

## ЛЕКЦИЯ 4. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

**Средство измерений** – техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики.

В отличие от таких технических средств, как индикаторы, предназначенных для обнаружения физических свойств (компас, лакмусовая бумага, осветительная электрическая лампочка), средства измерений позволяют не только обнаружить физическую величину, но и измерить ее, т.е. сопоставить неизвестный размер с известным. Если физическая величина известного размера есть в наличии, то она непосредственно используется для сравнения (измерение плоского угла транспортиром, массы – с помощью весов с гирями). Если же физической величины известного размера в наличии нет, то сравнивается реакция (отклик) прибора на воздействие измеряемой величины с проявившейся ранее реакцией на воздействие той же величины, но известного размера (например, измерение силы тока амперметром).

Другими отличительными признаками средства измерений являются, во-первых, «умение» хранить (или воспроизводить) единицу физической величины; во-вторых, неизменность размера хранимой единицы. Если же размер единицы в процессе измерений изменяется более, чем установлено нормами, то с помощью такого средства невозможно получить результат с требуемой точностью.

В метрологии средства измерений принято классифицировать:

- по виду;
- принципу действия;
- метрологическому назначению.

По *виду* (см. рис. 4.1) средства измерений подразделяют на:

- меры;
- измерительные приборы;
- измерительные преобразователи;
- измерительные установки и системы.

**Мера** – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров. Различают меры *однозначные* (гиря 1 кг, калибр, конденсатор постоянной ёмкости); *многозначные* (масштабная линейка, конденсатор переменной ёмкости); *наборы мер* (набор гирь, набор калибров). Набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях, называется **магазином мер**. Примером такого набора может быть магазин электрических сопротивлений, магазин индуктивностей и т. д.

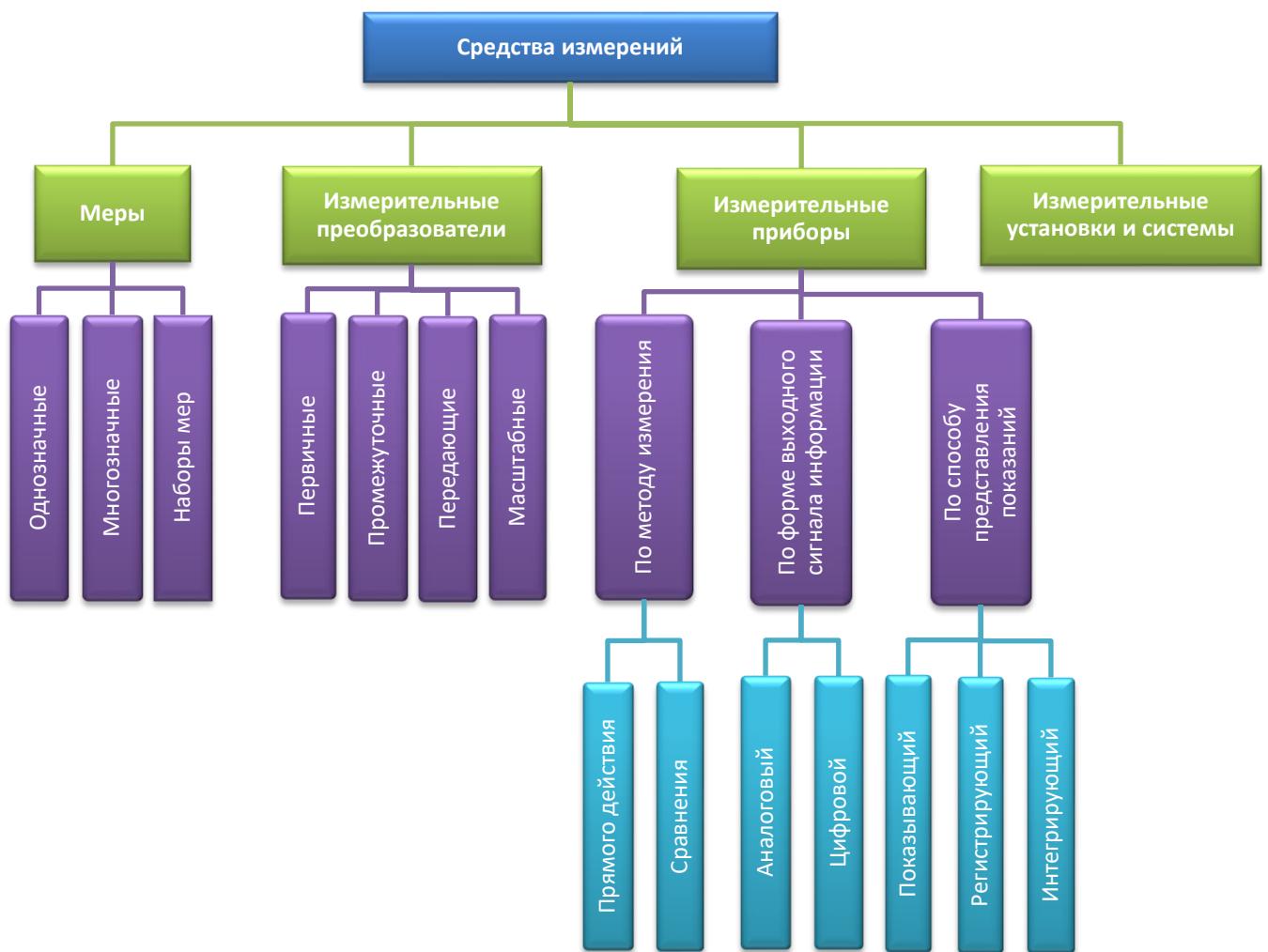
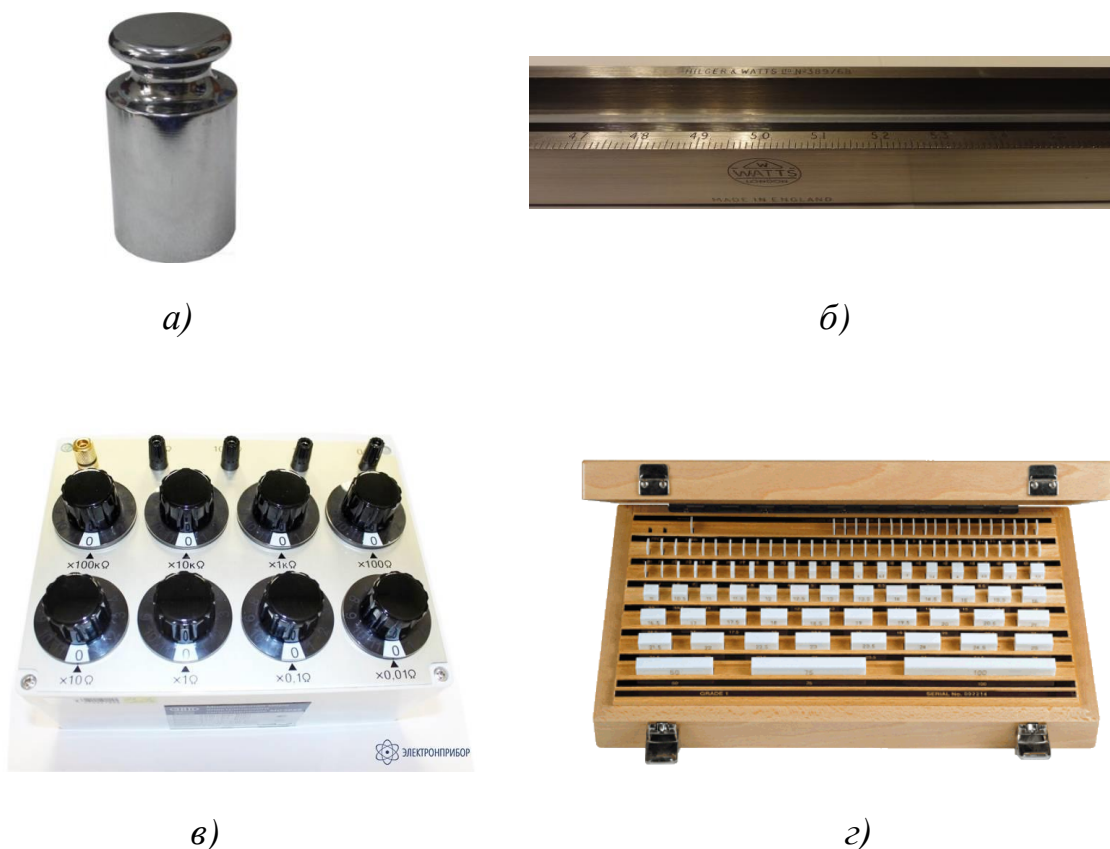


Рис. 4.1. Классификация средств измерений по виду

При изготовлении наборов или магазинов мер к выбору ряда значений предъявляют особые требования. При этом стремятся наиболее рационально, используя наименьшее число мер, обеспечить возможность получения числа сочетаний. Например, набор гирь строится по ряду 1; 2; 2; 5 (в каждом десятичном числовом разряде), что дает возможность воспроизвести все значения от 1 до 10. Такой ряд признан более рациональным, чем ряд 1; 2; 3; 4, содержащий гири четырех размеров вместо трех. Это имеет большее значение при массовом производстве. Кроме того, гири 2 и 3, а особенно 3 и 4 не очень заметно отличаются по размерам, что усложняет пользование ими.

К наборам плоскопараллельных концевых мер длины предъявляется другое требование: любое значение длины (в заданных пределах) должно воспроизводиться с помощью не более чем четырех-пяти мер. Так, набор из 87 концевых мер от 0,5 до 100 мм позволяет воспроизводить длину от 0,5 до 340 мм с интервалами 0,005; 0,01 и 0,1 мм, применяя не более четырех

концевых мер. Меры применяются как самостоятельные средства, так и в качестве элементов других средств измерений (приборов, преобразователей).



**Рис. 4.2. Меры:** а) однозначная - гиря; б) многозначная - штриховая мера длины; в) набор мер -магазин сопротивлений; г) набор плоскопараллельных мер длины.

**Измерительный прибор** – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Во многих случаях устройство для индикации имеет шкалу со стрелкой, диаграмму с пером или цифровой индикатор, с помощью которых могут быть произведены отсчет или регистрация значений физической величины. В случае сопряжения прибора с компьютером регистрация результата может производиться автоматически на носитель того или иного вида.

В зависимости от метода измерения различают измерительные приборы *прямого действия* (непосредственной оценки) и *сравнения*.

В измерительных приборах *прямого действия* результат измерения снимается непосредственно с его устройства индикации. Примерами таких приборов является амперметр, манометр, ртутно-стеклянный термометр. Измерительные приборы прямого действия предназначены для измерения методом непосредственной оценки.

В отличие от них, измерения методом сравнения с мерой проводят с помощью измерительных приборов *сравнения*, называемых также компара-

торами. Таким образом, измерительный прибор сравнения – измерительный прибор, предназначенный для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно. Примерами компараторов являются: двухчашечные весы, интерференционный компаратор мер длины, мост электрического сопротивления, электроизмерительный потенциометр. Компараторы для выполнения своих функций могут не хранить единицу. Такие компараторы, строго говоря, нельзя считать средствами измерений. Тем не менее, они должны обладать рядом важных метрологических свойств, прежде всего, обеспечивать небольшую случайную погрешность и высокую чувствительность измерений.

По форме выходного сигнала информации все приборы делятся на *аналоговые* и *цифровые*.

*Аналоговый* является измерительный прибор, показания которого являются непрерывной функцией измеряемой величины, например, стрелочный вольтметр.

*Цифровым* называется измерительный прибор, автоматически вырабатывающий дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме, например, цифровой омметр.

По способу представления показаний измерительные приборы делятся на *показывающие*, *регистрирующие* и *интегрирующие*.

*Показывающие приборы* (рис. 4.3) допускают только снятие мгновенных значений измеряемой физической величины. Указатель отсчетного устройства перемещается относительно шкалы и наблюдается визуально.

К показывающим измерительным приборам относят также приборы с цифровым отсчетом. Их отсчетное устройство выдает показания в цифровой форме. Показанное цифровым прибором число соответствует значению измеряемой величины.



**Рис. 4.3. Показывающие измерительные приборы**

*Регистрирующие* измерительные приборы (рис.4.4) содержат устройство регистрации показаний. Регистрирующий прибор, в котором предусмотрена запись показаний в форме диаграммы, называют самопишущим прибором.

Диаграмма представляет собой изображение измерений измеряемой величины в зависимости от изменений другой переменной величины. Запись производится на бумаге в виде движущейся ленты или диска, наложенного

на барабан. Способы записи, весьма разнообразны (чернилами, печать, нагретым стержнем на бумаге с восковым слоем и т. д).

Здесь следует отметить, что приборный парк регистрирующих приборов описанного выше типа постепенно вытесняется современными, более практичными измерительными приборами с цифровой регистрацией. Хранение информации об изменении измеряемой величины в приборах с цифровой регистрацией производится на внешних flash-дисках, микросхемах встроенной памяти и др.



Рис. 4.4. Регистрирующие измерительные приборы

*Интегрирующие* измерительные приборы (рис.4.5) обладают способностью интегрировать по времени (суммировать значение физической величины на заданном участке времени) или другой независимой переменной. Примерами интегрирующих приборов могут быть счетчики. Они позволяют определить значение измеряемой величины (расход вещества, электрическую мощность и т. п.) за любой промежуток времени как разность между конечным и начальным отсчетами.



Рис. 4.5. Интегрирующие измерительные приборы



**Измерительный преобразователь** – это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования обработки и (или) хранения, но не поддающийся непосредственному восприятию наблюдателем.

Принцип действия измерительных преобразователей основан на различных физических явлениях. Они преобразуют любые физические величины  $x$  (электрические, неэлектрические, магнитные) в выходной электрический сигнал  $Y = f(x)$ . Измерительные преобразователи могут быть составными частями измерительных приборов, установок и комплексов.

По месту, занимаемому в измерительной цепи, средства измерения, преобразователи подразделяются на *первичные*, *передающие* и *промежуточные*.

*Первичный* преобразователь, это такой измерительный преобразователь, на который непосредственно действует измеряемая величина. Физическая величина, в которую преобразует измеряемую величину первичный преобразователь, может быть подведена к измерительному механизму, может быть подана на другой преобразователь или использована, например, для целей телеизмерений. Примером первичного преобразователя может служить термопреобразователь сопротивления в цепи электрического термометра.

Конструктивно обособленный первичный измерительный преобразователь, от которого поступают сигналы измерительной информации, называется датчиком. Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от средства измерений, принимающего его сигналы. Например, датчики запущенного метеорологического радиозонда, передающие измерительную информацию о температуре, давлении, влажности и других параметрах атмосферы; индукционные датчики, установленные на газотурбинных двигателях и передающие информацию о частоте вращения роторов этого двигателя и т.д.

*Передающий* преобразователь – измерительный преобразователь, служащий для дистанционной передачи измерительной информации. Для этих преобразователей характерно назначение величины, образуемой на его «выходе». Если в общем случае для первичных измерительных преобразователей выходной сигнал может быть любой физической величины и диапазона, то выходной сигнал передающих преобразователей, как правило, унифицирован. Целью такой унификации является возможность сопряжения с большинством вторичных устройств любых производителей. Очевидно, что преобразователь может одновременно выполнять функции первичного и передающего.

*Промежуточный* преобразователь – преобразователь, занимающий в измерительной цепи место после первичного. Функцией промежуточных измерительных преобразователей является преобразование сигналов от первичных преобразователей (термометров сопротивления, токовых датчиков, др.) или параметров сигналов (действующих значений напряжения, частоты, периода, длительности и др.) в унифицированные сигналы постоянного тока или напряжения. Такие преобразователи еще носят название *нормирую-*

*щих*. Нормирующие измерительные преобразователи формируют сигнал тока или напряжения, который линейно зависит от измеренной величины. Они являются неотъемлемой частью современных измерительных комплексов.

Для изменения в определенное число раз значения одной из величин, действующих в измерительной цепи, без изменения ее физической природы используют *масштабные* преобразователи: делители напряжения, измерительные трансформаторы тока, измерительные усилители и т. п. Ярким примером масштабных измерительных преобразователей являются шунты, применяемые в амперметрах для уменьшения силы тока в определенное число раз.

Полезно также все измерительные преобразователи разделить на две группы: генераторные (энергетические) и параметрические. Первые характеризуются тем, что для осуществления преобразования не требуется постороннего источника энергии. Измерительный преобразователь её вырабатывает сам за счет воздействия преобразуемой величины. Параметрические же преобразователи должны быть возбуждены от постороннего источника энергии. Например, преобразователь в виде термопары для измерения температуры сам вырабатывает электрическую энергию, а термометр сопротивления может осуществлять преобразование температуры в сопротивление, только будучи включенным в измерительную схему, питаемую от стороннего источника электрического тока. На рис.4.6 представлены некоторые типы измерительных преобразователей.



**Рис. 4.6. Измерительные преобразователи**

**Измерительная установка** - это совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателя и расположенных в одном месте. В

качестве примера можно привести измерительные установки для измерений удельного сопротивления электротехнических материалов, для поверки средств измерения расхода и количества газа и др.

Измерительные установки в большинстве случаев обладают большей или меньшей универсальностью как в отношении номенклатуры измеряемых величин, так и в отношении диапазонов измерения. Они обычно используются в научных исследованиях, осуществляемых в различных лабораториях, при контроле качества и в метрологических службах для определения метрологических свойств средств измерений.



**Рис. 4.7. Измерительная установка для поверки средств измерения расхода и количества газа в Уральском региональном метрологическом центре**

**Измерительная система** – это совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, электронно-вычислительных машин и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого пространства в целях измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому пространству. Измерительные системы широко используются для автоматизации технологических процессов в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства и энергетики. Например, измерительная система параметров газокomppressorной станции позволяет получать информацию о ряде величин в разных компрессорных цехах; с помощью измерительной системы, состоящей из ряда функционально объединенных измерительных комплексов, размещенных в пространстве на значительные расстояния, осуществляют мониторинг изменений погоды; глобальные навигационные спутниковые систе-



мы ГЛОНАСС и GPS также обладают всеми признаками измерительной системы.

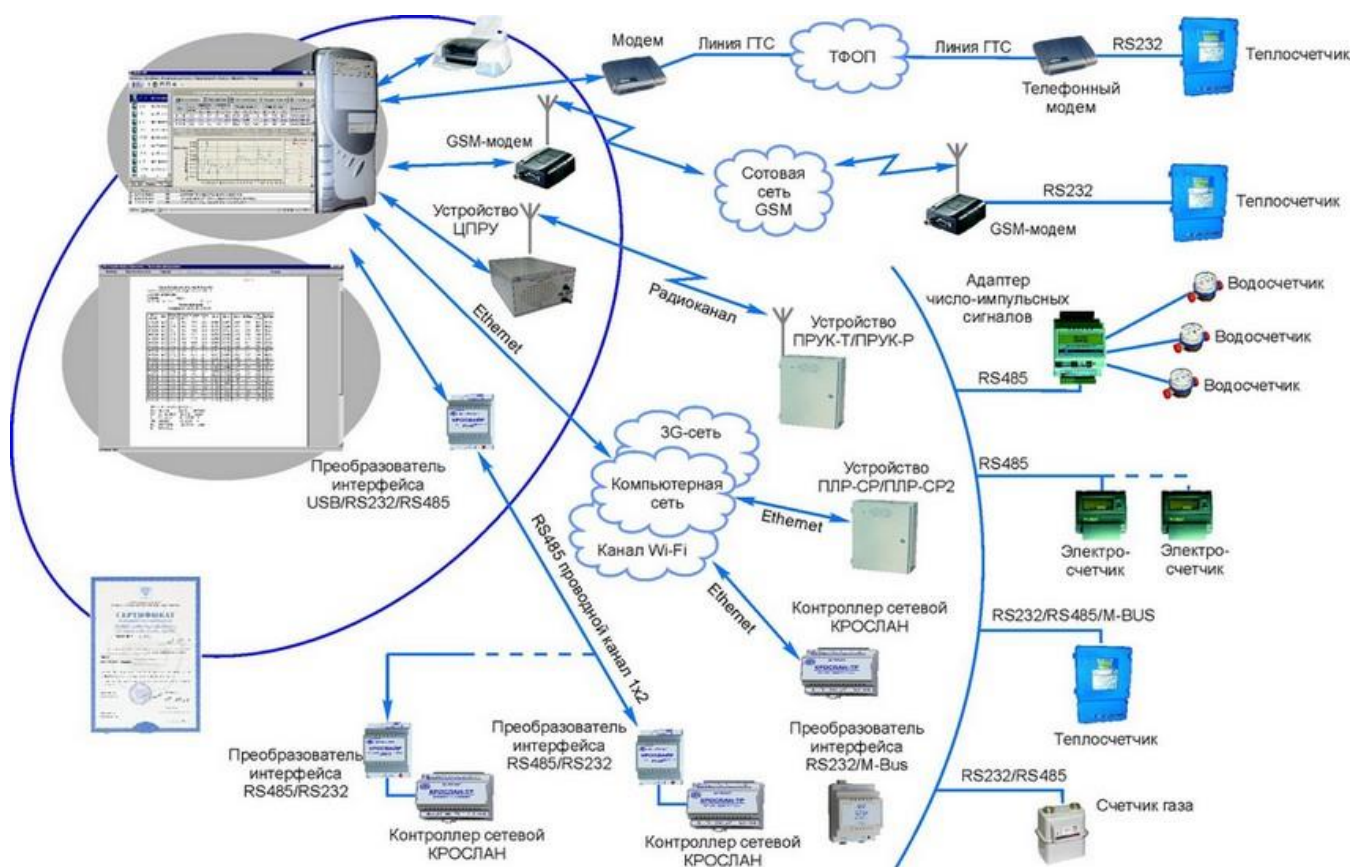


Рис. 4.8. Пример информационно-измерительной системы тепловой, электрической энергии, количества теплоносителя и холодной воды.

Кроме рассмотренной классификации средств измерений по виду существенной является классификация *по принципу действия*.

**Принципом действия** средства измерений называют физический принцип, положенный в основу построения средств измерений данного вида. Принцип действия обычно находит отражение в названии средства измерений, например: термоэлектрический термометр, деформационный манометр, электромагнитный расходомер и др.

В силу того, что для средств измерений различных величин классификация по принципу действия является специфичной, рекомендуется рассматривать ее при изучении устройства средств измерений, отдельно для каждой физической величины.

И наконец, существенной с позиции метрологии является классификация средств измерений по *метрологическому назначению*. В соответствии с

этой классификацией принято различать на **рабочие средства измерений** и **эталоны**.

**Рабочее средство измерений** – средство, применяемое для измерений, не связанных с передачей размера единиц. Рабочие средства измерений – это все громадное многообразие измерительных приборов, преобразователей, измерительных установок и систем, применяемых во всех областях деятельности человека.

**Эталон** - средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и хранения единицы физической величины (кратных либо дольных значений единицы этой величины) с целью передачи ее размера другим средствам измерений данной физической величины.

До недавнего времени вместе с термином «эталон» использовался термин *«образцовое средство измерений»* под которым понималось средство измерений, служащее для поверки по нему других средств измерений (как рабочих, так и образцовых меньшей точности). В настоящее время с целью упорядочения терминологии и приближения ее к международной в технической литературе термин «образцовое средство измерений» заменяют термином *«рабочий эталон»*.

Размер единицы передается «сверху вниз», от более точных средств измерений к менее точным «по цепочке»: первичный эталон – вторичный эталон – рабочий эталон 0-го разряда – рабочий эталон 1-го разряда – ... – рабочее средство измерений.

Передача размера осуществляется в процессе поверки средства измерений. Целью поверки является установление пригодности средства измерений к применению. Соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений, устанавливается в поверочных схемах средств измерений.



**Рис. 4.9. Рабочий эталон для измерения давления - грузопоршневой манометр МП-60 с установленным на него рабочим манометром.**