

## Раздел 3. Сведения из технической механики

### Тема 3.1 Меры, средства измерений

**Меры**, средства измерений, предназначенные для воспроизведения физических величин заданного размера. Наряду с простейшими мерами, такими, как меры массы (гири) или меры вместимости (мерные стаканы, цилиндры и т.д.), к мерам относятся и более сложные устройства, например нормальные элементы (меры электродвижущей силы), катушки электрического сопротивления, светоизмерительные лампы и пр. Меры подразделяются на однозначные (воспроизводящие физическую величину одного размера) и многозначные (обеспечивающие воспроизведение ряда величин различного размера, например нескольких длин). Примеры первых — гиря, измерительная колба, катушка индуктивности; примеры вторых — линейка со шкалой, конденсатор переменной ёмкости, вариометр индуктивности. Из мер могут составляться наборы (гирь, концевых мер длины и пр.) для ступенчатого воспроизведения ряда одноимённых величин в определённом диапазоне значений. Наборы мер электрических величин иногда снабжаются переключателями и образуют магазины (электрических сопротивлений, ёмкостей и др.).

**Под номинальным значением** мер понимается значение величины, указанное на мере или приписанное ей (гиря в 1 кг, катушка сопротивления в 1 Ом), под действительным значением меры — значение величины, фактически воспроизводимой мерой, определённое настолько точно, что его погрешностью можно пренебречь при использовании мер. Разность между номинальным и действительным значением меры приближённо равна погрешности мер. От меры требуется, чтобы они были стабильными во времени. В зависимости от уровня допускаемых погрешностей меры подразделяют на классы точности. Меры используют в качестве эталонов, образцовых или рабочих средств измерений. Образцовые меры получают значения от эталонов и применяются для поверки рабочих мер. Физические условия (температура, давление, влажность и др.), при которых погрешности мер не превышают допускаемых пределов, указываются в инструкциях по применению и поверке мер. Часто меры входят в комплект более сложных измерительных приборов или установок. Отдельную категорию мер составляют образцовые вещества — чистые или приготовленные по особой спецификации, обладающие известными и воспроизводимыми свойствами: чистая вода, чистые газы (водород, кислород), чистые металлы (цинк, серебро, золото, платина), бензойная кислота и др. К мерам относятся и получающие всё более широкое распространение стандартные образцы, обладающие определёнными физическими свойствами (например, образцы стали определённого состава, твёрдости и т.д.).

### **Поверка средств измерений**

**Поверка средств измерений**, определение погрешностей средств измерений и установление их пригодности к применению. Поверка производится органами метрологической службы при помощи эталонов и образцовых средств измерений. Обязательной государственной поверке подлежат средства измерений, применяемые для учёта материальных ценностей, государственных испытаний, экспертиз, регистрации национальных и международных рекордов в спорте, а также для поверки исходных образцовых средств измерений. Ведомственной поверке подлежат все остальные средства измерений.

Существуют следующие виды поверки: первичная, производимая при выпуске средств измерений в обращение из производства или ремонта; периодическая, выполняемая во время эксплуатации и хранения средств измерений; внеочередная, обусловленная необходимостью немедленного подтверждения исправности средств измерений;

инспекционная, производимая при метрологических ревизиях на предприятиях, базах снабжения, складах и в торговых организациях.

Поверка может осуществляться:

- непосредственным сличением поверяемого средства измерений с образцовым того же вида (т. е. меры с мерой или одного измерительного прибора с другим);
- сличением средств измерений одного и того же вида при помощи компаратора (например, гирь на весах);
- прямым измерением, поверяемым прибором величины, воспроизводимой образцовой мерой, прямым измерением образцовым прибором величины, воспроизводимой подлежащей поверке мерой;
- косвенным измерением величины, измеряемой подлежащим поверке средством измерений.

Возможна также независимая поверка, т. е. поверка средств измерений относительных (безразмерных) величин, не требующая передачи размеров единиц от эталонов.

Описание методов и технических приёмов поверки конкретных средств измерений содержится в соответствующих государственных стандартах или методических указаниях. Нередко методы поверки и соответствующие компарирующие приборы указываются в поверочных схемах, устанавливающих порядок и точность передачи единиц от эталонов образцовым, а от них — рабочим средствам измерений. При положительных результатах поверки на средство измерений налагается поверительное клеймо и в необходимых случаях выдаётся свидетельство о поверке.

### **Тема 3.2 Контрольно-измерительные средства, приборы и инструменты**

#### **Контрольно-измерительные средства**

В технике, обобщённое название группы средств, применяемых для измерения и контроля линейных и угловых размеров деталей и готовых изделий. Технические средства с нормированными метрологическими параметрами или свойствами, предназначенные для нахождения значения физической величины опытным путём, принято называть средствами измерения (измерительными). Если же при определении значения физической величины опытным путём необходимо установить, находится ли размер в пределах нормируемых допускаемых значений, то такие средства называются контрольными. Все применяемые для измерения приборы, на которых можно отсчитать значение размера, могут использоваться также для контроля.

Условно **контрольно-измерительные средства** разделяются на измерительные инструменты и измерительные приборы.

#### **Измерительный прибор**

- средство измерений, дающее возможность непосредственно отсчитывать значения измеряемой величины. В аналоговых **измерительных приборах** отсчитывание производится по шкале, в цифровых - по цифровому отсчётному устройству. Показывающие **измерительные приборы** предназначены только для визуального отсчитывания показаний, регистрирующие **измерительные приборы** снабжены устройством для их фиксации, чаще всего на бумаге. Регистрирующие **измерительные приборы** подразделяются на самопишущие, позволяющие получать запись показаний в виде диаграммы, и печатающие, обеспечивающие печатание показаний в цифровой форме. В **измерительных приборах** прямого действия (например, манометре, амперметре) осуществляется одно или несколько преобразований измеряемой величины и значение её находится без сравнения с известной одноимённой величиной. В **измерительных приборах** сравнения непосредственно сравнивается измеряемая величина с одноимённой величиной, воспроизводимой мерой (примеры - равноплечные

весы, электроизмерительный потенциометр, компаратор для линейных мер). К разновидностям **измерительных приборов** относятся интегрирующие **измерительные приборы**, в которых подводимая величина подвергается интегрированию по времени или по другой независимой переменной (электрические счётчики, газовые счётчики), и суммирующие **измерительные приборы**, дающие значение двух или нескольких величин, подводимых по различным каналам (ваттметр, суммирующий мощности нескольких электрических генераторов). В целях автоматизации управления технологическими процессами **измерительные приборы** часто снабжаются дополнительными регулирующими, счётно-решающими и управляющими устройствами, действующими по задаваемым программам.

### **Вольтметр**

- прибор, предназначенный для измерения постоянного и/или переменного электрического напряжения. **Вольтметр** подключается параллельно к участку цепи, на концах которой измеряется напряжение. Основную часть **вольтметра** составляет гальванометр. К гальванометру последовательно присоединяется добавочное сопротивление, величина которого зависит от сопротивления гальванометра и цены деления **вольтметра**.

### **Амперметр**

- прибор для измерений силы постоянного и переменного тока в амперах (А). Шкалу **амперметра** градуируют в килоамперах, миллиамперах или микроамперах в соответствии с пределами измерения прибора. В электрическую цепь **амперметр** включается последовательно; для увеличения предела измерений - с шунтом или через трансформатор. Под действием тока подвижная часть прибора поворачивается; угол поворота связанной с ней стрелки пропорционален силе тока. Существуют **амперметры**, в которых применены магнитоэлектрическая, электромагнитная, электродинамическая (ферромагнитная), термоэлектрическая и выпрямительная системы.

### **Манометр**

- прибор для измерений давления жидкостей и газов. Различают **манометр** для измерений абсолютного давления, отсчитываемого от нуля (полного вакуума); **манометр** для измерений избыточного давления, то есть разности между абсолютным и атмосферным давлением, когда абсолютное давление больше атмосферного; дифманометры для измерений разности двух давлений, каждое из которых, как правило, отличается от атмосферного. Для измерений давления, соответствующего атмосферному, применяют барометры, для измерений давления разреженных газов - вакуумметры (главным образом в вакуумной технике).

### **Термометр**

- прибор для измерения температуры воздуха, почвы, воды и т.д. при тепловом контакте между объектом измерений и чувствительным элементом **термометра**. **Термометры** применяются в метеорологии, гидрологии и других науках и отраслях хозяйства.

### **Электрический счетчик**

- прибор, предназначенный для измерения электроэнергии, отдаваемой в сеть или потребляемой от сети за определенный промежуток времени.

### **Счетчик Гейгера-Мюллера**

- газовый счетчик, применяемый для обнаружения и исследования радиоактивных и других ионизирующих излучений. **Счетчик Гейгера-Мюллера** представляет собой газоразрядный промежуток с сильно неоднородным электрическим полем. Для

регистрации ионизирующих частиц к электродам счетчика прикладывается высокое напряжение. Заряженная частица, попав в рабочий объем, ионизирует газ, и в счетчике возникает коронный разряд

**Нутромер**, измерительное средство для определения внутренних линейных размеров (отверстий, пазов и т.п.), устанавливаемое при измерениях на детали (или вводимое в деталь). Измерения производят, как правило, двумя сферическими наконечниками, расположенными под углом  $180^\circ$ . Большинство нутромеров имеет устройства для установки (центрирования) линии измерения в направлении контролируемого размера, а также дополнительные механизмы для передачи перемещений от измерительных наконечников на отсчётное устройство. Строгой классификации нутромеров нет. Чаще всего нутромеру присваивают название по какому-либо отличительному признаку: по конструкции — цанговые, шариковые и т.п., по типу отсчётного устройства — индикаторные и др., по виду контакта с измеряемой поверхностью, например кромочные, и т.д.

Для более точных измерений используют **микрометрические нутромеры** (рис. 1) со сменными удлинителями с пределами измерений от 50 до 2500 мм (5 типоразмеров). Такие нутромеры для определения диаметров от 1250 до 10 000 мм (3 типоразмера) имеют дополнительно индикаторы часового типа.

Для отверстий относительно небольших размеров обычно применяют нутромеры, имеющие различные передаточные механизмы (от наконечников к отсчётному устройству) — конусные, рычажные, клиновые. Для отверстий малых диаметров предназначаются нутромеры с конусными передачами: кромочные (размер от 0,2 мм определяют по шкале с нониусом или по стрелочной отсчётной головке); цанговые (известны Н. от 0,95 мм), шариковые (от 3 до 18 мм) 3 типоразмеров и др.

**Индикаторные нутромеры** (рис. 2) выпускаются обычно с рычажными и клиновыми передачами. Такие нутромеры с рычажной передачей имеют предел измерений 3—1000 мм (10 типоразмеров), с клиновой (более точные) — 18—50 мм.

Большинство нутромеров имеет две точки контакта с измеряемой поверхностью (двухконтактная схема измерения). Исключение составляют т.н. пассиметры — нутромеры с трёхконтактной схемой, которые имеют 2 неподвижных и 1 подвижный наконечники; пределы измерений 19—120 мм. Предварительная настройка таких нутромеров производится по установочным кольцам.

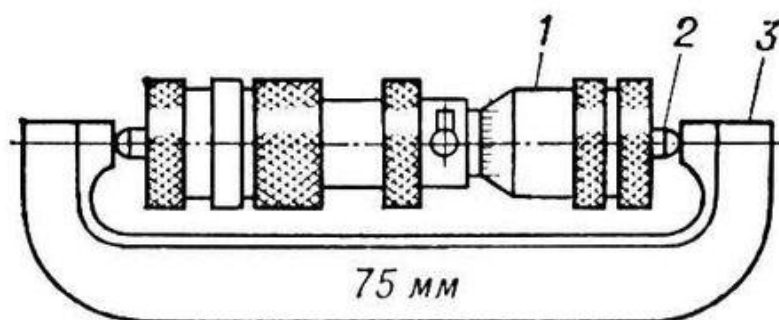
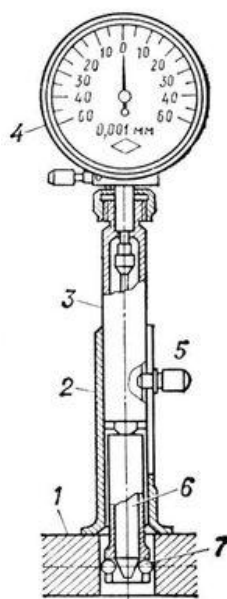


Рис. 1. Микрометрический нутромер:

1 — микрометрическая головка; 2 — измерительный наконечник; 3 — установочная скоба.



**Рис. 2. Шариковый индикаторный нутромер для измерения малых отверстий:**  
**1 — деталь; 2 — упор; 3 — измерительная вставка; 4 — отсчётное устройство; 5 —**  
**закрепительный винт; 6 — игла; 7 — измерительный шарик.**

#### **Погрешности измерений и средств измерений**

**Погрешности измерений**, ошибки измерений, отклонения результатов измерений от истинных значений измеряемых величин. **Различают систематические, случайные и грубые** погрешности измерений (последний вид погрешности измерений часто называют промахами). Систематические погрешности измерений обусловлены главным образом погрешностями средств измерений и несовершенством методов измерений, случайные — рядом неконтролируемых обстоятельств (незначительными изменениями условий измерений и т. и.); промахи — неисправностью средств измерений, неправильным отсчитыванием показаний, резкими изменениями условий измерений и т.д. При обработке результатов измерений промахи обычно отбрасывают; влияние систематических погрешностей стремятся уменьшить внесением поправок или умножением показаний приборов на поправочные множители; оценки случайных погрешности измерений осуществляют методами математической статистики.

**Погрешности средств измерений**, отклонения метрологических свойств или параметров средств измерений от номинальных, влияющие на погрешности результатов измерений, получаемых при помощи этих средств. Составляющие этих погрешностей, зависящие от погрешности средств измерений, называются инструментальными погрешностями (инструментальными ошибками). Погрешности средств измерений выражают в форме абсолютных, относительных или приведённых погрешностей (т. е. соответственно в единицах измеряемой величины, в долях или процентах от неё либо в процентах от верхнего предела измерений, диапазона измерений или длины шкалы).

Погрешности средств измерений, имеющие место при нормальных условиях применения средств измерений, называют основными; погрешности, вызванные отклонением значений влияющих величин (температуры, частоты электрического тока и т.п.) от принятых за нормальные, — дополнительными. Для каждого типа средств измерений устанавливаются пределы допускаемых погрешностей, определяющие классы точности средств измерений. При измерениях постоянных величин, когда используются установившиеся показания средств измерений, на результаты влияют только статические погрешности средств измерений. При измерениях изменяющихся величин к статическим

добавляются динамические погрешности средств измерений и общая погрешность возрастает.

**По своему характеру погрешности средств измерений бывают систематические, т. е. сохраняющиеся постоянными или закономерно изменяющиеся, и случайные, т. е. изменяющиеся случайным образом.** Так, неправильно нанесённые отметки на шкале прибора или неточная подгонка мер (например, гирь) вызывают систематические погрешности; трение подвижных частей прибора — случайные. Систематические погрешности средств измерений можно исключать введением поправок или умножением показаний на поправочные множители.

### **Зубоизмерительные приборы**

**Зубоизмерительные приборы**, средства измерения зубчатых передач. К этой группе иногда относят средства измерения зуборезного инструмента и средства, устанавливаемые на зубообрабатывающих станках.

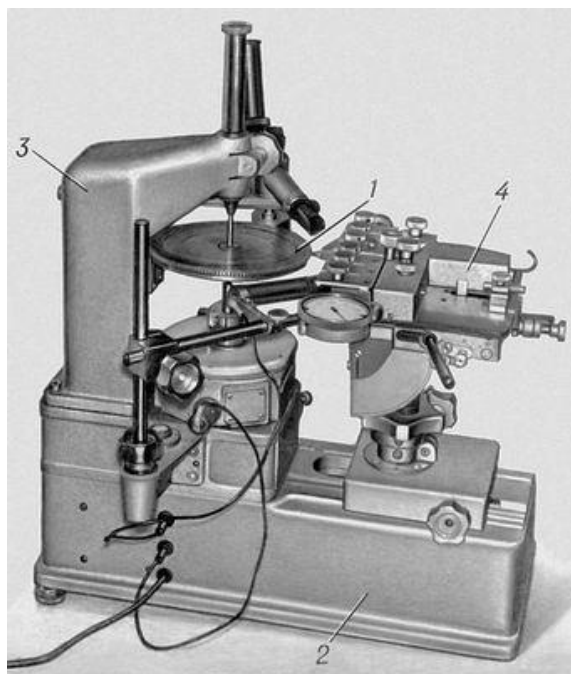
З. п. измеряют цилиндрические колёса (прямозубые и косозубые, с наружным и внутренним зацеплением), конические колёса, червяки и червячные фрезы. Особую группу составляют З. п. для мелко-модульных колёс (с модулем менее 1 мм). Приборы, служащие для контроля цилиндрических колёс внешнего зацепления, часто снабжаются приспособлениями для контроля др. колёс или элементов зацепления, зуборезного инструмента и т.д. З. п. можно выявлять определённые эксплуатационные свойства колёс: кинематическую точность, плавность работы, полноту контакта и боковой зазор. Универсальными приборами можно проверять несколько параметров колеса (*рис. 1*) или один параметр в определённом диапазоне размеров без специальных настроечных приспособлений (например, универсальный эвольвентомер).

З. п. могут быть станковыми (см. *рис. 1*), когда контролируемое колесо устанавливается на прибор; накладными (*рис. 2*), когда прибор накладывают при измерении на колесо: приставными, когда устанавливают колесо и прибор от одной базы на контрольной плите или на станке. Наиболее распространённые станковые приборы бывают 4 типоразмеров, определяемых диаметром делительной окружности контролируемых зубчатых колёс: 5—120; 20—320; 200—800; 500—1250 мм. З. п. используют для приёмочного (окончательного) и технологического контроля. При приёмочном контроле З. п. оценивают параметры, характеризующие точность зубчатого колеса как элемента будущей передачи. Такие приборы служат для комплексного метода контроля, при котором выявляются погрешности комплекса взаимосвязанных элементов колеса, например при зацеплении его с измерительным колесом, погрешностью которого пренебрегают. При технологическом контроле З. п. определяют отдельные параметры зубчатых колёс (шаг, профиль и т.д.), однозначно связанные с каким-либо элементом технологического процесса обработки (например, инструмента, станка и т.д.). В практике приборы для технологического контроля часто используются и в качестве приёмочных.

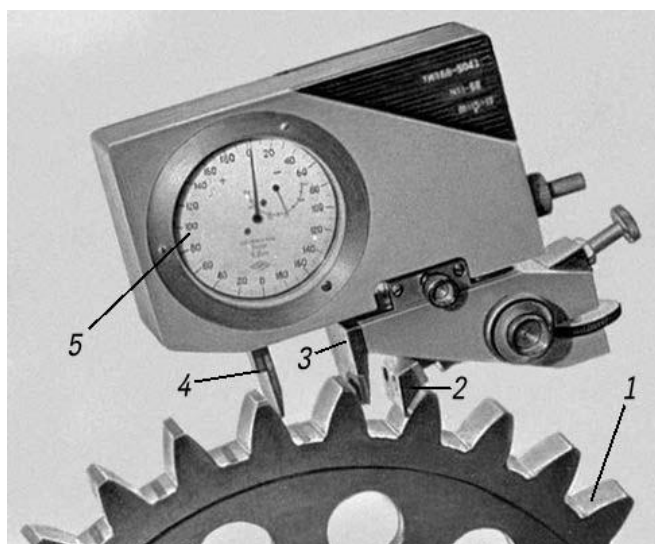
З. п. для цилиндрических колёс с модулем более 1 мм предназначены для контроля следующих показателей:

- кинематической погрешности, накопленной погрешности и разности окружных шагов; радиального биения зубчатого венца (биениемер);
- межцентрового расстояния (межцентромер);
- волнистости поверхности (волномер);
- шага зацепления (шагомер);
- формы и расположения контактной линии (контактомер);
- направления зуба (ходомер); профиля (эвольвентомер), толщины зуба (зубомер), длины общей нормали (нормалемер);
- положения исходного контура.

Разнообразие 3. п. объясняется сложностью геометрической формы зубчатых колёс, многообразием способов их обработки, а также возможностью выявлять одни и те же эксплуатационные свойства колеса контролем разных его параметров. Конкретные параметры, которые необходимо проверять, устанавливаются заводскими или отраслевыми техническими документами на изготовление зубчатых передач, а также рекомендациями по стандартизации РС 373—65 «Приборы для контроля цилиндрических зубчатых колёс».



**Рис. 1. Отечественный универсальный зубоизмерительный прибор для контроля зубчатых колёс с модулем зацепления  $m=0,3—1,25$  мм, диаметром 10—160 мм:**  
1 — контролируемое колесо; 2 — корпус; 3 — кронштейн с установочными центрами; 4 — измерительное устройство.



**Рис. 2. Отечественный накладной шагомер для контроля шага зацепления цилиндрических зубчатых колёс с модулем зацепления  $m=1,5—10$  мм:**  
1 — контролируемое колесо; 2, 3 и 4 — измерительные наконечники; 5 — двухстороннее отсчётное устройство

## Резьбоизмерительные инструменты

**Резьбоизмерительные инструменты**, резьбоизмерительные приборы, средства измерения и контроля резьбы. Различают Р. и. для комплексного контроля и для измерения отдельных параметров; наружной и внутренней резьб; цилиндрической и конической резьб; ходовых винтов и т. п. Наибольшим разнообразием отличаются Р. и. для измерения наружных резьб. Внутренние резьбы обычно измеряют по слепкам.

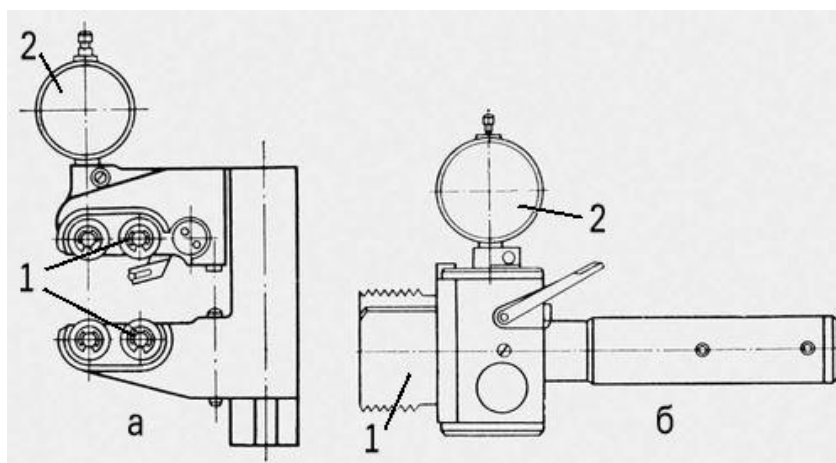
К средствам комплексного контроля, используемым при приёмке готовых деталей, относятся проходные и непроходные калибры, с помощью которых определяют, находятся ли в допускаемых пределах размеры сопрягаемых винтовых поверхностей (болт и гайка) на длине свинчивания. Проходным калибром, который должен при проверке свинчиваться, контролируют т. н. приведённый средний диаметр (искусственно созданный контрольный параметр), обеспечивающий сопряжение резьбового соединения. Для комплексного контроля пользуются также индикаторными Р. и. с резьбовыми измерительными элементами (*рис. 1*).

Р. и., предназначенные для измерения отдельных параметров наружной резьбы — среднего диаметра, профиля и шага, используют при определении точности технологического процесса или для оценки эксплуатационных свойств специальных точных резьбовых деталей (ходовых винтов, винтов микрометров, резьбовых калибров и т. п.). Для измерения среднего диаметра применяют микрометры со вставками, имеющими резьбовой профиль. Один из способов определения среднего диаметра точной резьбы — измерение с помощью проволочек (роликов), которые закладывают между витками резьбы и каким-либо измерительным средством — оптиметром, микрометром и др. Определяют размер по высоте, на которую выступают проволочки над наружным диаметром резьбы. Пользуются также специальными приспособлениями с тремя, двумя или одной проволочкой, а при измерении среднего диаметра внутренней резьбы — нутромерами специальной конструкции или приборами со сменными сферическими наконечниками.

Измерение профиля резьбы в деталях с относительно крупным шагом (ходовые винты, червяки) производят приборами, измерительный узел которых разворачивается на угол профиля резьбы, и наконечник перемещается вдоль её боковой поверхности. Иногда для этой цели пользуются угломерами специальной конструкции. Шаг резьбы обычно определяют в осевом сечении на инструментальных и универсальных микроскопах и проекторах.

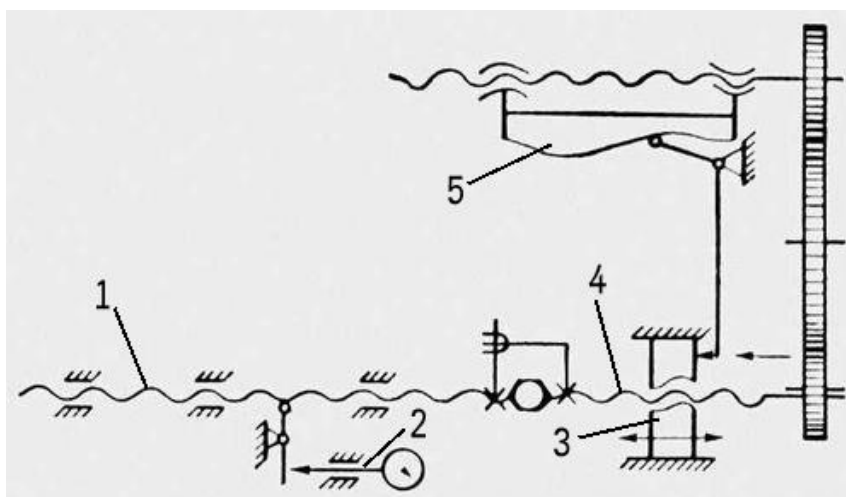
Для контроля точных резьбовых деталей (например, ходовых винтов) служат приборы, обеспечивающие непрерывное измерение шага винтовой линии при вращении детали. Измерение осуществляют методом сравнения реальной винтовой линии с теоретической винтовой линией, воспроизводимой на приборе с помощью образцового винта (*рис. 2*), или импульсных линейных и угловых датчиков, выдающих импульсы с частотой, пропорциональной линейным перемещениям винтовой поверхности за определённый угол поворота. При использовании импульсных датчиков обработку данных производят на ЭВМ, являющихся частью прибора.





**Рис. 1. Схемы индикаторных приборов для измерения наружной (а) и внутренней (б) резьб:**

1 — резьбовые измерительные элементы; 2 — отсчетное устройство.



**Рис. 2. Прибор для измерения резьбы ходовых винтов методом сравнения с образцовым винтом:**

1 - измеряемый винт; 2 - отсчетное или регистрирующее устройство; 3 - коррекционная линейка образцового винта; 4 - образцовый винт; 5 - гайка образцового винта