механические повреждения дифракционных решёток, выход из строя отчётных блоков; трудности в приобретении комплектующих для ремонта (датчик ПИЛП 0,5 снят с производства в 1991 г., реплики дифракционных решёток сняты с производства в 1990 г.).

Обеспечение работоспособности и точности оптико-механических приборов можно обеспечить путём модернизации приборов.

27.3.2 Модернизация оптико-механических приборов

Модернизация приборов включает в себя:

- Замену старой отсчётной системы (оптических шкал, дифракционных решёток, датчиков ПЛП и ПИЛП) на электронные датчики Renishaw;
- Замену электронного блока (для ДИП – 1, 3, 6) на микропроцессорную плату (КПБ);
- Подключение персонального компьютера и принтера;
- Установка программного обеспечения.

27.3.3 Датчики Renishaw

Датчики Renishaw надёжны в эксплуатации и имеют устойчивый выходной сигнал даже при наличии пыли, легких масел и царапин. Эти факторы обеспечивают надёжное функционирование приборов, на которых установлены датчики Renishaw. Частое техническое обслуживание при этом не требуется.



Рис. 27.33 – Датчик Renishaw

Таблица 27.4

Сравнительный анализ датчиков Renishaw
с другими типами датчиков по точности
используемых при модернизации ДИП-1, 3, 6, и УИМ -23, 24, 29

Параметр	Датчик Renishaw	ПИЛП	ЛИР-7
Точность, мкм	0,5+5×L L в метрах	0,5+5×L L в метрах	2+4,5×L L в метрах

НПФ "Уран" г. С-Петербург, инженерно – метрологический центр. "Стандарт – СИ" г. Уфа, ООО "ЮМО" г. Набережные Челны занимаются модернизацией оптико-механических приборов. Кроме юстировки и доводки меняют оптические линейки на электронные и вывод информации измерения на персональный компьютер.

27.3.4 Универсальный трёхкоординатный измерительный видеомикроскоп серии WM

Фирма Dr. Heinrich Schneider Германия поставляет трёхкоординатные измерительные микроскопы с оптоэлектронными измерительными линейками с разрешением 0,1 мкм.

Краткое описание WM 1 300 CNC

Областью применения микроскопа является контроль качества процессов производства.

В основе конструкции прибора находятся линейные оси, расположенные согласно декартовой системе координат с линейными

шкалами.

По осям координат перемещаются измерительные каретки, управляемые либо вручную, либо посредством электроприводов. Вертикальная ось Z (или аппликата) оснащается контактным датчиком определения измеряемых точек. Перемещение по осям XY производится посредством перемещения измерительного стола.

При проведении операций измерения деталь размещается на стеклянной пластине, закрепленной на измерительном столе.

Для определения координат точек на поверхности измеряемой детали считываются позиции трех измерительных кареток.

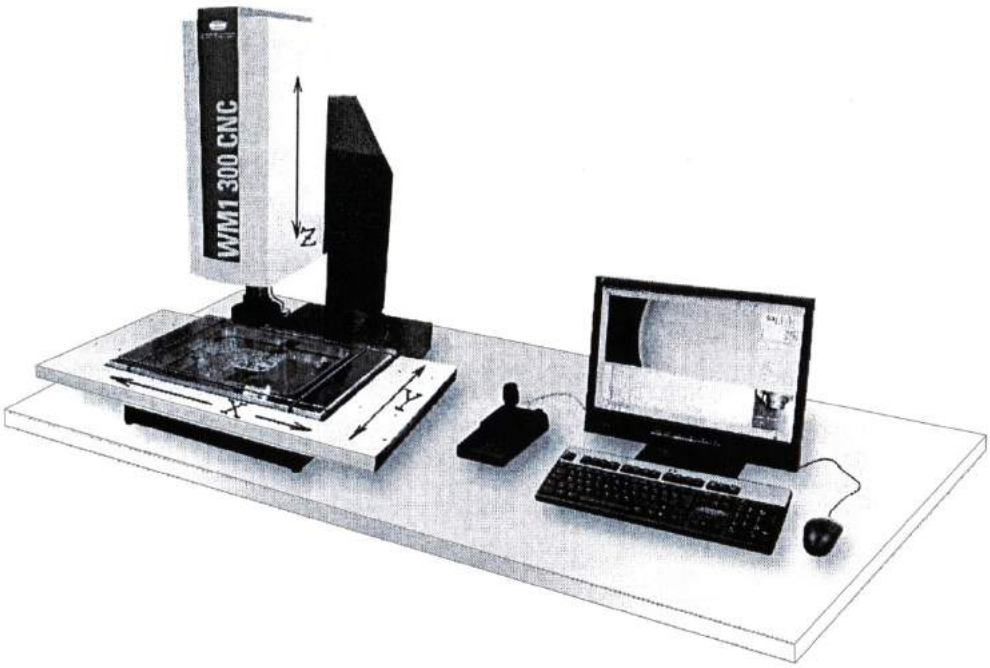


Рис. 27.34 – Измерительный микроскоп мод. WM 1 300 CNC

Прибор предназначен:

1 проведение прецизионных измерений;

- размеров,
- формы,
- взаимного расположения поверхностей.

2 обработка и оценка измерений данных;

3 анализ результатов методом математической статистики;

4 Вывод информации (отчет измерений).

Функциональные возможности

Прибор имеет возможность проводить измерение:

- оптическим методом,
- контактным методом.

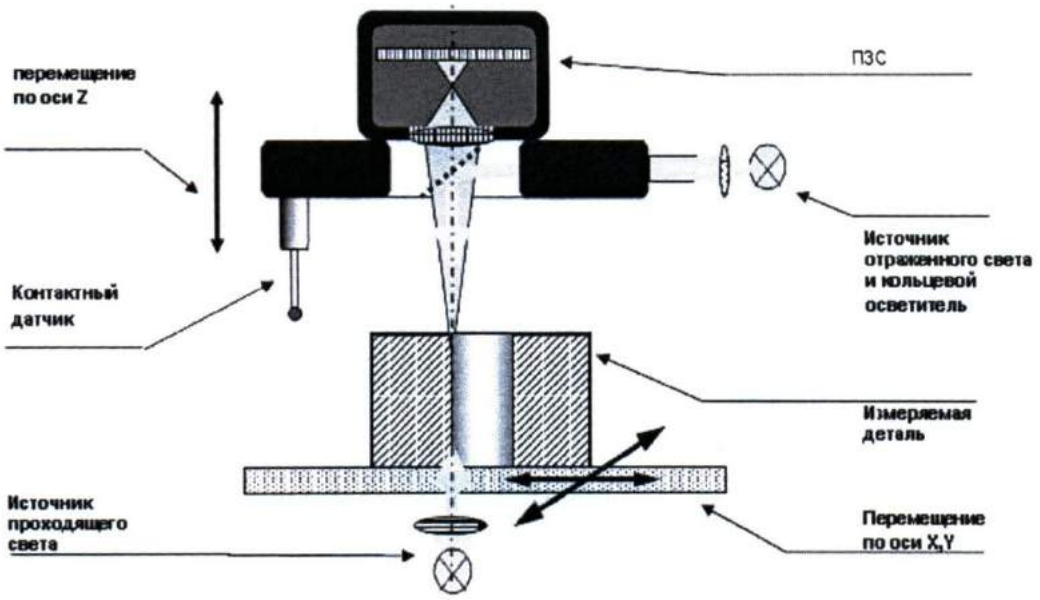


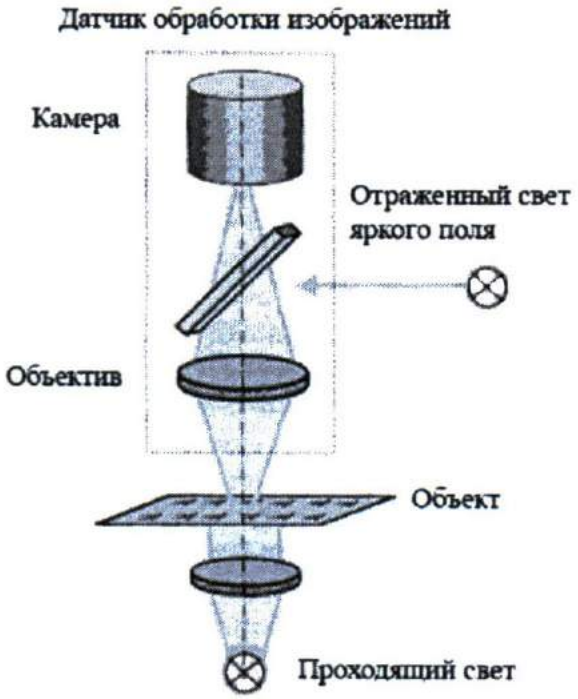
Рис. 27.35 – Принципиальная схема WM 1 300 CNC

Измерение оптическим методом

Принципом оптического измерения является отображение измеряемых элементов с повышенной контрастностью.

Объект отображается на матрице ПЗС с помощью объектива. Электронное оборудование камеры, преобразует оптический сигнал в цифровое изображение, которое используется для расчета измеряемых точек на компьютере, оснащенном программным обеспечением для обработки изображений.

В зависимости от величины размеров используют объективы с различным увеличением.



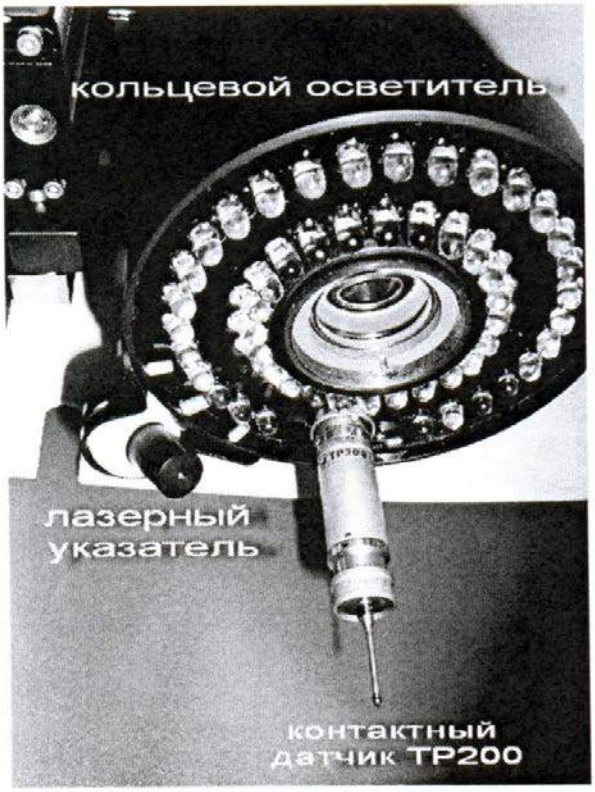
- камера
- объектив
- система освещения

Рис. 27.36 – Датчик обработки изображений

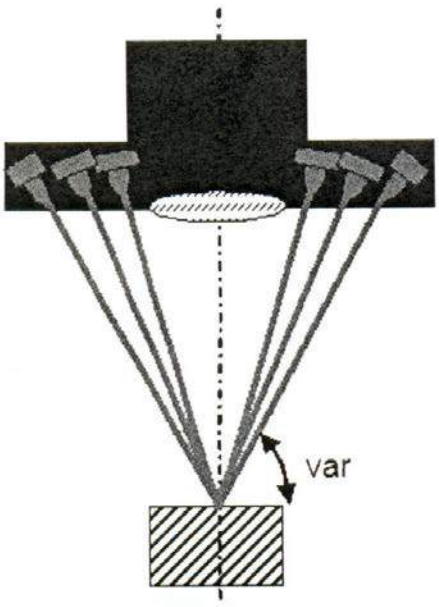
Камера

Преобразование изображений в цифровую форму производится с помощью камер CCD и компонентов ПК, предназначенных для ввода изображений (платы захвата изображения). Разрешение или погрешность измерения в пределах допустимой погрешности.

В качестве источника света используются кольцевые осветители.



Преимущество этих приборов заключается в низком количестве тепла, выделяемого ими в зоне измерения. Посредством сегментации с различных пространственных направлений СВЗЮ можно создавать эффекты освещения



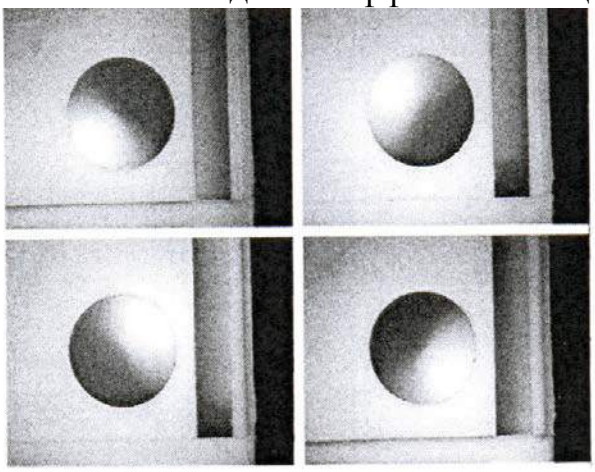
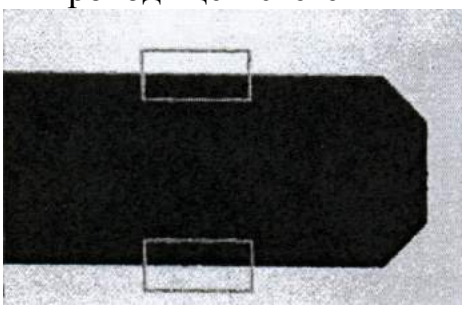


Рис. 27.37 – Система освещения

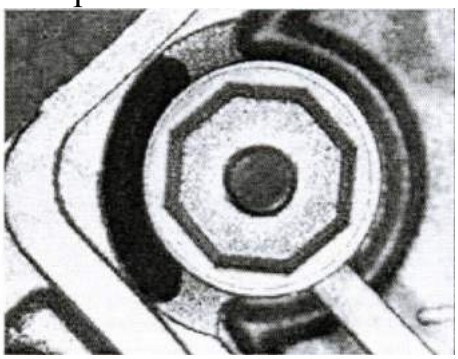
Методы оптического измерения

в проходящем свете

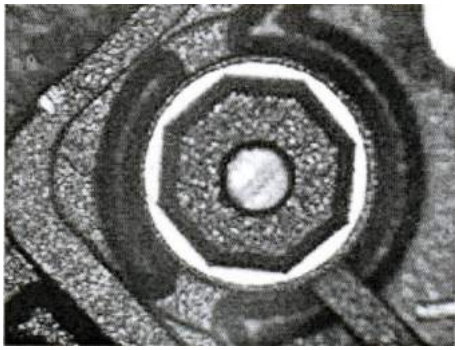


наиболее эффективен для контроля внешних границ объектов

в отраженном свете



светлопольный
проецируется на объект параллельно оптической оси



темнопольный
попадает на излучаемый объект под косым углом к оптической оси

Рис. 27.38 – Методы оптического измерения

Автофокусировка

Для автоматической фокусировки используются те же аппаратные компоненты, что и для обработки изображений. При перемещении датчика вдоль оптической оси изображение получается четким только в одной позиции. При расфокусировке датчика изображения получаются нерезкими.

В качестве параметра фокусировки на изображении используют контрастность.

Основной недостаток – длительность измерения (1 точка несколько секунд).

Измерение контактным методом

Контактный датчик работает по принципу механического контакта с поверхностью. Полученные с помощью такого контакта сигналы передаются для дальнейшей обработки в ПК.

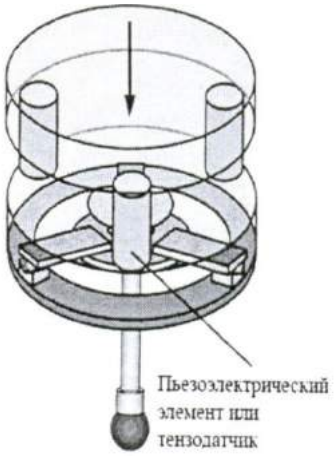


Рис. 27.39 – Контактный счетчик

Недостатки

1. для точной коррекции необходимо калибровка сферы щупа.

2. для измерения любого геометрического элемента нужно исследовать большое количество точек.

Без проведения этой коррекции суммарная погрешность будет зависеть от диаметра сферы щупа (например, чем меньше диаметр, тем меньше погрешность).

3. сферы большого диаметра могут «сгладить» небольшие отклонения структуры поверхности.

Лазер ориентировки

Используемые лазеры ориентировки функционируют аналогично лазерной указке и служат для точного определения текущего положения измерительного устройства. Они соответствуют 1-му классу опасности лазерных изделий. Лазеры 1-го класса являются самозащищёнными. Излучение такого лазера, ни при каких обстоятельствах не превышает максимально допустимый, уровень, даже при некорректных манипуляциях и при использовании оптических вспомогательных средств. Используемые ориентировочные лазеры соответствуют этим требованиям, так как их излучение в видимом диапазоне (400...700 нм) не превышает пограничного значения 0,3 мВт.

27.4 Координатно-измерительные машины

Если бы заводы были в достатке оснащены КИМ, то пробег отечественных машин без капремонта мог бы превысить 300 т. км.

Главный конструктор компании "Лапик"
А.Г. Лаптев

В начале 70-х годов прошлого столетия фирма "STIEFELMAYER" Германия освоила выпуск консольной измерительной машины, положившую новое направление в измерительной технике.

Фирмы "Поли", "ДЭА", Оливьетти" Италия, "Маузер", "Ляйц", "Йеноптик" Германия, "Браун и Шарп" США, "СИП" Швейцария и многие другие освоили выпуск трёхкоординатных измерительных машин. От трёхкоординатных систем (фирма "WERTH Messtchnik" Германия) позволяющих производить сканирование топографии поверхности по всему диапазону измерения, измерение сверхмалых отверстий –мультисенсорные координатные машины, до измерительных машин с пределом измерения по

оси X до 20000 мм.

Мультисенсорность – способность координатно-измерительной машины проводить контактные и оптические измерения тригерными, лазерными, оптоволоконными датчиками с точностью о,5 мкм.

Координатно-измерительные машины делятся на четыре основные группы.

27.4.1 Измерительная рука

КИМ измерительная рука описана в главе 29 и эффективно применяется непосредственно на рабочих местах при контроле крупногабаритных штампов, пресс-форм, сварочных приспособлений.

27.4.2 КИМ консольные

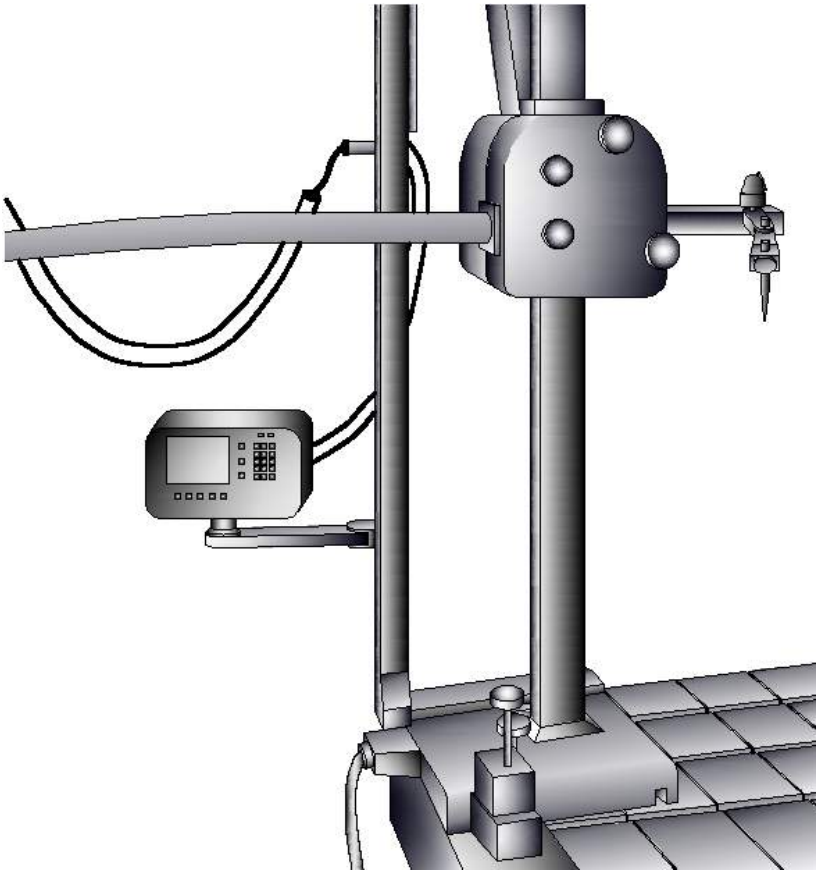


Рис. 27.40 – Консольная КИМ ACTURA фирмы "Stiefelmayer"

Измерительно-разметочная машина ACTURA предназначена для разметки и измерения глиняных моделей, для измерения крупногабаритных деталей и узлов. Параметры: x, – 20000 мм, y, – 1800 мм, z, – 2400 мм, погрешность 70 + L/20 мкм. Разрешение – 0,005 мм.

В автопроме широко используется измерительная машина FUTURA. КИМ предназначена для обмеров кузовов после сварки. Выпускается в виде ручных и автоматических вариантов, а также оснащается одной или несколькими колоннами. Параметры: x_1 мм – 2400 – 13200, y_1 мм – 1200 – 1800, z_1 мм – 2100 – 2400, погрешность 30 + L/35 мкм, разрешение 0,001 мм.

Следует отметить, что при дискретности 0.001 мм погрешность может достигать 0,1 - 0,5 мм. Это происходит, в большей степени, из-за прогиба консоли. Ряд фирм уменьшает ошибку прогиба консоли путём встроенных компенсаторов.

На автомобильных заводах Соллерс г. Набережные Челны и Елабуга, для обмера кузовов легковых автомобилей после сварки, используются координатные двухконсольные КИМ VENTO MLH компании HEXAGON Metrology.

КИМ рассчитана на пределы измерения: x – 9000, y – 1600, z – 3000 мм.

Машина может работать как в режиме измерений одной консолью (Single), так и в режиме измерений двумя консолями (Double).

Предельные погрешности измерений:

MPE_E Single Arm (iso 10360-2); $28+16L/_{1000} \leq 65$ мкм

MPE_E Double Arm (iso 10360-2); $56+20L/_{1000} \leq 115$ мкм

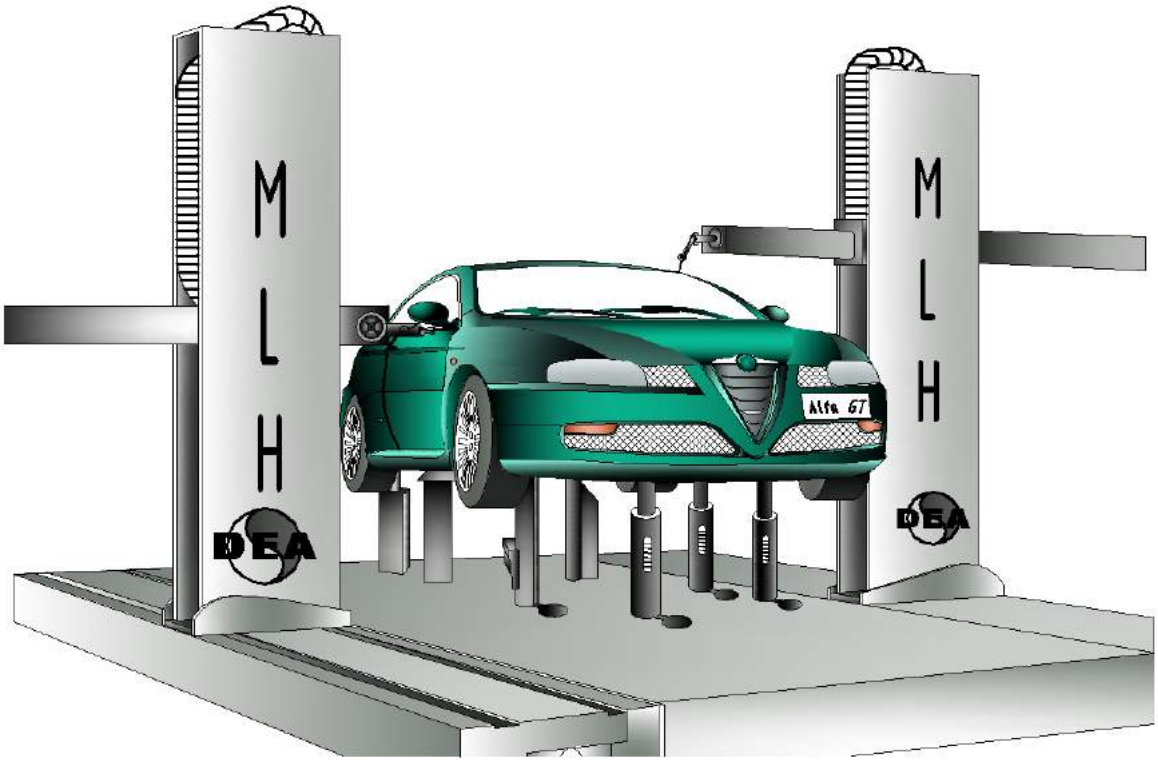


Рис. 27.41 – Консольная КИМ VENTO MLH

Vento MLH – устройство, процесс измерения, система осей, функционирование

Vento MLH – это измерительная машина консольного типа с приводом и горизонтальным шпинделем, идеальна для внедрения в производственный процесс как в испытательных лабораториях, так и на производственных линиях при измерениях крупногабаритных деталей, узлов и изделий.

Характерной особенностью измерительной машины является открытая структура с горизонтальным шпинделем, которая обеспечивает легких доступ к рабочему столу и облегчает загрузочные и разгрузочные операции. Машина поставляется с защитными кожухами на всех осях, что позволяет оператору перемещаться по верхней поверхности основания.

Все измерительные оси оборудованы двигателями; движение осей всегда контролируется системой управления, а так же может контролироваться через программное оборудование и переносной терминал пользователя.

На шпиндель измерительной машины могут быть установлены различные типы головок, а также ряд дополнительных устройств и опций, как например механизм смены щупа или устройство предупреждения столкновения для оси Y.

В качестве опции, все модели измерительной машины могут быть оборудованы ручной системой универсально-сборных приспособлений FIVE U-NIQUE, запатентованной компанией Hexagon Metrology, данная система помогает программировать зажим при фиксации деталей, которые необходимо измерить.

Измерительная машина Vento MLH поставляется с мультисенсорной системой температурной компенсации, структурной на основании и линейной по осям X, Y, Z, и с датчиком положения детали (т.е. пятнадцать датчиков в измерительной системе с двумя горизонтальными шпинделями). Четыре вентилятора обеспечивают циркуляцию воздуха внутри основания, при этом обеспечивая постоянную температуру по всей длине.

Измерительная машина снабжена интерфейсом и управляется через систему управления, созданную компанией Hexagon Metrology.

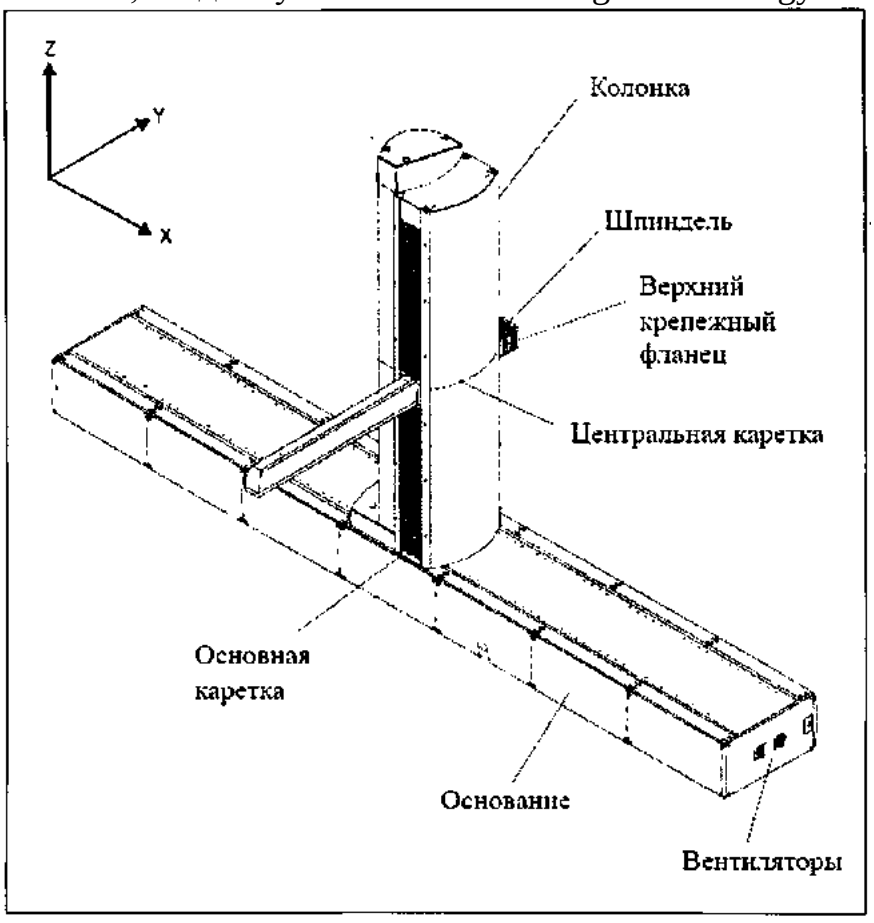


Рис. 27.42 – Схема одношпиндельной измерительной машины Vento MLH

Основные компоненты

Опорное основание измерительной машины состоит из опоры к которой присоединены направляющие основной каретки.

Опора закрепляется непосредственно на полу (если пол отвечает соответствующим требованиям по жесткости) или на специальном фундаменте.

Движущиеся части измерительной машины: основная каретка, центральная каретка и шпиндель:

- основная каретка перемещается горизонтально по основанию и представляет ось X машины;
- центральная каретка перемещается вертикально по колонке, представляет ось Z машины;
- шпиндель, смонтированный внутри центральной каретки, двигается перпендикулярно колонке, представляя ось Y машины.

Три оси машины перемещаются независимо друг от друга, обеспечивая, тем самым, свободное перемещение наконечника инструмента внутри зоны измерения. Зона измерения – это параллелепипед, стороны которого направлены таким образом, что и оси измерительной машины, имеющие такую же длину, что и оси машины.

Система счета измерительной машины включает три оси декартовой системы координат, X, Y и Z, где начало отсчета находится в верхнем левом углу зоны измерения.

По периметру измерительная машина оборудована системой ограждения.

Процесс измерения

Как и на большинстве КИМ программирование контрольно-измерительной машины Vento MLH производится, в ручном или в автоматическом режиме. В ручном режиме – оператор джойстиком подводит на большой скорости щуп к детали, останавливает его, отмечает точку, и направляет щуп к детали на малой скорости. При соприкосновении с деталью, измерительная головка, останавливает машину и сообщает координаты. Затем щуп отводится от детали и на большой скорости перемещается к следующей точке. Все точки фиксируются компьютером и затем можно повторить все эти действия.

Программирование в автоматическом режиме гораздо проще и сложнее одновременно. Достаточно указать, что вы хотите измерить, и компьютер определит оптимальные траектории движения, безопасные расстояния и саму возможность измерения данного параметра. Только он не может учесть, как закреплена деталь, и не осталось ли после обработки, например, технологических отливов, дополнительных креплений или просто сопрягаемых деталей, установленных для дальнейшей совместной обработки. Это, корректирует оператор.

Перед измерением обязательно производится тарировка щупов.

Устанавливается эталонный шарик и каждый щуп проверяет на нем свои координаты. Теперь на столе любым щупом можно измерять все с точностью до десятой доли и миллиметра.

Если измеряется большая партия изделий, то не обязательно жестко привязывать их к столу. Достаточно задать ожидаемую точку контакта и контрольно-измерительная машина сама найдет ее, а дальше будет работать по программе. Даже на большой скорости «въехав» в деталь, она останавливается, немного колышется на амортизаторах и продолжает работать.

Измерить размеры по поверхностям – не очень сложная задача. Гораздо сложнее измерить, например, параллельность, перпендикулярность, соосность отверстий или параллельность, перпендикулярность плоскостей.

Для контрольно-измерительной машины проблемы сложности измерения не существует. По специальной программе она заменяет нужное количество точек, вычисляет положение оси и относительное положение осей или плоскостей. При этом графически изображается процесс измерений.

Одна из интереснейших возможностей контрольно-измерительных машин – сканирование поверхности. Щуп непрерывно скользит по поверхности и постоянно выдает результаты измерений. Можно задать шаг измерений, от микрометра до миллиметра. Просканировать можно любые поверхности любых деталей – плоскости, отверстия, цилиндры.

Условия для измерения с максимальной, точностью

Наивысшая точность измерительной машины обеспечивается во время работы в том случае, если требования к окружающей среде соответствуют требованиям методики фирмы Hexagon Metrology.

Температура окружающей среды вокруг машины (*)	21±5 °C (Стандартный диапазон температур T1, обеспечивающий максимальную точность измерения) (**) 24±8 °C (Расширенный диапазон температур T2, обеспечивающий пониженную точность) (**)
Максимальный временный температурный градиент в объемном содержании машины (*}	1.5 °C/ч, 5 °C/24ч (диапазон температур T1) 2 °C/ч, 10 °C/24ч (диапазон температур T2)
Максимальный линейный температурный градиент в объемном содержании машины (*)	1 °C/м
Относительная влажность	25÷75%
(*)В соответствии со стандартом ISO 10360-2 2 10360-2. (**) Точные значения двух диапазонов температур.	

27.4.3 КИМ портальные

Подавляющее большинство КИМ портального типа. Примером может служить координатно-измерительная машина фирмы "Brown & Sharpe-Precizika" Литва BE200.

Портальная конструкция. Портал по гранитным направляющим на воздушных подушках перемещается вдоль стола (ось у). Перемещение

измерительной системы (ось x) по балке портала. Шпиндель квадратного сечения, на подшипниках перемещается по оси z. Портал в виде жесткой замкнутой рамы изготовлен из твердокаменных пород.



Рис. 27.43 – Портальная КИМ BE 200 фирмы, Браун и Шарп "Прецизика"

Координаты перемещения по осям x, y, z в мм – 800×1000×400.

Погрешность измерения 2,0+3,0 $L \cdot 10^{-3}$, где L – длина измерения в миллиметрах. Вес измеряемой детали – 500 кг.

Головная фирма "Браун и Шарп" США изготавливает КИМ "Micro ValPFx, Xcel, предназначенные для работы в цеховых условиях, обладающие высокой точностью (ValPFx – 3,0 +3,0 $L/_{1000}$ и 3,7+2,6 $L/_{1000}$) и высокой скоростью обработки результатов измерений. Это достигается простой установкой деталей. Базирование и вычисление результатов измерений производится автоматически. Вторая особенность. Портал изготовлен путём литья высокопрочного алюминия, что уменьшает инерционные силы при перемещении портала.

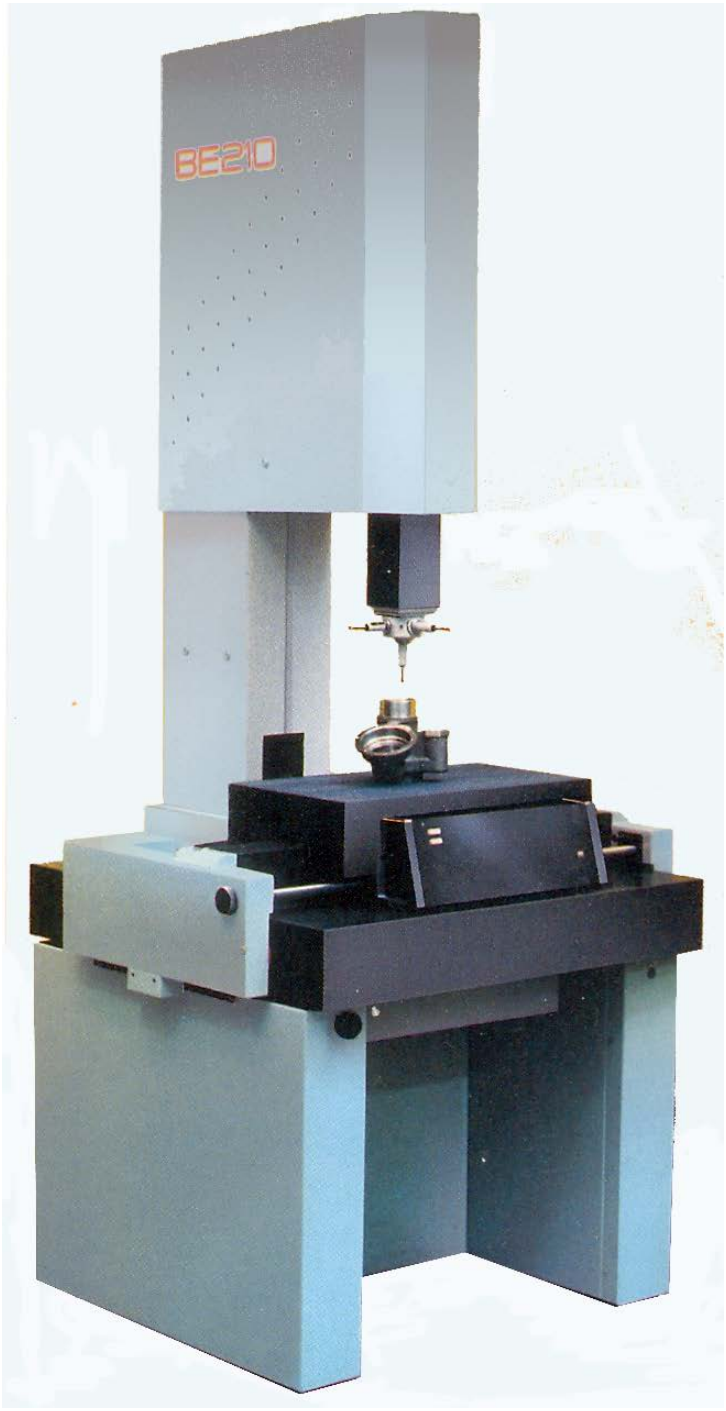


Рис. 27.44 – КИМ BE 210

КИМ BE-210 успешно эксплуатируется на Челябинском тракторном и Елабужском автомобильном заводах.

Каунасский станкозавод, совместно с фирмой "Оптон" Германия разработали и выпустили КИМ ХММ-965. Но машина имела существенный недостаток. При перемещении стола по оси Y происходило его смещение на аэростатических подшипниках. Смещение превышало 10 мкм, которое не удавалось корректировать в автоматическом режиме.

Отечественный производитель КИМ ЦНИТИ г. Москва выпустил серию координатно-измерительных машин портального типа.

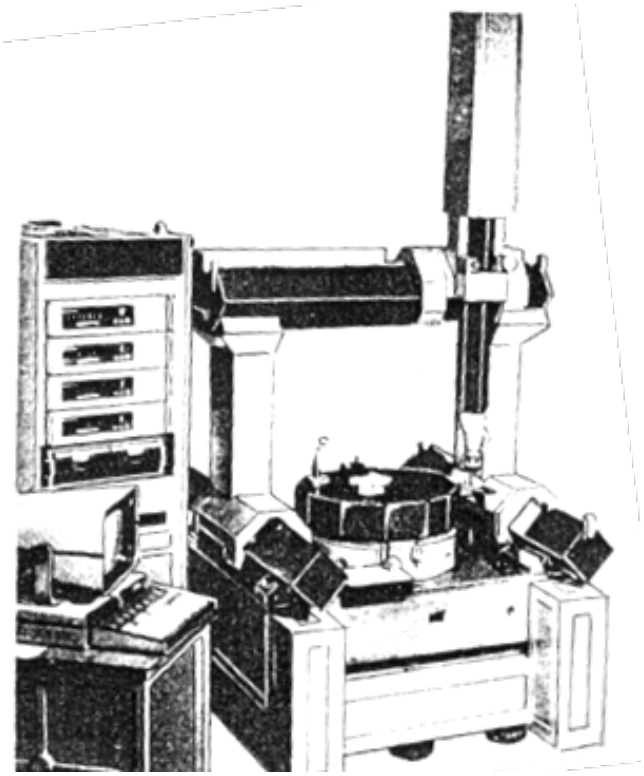


Рис. 27.45 – КИМ – 996 рм

Диапазон измерений:
x, y, z, мм – 900, 900, 600, угловых – 0 – 360°
дискретность отсчёта координат:
линейных, мм – 0,001;
угловых, секунды – 1.
Предельная погрешность измерения вдоль координатных осей – 5+5 $L/_{1000}$ мкм.
Координатно-измерительная машина консольного типа КИМ – 400 м.

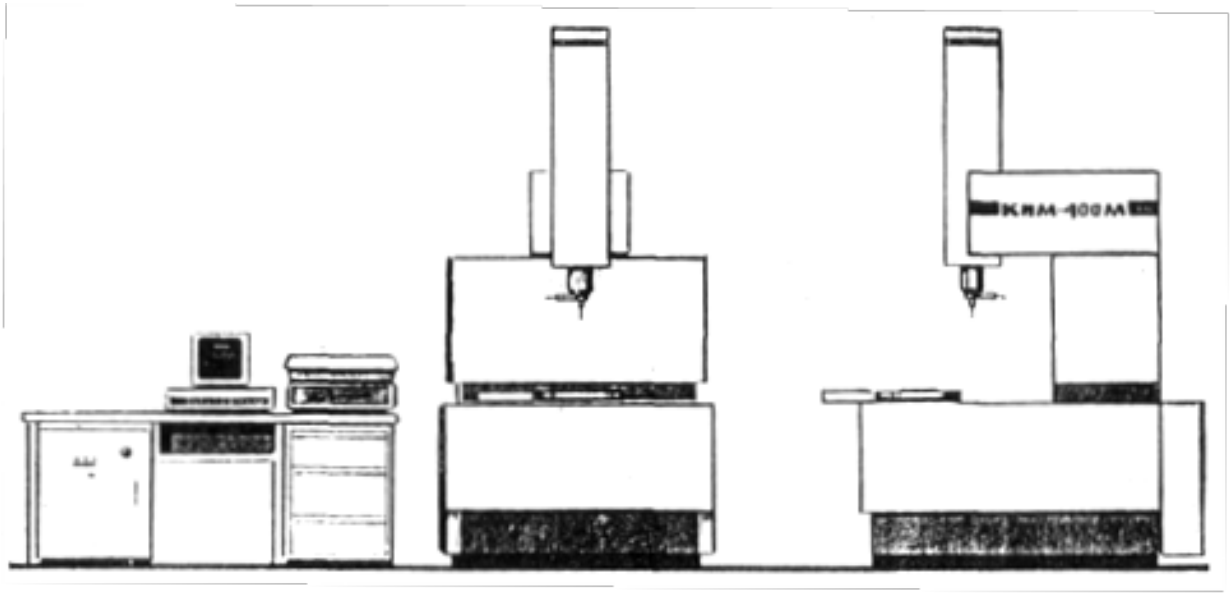


Рис. 27.46 – КИМ – 400 м

Характеристика измерительной машины.
Диапазон измерений по координатам:
x, y, z, мм, угловых, градусы – 400, 400, 400, 360°.
Дискретность отсчёта:
линейных, мм – 0,001;
угловых, секунда – 1.
Продольная погрешность измерения длины L (в мм), мкм:
Вдоль координат осей 5+3 $L/_{1000}$.

27.4.4 Контрольно-измерительные машины мостового типа

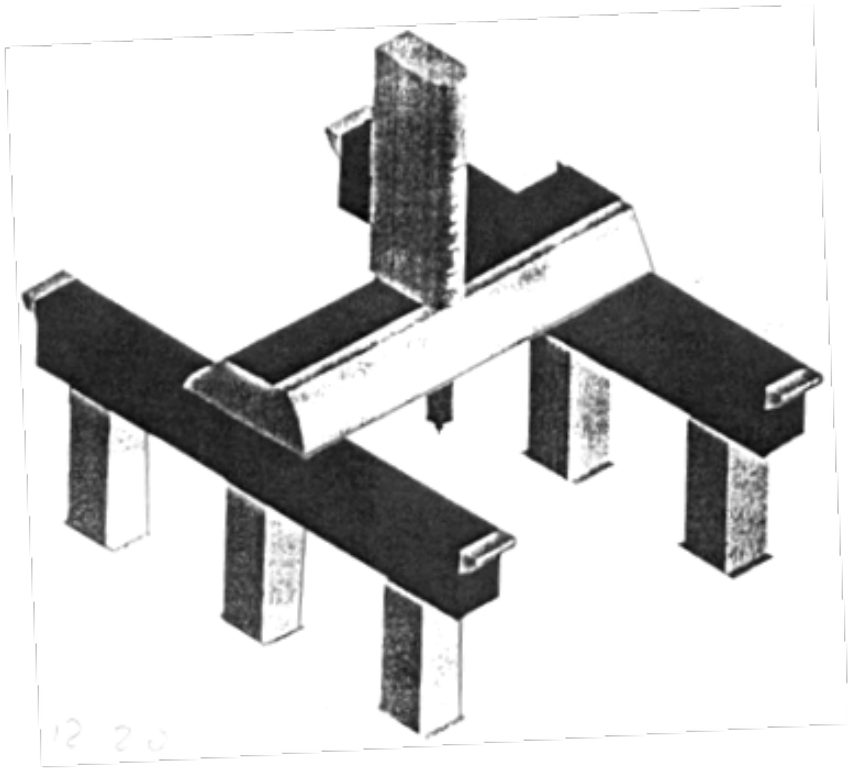


Рис. 27.47 – Схема мостовой КИМ

КИМ мостовой конструкции предназначены для контроля крупногабаритных деталей в автоматическом режиме. Управление ручное и автоматическое при помощи джойстика с выносного пульта управления. Несущие направляющие КИМ выполнены из высокопрочного гранита, что позволяет уменьшить износ направляющих и повысить точность. Температурный коэффициент расширения гранита приближен к нулю. Перемещение подвижных частей производится на аэростатических опорах (пневмоподшипниках), что обеспечивает плавность перемещения измерительной колонки и исключает износ направляющих.

Мостовые КИМ оснащаются оптическими линейками RENISHAW с шагом 0,5 мкм.

Из современных востребованных КИМ мостового типа модель Альфа фирмы "ДЭА" Италия.

КИМ Альфа изготавливается нескольких модификаций с пределами измерений x – 2000 – 2500 мм, y – 3300 – 5000 мм, z – 1000 – 1800 мм.

КИМ мостового типа изготавливаются по максимальным размерам перемещения по осям: x – 2000 – 3000 мм, y – 2000 – 8000 мм, z – 1500 – 2000 мм.

Погрешность от 5+6 L/1000 до 15 L/1000 мкм.

Мостовые КИМ, в основном, применяются в самолёто – и судостроении.

Отечественные разработки КИМ начались в конце 60 -х годов прошлого столетия в Вильнюсовском филиале ЭНИМСа.

Первая отечественная КИМ ручного управления была ВЕ 210 с пределами измерения по осям x, y, z, мм 400, 300, 300.

27.4.5 КИМ нового поколения

В конце 70-х годов прошлого столетия группа конструкторов, электронщиков, математиков и оптиков г. Саратова под руководством Александра Григорьевича Лаптева начала работы по созданию принципиально новой координатно-измерительной машины КИМ, имеющей шесть степеней свободы рабочего органа.

В 1994 г. – на выставке в Вашингтоне компания "Лапик» представила КИМ нового поколения.

"… разработчик шестиосевых машин американских компаний "Gidding & Lewis" и "Ingersoll", а также британской компании "Geodetic" превосходит русская машина компании "Лапик"…

Журнал "Machinery and production engineering", статья "Русские идут" 7 июля 1995 г.

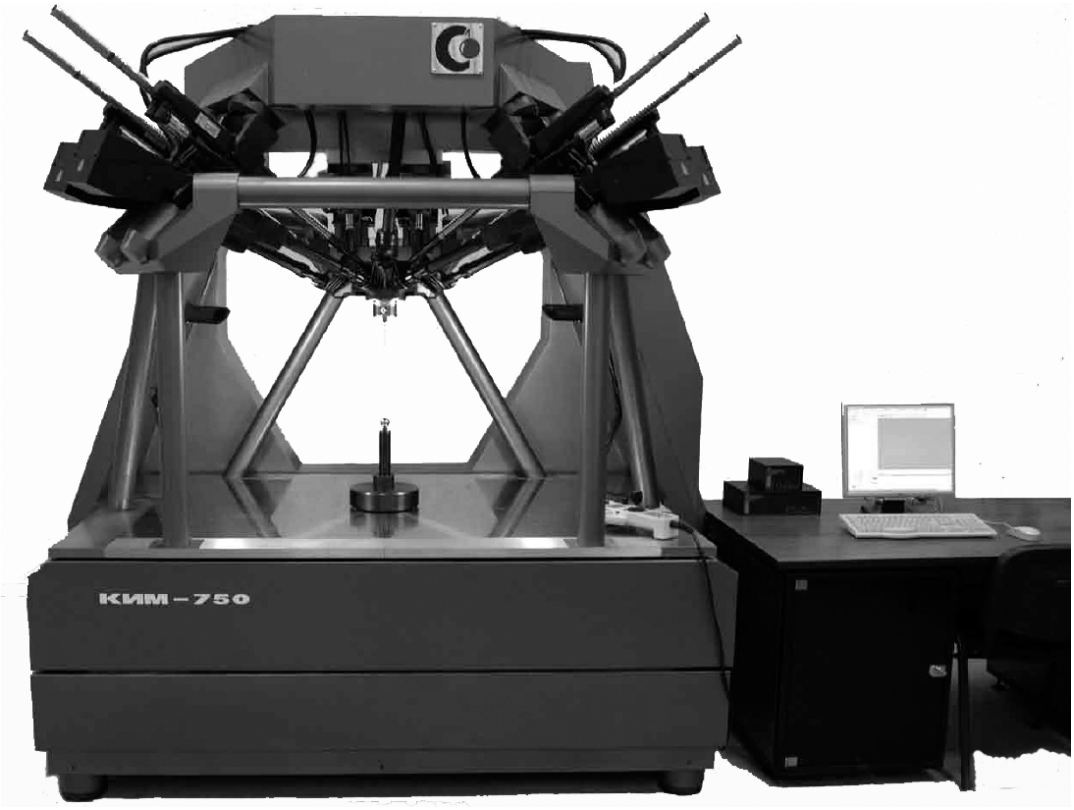


Рис. 27.48 – КИМ-750 Лапик

Шестиосевые КИМ предназначены для измерения и контроля геометрии разнообразных изделий в лабораториях и в цеховых условиях.

Машина является официальным средством измерения по стандартам ISO, внесена в Госреестр РФ.

КИМ работает в ручном и в автоматическом режимах самообучения обладает системой прецизионного электронно-механического ощупывания изделий.

Шесть степеней свободы рабочего органа позволяют вести высокопроизводительные измерения сплошных поверхностей с минимальным количеством изменений положения детали, применяют минимальное количество технологической оснастки, КИМ Лапик способен производить высокоточные измерения в нетермоконстантных помещениях.

За счёт двугранной конструкции и использования виброопор машина не требует специального фундамента.

КИМ рассчитаны на высокоточную работу в течение длительного срока т.е. система самокалибровки учитывает многолетние микроизменения в конструкции машины и изменение внешних условий.

Конструкция КИМ Лапик

Отсутствие установленных друг на друга направляющих и базирования одних устройств на другие исключили погрешности, присущие традиционным станочным системам.

Шестиосевая оптико-механическая система одновременно и согласованно перемещает в рабочем пространстве платформу с инструментом в шести степенях свободы (6 координат: x – y – z с поворотом вокруг каждой оси) – платформа Стюарта.

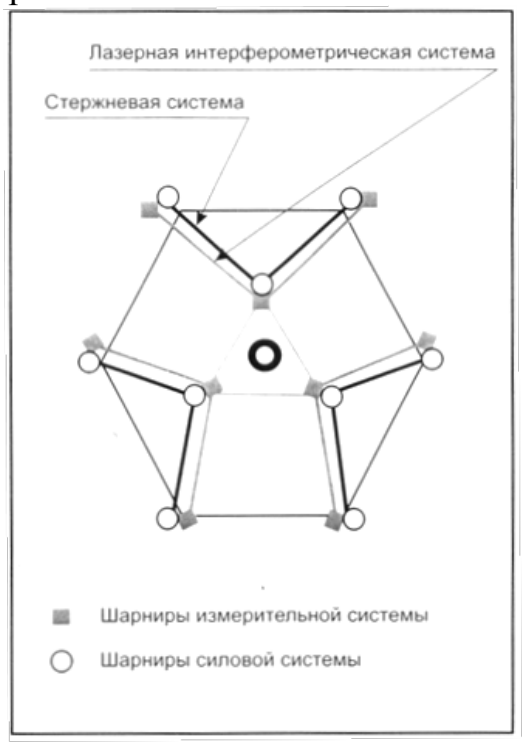


Рис. 27.49 – Принципиальная схема КИМ Лапик

Работу оборудования в микронном диапазоне обеспечивает компьютер, управляющий движением платформы на основании обработки показания лазерных интерферометров.

Рабочие стрежни, связывающие платформу с основанием посредством безлюфтовых шарниров, работают исключительно на сжатие и растяжение, что обеспечивает высокую жёсткость при измерениях.

Малая масса платформы создает минимум инерционных усилий при работе на больших скоростях.

Отсутствие быстроизнашиваемых узлов, использование электронной аппаратуры по Евростандартам обеспечивает гарантийный период до 3 лет.

Обладая дополнительной функцией шестимерного "ощупывания", КИМ представляет новое поколение измерительного оборудования – универсальную измерительную технику, предназначенную для измерения различных деталей. Стало возможным измерение внутренних плоскостей, сканирование сложной формы с заданным углом контакта, контроль мелких деталей, сложно-режущего инструмента, что недоступно обычным классическим КИМ. В этих случаях необходимо использование специализированных измерительных центров.

КИМ Лапик снабжена специальной **системой самокалибровки** (при помощи эталона по специальной программе численно определяется реальное расположение базовых шарниров и автоматически, без участия оператора, вносятся поправки в базу данных констант машины).

Система самокалибровки

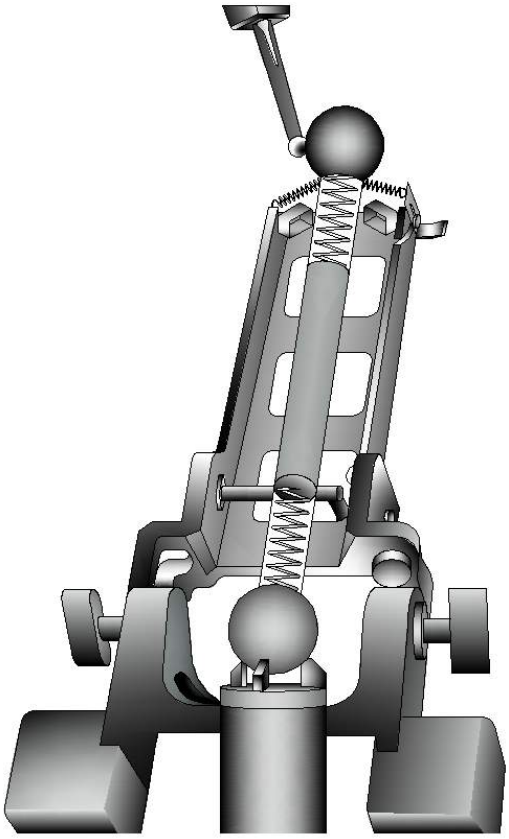


Рис. 27.50 – Эталонная мера для калибровки КИМ

Система самокалибровки позволяет сохранять паспортную точность в течение всего срока эксплуатации с учётом воздействия внешней среды и состояния рабочих узлов оборудования.

Это позволяет:

- работать в широком диапазоне температур (12-32 °С);
- учитывать износ частей машины;
- учитывать и компенсировать системную погрешность;
- без участия представителей завода–изготовителя перемещать машину с одного помещения в другое, а затем самостоятельно запускать её в эксплуатацию;
- производить измерения в локальной зоне с точностью превышающей паспортную.

Система из 6-ти лазерных интерферометров (рис. 27.49) позволяет с высокой точностью определять расстояние от базовых шарниров до шариков на каретке и вычислить текущие координаты инструмента. При движении каретки в процессе работы КИМ, деформации, возникающие в механической конструкции, не оказывают воздействие на работу интерферометров, чем достигается высокая точность позиционирования инструмента.

Технические характеристики координатно-измерительных машин Лапик

Погрешности объёмных измерений U95 при 20 °С в мкм; L – измеряемый размер в мм.

Таблица 27.5

КИМ базового исполнения	500	750	1000	1400
КИМ особо точного исполнения	1,1+L/350 500 – с 0,5+ L/500	1,3+L/350 750 – с 0,7+ L/500	1,7+ L/350 1000 – с 0,9+ L/500	2,7+ L/350 1400 – с 1,6+ L/500
Перемещения по осям				
X	500	750	1000	1400
У	400	550	750	1000
Z	350	450	600	700

Максимальный поворот платформы вокруг осей x, y, z — A – 45 град, B – 45 град, C – 60 град

Скорость перемещения платформы — 0 – 160 мм/сек

Дискретность отсчёта перемещений:

– Лазерной интерференционной системы — – 0,08 мкм

– Оптической системы — – 0,2; – 0,5 мкм

Программное обеспечение

Состав ПО:

– система управления Samiso V64;
– пакет программ для калибровки щупов;
– пакет прикладных программ для измерения стандартных геометрических элементов, калибровки, тестирования и поверки КИМ;
– система управления поворотной головкой и сканирующим датчиком;
– процессор для обработки управляющих программ в формате АФТ.

Примеры измерения деталей на КИМ Лапик

Измерение турбины



Рис. 27.51 – Положение щупа и схема движения при измерении угла наклона лопатки турбины

Измерение глубокого отверстия

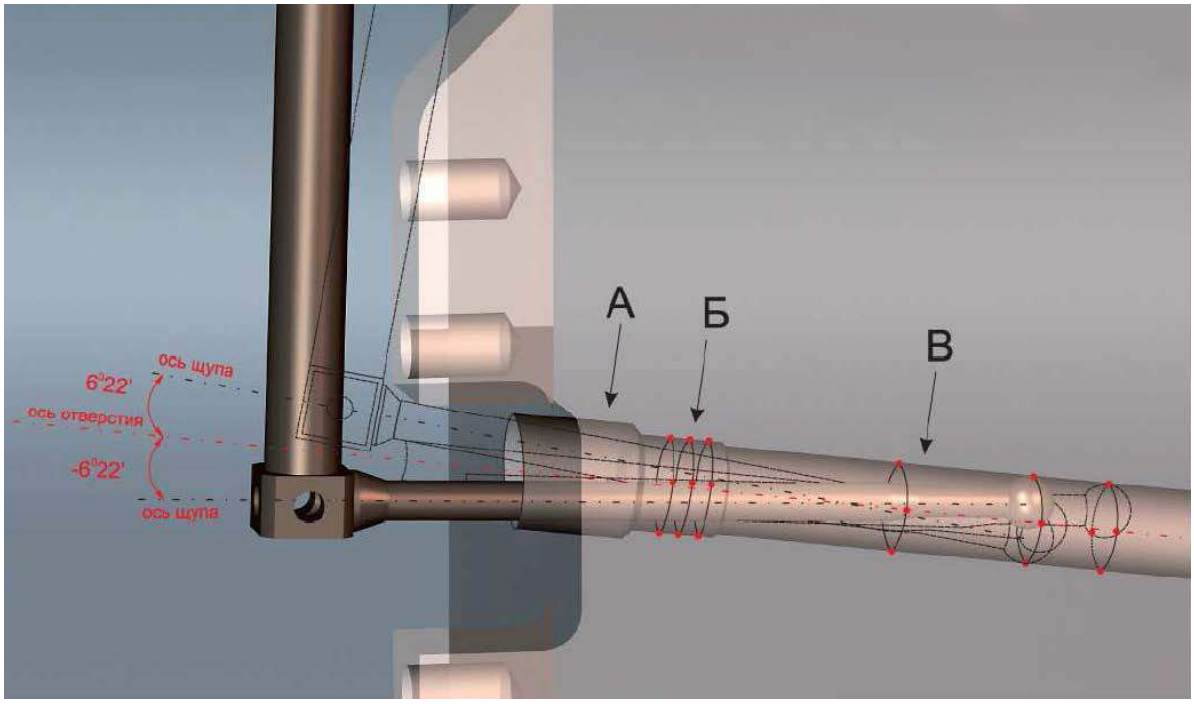


Рис. 27.52 – Измерение глубокого отверстия

Для измерения глубокого наклонного отверстия с прямой ступенчатостью используется щуп с жесткой ножкой, диаметр которого должен быть соизмерим с диаметром щупового наконечника (см. рис. 27.62). Для контроля данного отверстия с диаметром цилиндра "В" Ø 8 мм с углом наклона 7º применяется щуп с диаметром ножки Ø 3 мм и диаметром шупового наконечника Ø 5 мм. Во избежание касания ножкой поверхностей детали, щуп доворачивается непосредственно в отверстии на небольшой дробный угол 3° 22'. Таким образом, одновременный наклон вокруг осей x и y позволяет измерительному наконечнику при однократном заходе "ощупывать" внутреннюю поверхность отверстия.

Измерение конусного паза.

Для сбора точек с контролируемых поверхностей, в том числе с поверхностей конусного паза используется плавно-управляемый наклон каретки. Благодаря возможности процесс измерения можно провести за одну установку детали, что значительно повышает производительность и точность контроля.

Одновременный наклон вокруг осей x и y позволяет измерительному наконечнику "ощупывать" конусный паз, включая все сопрягаемые поверхности.

Измеряемый параметр	Допуск по чертежу	Фактическое значение	Примечание
Радиус R 25 верхней кромки конуса	±0,1	25,02	Размер дан по верхней кромке плоскости и конуса. S=0,002. Отклонение от конусности <0,015
Угол 150 внутреннего конуса	±20'	15°11'	
Диаметр сопрягаемого цилиндра №1 Ø10		10,106	S=0,0032. Цилиндричность <0,010
Азимут цилиндра №1 отн. базового отверстия 105°30'	±20'	105°34'	
Диаметр сопрягаемого цилиндра №2 Ø10		10,546	S=0,025. Цилиндричность <0,110
Азимут цилиндра №2 отн. базового отверстия 151°20'	±20'	151°46'	

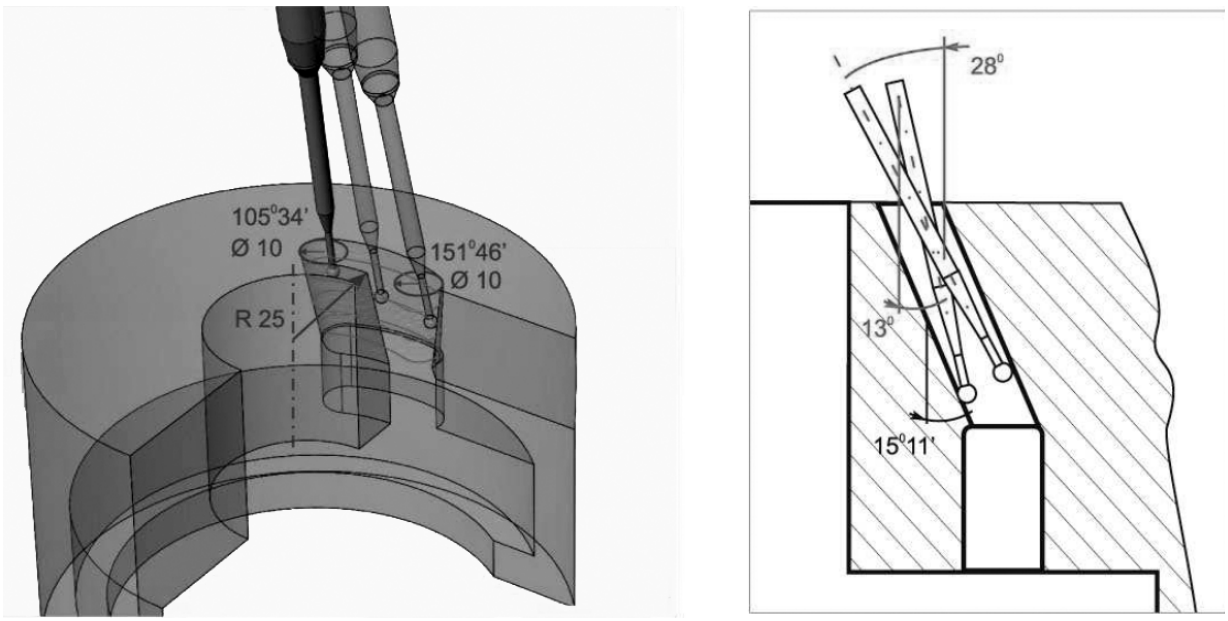


Рис. 27.53 – Контроль конуса паза

Измерение ступенчатых отверстий.

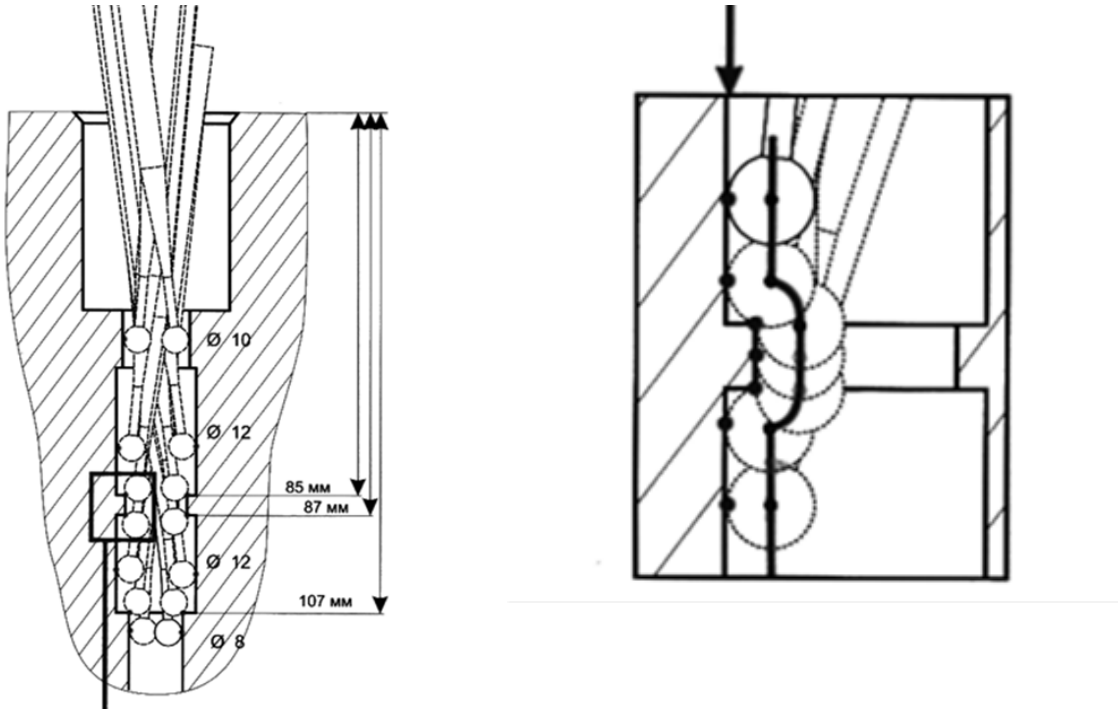


Рис. 27.54 – Схема сканирования отверстия щупом

На схеме (рис. 27.54) показаны последовательные наклонные движения щупа в отверстии с буртиком.

Труднодоступность необходимых для измерения поверхностей в глубоком 107 мм отверстии небольшого диаметра (Ø 8 мм) предполагает обязательный наклон щупа.

Измерение шестерён



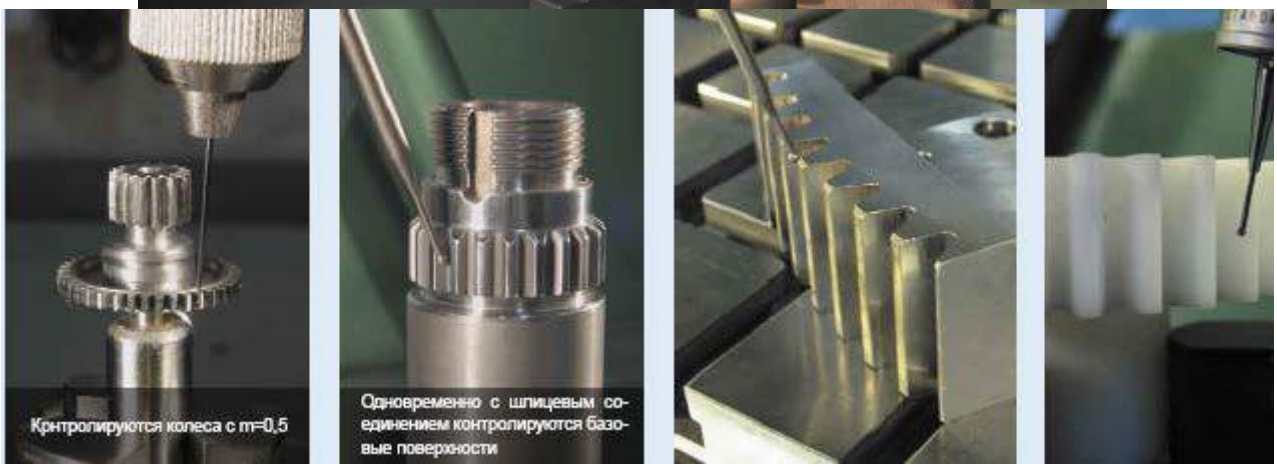


Рис. 27.55 – Измерение цилиндрических , конических, червячных и зубчатых колёс

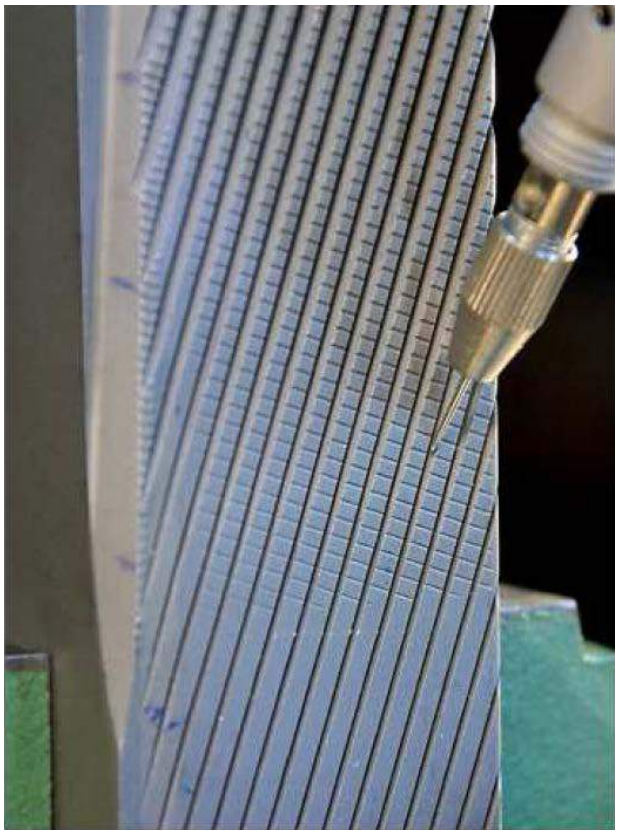
КИМ позволяет измерить различные зубчатые колёса со стандартным и нестандартным исходным контуром и позволяет определить следующие параметры:

- погрешность профиля и её составляющие;
- погрешность линии зуба;
- погрешности шага;
- колебание длины общей нормали;
- толщины зуба по хорде;
- радиальное биение зубчатого венца и др.

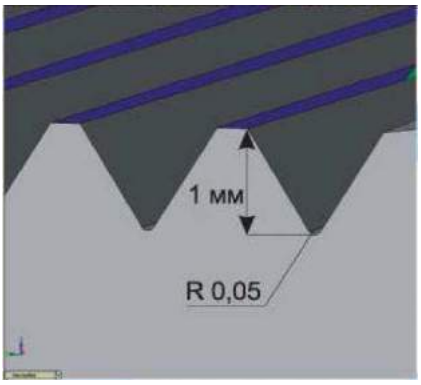
Измерение режущего инструмента

Для измерения канавок с радиусом сочленения поверхностей менее 0,1 мм использующая специальная технология измерения щупом-иглой,

проникая острым щупом в глубину канавок, сохраняя как целостность используемой поверхности, так и прецизионность щупа. Такой "щадящий" режим обеспечивается шестиосевой КИМ со специальной ПМО для касательных движений.



а



б



в

а – контроль резьбонакатного ролика; б – профиль резьбообразующей поверхности; в – контроль углов метчиков.

Рис. 27.56 – Контроль режущего инструмента

Измерение гладких, резьбовых, конических калибров, эталонов



а б в г

а – измерение резьбового калибр-кольца; б – измерение калибр-кольца; в – измерение конусного калибра; г – измерение сферического эталона.

Рис. 27.57 – Измерение калибров, эталонов

При измерении резьбовых калибров проверяется средний диаметр, погрешность угла профиля, шаг. Гладкие, конические калибры проверяются на соответствие диаметрам, овальности, конусности. На сферических эталонах контролируется диаметр, отклонение от сферы.

Каждое измерение сопровождается протоколом замеров, автоматически распечатываемы в процессе измерений.

KIM-500

ПРОТОКОЛ ЗАМЕРОВ

Дата: 28.05.95. Время: 14.40

Температура окружающей среды 24,5°C

КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА	X	Y	Z	РАДИУС
Средние /по 3 замерам/значение:	-11,04422	6,1226015	6,27109	20,59072
Повторяемость/размах/размеров:	0,00034	0,00035	0,00073	0,00009
Оценка средн. квадр. откл. размеров:	0,00018	0,00018	0,00037	0,00004

№	Координаты центра			Отклонения координат центра			Радиус	Отклонения
Записи	X	Y	Z	X	Y	Z	сферы	радиуса
1	-11,0441	3,1227	156,2710	0,0001	0,0001	-0,0001	20,5908	-0,00004
2	-11,0442	6,1224	156,2715	0,0000	-0,0002	0,0004	20,5907	-0,00002
3	-11,0444	6,1227	156,2708	-0,0002	0,0001	-0,0003	20,5907	0,00005

Рис. 27.58 – Образец протокола измерения детали

В процессе измерений автоматически производится самокалибровка машины и корректировка влияния температуры. Рабочая температура помещения от 13 до 32 градусов при следующих колебаниях:

- максимально допустимые колебания температуры в час – 0,5 градуса;
- максимально допустимые колебания температуры в сутки – 4,0 градуса.

27.3.5 Измерительные машины длины

В главе 16, 27 описаны измерительные машины длины (И З М) (рис. 27.24).

Измерительные машины длины хорошо зарекомендовали себя при измерении длин до 4000 мм и внутренних размеров от 13,5 мм. Кроме измерения деталей машины длины служат образцовыми средствами:

- поверки плоскопараллельных мер длины свыше 100 мм;
- поверка индикаторных, микрометрических нутромеров свыше 260 мм, штангенинструмента;
- калибровки установочных мер для измерительного инструмента и контрольных приспособлений;
- калибровки средств допускового контроля.

В 90-е годы прошлого столетия Новосибирский приборостроительный

завод прекратил выпуск измерительных машин длины.

В настоящее время лидерами по производству измерительных машин длины являются фирма "Sip" Швейцария и "Mahr", "EKM" Германия.

LMI 400PCEX-0,1, Sip 500-2, MUL-500, MUL-1000 являются сверхточными приборами измерения длин (приборы аналогичны ИЗМ-10, ИЗГ-6, ИКГ-3 и ИКУ и отличаются более высокой точностью, универсальностью и удобствами в работе.

Диапазон измерений: 500/600 мм (Sip500).

Разрешение: по оси x – 0,01 мкм или 0,1 мкм; ось z – 1 мкм; – погрешность (0,045+L/2000) мкм.

Серия ULML фирмы Мар являются универсальными длинномерами с лазером для получения абсолютных значений длины на всём диапазоне измерения.

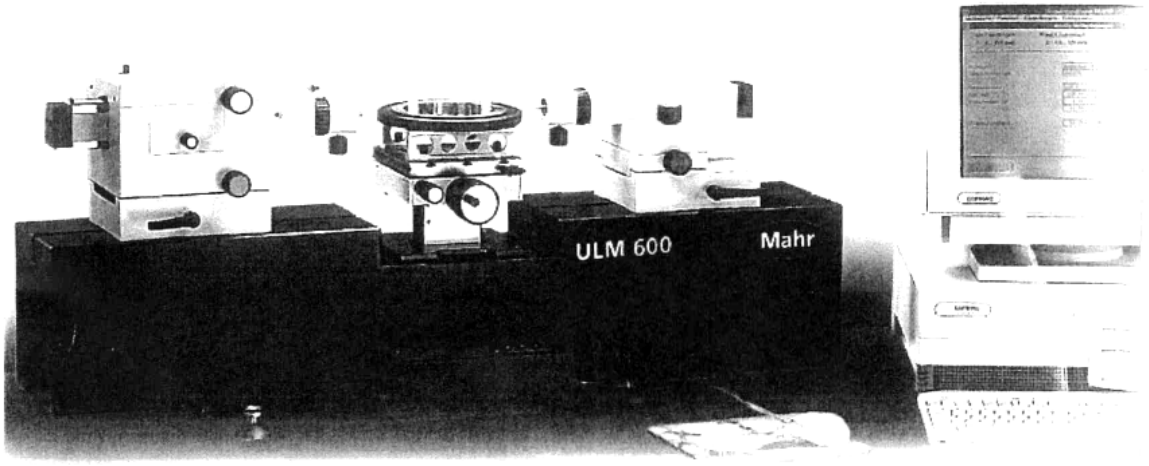


Рис. 27.59 – Машина длины серии ULML фирмы Мар

Диапазон измерений 800/1500 мм.

Разрешение:

- по оси x – 0,01 мкм или 0,1 мкм;
- по оси z – 1 мкм;
- погрешность (0,1+L/2000) мкм или (0,3+L/1500) мкм.

Программное обеспечение MS Windows и простые инструкции облегчают работу оператора.

Автоматическая коррекция погрешностей, обусловленных температурой и воздействием измерительного усилия.

Благодаря разнообразию приспособлений и программному обеспечению измерительные машины длины серии ULML предназначены для решения самых различных задач, включая измерение резьбы, конусов, конических резьб, зубчатых колёс.

Более простые приборы серии Linear фирмы Мар предназначены для калибровки средств допускового контроля и измерения прецизионных деталей.

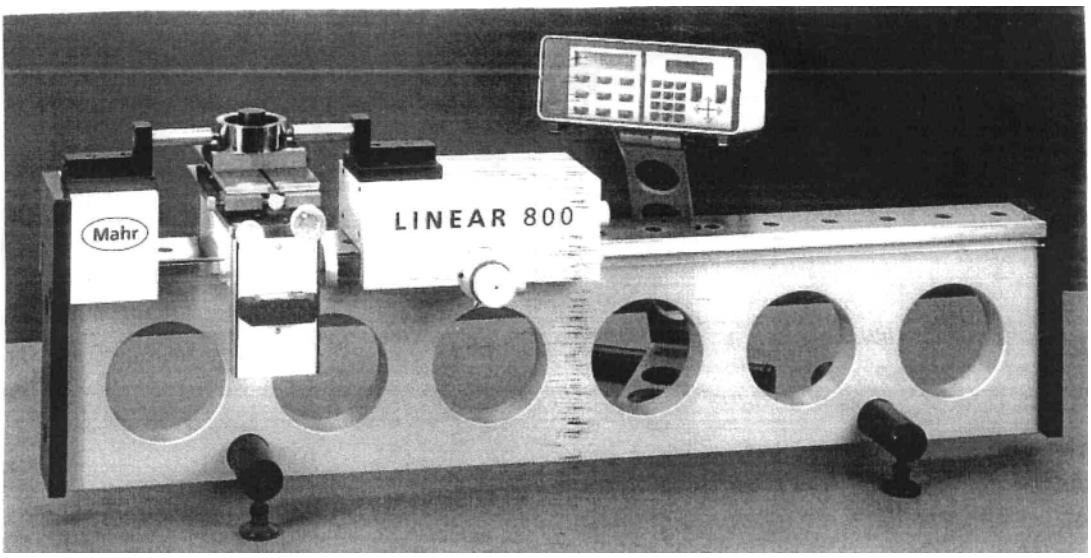


Рис. 27.60 – Машина длины серии LINEAR

Диапазон измерений:

- 400/800/1500/1600/2000 мм;
- разрешение – 0,0001 мм;
- погрешность (0,7+L/1000) мкм.

Серия универсальных длинномеров LMI

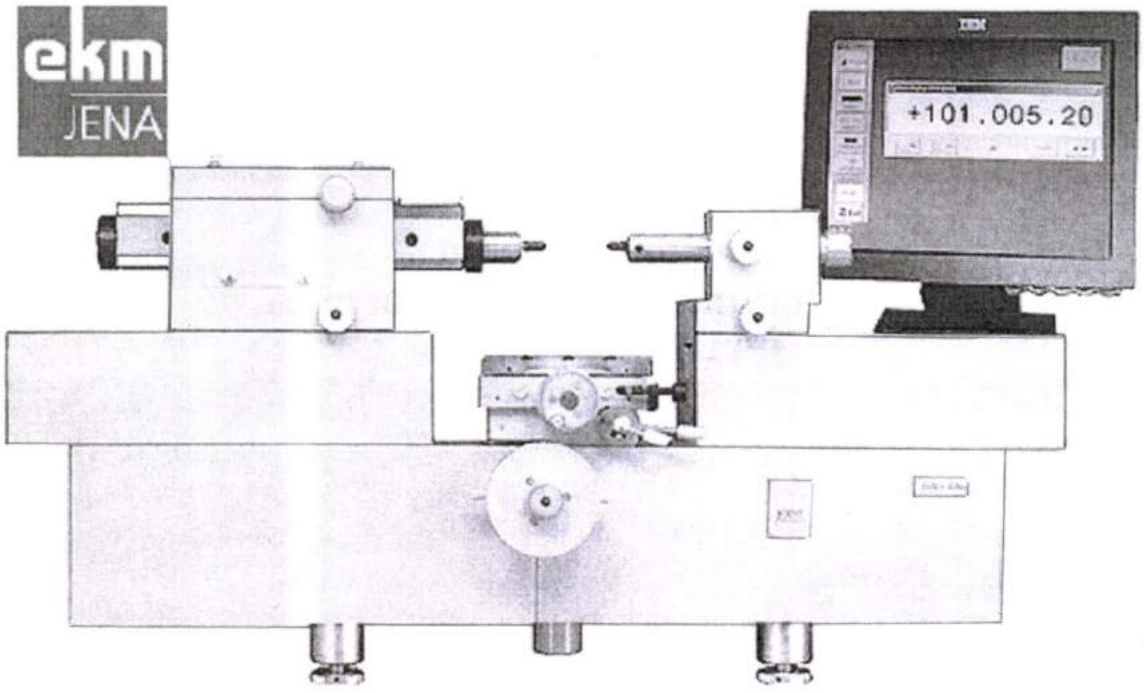


Рис. 27.61 – Универсальный горизонтальный длинномер LMI-400PCEX-01

Базовой моделью длинномеров LMI являются длинномер LMI 400. Длинномеры LMI 400 выпускаются 6 модификаций по диапазону измерений наружных размеров в миллиметрах:0-400; 0-680; 0-1000; 0-2000; 0-3000; 0-4000.

Конструкция

Универсальные длинномеры LMI представляют собой однокоординатные измерительные приборы с жесткой горизонтальной станиной. Длинномеры могут изготавливаться как с чугунной, так и с гранитной станиной.

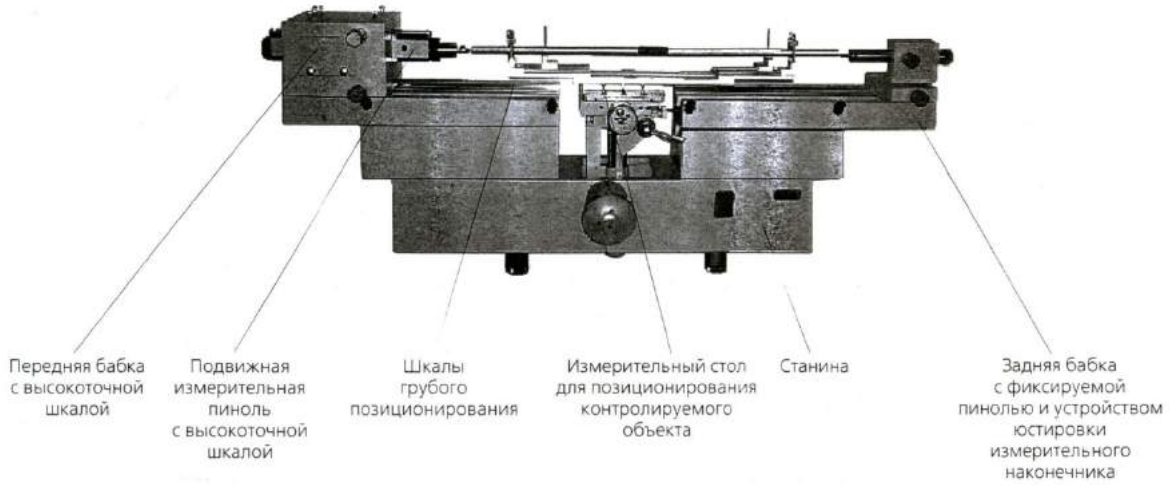


Рис. 27.62 – Конструкция длинномера LMI

В конструкции длинномера встроены два термометра для контроля температуры прибора и детали, что позволяет исключить как температурную погрешность, так и погрешность коэффициента линейного расширения.

Программное обеспечение MS Windows, что позволяет максимально упростить и автоматизировать процесс измерений.

Программное обеспечение позволяет реализовывать следующие функции:

- автоматический поиск точки экстремума;
- статическая обработка результатов измерений: определение отклонения от среднего значения измерения, среднее арифметическое значение измерения, графическое представление результатов анализа;
- режимы абсолютного/относительного измерения;
- установка поля допуска;
- передача результатов в банк обработки данных измерения;
- библиотека стандартов позволяет быстро определить стандартные погрешности контролируемых средств измерений.

Особенности:

- переключение с метрической на дюймовую системы;
- высокоточные растровые линейки Heidenhein с разрешением 0,05 мкм;
- высокоточные подшипники обеспечивают плавность перемещения щупа и минимальный износ направляющих.

Функции

Калибровка эталонов:

- цилиндрические установочные эталоны;

– рабочие эталоны 3-4 разрядов;
– плоскопараллельные концевые меры длины 3-4 разрядов.

Плоскопараллельные концевые меры длины.

Калибры:

– Установочные кольца.
– Контрольные калибры-пробки.
– Гладкие калибр-пробки/калибр-кольца.
– Резьбовые калибр-пробки/калибр-кольца.
– Плоскостные калибры.
– Предельные скобы.

Поверка рабочих средств измерений:

– Индикаторы часового типа.
– Индикаторные головки.
– Рычажные индикаторы.
– Цифровые щупы.
– Штангенинструмент.
– Микрометрический инструмент.

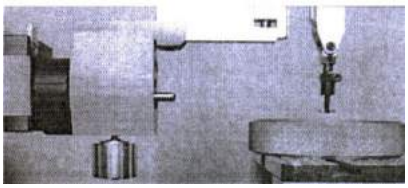
Измерение деталей.

Примеры измерения внешних размеров:

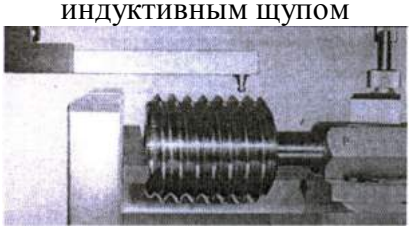
– Ступенчатые валы.
– Цилиндрические стержни.
– Просточки.
– Короткие центрирующие плечики.
– Резьба (измеряются по методу 3-х проволочек).

Примеры измерения внутренних размеров:

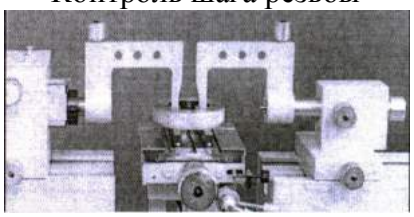
– Сквозные отверстия.
– Несквозные отверстия.
– Центрирующие углубления.
– Пазы.



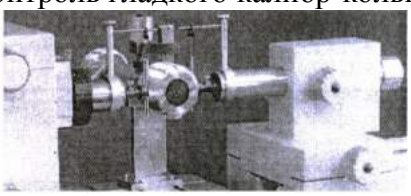
Контроль резьбового кольца индуктивным щупом



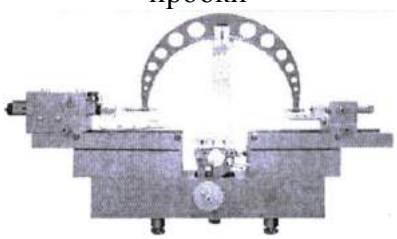
Контроль шага резьбы



Контроль гладкого калибр-кольца



Контроль резьбовой калибр-пробки



Поверка микрометров

Рис. 27.63 – Примеры измерения, поверки и калибровки на длинномере LMI-400

Таблица 27.6

Технические характеристики длинномеров LMI

Наименование		Типоразмер					
		LMI-400	LMI-680	LMI-1000	LMI-2000	LMI-3000	LMI-4000
Диапазон измерения наружных размеров, мм		0÷400	0÷680	0÷1050	0÷2055	0÷3055	0÷4050
Диапазон измерения внутренних размеров, мм – малыми дугами – большими дугами – индуктивным щупом		10÷220 30÷180 0,8÷100	10÷500 30÷450 0,8÷100	10÷870 30÷830 0,8÷100	10÷1820 30÷1870 0,8÷100	10÷2820 30÷2870 0,8÷100	10÷3820 30÷3880 0,8÷100
Дискретность отсчёта, мм	С	0,0001			–		
	PC-S, PC-HA, PC-EX	0,0001 или 0,00001					
Предел допускаемой погрешности при измерении размеров, мкм: – по шкале подвижной пиноли	С	±0,6			–		
	PC-S	±(0,3+L/1000) где L–измеряемая длина в мм.					
	PC-HA	±(0,15+L/1500) где L–измеряемая длина в мм.					
	PC-EX	±(0,1+L/2000) где L–измеряемая длина в мм.					
– по дополнительной шкале основания	PC-S, PC-HA, PC-EX	±(0,7+L/1000) где L–измеряемая длина в мм.					
Относительная влажность воздуха, %		65±15					
Температура окружающей среды, ºС		20±1					
Частота питающей сети, Гц		50±10					
Напряжение питающей сети, В		220±10%					
Габаритные размеры, мм		500×400 ×480	900×400 ×480	1200×450 ×480	2200×470 ×480	3200×470 ×480	4200×470 ×480
Масса, кг		85	100	150	310	440	580

27.3.5 Высотомеры

Для точного измерения линейных размеров по одной координате применяются измерительные приборы – высотомеры.

Высотомеры представляют собой измерительные приборы, позволяющие решать различные метрологические задачи от разметки корпусных деталей по высоте до выполнения комплексных измерений по двум координатам.

По своей функции высотомеры похожи на штангенресмасы, но обладают более высокой точностью измерения.

Базой для измерения у высотомеров, как правило, является поверхность плиты, на которую устанавливается измеряемая деталь и по которой перемещается высотомер в горизонтальной плоскости (рис. 18.11). В главе 18 описан высотомер Digimar 817 CLM и принципы работы с высотомером.

На рис. 27.74 показаны высотомеры Digimar CX2, предназначены для производственных измерений по одной координате.



Рис. 27.64 – Высотомеры Digimar CX2

Эти высотомеры имеют трёхточечный аэростатический подшипник, моторинизированную измерительную каретку и динамическую оптоэлектронную измерительную систему.

Более простые высотомеры Digimar M814N и Digimar M814G (рис. 27.65) предназначены для измерения высот, расстояний между отверстиями, поверхностями, кромками.

Высотомеры Digimar M814N используются на поверочных плитах, станинах станков или поверхностях деталей.

Высотомеры Digimar M814G отличаются наличием своей плиты, на которой размещается измеряемая деталь.



Рис. 27.65 – Высотомеры Digimar M814N и Digimar M814G

27.6 Проекторы измерители

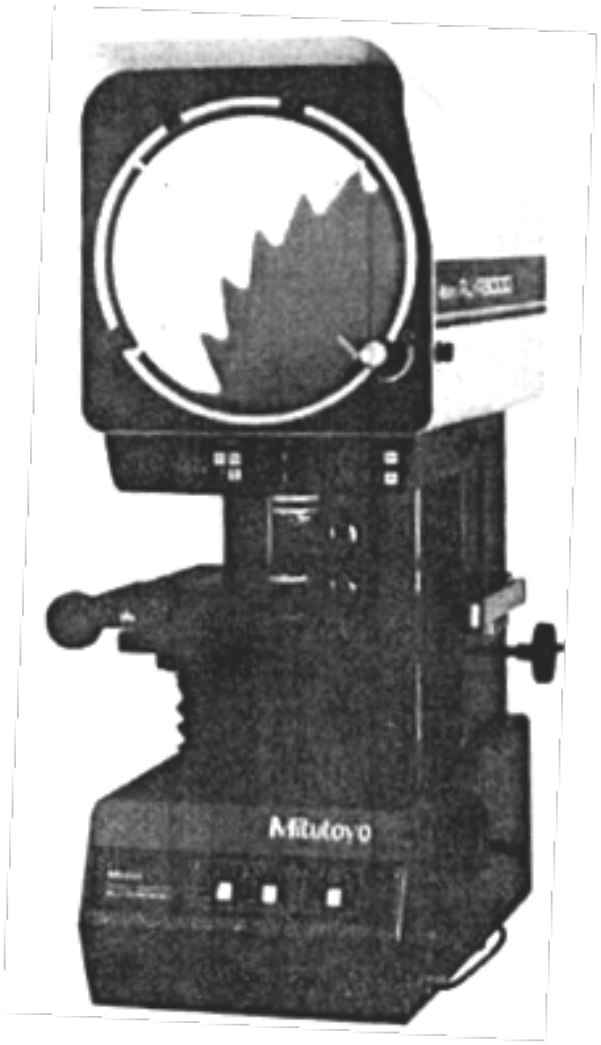


Рис. 27.66 – Измерительный профильный проектор Pj-A3000 "Митутойо" Япония

Проектор имеет вертикальный экран диаметром 315 мм с вращающимся перекрестием. Координатная настройка имеет грубую и тонкую настройку Галогенное освещение даёт чёткое изображение. Встроенный транспортир с переключателем режимов десятичного или углового отсчёта. Разрешение 1 минута или 0,01 градуса.

Погрешность:

- в проходящем свете – 0,1%;
- в отражённом свете – 0,15%.

Проекторы типа VB400, VF600 вертикальной проекции и HF400, HF600, HS600, HF750, и HS750 – горизонтальной проекции.

Проектора измерительные фирмы Starrett выпускает с диаметром экрана 400, 600 и 750 мм. Перемещение стола от 200×100 мм до 300×200 мм. Нагрузка на стол от 10 до 50 кг.

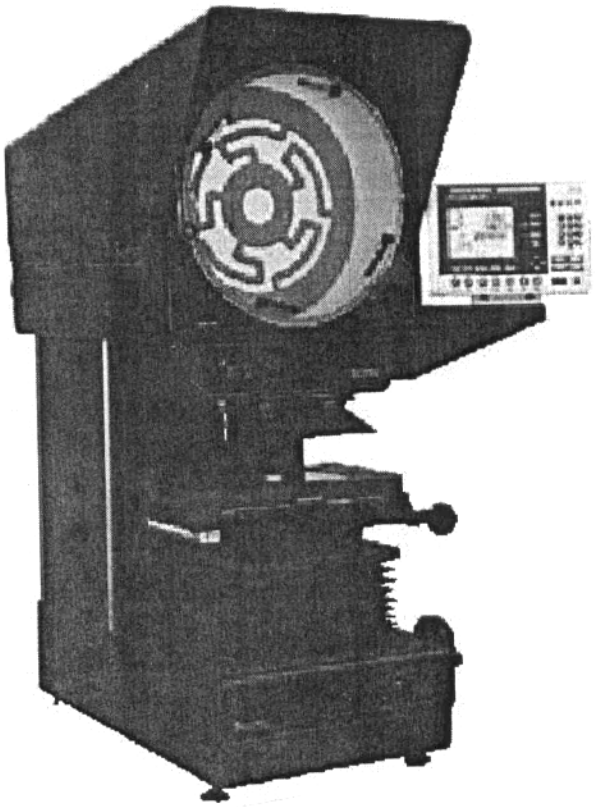


Рис. 27.67 – Проектор VB400 фирмы Starrett Великобритания

Большой выбор принадлежностей расширяет возможности измерительных задач на профильных проекторах.

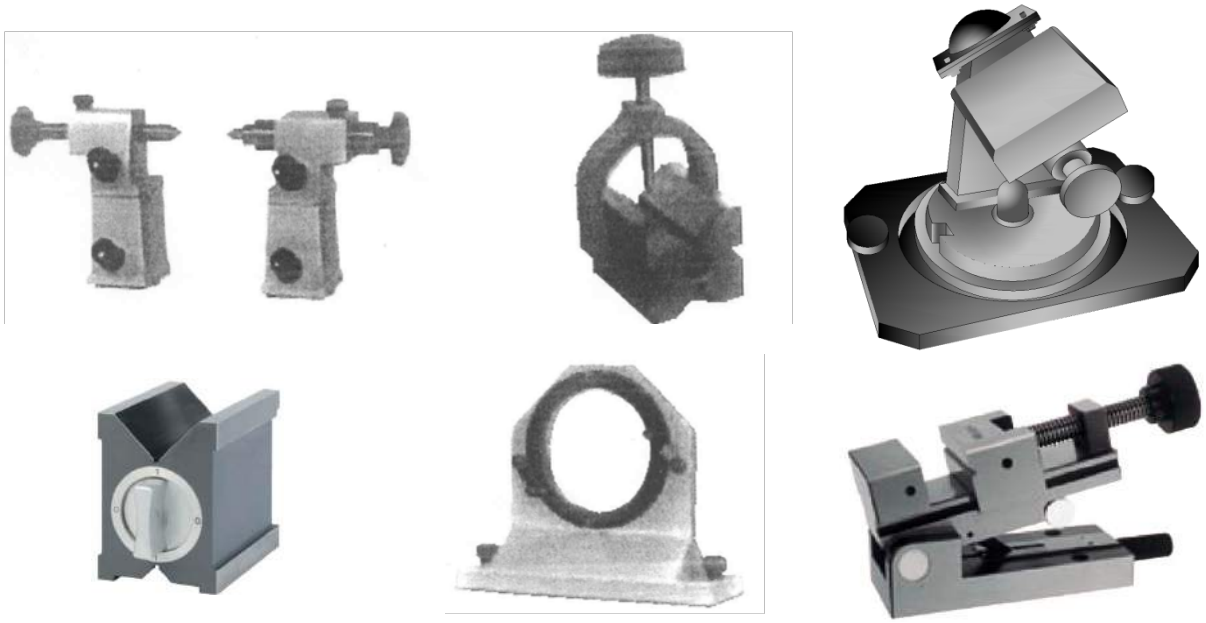


Рис. 27.68 – Принадлежности к проекторам

Наиболее популярны и востребованы предприятиями и организациями России профильные проекторы фирмы "Микротехника" Италия.

Проектора производятся как горизонтальной проекции Helios-350H, "Orion-400H, Anteus "B", Atlas "600", Atlas "750", Cyclop-1, так и

вертикальной проекции: Helios-350V, Orion-400V.

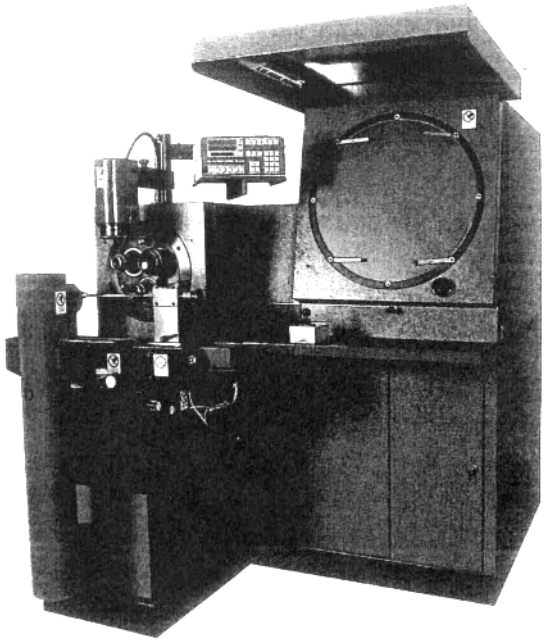


Рис. 27.69 – Измерительный проектор серии Atlas и Cyclop фирмы "Микротехника"

Таблица 27.7

Проекторы фирмы Микротроника Италия

Параметр	Helios H	Orion H
Экран, мм	350	400
Рабочий стол, мм	400×150	450×150
Горизонтальное перемещение, мм	200	250
Вертикальное перемещение, мм	150	150
Фокусировка, мм	95	95

Параметр	Helios V	Orion V
Экран, мм	350	400
Рабочий стол, мм	315×150	315×150
Горизонтальное перемещение, мм	195	195
Вертикальное перемещение, мм	95	95
Фокусировка, мм	110	110

Параметр	Atlas 600/600 Special	Atlas 760/760 Special	Cyclop-1
Экран, мм	600	760	1000
Рабочий стол, мм	650×150 или 810×150	650×150 или 810×150	800×200
Горизонтальное перемещение, мм	300 или 710	300 или 710	400
Вертикальное перемещение, мм	200	200	250
Фокусировка, мм	± 25	± 25	± 25

Высокоточные измерительные системы перемещений предметного стола и повороты экрана, поворотный стол, бабки с центрами, а также большой выбор дополнительных принадлежностей позволяют использовать

профильно-измерительные проекторы в качестве измерительных приборов для решения многих задач в различных условиях с погрешностью (2,5+L/100) мкм.

На цифровом блоке отражаются горизонтальные и вертикальные перемещения с разрешением 0,001 мм.

Разрешение угловых величин – 1'.

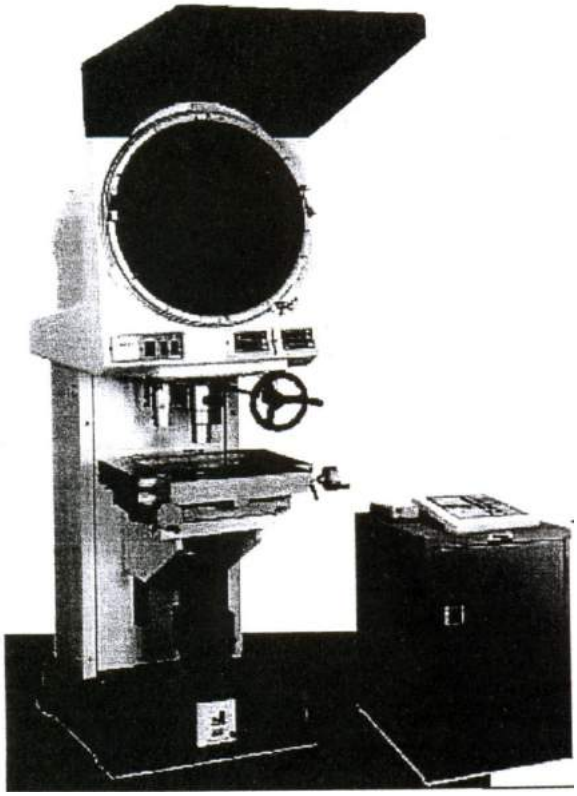
Для соединения с ПК выход RS 232.

С помощью цифрового блока возможны абсолютные и относительные измерения прямых линий, расстояния угла, окружности, построение объектов.

Фирма "Nicon" Германия выпускает серию проекторов V-12 B, V-20 B, V-24 B с диаметром экрана соответственно 305, 500, 600 мм. Разрешение по линейному перемещению 0,0005 мм.

Особенностью проекторов V-20 B, V-12 B, являются встроенные проекционные объективы с увеличением 5^x, 10^x, 20^x, 50^x, 100^x (рис. 27.79).

Профильный проектор Серия V-20B



Проекционный экран 500 мм
Встроенная цифровая индикация угловых и линейных значений

Объективы с большим фокусным расстоянием, обеспечивают идеальное изображении исследуемого объекта

Встроенные в объективы зеркала избавляют оператора от постоянной регулировки отраженного изображения

Возможность комплектации и установки одного и из пяти типов измерительных столов:
8×6, 6×4, 4×4, O3L, 2×2
Диапазон измерения до 250×150 мм.
Высота объекта до 150 мм.
Максимально допустимый вес измеряемого объекта до 20 кг.

Рис. 27.70 – Профильный проектор V-20 B

Высотомеры имеют индуктивную измерительную систему, шарикоподшипниковую направляющую измерительной головки, фиксацию головки для разметки в любом месте, обнуление показаний в любой точке

диапазона измерений, функцию нахождения максимума и минимума, ввод границ поля допуска.

Сравнительные данные высотомеров приведены в табл. 27.5

Таблица 27.8

Сравнительные характеристики высотомеров

Модель	Диапазон измерения	Дискретность отсчета	Допускаемая погрешность	Измерительное усилие
	мм	мм	мкм	сН
DiginarM814 N	0-320 0-620	0,01/0,001	20 30	200±10
DiginarM814 G	0-320 0-620	0,01/0,001	20 30	200±10
Diginar CX2	0-350 0-600 0-1000	0,01/0,001	(5 + *L*/300) *L* в мм	100±30
DiginarCXl	0-600	0,01 0,005 0,001 0,0005 0,0002	(2 + *L*/600) *L* в мм	100±20

В главе дано краткое описание и оптическая схема проекторов. Отечественная промышленность выпускала проектора значительно уступающим западным образцам. Ведущими в мире фирмы, выпускающие проектора являются "Starrett" Великобритания, "Микротехника" Италия, "Митутойо" Япония.

Измерение на проекторах осуществляется в проходящем и отраженном свете.

Фирма "Mitutoyo" специализируется на выпуске проекторов малогабаритных настольной системы для проверки малых и средних деталей.

Проекционные объективы

Профильный проектор модели V-20B комплектуется пятью различными, по увеличению, объективами (по требованию потребителя).

A – Фокусное расстояние.

D – максимальный допустимый диаметр измеряемого объекта.

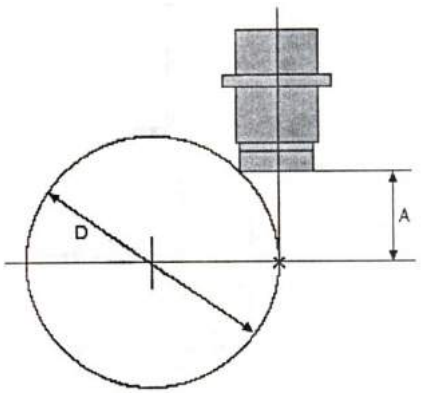


Рис. 27.71 – Схема измерения детали

Таблица 27.9

Кратность объектива	Поле отображения (мм)	п/зеркало	A (мм)	D (мм)
5x	120	встроенное	73	149
10x	50	встроенное	79	215
20x	25	встроенное	85	313
50x	10	встроенное	50.5	130
100x	5	встроенное	50.5	130

Встроенные в объективы зеркала избавляют оператора от постоянной регулировки отражённого изображения.

Технические характеристики

Тип	С вертикальной оптической осью
Изображение	Реверсивное
Экран	500 мм с линиями перекрестия, наклон экрана -8º, цена деления градусной шкалы
Увеличение	5x, 10x, 20x, 50x, 100x.
Погрешность увеличения	Проходящее освещение – 0,1% Отраженное освещение – 0,15%
Источник освещения	Галогеновая лампа накаливания 24 В – 150 Вт.
Макс. высота объекта	150 мм
Напряжение питания	Переменное 100 – 120 V, 220 – 240 V.
Габариты	500×1,200×1,900 мм
Вес	260 кг.

27.7 Приборы контроля шероховатости поверхности

Повышение требований к допускам на изготовление деталей влечёт за собой ужесточение параметров шероховатости поверхности (глава 10 таблица 10.2).

Квалитеты 8 и более точные требуют измерение шероховатости только на приборах. В отдельных случаях к паспорту на деталь прикладывается профилограмма качества поверхности.

В настоящее время производится широкая гамма приборов контроля шероховатости и погрешности формы от переносных приборов до стационарных установок измерения поверхности шероховатости и контура поверхности по стандартам ГОСТ, ISO. JIS и ASME.

Ведущими фирмами по производству приборов шероховатости и погрешности формы являются:

- Митутойо Япония;
- Мар, Хомель-Верке, Пертхен Германия;
- Тейлор Гобсон Англия;
- Федерал Продакс США;
- НПП "Абрис" Пенза;
- НИИ измерения г. Москва.

Всю гамму приборов шероховатости и погрешности формы можно разбить на 4 группы.

1. Ручные переносные приборы;

2. Цеховые специализированные приборы для мобильного контроля шероховатости.
3. Лабораторные приборы контроля шероховатости и погрешности формы.
4. Прецизионные приборы контроля шероховатости и погрешности формы.

1 Ручные переносные приборы

Прибор PS1 фирмы Мар Германия.



Рис. 27.72 – Ручной прибор контроля шероховатости PS1 фирмы Мар

Мобильный прибор весом 400 г., работает от аккумулятора обеспечивает 500 измерений без подзарядки. Прибор контролирует 24 параметра шероховатости, но основные по выбору параметры Ra, Rz. Малое измерительное усилие – 0,7 mH позволяет контроль шероховатости на мягких материалах. Щуп индуктивный с радиусом иглы 2 мкм. В прибор встроен эталон шероховатости для обеспечения самокалибровки.

Примеры контроля шероховатости



а) **б)** **в)** **г)**

а – контроль лёгкой детали в перевёрнутом виде; б – контроль узкой плоской поверхности с помощью подставки; в – контроль листового металла; г – контроль с помощью стойки.

Рис. 27.73 – Примеры контроля шероховатости прибором PS1

К этому классу относятся приборы Хомель тестер Т500. Прибор имеет ряд отличительных особенностей. Питание, как от аккумулятора, так и от сети. В комплект прибора входит щуп, позволяющий контроль шероховатости в отверстиях с диаметром от 4 мм и глубиной 20 мм. Прибор сохраняет в памяти до 125 последних измерений. Имеется возможность подключения к принтеру.

Приборы "Surftest SJ-20IP" и 178-930-2D фирмы Митутойо Япония расширяют ряд переносных приборов контроля шероховатости.

Приборы отличаются портативностью. Все приборы 190 г. Контроль параметров шероховатости по ISO. Калибровка автоматическая. Питание от аккумулятора и от сети. При работе от аккумулятора обладает "спящим " режимом, через 30 секунд после измерения отключается. Имеется функция оценки допуска, выше/ниже допуска.



Рис. 27.74 – Переносные профилометры Surftest SJ-20IP и 178-930-2D фирмы Митутойо Япония

Отечественным прибором является портативный профилометр **БВ-7646**, выпускаемый НИИ измерения г. Москва.



ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ МЕТОДОМ ОЩУПЫВАНИЯ ПЛОСКИХ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ (НАРУЖНЫХ И ВНУТРЕННИХ) ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Измеряемые параметры шероховатости поверхности	Ra/Rq/Rz/Rmax/Sm
Базовая длина, мм	0,08/0,25/0,8/2,5/8
Длина трассирования, мм	от 2 до 50
Основная относительная погрешность измерения, %, не более	2,5
Скорость трассирования, мм/с	1

Рис. 27.75 – Портативный профилометр БВ-7646

2 Цеховые специализированные приборы контроля шероховатости

При контроле в производстве возникают трудности применения серийных приборов. Существует метод использования слепков. Но для серийного производства этот метод не эффективный.

Фирма "Мар" создала ряд специальных приборов.

При контроле шеек коленвалов, распредвалов необходимо перемещение щупа прибора вдоль направляющей шейки (перпендикулярно направлению шлифовки). Для этих целей созданы приборы с поперечным перемещением щупа.





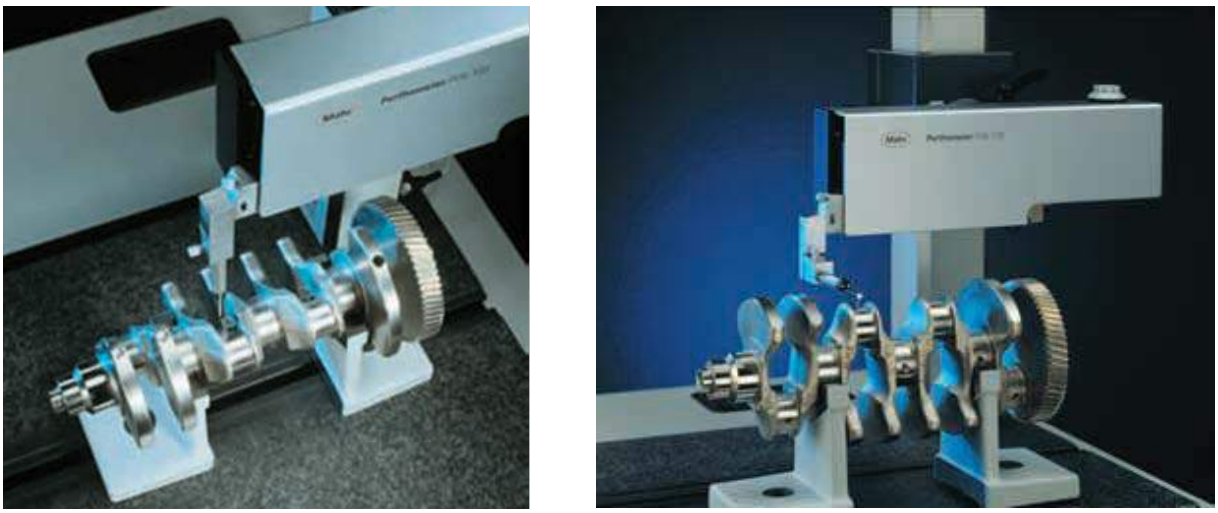


Рис. 27.76 – Приборы шероховатости для контроля шеек распределителя коленвалов

Шероховатость зеркала блока или гильзы в значительной степени влияет как на долговечность двигателя, так и для ограничения вредных выбросов в атмосферу. Кроме шероховатости на зеркале блока или гильзы хонами наносятся масляные канавки. Постоянный контроль серийными приборами вызывает определённые трудности у контрольного и цехового персонала. Прибор Marsurt CB-2 полностью решает эти задачи.

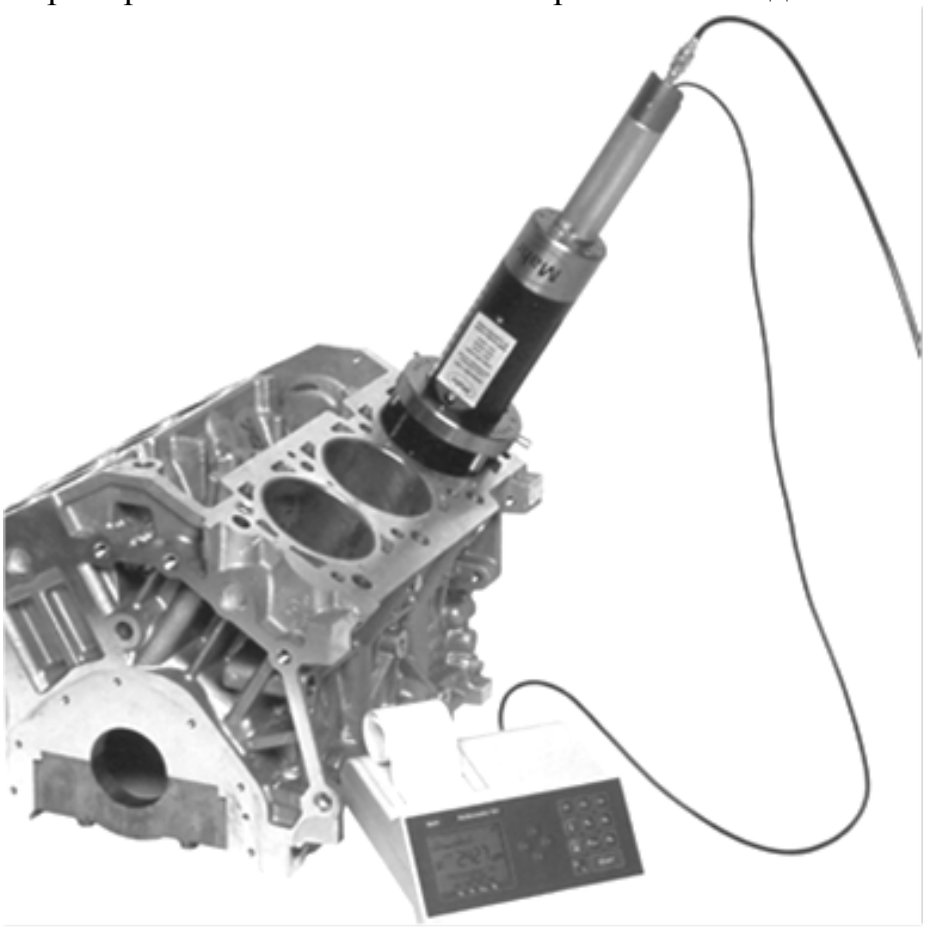


Рис. 27.77 – прибор контроля шероховатости зеркала блока двигателя Marsurt CB-2

3 Лабораторные приборы контроля шероховатости

К этой группе относится большое разнообразие приборов различных фирм:

- Пертометр 32;
- Хомель тестер w55;
- Хомель тестер T1000 Basic/wave;
- Профилометр м1.

Из отечественных приоров:

- Абрис – ПМ7 НПП "Абрис" г. Пенза;
- Профилометр – профилограф БВ-7669 НИИ измерения г. Москва.

Профилометр – профилограф БВ-7669 предназначен для измерения параметров шероховатости наружных и внутренних поверхностей, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию.

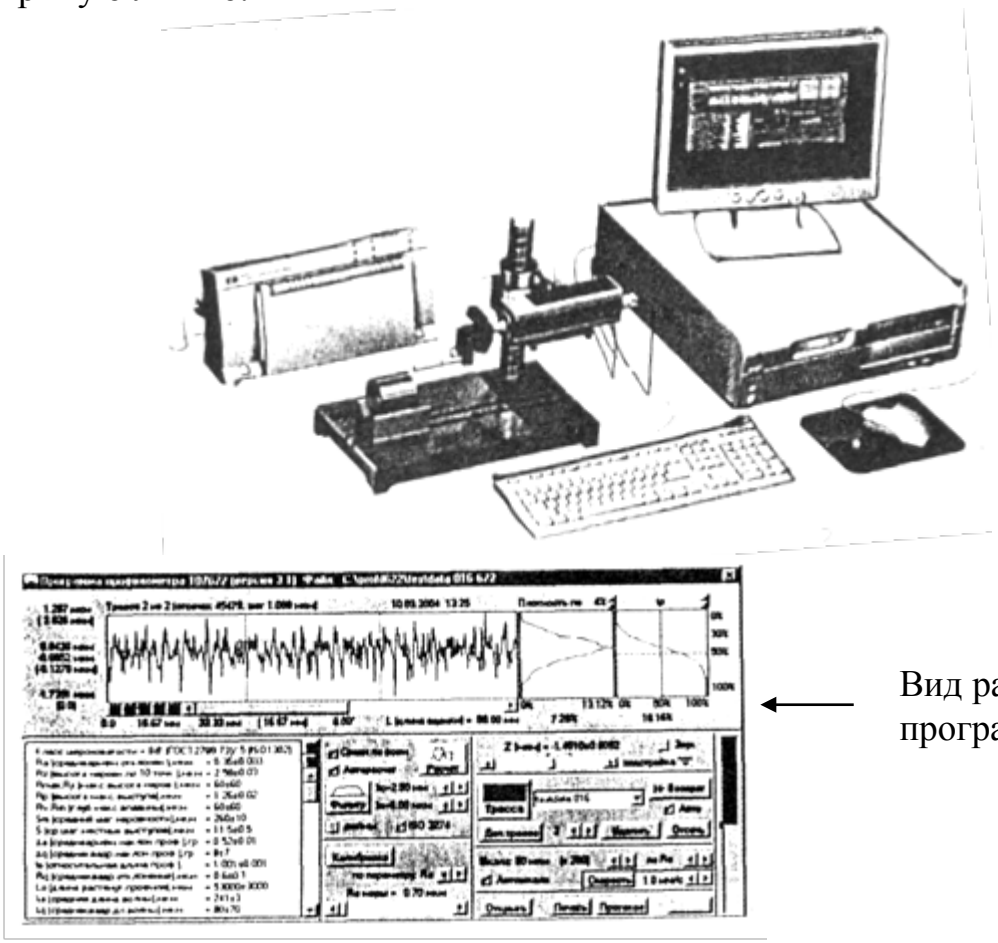


Рис. 27.78 – Профилометр – профилограф БВ-7669

Таблица 27.10

Измеряемые параметры прибором БВ-7669

Обозначение	Наименование	Диапазон измерений	Основная погрешность измерений, не более
Ra	Средне-арифметическое отклонение профиля	0,01-250 мкм	1%+0,1% от шкалы
Rq	Средне-квадратическое отклонение профиля		
Rz	Высота неровностей профиля по десяти точкам	0,05-500 мкм	2%+0,2% от шкалы
Rmax	Наибольшая высота неровностей профиля		
Rp	Высота наибольшего выступа профиля	0,02-500 мкм	
Rv	Глубина наибольшей впадины профиля		
Sm	Средний шаг неровностей профиля	10-2500 мкм	5%+0,5% от шкалы
S	Средний шаг местных выступов профиля		
Λa	Средняя длина волны профиля		
Λq	Средняя квадратичная длина волны профиля		
D	Плотность выступов профиля	4-1000 мкм	
Δa	Средний арифметический наклон профиля	0,01-30 угл. град.	
Δq	Средний квадратический наклон профиля		
Io	Относительная длина профиля	1-10	
Lo	Длина растянутого профиля	100-500000 мкм	
tp	Относительная опорная длина профиля	0-100%	

Как импортные, так и отечественные профилометры – профилографы комплектуются персональным компьютером с лазерным принтером и приборной стойкой.

Приборы располагают визуальным и графическим отображением результатов измерения и подключаются через порт RS-232 к ПК. Управление приборами через клавиатуру.

Импортные приборы шероховатости более универсальны по сравнению с отечественными за счёт разнообразия датчиков. Это видно по датчикам фирмы "Мар" Германия.



Удлинитель щупа на 80 мм.



Щуп РНТ-3-350 для измерений в отверстиях от 0,3 мм



Щуп РНТ-11-100 для измерений в недоступных местах, например, в канавках от 2,5 мм ширины и 7,7 мм глубины.



Щуп PHTR-100 для измерений на выпуклых и вогнутых поверхностях.

Щуп PHTF-0,5-100 для измерений на поверхности зуба шестерни.

Щуп PT 150 – двухопорный датчик для измерений на металлическом листе и поверхности валов

Рис. 27.79 – Датчики к приборам шероховатости фирмы "Мар" Германия

4 Прецизионные приборы контроля шероховатости и погрешности формы

К этому классу можно отнести два прибора наиболее применяемые.



Рис. 27.80 – Измерительная станция Marsurf XCR20 для контроля шероховатости волнистости и контура



Рис. 27.81 – Измерительная станция для контроля шероховатости контура поверхности HOMEL NANOSCAN 855

Измерительная станция Marsurf XCR20 (рис. 27.79) позволяет производить измерение шероховатости, волнистости и контура с одной установки. Нет необходимости замены узла привода при изменении задачи измерения.

Приводное устройство Marsurf fGD25 для измерения шероховатости и приводное устройство PCV200 для измерения контура установлены на одном измерительном стенде. Конструкция крепления гарантирует, что положение начала измерения по оси x одно и тоже для любого датчика на любом из приводов.

Измерительная станция HOMEL NANOSCAN 855 (рис. 27.80) является самой точной измерительной машиной в своём классе, обеспечивая одновремённый контроль параметров шероховатости и контура поверхности за один проход.

HOMEL nanoscan 855 это сверхточная измерительная система с разрешением 0,6 нанометра (1нм=$1\cdot10^{-9}$ м) на диапазоне 24 мм.

Измерительной системой является дифракционный интерферометр обеспечивающий высокую точность измерения параметров микро и макро геометрии контура в широком диапазоне.

Программа управления обладает системой распознавания измерительного щупа при его замене (щупы оснащены встроенными микрочипами, а сами щупы имеют защиту от столкновения с измеряемой деталью.

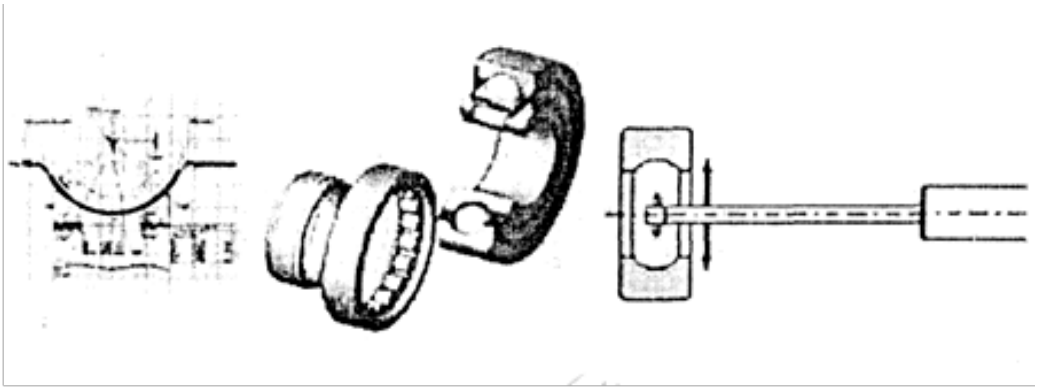
Управление станцией осуществляется программно или при помощи джойстика.

Измеряемые параметры:

- окружности (радиуса, диаметры, межцентровые расстояния);
- участки контура (расстояния, участки, шаги, прямолинейность).

Кроме прецизионных измерений деталей станция HOMEL nanoscan 855 служит эталонной установкой для поверки рабочего эталона шероховатости, круглости.

Примеры измерений на станциях измерения шероховатости и контура поверхности.



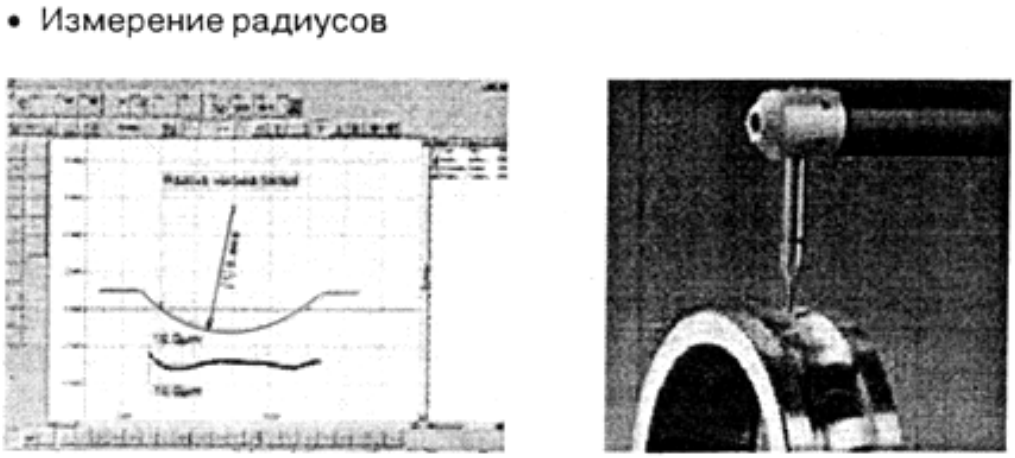


Рис. 27.82 – Измерение радиусов

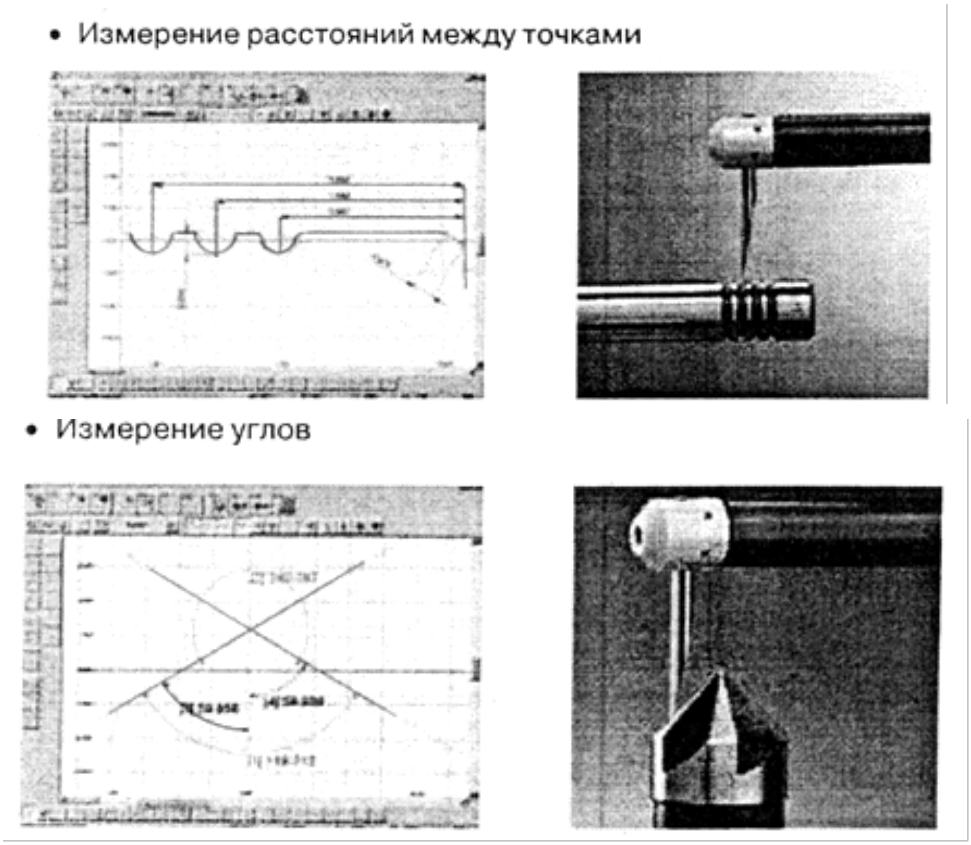


Рис. 27.83 – Измерение расстояний между точками и углов

27.8 Индуктивные преобразователи

Ряд оптико-механических приборов отечественная промышленность прекратила выпуск (оптиметры вертикальные, оптиметры горизонтальные, оптикаторы).

Инженерно-метрологическим центром "МИКРО" г. С.-Петербург разработаны индуктивные преобразователи и системы М-200 (Госреестр №29965-05).

Индуктивная измерительная система состоит из линейных индуктивных преобразователей и электронного блока БИН-2 для подключения двух преобразователей.

Индуктивные преобразователи способные решить многие метрологические задачи:

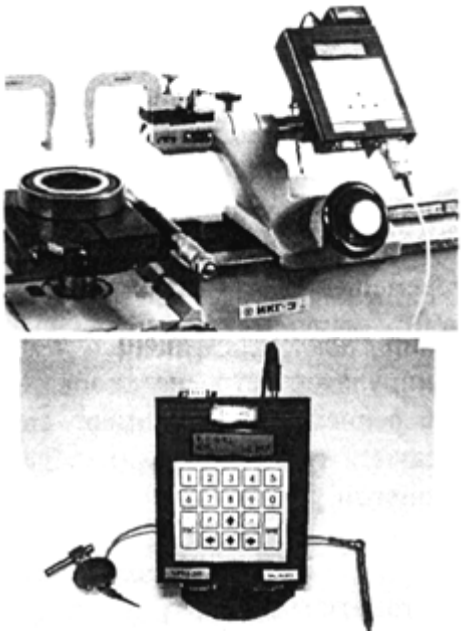
- заменить снятые с производства трубки оптиметра, микаторы, оптикаторы, миникаторы;
- проводить точные измерения линейных размеров дифференциальным или абсолютным методом, в лабораториях и цеховых условиях;
- измерять отклонение формы и взаимного расположения поверхностей деталей;
- проводить измерения в труднодоступных местах;
- обеспечить компьютерную обработку результатов измерений.

Преобразователи М-021 позволяют заменить трубки оптиметра на оптиметрах ИЗВ, ИЗГ, на машине длины ИЗМ.

Преобразователь М-026 может заменить оптикатор.

Преобразователи М-22, М-23, М-24 имеют осевое перемещение и могут заменить микаторы, рычажно-зубчатые головки, индикаторы.

Впервые в России появился отечественный датчик бокового действия М-025 с широкими функциональными возможностями и высокой точностью с двумя наконечниками длиной 30 и 62 мм. Диаметр измерительного наконечника 2 мм.



а)

б)

а – установка М-200 на горизонтальном оптиметре; б – система М-200 с индуктивным датчиком и электронным блоком БИН-2.

Рис. 27.84 – Система индуктивная М-200

Таблица 27.11

Технические характеристики индуктивных систем
с различными преобразователями

Наименование, характеристики	Модель преобразователя											
	М-021		М-022		М-023		М-024		М-025		М-026	
Диапазон показаний, мм	±0,2		±1		±5		±2,5		±0,3		±0,2	
Диапазон измерений, мм	±0,2	±0,02	±1	±0,5	±5	±0,5	±2,5	±0,5	±0,3	±0,15	±0,2	±0,02
Дискретность отсчёта, мм	0,1	0,01	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	0,1		0,1	0,01
Предел допускаемой погрешности, мм	±0,2	±0,05	±3,0	±1,0	±10,0	±2,0	±5,0	±1,5	±1,0	±0,5	±0,2	±0,05
Размах показаний, мкм не более	0,3	0,05	3,0		3,0		3,0		0,3		0,3	0,05
Измерительное усилие кН, не более	От 0 до +120*		100		200		120		15	30	100	
Присоединительный диаметр, мм	28 или 27		8		8		8		8		28	

* измерительное усилие регулируемое.

27.9 Головки измерительные электронные с цифровым отсчётом типа ИГПЦ и ИПМЦ

Измерительные электронные головки с цифровым отсчётом предназначены для относительных и абсолютных измерении линейных размеров в лабораториях и в цеховых условиях и позволяют заменить микрокаторы, оптикаторы и микаторы.



Рис. 27.85 – Головка измерительная цифровая ИГПЦ

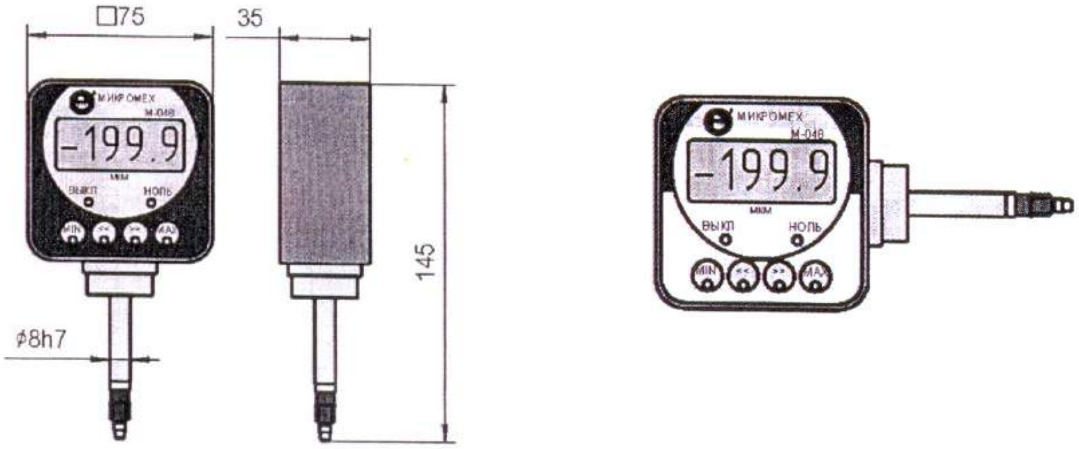


Рис. 27.86 – Головки измерительные цифровые ИПМЦ

Головки имеют дополнительные функции:

- обнуление показаний в любой точке диапазона;
- установка границ поля допуска;
- отсчётное устройство головок может быть повернуто на ±90° или ±180° путём перестановки его в корпусе согласно заказа.

Электропитание автономное от литиевого элемента фирмы "Soft" (3,6 В; 2250 mAr). Продолжительность работы без замены элемента до 1 года.

Таблица 27.12

Технические характеристики головок измерительных цифровых

	Типоразмеры			
	01 ИГПЦ	1 ИГПЦ	01 ИПМЦ	1 ИПМЦ
Дискретность отсчёта, мкм	0,1	1,0	0,1	1,0
Диапазон показаний, мкм	±190	±500	±190	±500
Предел допустимой погрешности не более, мкм	±0,3	±3,0	±0,3	±3,0
Посадочный диаметр, мм	28h7	28h7	8h7	8h7
Измерительное усилие, кН	150	150	150	150

27.10 Образцовые средства измерений

Инженерно-метрологический центр "Микро" внёс значительный вклад в создание современных средств поверки в области геометрических измерений.

27.10.1 Установка для поверки концевых мер длины УКМ-100

ИМЦ "Микро" в установку УКМ-100 воплотил опыт фирмы "Мар" (Precimor 826 PC) и ЛОМО (автоматизированный прибор АПМ-2-100) и создал установку превышающую аналоги по производительности, надёжности и долговечности, исключающую субъективные погрешности. Установка описана в разделе 5.1 (рис. 5.1.18, 5.1.19).

27.10.2 Прибор для поверки угольников ППУ-630

Прибор предназначен для поверки угольников типов УЛ, УЛП, УП, УШ классов точности 0,1,2 с высотой Н от 60 до 630 мм. Поверка происходит по параметру «отклонение от перпендикулярности измерительных поверхностей к опорным поверхностям угольников наружного и внутреннего углов».

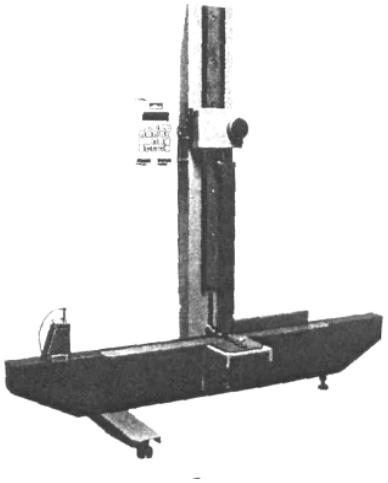


Рис. 27.87 – Прибор для поверки угольников

Существенным преимуществом является отсутствие необходимости применения при настройке и поверке прибора эталонных угольников. Прибор имеет двухканальное цифровое отсчетное устройство, совместимое с вычислительной техникой. Измерительная поверхность выполнена из гранита, а измерительные наконечники из твердого сплава имеющие высокую износостойкость. Для работы на приборе не требуется высокая квалификации поверителя.

Технические данные

- принцип действия .....индуктивный
- метод измерения.....перекладывание
- диапазон номинальных значений высот Н поверяемых угольников, мм 60–630
- дискретность отсчета, мкм 0,1
- диапазон показаний индикатора, мкм.....±100
- предел допускаемой погрешности, мкм.....±0,5
- габаритные размеры прибора, мм..... 1100×400×1100
-масса прибора, кг.....62

Метод перекладывания – это метод, при котором измеряемое отклонение поверяемого угла от 90° равно полуразности полученных на приборе показаний при измерении слева и справа в микрометрах.

При поверке наружного угла угольника для получения значения отклонения и знака необходимо пользоваться следующей формулой:

$$\delta = \frac{X_1 - X_2}{2} \quad \text{мкм}$$

где X_1 – показание, получаемое при прикладывании угольника в направлении I; X_2 – показание, получаемое при прикладывании угольника в

направлении II.

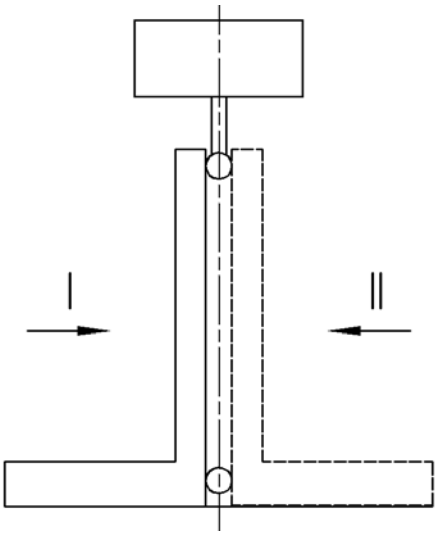


Рис. 27.88 – Схема измерения

27.10.3 Прибор для поверки индикаторов ППИ-50

Прибор ППИ-50 предназначен для поверки индикаторов часового типа, рычажно-зубчатых индикаторов, нутромеров, микрометрических головок.

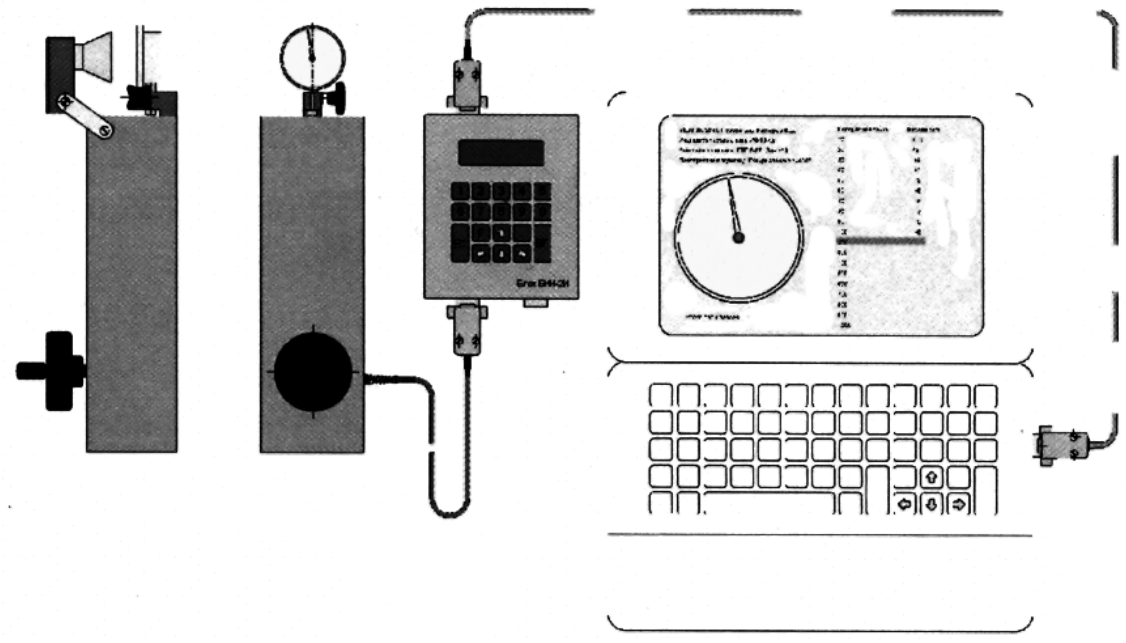


Рис. 27.89 – Схема прибора для поверки индикаторов ППИ-50

Технические характеристики

Диапазон измерений, мм……..……..0–50
Дискретность отсчета, мкм…….……..……1,0
Предел допускаемой погрешности, мкм, не более……...……..1,5
Принцип измерения …….оптоэлектронный

Прибор представляет собой компьютеризированное место поверителя и

состоит из поверительного устройства с WEB-камерой, электронного блока БИН-2, компьютера и оснастки.

WEB-камера передает в увеличенном виде изображение шкалы поверяемого индикатора на монитор компьютера.

Поверитель совмещает на мониторе стрелку индикатора с соответствующим штрихом шкалы согласно указаниям компьютера и вводит информацию в компьютер.

По результатам поверки выводится на печать протокол поверки и кривая погрешности поверяемого индикатора.

Применение прибора:

- повышает производительность поверки в 2–3 раза;
- снижает утомляемость поверителя;
- предотвращает субъективные ошибки, в том числе от параллакса;
- позволяет регистрировать результаты поверки.

27.10.4 Электронный уровень М-050

Электронный уровень М-050 изготовления ИМЦ "Микро" и поставляет компьютеризированные установки для поверки прямолинейности поверочных линеек и плит М-050-01, М-050-02, М-050-03 описанных в разделе 5.9 (рис. 5.9.31).

27.10.5 Экзаменатор М-055

Экзаменатор изготавливается ИМЦ "Микро" на базе электронного уровня М-050 и предназначен для поверки ампул, уровней брусковых, рамных и электронных. Экзаменатор описан в разделе 5.9 (рис.5.9.30).

Выводы

1. Проведенный анализ охватывает период до 2010 г. В разделе невозможно охватить все новшества в области линейно-угловых измерений. В обзор не вошли средства автоматизированного контроля, средства для контроля зубчатых колёс и сложно-режущего инструмента. Акцент сделан на средства измерения применяемые в единичном, мелкосерийном и серийном производствах.
2. В России, как в советское время, так и постсоветское приборостроительная и инструментальная промышленность в значительной мере отстаёт от западной, хотя на ряде фирм и предприятий просматриваются сдвиги к лучшему.
3. Для повышения качества продукции и конкурентоспособности продукции необходимо оснащать производство средствами измерения и контроля. Это ярко видно на примере автомобильной промышленности России.

Глава 28 Статистическое управление технологическими процессами

Статистическое управление процессами (Statistical Process Control – SPC) подразумевает контроль за состоянием процесса с помощью измерения отдельных параметров изготавливаемых изделий, в течение определенного времени. На основе измеренных значений рассчитываются различные статистические параметры (среднее значение, среднеквадратическое отклонение и т. д.), строятся диаграммы и карты контроля. По данным карт делаются выводы о состоянии технологического процесса.

Главной целью SPC является своевременное воздействие на технологический процесс с целью предотвращения бракованной продукции.

В прошлом изготовитель обычно полагался на производство для того, чтобы создать продукт, и на контроль конечного продукта, чтобы отбраковать изделия, не соответствующие требованиям.

Система SPC поддерживает стратегию предупреждения, в основе которой лежит идея о том, что процессом механической обработки можно управлять настолько, что бракованной продукции не должно быть.

Но система SPC не только позволяет предотвратить появление бракованной продукции, но и усовершенствовать процесс производства, сделать его более эффективным.

Основные особенности SPC:

– обработка данных и применение статистических методов для их интерпретации не замыкаются на себе. Общей целью должно быть углубление понимания сути собственных процессов. Возросшие знания о ходе процесса должны стать базой для действий по его усовершенствованию.

– основные понятия в изучении изменчивости и применении статистических сигналов для повышения эффективности могут быть применены к любой области производства.

– SPC существует для статистическою управления именно процессами. К сожалению, в нынешнем производстве статистические методы обычно применяются к изделиям, а не к процессам. Применение статистических приемов к управлению продукцией (такой как детали) должно быть только первым шагом. Пока процессы, которые производят продукцию, не станут приоритетом, полная мощность этих методов по улучшению качества, повышению производительности и снижению затрат не сможет быть реализована.

– для надлежащего анализа получаемых данных чрезвычайно важны измерительные системы. Когда такие системы выходят из состояния метрологической исправности или их изменчивость составляет существенную долю полной изменчивости данных о процессе, то это может привести к неправильным решениям.



Рис. 28.1 – Система сбора данных о технологическом процессе

Система сбора и обработки данных при статистическом контроле в общем виде приведена на рис. 28.1.

На каждом конкретном рабочем месте наблюдаемого технологического процесса установлен цифровой прибор для измерений параметров изготавливаемых деталей (штангенциркуль, микрометр, высотомер, нутромер, угломер, координатно-измерительная машина и т. д.). С установленной периодичностью результаты измерения наблюдаемого параметра детали (диаметр, длина, форма и т. д.) передаются через интерфейс или прямо на компьютер соответствующего уровня, где вычисляются соответствующие статистические характеристики процесса изготовления или обработки детали. Данные от персональных компьютеров передаются в общий банк данных предприятия, где они становятся доступными для анализа соответствующими службами (технологическая служба, служба качества и т. д.).

В процессе изготовления изделия на технологический процесс действует большое число различных факторов. Например, диаметр выточенного вала будет зависеть от станка (зазоры, износ подшипников), инструмента (стойкость, скорость износа), материала (диаметра заготовки, твёрдость), оператора (подача детали, точность центрирования), обслуживания (смазка, замена изношенных деталей, постоянство источника энергии) и окружающей среды (температура). Поэтому никакие две детали или две характеристики не могут быть абсолютно идентичны. Различия между изделиями могут быть большими, а могут быть и неизмеримо малыми, но они всегда присутствуют.

Хотя индивидуальные измеренные значения могут быть все различны, они образуют структуру, которая может быть охарактеризована распределением построенным по законам статистики.

Отдельное индивидуальное значение ничего не может сказать о состоянии процесса, так как невозможно определить какие причины вызвали

его отклонение от настроенного значения и повторятся ли они в дальнейшем. Однако распределение, построенное по достаточному количеству значений, может показать, в каком состоянии находится процесс и может ли он удовлетворять нашим требованиям.

Для статистического анализа реальной величины необходимо иметь численные характеристики распределения, в качестве которых обычно используют следующие: среднее значение выборки, среднеквадратичное отклонение результатов, размах и медиану (см. главу 2 часть 1).

Выборка – это небольшая группа последовательно измеренных значений наблюдаемого параметра.

На основе рассчитанных статистических характеристик строятся контрольные карты, по которым оценивается состояние технологического процесса.

Впервые механизм контрольных карт для управления технологическими процессами предложил доктор Уолтер Шухарт в 20-х годах XX века. С тех пор контрольные карты были успешно использованы в весьма разнообразных ситуациях управления процессами в США и в других странах, особенно в Японии. Опыт показал, что контрольные карты эффективно направляют внимание на причины изменчивости, когда они появляются, и показывают степень изменчивости, которая может быть снижена усовершенствованием системы или процесса.

Совершенствование процесса с помощью контрольных карт есть итерационная процедура, в которой повторяются основные фазы: сбор данных, управление и анализ.

Фаза 1 – сбор данных. Данные о характеристике (процесса или продукта) изучают и приводят к форме, в которой они могут быть нанесены на контрольную карту. Этими данными могут быть измеренные значения размера обработанной детали, число отверстий в виниловом сите, число бухгалтерских ошибок и т. д.

Фаза 2 – управление процессом. На основе данных рассчитывают пробные контрольные границы. Они изображаются на карте как направление для анализа. Контрольные границы не являются пределами допуска или целями, а основываются на естественной изменчивости процесса и выборочном схеме, то есть являются его характеристиками. У качественного процесса контрольные границы должны находиться внутри границ допуска.

Затем данные сравнивают с контрольными границами, чтобы узнать, постоянна ли изменчивость и имеются ли особые причины изменчивости. Если очевидно наличие особых причин, изучение процесса продолжается для определения этих причин. После принятия действий по их устранению собирают дополнительные данные, контрольные границы пересчитывают, если необходимо, и на некоторые дополнительные особые причины воздействуют снова.

Фаза 3 – анализ и совершенствование. После обращения ко всем особым причинам и приведения процесса в статистически управляемое состояние, контрольная карта продолжает вестись для наблюдения. Также

рассчитываются показатели эффективности процесса. Если изменчивость процесса чрезмерна, процесс не может производить продукт, который устойчиво соответствует требованиям потребителя. Процесс должен быть исследован и, как правило, должны быть предприняты действия для совершенствования самого процесса, чтобы он устойчиво удовлетворял требованиям. Пример контрольной карты приведен на рис. 28.2.

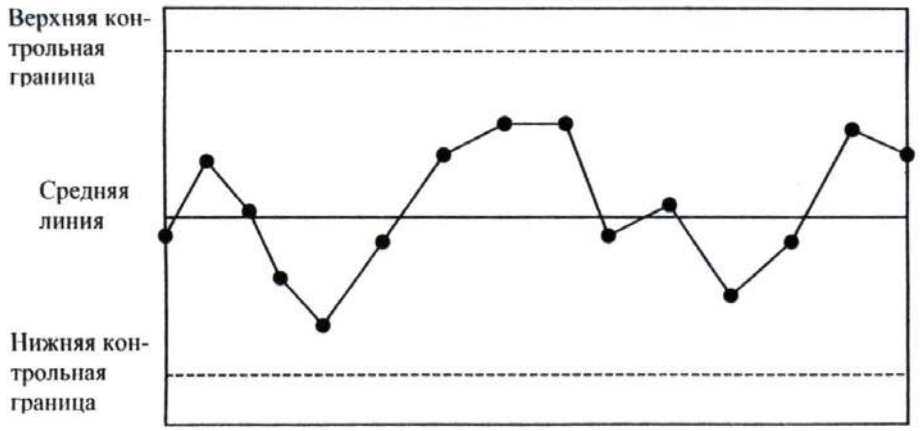


Рис. 28.2 – Контрольная карта

Контрольные карты могут объяснить, поведение процесса как по разбросу (изменение от единицы к единице), так и по положению (среднему процесса) благодаря этому контрольной карты по количественному признаку должны анализироваться попарно: одна карта для разброса и другая для положения. Наиболее часто используется пара карта средних значений и размахов. Используют также пары карт: средних и среднеквадратических отклонений; медиан и размахов, единичных значений и скользящих размахов.

Подробно механизм анализа контрольных карт см. ГОСТ Р 50779.40-96 «Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и ведение»; ГОСТ Р 5077942-99 «Статистические методы. Контрольные карты Шухарта».

Для сбора информации для дальнейшей обработки статистического управления технологическими процессами служат измерительные системы:

- координатные измерительные машины;
- измерительные роботы;
- автоматизированные системы ручного контроля;
- ручной измерительный инструмент.

Рабочим органом измерительных систем в большинстве случаев служит индуктивные измерительные преобразователи (датчики).

28.1 Индуктивные измерительные преобразователи

В индуктивных датчиках линейных и угловых перемещений механический сигнал преобразуется в изменение индуктивности электрической цени.

Индуктивность – это физическая величина, характеризующая магнитные свойства электрической цепи. В СИ индуктивность измеряется в

генри, обозначается Гн, 1 Гн = 1 В·с/А.

Ток, текущий в проводящем контуре, создает в окружающем пространстве магнитное поле. Магнитный поток *Ф,* пронизывающий контур, прямо пропорционален силе тока *I*, то есть $Ф = L \cdot I$. Коэффициент пропорциональности *L* и называется индуктивностью. Для создания большей индуктивности изолированный проводник свертывают в спираль (катушку индуктивности), которую заключают в магнитопровод из ферромагнитных материалов (электротехнической стали, карбонильного железа и т. д.).

Величина индуктивности пропорциональна геометрическим параметрам катушки, квадрату числа витков и магнитной проницаемости магнитопровода. Изменение индуктивности цепи в свою очередь меняет реактивное сопротивление катушки и величину тока текущего через контур:

$$R = Ra + i \cdot \omega \cdot L,$$

где *Ra* – активное сопротивление катушки; *R* – комплексное или полное сопротивление; ω – круговая частота тока; *L* – индуктивность; $i = \sqrt{-1}$.

Сопротивление, вызванное наличием индуктивности в катушке:

$$X_L = \omega \cdot L.$$

Ток в цепи вычисляется по формуле:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

а индуктивность равна $L = \frac{\mu_0 W^2 S}{Z}$.

В выше приведенных формулах *W* – количество витков в катушке; *S* – площадь магнитопровода; *Z* – зазор между частями магнитопровода; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, μ_0 = 1,257·10^6 В·с/(А м); X_C – сопротивление, вызванное наличием емкости в цепи переменного тока.

В индуктивных преобразователях изменение индуктивности в неподвижных частях преобразователя (катушке) вызывается перемещением подвижной части преобразователя (сердечника). Изменение тока, вызванное относительным перемещением катушки и магнитопровода, измеряется амперметром.

Обычно применяются следующие схемы индуктивных преобразователей:

– с переменном величиной номинального зазора магнитопровода I_3 (рис. 28.3, а),

– с переменном площадью $S_з$ номинального зазора магнитопровода (рис.28.3, б),

– соленоидного типа (рис. 28.3, в).

Индуктивные преобразователи могут быть одиночными (как на рис. 28.3, а, б, в) и дифференциальными (рис. 28.3, д).

Наибольшее распространение в электронных измерительных устройствах получили дифференциальные измерительные преобразователи соленоидного типа (рис. 28.4). В зависимости от схемы расположения и

подключения обмоток они выпускаются двух основных типов: дифференциально-трансформаторные и полумостовые.

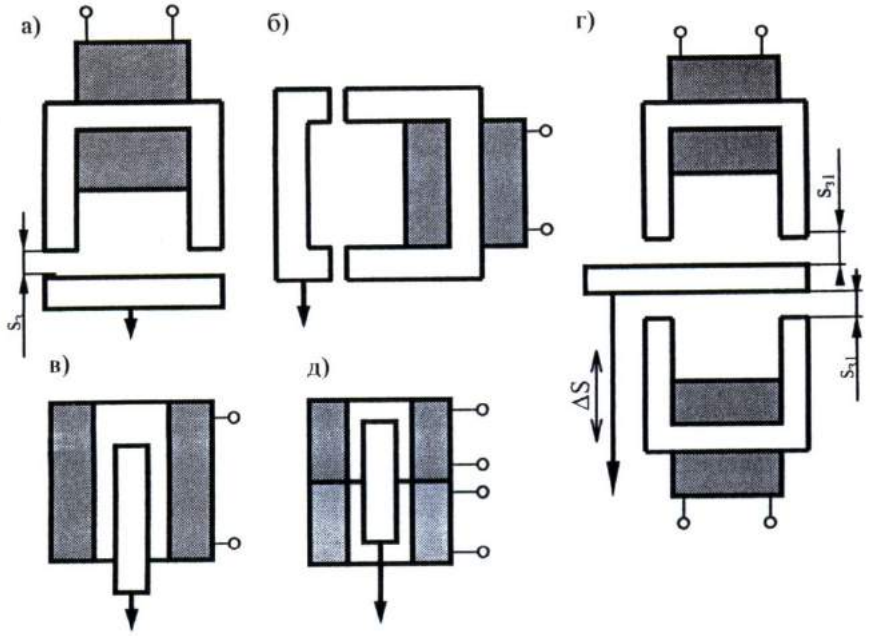


Рис. 28.3 – Схемы индуктивных преобразователей

Дифференциально-трансформаторные преобразователи (рис. 28.4, а) имеют первичную обмотку и две включенные навстречу друг другу вторичные обмотки.

При расположении якоря симметрично вторичным обмоткам, напряжения в них равны $V_a = V_b$ и суммарное напряжение на выводах вторичных обмоток равно нулю. При смещении якоря в каком-либо направлении, например, влево, напряжение на одной из вторичных обмоток возрастает, а на другой – уменьшается. Это приводит к возникновению на выводах вторичных обмоток напряжения (сигнала), равного $V_a - V_b$ и пропорционального смещению якоря от положения симметрии. Данный сигнал воспринимается электронным блоком прибора и преобразуется в форму, наиболее удобную для восприятия человеком или средствами вычислительной техники

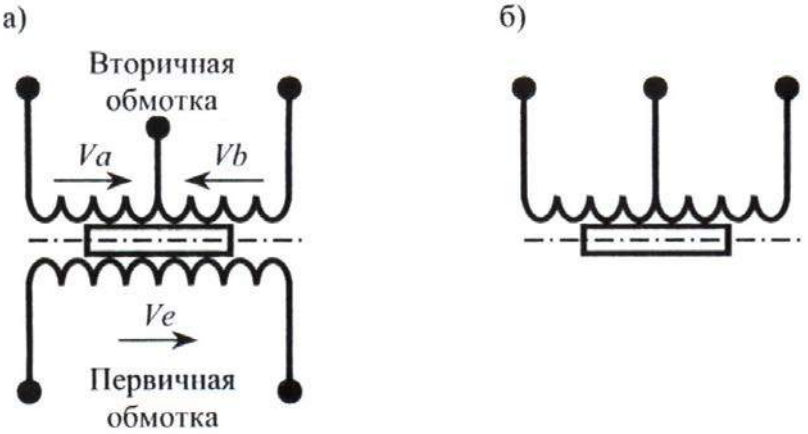


Рис. 28.4 – Электрические схемы преобразователей соленоидного типа

Полумостовые преобразователи (рис. 28.4, б) имеют две включенные навстречу друг другу обмотки, образующие половину индуктивного моста Вторая его половина образуется входным делителем электронного блока. При расположении якоря симметрично обмоткам мост сбалансирован и напряжение в его диагонали равно нулю. Смещение якоря вызывает пропорциональную разбалансировку моста. Сигнал дисбаланса преобразуется так же, как в предыдущем случае.

В мире выпускается и применяется большое количество типоразмеров индуктивных преобразователей. В России также производится широкая гамма индуктивных преобразователей и систем на их основе.

Преобразователь М-021 является наиболее точным, не имеющим в своей конструкции пар внешнего трения. Он позволяет выполнять измерения с точностью до 10 нанометров. Его допускаемая погрешность на всем диапазоне измерения не превышает 0,02 мкм

Преобразователь располагается в цилиндрическом корпусе диаметром Ø28h7. В корпусе на плоских пружинах перемещается измерительный стержень. На наружном конце стержня крепится измерительный наконечник, на внутреннем конце размещается якорь, который перемещается внутри катушки индуктивности. Преобразователь имеет регулируемое с помощью ползуна измерительное усилие.

Преобразователь М-026 имеет те же характеристики, что и М-021, но у него есть вакуумное аррегирование измерительного стержня для автоматизации измерений.

Индуктивные преобразовали М-022, М-023 и М-024 имеют одинаковую конструкцию (рис. 28.5). Индуктивный преобразователь состоит из корпуса *4* с присоединительным диаметром Ø8h7, в котором на шариковых направляющих *3* перемещается шток *2*, на конце которого крепится измерительный наконечник *1*. На другом конце штока крепится якорь *8*, который перемещается внутри катушек индуктивности. Направляющие защищены от внешнего воздействия специальной манжетой. Провода, идущие от катушек, имеют специальное закрепление в конце корпуса *7* и далее идут к показывающему прибору. Пружина *6*, создающая измерительное усилие отцентрирована, что исключает трение. Такая конструкция преобразователя снижает случайную составляющую погрешности и вариацию показаний до уровня меньше 0,1 мкм.

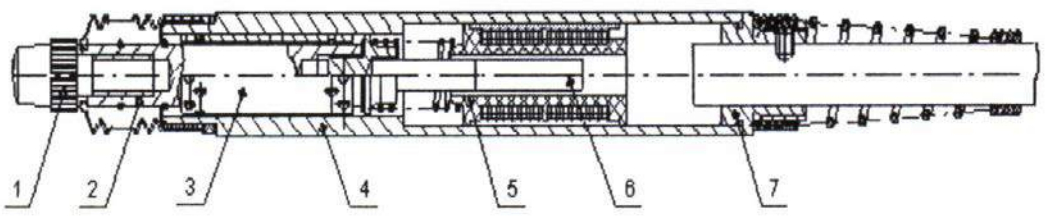


Рис. 28.5 – Индуктивный преобразователь соленоидного типа

Большинство схем измерения требуют отвода измерительного наконечника, например, для замены измеряемой детали. При использовании одного преобразователя эта операция может выполняться вручную. Однако

при необходимости одновременно управлять несколькими преобразователями, более целесообразно использовать преобразователи с пневматическим подводом или вакуумным отводом измерительного стержня. Измерительный стержень преобразователя с пневматическим подводом при отсутствии подачи воздуха постоянно находится в отведенном положении, под действием внутренней пружины. При подаче воздуха, измерительный стержень с наконечником выдвигается до контакта с измеряемым объектом. Измерительное усилие зависит от давления подаваемого воздуха и составляет около 100 сН при давлении 1,5 атмосфер. Измерительный стержень преобразователя с вакуумным аррегированием постоянно находится в измерительной позиции и отводится при включении вакуума около 0,6 атмосфер; измерительное усилие создается пружиной.

Индуктивные преобразователи М-022, М-023 и М-024 имеют три исполнения с механическим отводом измерительного стержня, с пневматическим подводом и вакуумным отводом.

Индуктивные преобразователи могут использоваться только вместе со вторичными устройствами. Вторичные устройства предназначены для преобразования сигнала индуктивного преобразователя в стандартную форму, удобную для восприятия оператором или передачи на управляющие и записывающие устройства. Как правило, они содержат блок питания преобразователя, демодулятор, усилитель и т. д. Могут также содержать аналоговый или цифровой показывающий прибор, а также порт связи с ЭВМ. Схема соединения преобразователя с вторичными устройствами показана на рис. 28.6.

На схеме (рис. 28.6) цифрами обозначены: *1* – измерительный наконечник, который соединен с сердечником и перемещается в шариковых направляющих; *2* – катушки, включенные по дифференциальной схеме; *3* – генератор высокой частоты (40 кГц); *4* – усилитель электрического сигнала; *5* – выпрямитель; *6* – внешний выход и вход; *7* – записывающий прибор (самописец); *8* – сумматор выходного и опорного сигнала; *9* – аналого-цифровой преобразователь; *10* – показывающий цифровой прибор

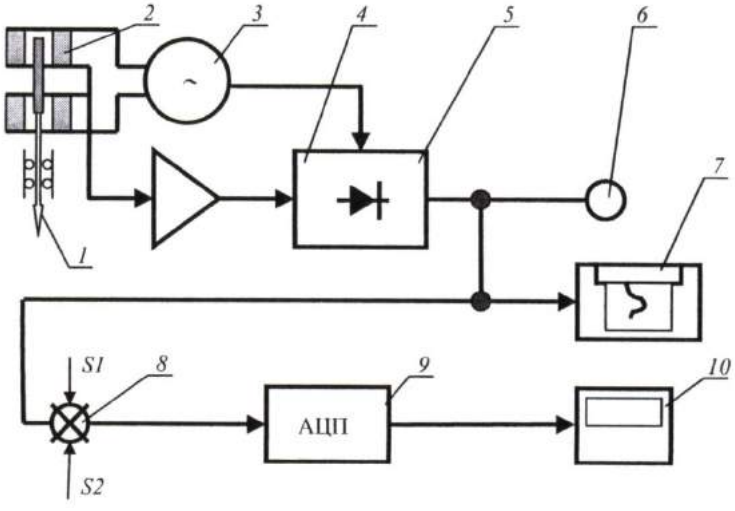


Рис. 28.6 – Схема индуктивного преобразователя с вторичными устройствами

Выше перечисленные индуктивные датчики применяются с электронным блоком БИН-2. Электронный блок БИН-2 (рис. 28.7) имеет два входа "А" и "Б" и позволяет подключать один или два любых преобразователя.

Блок БИН-2 имеет следующие функции:

- индикация показаний преобразователей;
- алгебраическое суммирование сигналов от двух преобразователей;
- обнуление показании в любой точке диапазона;
- фиксирование наибольших и наименьших значений при измерении формы и биений;
- динамические измерения с быстродействием 10 измерений в секунду;
- ввод поправочных коэффициентов с учетом схемы измерения;
- подключение к ЭВМ.

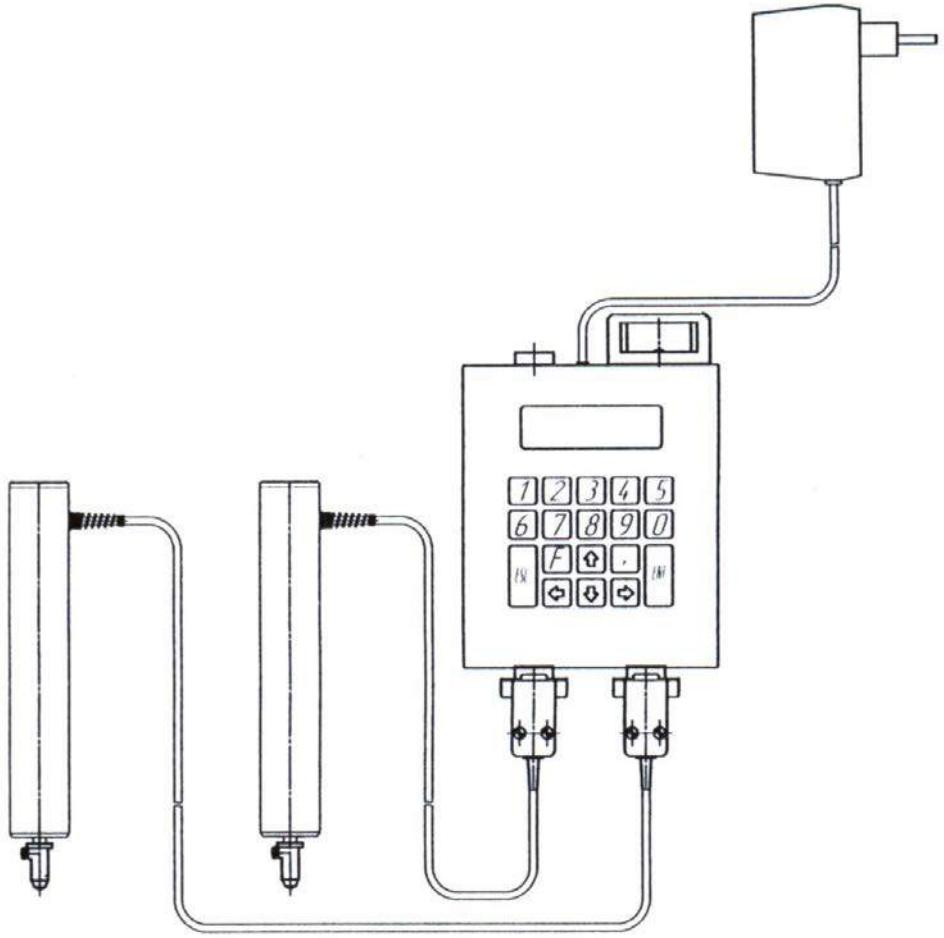


Рис. 28.7 – Блок БИ11-2 с датчиками М-021

Технические характеристики индуктивных измерительных преобразователей приведены в табл. 28.1.

Таблица 28.1

Характеристики индуктивных преобразователей

Характеристика	М-021		М-022		М-023		М-024		М-025		М-026	
Диапазон показаний, мм	±0,2		±1		±5		±2,5		±0,3		±0,2	
Диапазон измерений, мм	±0,2	±0,02	±1	±0,5	±5	±0,5	±2,5	±0,5	±0,3	±1,5	±0,2	±0,02
Дискретность отсчета, мкм	0,1	0,01	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	0,1		0,1	0,01
Предел допускаемой погрешности, мкм	±0,2	±0,05	±3,0	±1,0	±10,0	±2,0	±5,0	±1,5	±1,0	±0,5	±0,2	±0,05
Размах показаний, мкм, не более	0,3	0,05	3,0		3,0		3,0		0,3		0,3	0,05
Измерительное усилие сН, не более	От 0 до +120*		100		200		120		15	30	100	
Присоединительный диаметр, мм	28 или 27		8		8		8		8		28	

* измерительное усилие регулируемое

Индуктивный измерительный преобразователь М-025 бокового действия имеет оригинальную конструкцию (рис. 28.8).

Этот преобразователь имеет круглый корпус *1*, к которому с помощью хомутка *6* крепится измерительный наконечник *2*. Измерительный наконечник может поворачиваться на 180°. С помощью кнопки *5* можно менять измерительное усилие. Преобразователь крепится к штативу с помощью хвостовика *4*. Сигнал измерительной информации передается на электронный блок с помощью разъема *3*. Такие преобразователи могут комплектоваться измерительными наконечниками длиной 30 и 62 мм, что позволяет менять диапазон измерений. Преобразователи применяются для измерения в трудно доступных местах, например измерения биения в канавках. Он имеет малое измерительное усилие.

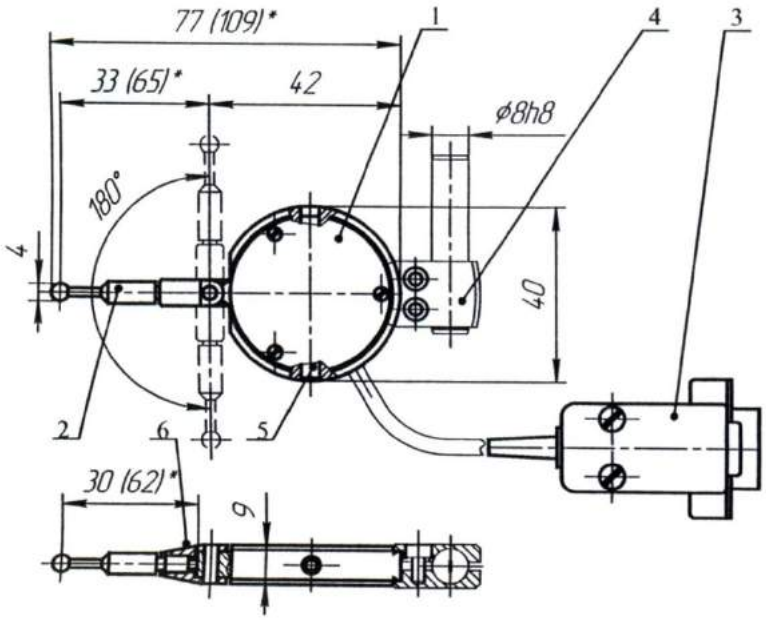


Рис. 28.8 – Индуктивный преобразователь бокового действия

Индуктивные преобразователи в сочетании с электронным блоком образуют индуктивную измерительную систему.

Индуктивные системы очень широко распространены, их применение позволяет решать многие метрологические задачи:

– проводить, точные измерения линейных размеров дифференциальным или абсолютным методом;

– выполнять измерения в трудно доступных местах;

– осуществлять многомерный контроль;

– осуществлять динамические измерения;

– обеспечивать статистическое управление технологическими процессами (SPC).

На рис. 28.9. показаны различные варианты применения измерительных систем с индуктивными датчиками.

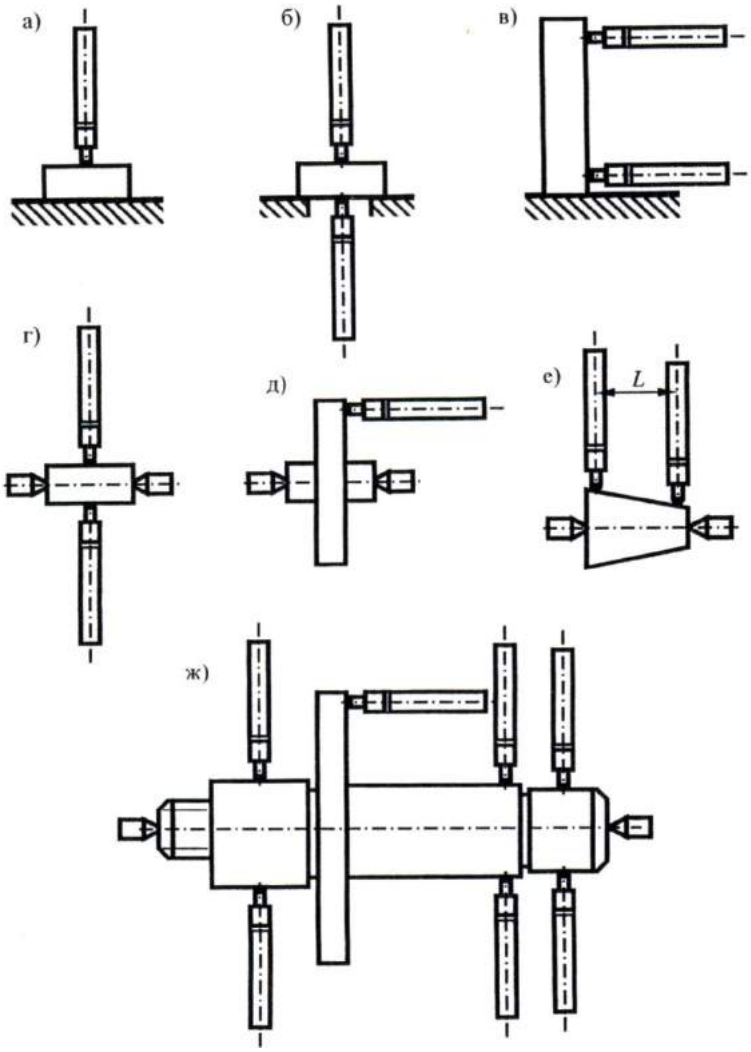


Рис. 28.9 – Схемы измерения индуктивными датчиками

На рис. 3l.9, а показано измерение высоты детали единичным преобразователем. Для всех вариантов прямого измерения цилиндрических или плоских деталей аналогично механическому индикатору. Применяется дифференциальная схема с настройкой по мере, или непосредственные измерения для тонких деталей.

На рис. 28.9, б показано измерение толщины детали. Толщина определяется как сумма показаний верхнего и нижнего преобразователей, не зависит от точности базирования и формы детали.

На рис. 28.9, в показано измерение отклонения от перпендикулярности. Независимо от горизонтального смещения детали отклонение от перпендикулярности равно разности показаний датчиков.

На рис. 28.9, г показано одновременное измерение диаметра, овальности и радиального биения. Диаметр равен сумме показаний датчиков, радиальное биение определяется по показаниям одного датчика, овальность, как разность максимального и минимального диаметра на полный оборот детали.

На рис. 28.9, д показано измерение торцевого биения. Торцевое биение измеряется единичным датчиком, аналогично механической измерительной головке.

На рис. 28.9, е показано измерение конусности. Конусность определяется как разность показаний датчиков, деленная на базовую длину L.

На рис. 28.9, ж показано комплексное измерение сложной детали. Несколько преобразователей используются для одновременного измерения ряда параметров: диаметров, биений, овальности. Сигналы преобразователей обрабатываются компьютером.

28.2 Примеры использования индуктивных измерительных преобразователей в измерительных системах

Применение приборов обработки результатов измерений разнообразно. Оно распространяется от простых измерений в цехах до сложных приложений с множеством контролируемых параметров на полностью автоматизированных производственных линиях.



Рис. 28.10 – Ручные электронные пробки

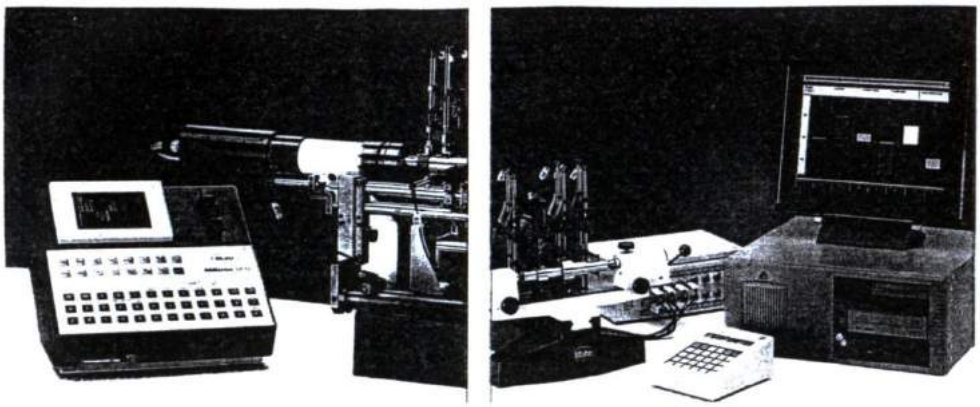


Рис. 28.11 – Многоканальные вычислители линейных измерений и на базе PC

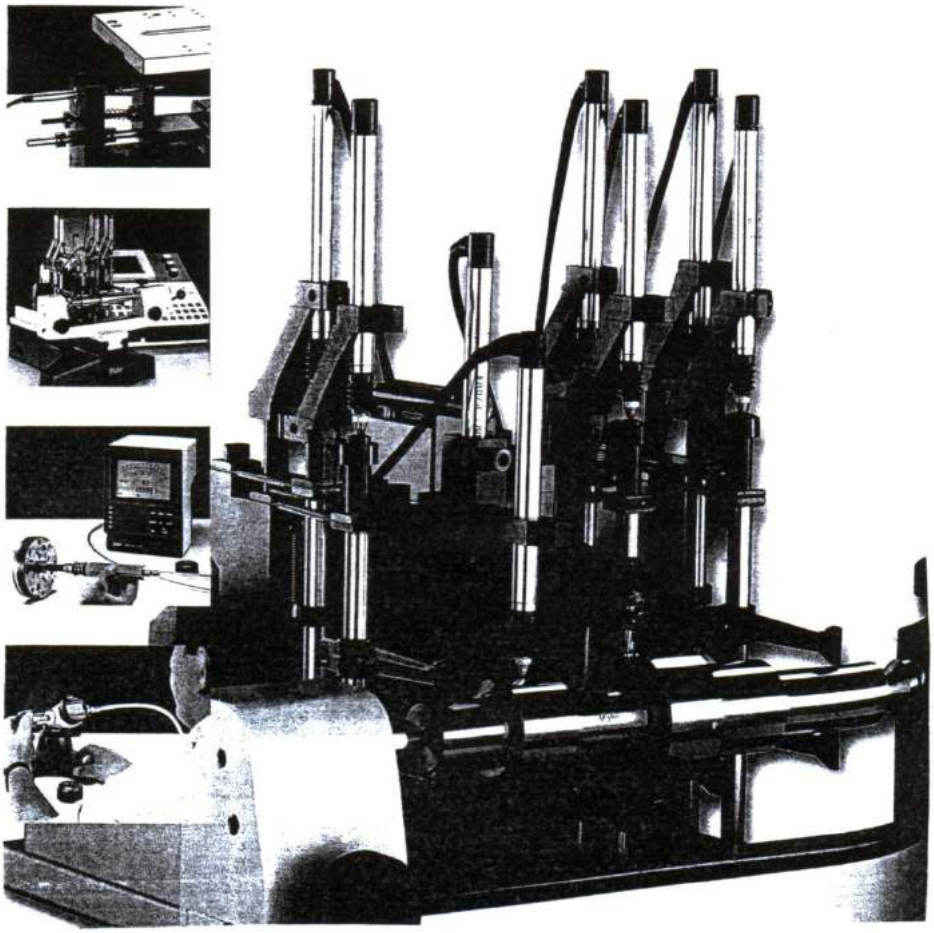


Рис. 28.12 – Комплексные измерительные устройства на базе контрольных приспособлений для обработки результатов измерений

Внедрение SPC означает существенное увеличение объёмов обмена информацией и создаёт предпосылки повышения информационной культуры, а также для оперативного планирования корректирующих действий по периодам смены инструмента, точности оснастки и диагностирования точности оборудования.