

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение высшего профессионально-
го образования «Нижегородский государственный архитектурно-
строительный университет»

**Метрология, стандартизация и подтверждение
соответствия в строительстве**

Часть I

Метрология

Учебное пособие

Нижегород - 2010

ББК 30.10

И 85

Рецензенты:

Баканов Евгений Геннадьевич – главный инженер ЗАО «78 Дервообрабатывающий комбинат - Н.М.»

Малышев Владимир Константинович – директор ООО «РОСМА»

Никулин Виктор Тимофеевич – доцент кафедры строительных материалов
ННГАСУ

Исаев А.В. Метрология, стандартизация и подтверждение соответствия в строительстве. Ч. I. Метрология: Учебное пособие /2-е изд., перераб.– Н.Новгород: Нижегородский гос. архит.-строит. ун-т, 2010.– 109 с.

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов строительных специальностей, впервые изучающих курс «Метрология, стандартизация, сертификация».

В пособии изложен широкий круг вопросов по основам метрологии. Второе издание дополнено сведениями о наиболее распространённых средствах измерений и испытательном оборудовании, применяемых в строительстве.

Настоящее учебное пособие может быть также полезно работникам служб качества, лабораторий, отделов технического контроля предприятий.

© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Основные понятия	7
2 Средства измерений и испытательное оборудование	9
3 Виды и методы измерений	51
3.1 Виды измерений	51
3.2 Методы измерений	52
4 Погрешности измерений	56
5 Единицы физических величин	65
6 Правила выполнения измерений геометрических параметров в строительстве	76
7 Обеспечения единства измерений в Российской Федерации	95
Приложение А. Пример определения отклонения от плоскостности по всей поверхности плиты перекрытия методом измерения линейкой расстояния от размеченных на поверхности элемента точек до линии отсчёта, заданной струной	106
Литература	109

Введение

Для оценки качества продукции, поддержания заданного режима различных технологических процессов, согласования между собой параметров, совместно используемых различных деталей и узлов необходимо иметь точную количественную информацию. Получить такую информацию можно только с помощью измерений. Теорией и практикой измерений занимается метрология.

Метрологией называют науку об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Под единством измерений понимается такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах, и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Ещё в далёкой древности у людей появилась потребность в передаче информации о размерах тех или иных величин – длины, массы, времени и т.д. Так рождались единицы измерений.

Естественно, древние люди брали за основу размеры своих рук, ног или их частей, а для оценки времени – характерные природные явления: смена дня и ночи, времён года.

В глубокой древности берут своё начало такие известные единицы физических величин, как фут (длина ступни), ярд (расстояние от кончика носа короля Англии до кончика среднего пальца его вытянутой руки), локоть (расстояние от локтя до кончика среднего пальца вытянутой руки; эта единица длины существовала в разных странах – Египте, на Руси и др.), четверть (расстояние между раздвинутыми большим и указательным пальцами одной руки), аршин (четыре четверти), косая сажень (три аршина), пядь (расстояние от конца большого пальца до конца мизинца раздвинутой руки), дюйм (от голландского *duim* - "большой палец". Сегодня $1'' = 1/12$ фута $\approx 25,4$ мм), стадий, миля и многие другие.

В каждой местности, у каждого народа складывались свои системы мер, часто сложные и запутанные. Ясно, что в таких условиях результаты измерений сильно различались.

С развитием торговли, в т.ч. международной, возникла необходимость более точного определения единиц физических величин и более точных измерений.

Невозможно назвать дату, с которой можно было бы связать появление в мире и на Руси метрологической службы. Можно только сказать, что уже в древнейших письменных источниках имеются упоминания на эту тему. Например: одна из книг Пятикнижия Ветхого Завета – Левит содержит такое требование:

"Не делайте неправды в суде, мере, в весе и в измерении.

Да будут у вас весы верные, гири верные, ефа верная и гин верный" (глава 19, стихи 35, 36) [6].

В другой книге Пятикнижия – Второзаконии – устанавливалось:

"В кисе твоей не должны быть двоякие гири, большие и меньшие;

В доме твоём не должна быть двояка ефа, большая и меньшая;

...

Ибо мерзок перед Господом, Богом твоим, всякий, делающий неправду" (глава 25, стихи 13 ... 16) [6].

Первые письменные упоминания о контроле за средствами измерений в Древней Руси датируются XII ... XIII веками нашей эры. Так, в грамоте князя Всеволода III записано следующее: "... весы, мерила и скалвы воцаные и пуд медовый и гривенка рублевая иже на торгу промеж людьми блюсти без пакости ни умаливати ни умножати и на всякий год взвешивати. ... а скривится кому ... и того казнити близко смерти, а живот его на трое..." [9].

Прообраз будущей Службы мер и весов в то время был передан в ведение епископа, что объяснялось божественным установлением, записанным в Библии [9].

В 1556 г. вышел указ об изготовлении и клеймении гирь, разных мер и о хранении их на таможах. В дальнейшем система их поверки расширялась и совершенствовалась.

Один из важнейших шагов в направлении создания современной системы единиц физических величин был сделан во Франции в 1791 г., когда Национальное собрание и французское правительство утвердили проект Метрической системы единиц (подробнее об этом см. в разделе 5).

В 1892 г. Главную палату мер и весов возглавил известный учёный Д.И. Менделеев, который существенно усовершенствовал метрологическую службу в России.

Развитие метрологической службы в Советской России связано с декретом Совета Народных Комиссаров от 14 сентября 1918 г., которым метрические меры были введены как обязательные. К концу 1926 г. были проведены все основные мероприятия по переходу от русских мер к метрическим (см. п.5.1); к этому времени было обновлено всё измерительное хозяйство страны. Наряду с этим вводилась, а точнее возобновлялась, обязательная поверка мер и измерительных приборов. В 1930 г. Всесоюзному Комитету по стандартизации была передана Главная палата мер и весов со всеми принадлежащими ей учреждениями. Тем самым была подчеркнута роль стандартизации и метрологии как основных начал рационализации производства и овладения новой техникой.

Действующая в настоящее время Государственная метрологическая служба (см. п.7) направлена на обеспечение единства измерений в стране, создание эталонов и новых средств измерений, а также на совершенствование теоретических основ измерительного дела. Метрология обеспечивает необходимые качества измерительной информации – достоверность и

сопоставимость. Вместе с тем, метрология имеет большое значение для стандартизации и унификации технологических процессов и изделий, для обеспечения взаимозаменяемости и кооперирования производства.

1 Основные понятия

1.1 В метрологии употребляется ряд терминов, которые инженер должен знать, понимать и правильно принять на практике.

Измерение – совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины [5]. Измерить величину ***a*** – значит сравнить её с другой величиной ***b***, принятой за единицу физической величины, и выразить первую, т.е. ***a***, в долях последней:

$$a = k \cdot b, \quad (1.1)$$

где ***k*** – любое число, показывающее во сколько раз ***a*** больше ***b***.

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них [4].

Единица физической величины – фиксированное значение величины, которое принято за единицу данной величины и применяется для количественного выражения однородных с ней величин [5]. В метрологии не допускается применять термин "единица измерения". Подробно о единицах величин – см. п. 5.1.

В ходе измерения получают измеренное значение физической величины.

Истинное значение физической величины – такое её значение, которое идеальным образом отражает в количественном и качественном отношении свойство измеряемого объекта.

Номинальным (проектным) называется значение физической величины, заданное в нормативно-технической документации (далее – НТД) и являющееся началом отсчёта отклонений.

Действительное значение физической величины – значение, получаемое экспериментальным путём, которое настолько приближается к истинному, что может быть использовано вместо него. Смысл данного определения заключается в том, что на практике узнать истинное значение какой-либо конкретной физической величины невозможно, а можно лишь до бесконечности приближаться к нему. Например, уровень достигнутой в настоящее время точности (величина, обратная относительной погрешности) составляет при определении длины – 10^9 (т.е. максимальная погрешность измерения составляет одну миллиардную от измеряемой величины), при определении массы – $2 \cdot 10^8$, при определении температуры – 10^6 , при определении времени – 10^{13} и т.д.

Точность измерения – степень близости результата измерений к истинному значению измеряемой величины. В соответствии с данным определением точность является качественной характеристикой, и поэтому повсеместно встречающиеся выражения типа "точность измерения давления составляет 0,1 МПа", "длина панели измерена с точностью до 0,5 %", "температуру следует измерять с точностью до десятых (градуса)" и т.п. некорректны с точки зрения метрологии. Правильно следует говорить: "погрешность измерения составляет 0,1 МПа", или "длина измерена с погрешностью до 0,5 %" и т.д. Термин "точность" употребляется для качественного сравнения: "точность измерения длины штангенциркулем выше, чем линейкой", "в лаборатории масса изделия измерена точнее, чем в производственных условиях".

Погрешность измерения – отклонение результата измерения – x_i от истинного значения измеряемой величины – x . Погрешность выражается либо в единицах измеряемой величины – абсолютная погрешность:

$$\Delta = x_i - x, \quad (1.2)$$

либо в долях и процентах от истинного значения – относительная погрешность:

$$\delta = (x_i - x) : x \text{ или в процентах:} \quad (1.3)$$

$$\delta = ((x_i - x) : x) \cdot 100, \%. \quad (1.4)$$

В отличие от абсолютной, относительная погрешность позволяет сравнивать точность измерений разноимённых величин.

Допуск – разность между наибольшим и наименьшим допустимыми значениями параметра: $\Delta_x = x_{\max} - x_{\min}$. (1.5)

Метод измерения – совокупность приёмов использования принципов и средств измерений (см. раздел 2).

2 Средства измерений и испытательное оборудование

2.1 Средство измерений – это техническое средство, предназначенное для измерений [5].

Различают следующие виды средств измерений:

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

Мера – это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Примеры мер: гири, разновесы (воспроизводят заданную массу), песочные часы (воспроизводят заданное время), концевые меры длины (стальные стержни, воспроизводящие с высокой точностью заданную длину), стальные угольники 90° и 45°, стальные мерные цилиндры, пикнометры – однозначные меры (т.е. средств-

во измерений воспроизводит единственную величину); измерительные линейки, рулетки, мерные цилиндры (мензурки) – многозначные меры (т.е. одно средство измерений воспроизводит несколько одноимённых величин; например: каждая пара отметок на линейке воспроизводит различные линейные размеры 1 мм, 2 мм, 5 мм, 100 мм и т.д.).

К однозначным мерам можно также отнести поверочные линейки (воспроизводят прямую линию), поверочные плиты (воспроизводят плоскую поверхность), отвесы (грузик на нити – воспроизводит вертикальную линию) и т.п.

Измерительный прибор – это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Примерами измерительного преобразователя являются фотоэлементы, преобразующие энергию света в электрический ток, а также термопара – два провода из разных металлов (сплавов), спаянные между собой в замкнутый контур. Если один спай поместить в условия с температурой, отличной от температуры второго спая, то возникает разность потенциалов, и в контуре возникает электрический ток. По величине разности потенциалов можно судить о разности температур, что и используется в многочисленных приборах.

Измерительная установка – совокупность функционально объединённых средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и расположенная в одном месте.

Измерительная система – совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединённых между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления. Например: система контроля и регулирования режима тепловлажностной обработки железобетонных изделий.

Закон [5] ввёл также понятия технического устройства и технической системы с измерительными функциями – это технические устройства и системы, которые наряду с их основными функциями выполняют измерительные функции.

2.2 При пользовании средствами измерений необходимо знать следующие основные понятия, характеризующие параметры и свойства средств измерений.

Шкала (от латинского "skala" – лестница) – часть отсчётного устройства, представляющая собой совокупность отметок и проставленных у некоторых из них чисел отсчёта или других символов, соответствующих ряду последовательных значений измеряемой величины.

Деление шкалы – промежуток между двумя соседними отметками шкалы.

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

Диапазон показаний – область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.

Предел измерений (верхний ВПИ и нижний НПИ или соответственно наибольший НПИ и наименьший НмПИ) – наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Нормальные условия применения средств измерений – условия окружающей среды, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений. Если нормальные условия применения не указаны в технической документации, то ими считаются:

- температура 293 К (20 °С);
- давление 101,3 кПа (760 мм рт. ст.);
- относительная влажность воздуха 60 %;
- скорость движения воздуха 0 м/с.

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

2.3 Основные средства измерений, применяемые в строительстве

2.3.1. В данном пункте приведены сведения о наиболее известных и широко применяющихся в строительстве средствах измерений и испытательном оборудовании.

2.3.2 Средства измерений и испытательное оборудование для определения геометрических параметров и показателей внешнего вида

Измерительные линейки изготавливаются длиной до 1 м и имеют цену деления 1 мм или 0,5 мм.

Измерительные рулетки изготавливаются длиной от 1 м до 30 м и более ("измерительные ленты") с ценой деления 1 мм (измерительные ленты – 1 см).

Штангенциркули в настоящее время производятся трёх типов – нониусные (рисунки 2.1 – 2.3), с круговой шкалой (рисунок 2.4) и цифровые (рисунок 2.5).

Штангенциркулями измеряют длину, ширину, толщину изделий или их частей. Большинство штангенциркулей имеют губки, позволяющие измерять внутренние размеры отверстий, пазов и т.п. Некоторые штангенциркули совмещаются с глубиномером, позволяющим измерять глубину отверстий, пазов, внутреннюю высоту полых изделий и т.п.

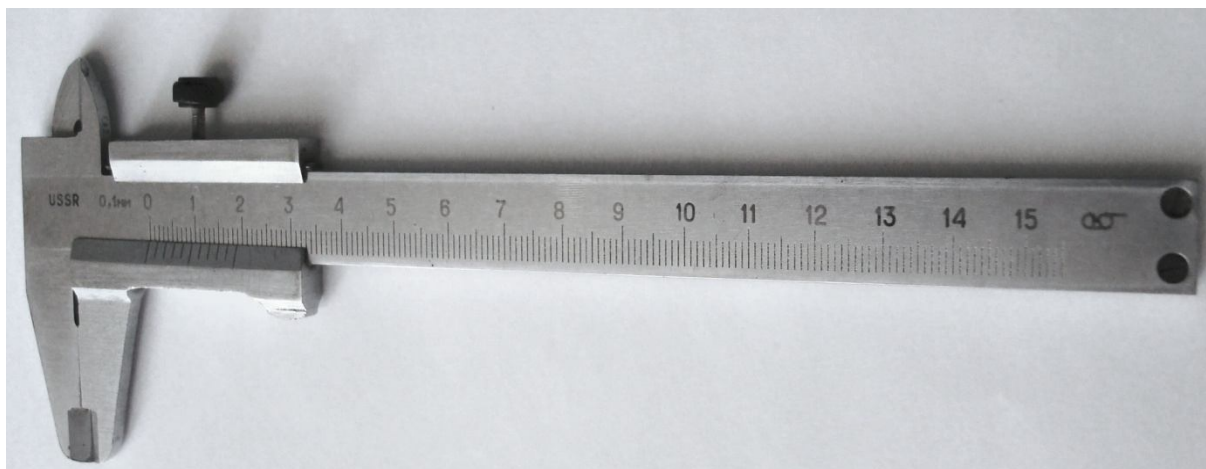


Рисунок 2.1 – Штангенциркуль нониусный

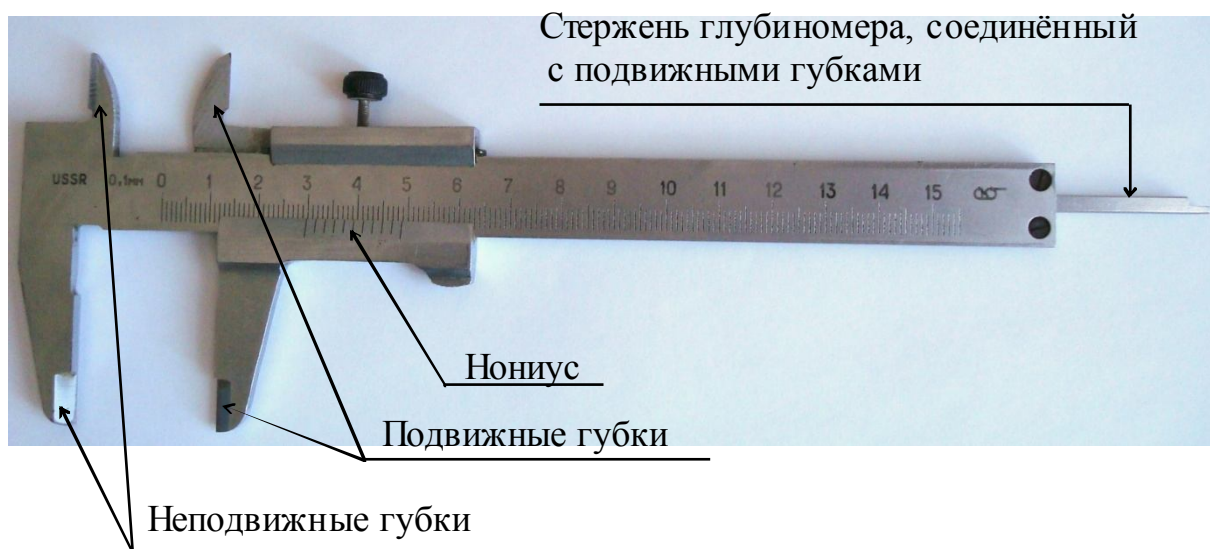
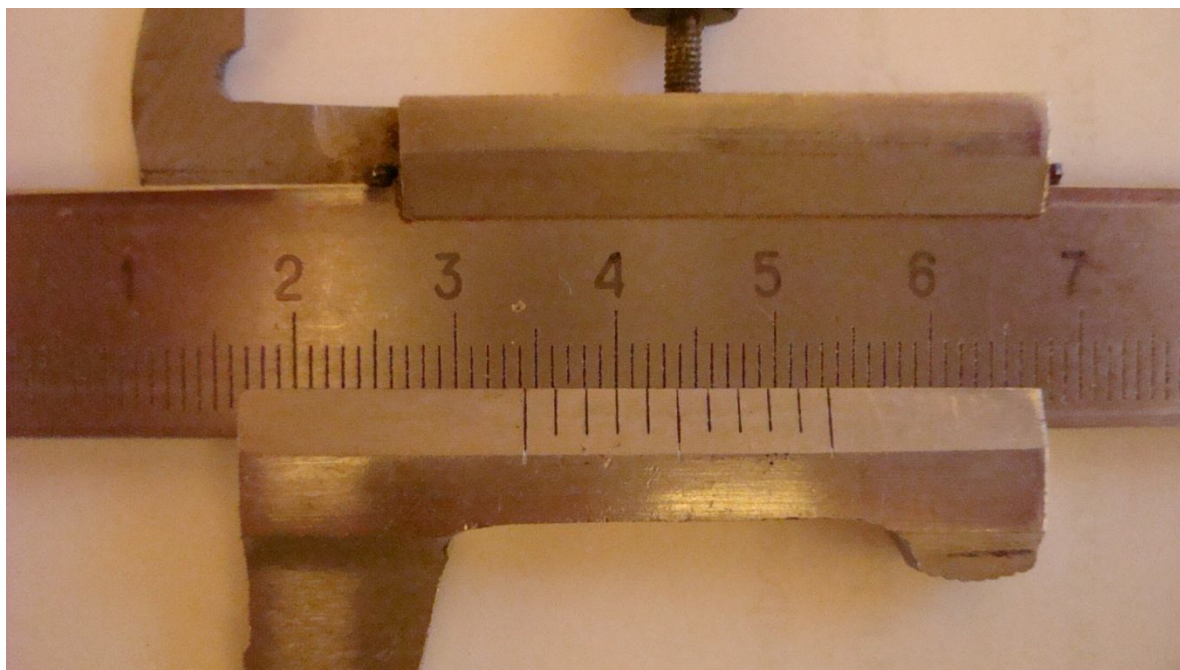


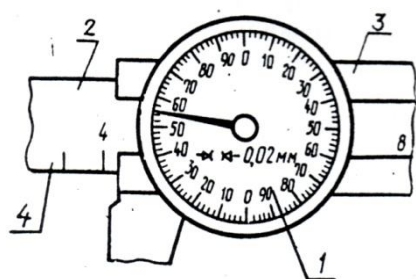
Рисунок 2.2 – Штангенциркуль с глубиномером нониусный

Нониусные штангенциркули и другие инструменты появились весьма давно. Нониус (в некоторых странах – верньер) – латинизированное имя португальского математика и изобретателя этой шкалы П.Нуниша (P.Nunes; 1492 – 1577 гг.) [4]. Нониусом или шкалой Нониуса называют вспомогательную шкалу, по которой отсчитывают доли основной шкалы



$$L = 34,3 \text{ мм}$$

Рисунок 2.3 – Определение размера нониусным штангенциркулем



1 – круговая шкала; 2 – штанга; 3 – подвижная губка; 4 – основная шкала

Рисунок 2.4 – Штангенциркуль с круговой шкалой

(рисунок 2.3). Чаще всего десять делений нониуса совпадают по длине с девятью делениями основной шкалы штанги. В этом случае цена деления нониуса равна $1/10$ цены деления основной шкалы, на штангенциркуле это 0,1 мм. Но бывают и более точные шкалы с ценой деления нониуса 0,05 мм (20 делений нониуса совпадают с 19 делениями основной шкалы), 0,02 мм (50 делений нониуса совпадают с 49 делениями основной шкалы).



Рисунок 2.5 – Штангенциркуль с глубиномером цифровой

Результат измерения определяют следующим образом. Сначала ищут ближайшую слева отметку основной шкалы от первой отметки нониуса; на рисунке 2.3 – это отметка, соответствующая длине 34 мм. Затем находят отметку нониуса, точнее других совпадающую с любой отметкой основной шкалы, - по этой отметке и определяется число долей миллиметра; на рисунке 2.3 – это четвёртая отметка нониуса, соответствующая $3/10$ мм (первая отметка соответствует нулю десятых). Окончательный результат измерения – 34,3 мм.

Штангенциркули с круговой шкалой вместо нониуса имеют на подвижной губке круглое отсчётное устройство со специальной круговой шкалой, по которой определяются доли миллиметра.

Цифровые штангенциркули, несомненно более простые и удобные в эксплуатации, появились относительно недавно. К их недостаткам, как и всех цифровых средств измерений, можно отнести лишь необходимость периодически заменять аккумулятор и большую чувствительность к ударам и увлажнению.

Верхний предел измерений нониусных штангенциркулей может достигать 2 м.

Штангенглубиномеры предназначены для измерения глубины отверстий, пазов, внутренней высоты полых изделий и т.п. Они устроены аналогично штангенциркулям, но неподвижная губка у них отсутствует, а массивная подвижная губка имеет одну ровную торцевую поверхность, прикладываемую к объекту измерения.

Штангенглубиномеры в строительстве применяются достаточно редко.

Микрометры – устройства для точных измерений линейных размеров. Микрометры чаще всего применяются в комплекте со скобой - жёсткой стальной С-образной рамкой. Микрометры бывают с микрометрической резьбой (рисунок 2.6) и цифровые (рисунок 2.7).



Рисунок 2.6 – Микрометр с микрометрической резьбой



Рисунок 2.7 – Микрометр цифровой

Для непосредственного измерения отклонений от номинального размера изделий применяют микрометры с дополнительным измерительным устройством, например, с индикатором (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Микрометр с индикатором часового типа

Измерительные скобы представляют собой жёсткую стальную С-образную раму с измерительным устройством, позволяющим непосредственно измерять отклонение от номинального размера изделия.

Перед применением скобу настраивают на номинальное значение, а затем, вставляя изделие между подвижным и неподвижным стержнями, по шкале отсчётного устройства определяют отклонение от номинального значения.



Рисунок 2.9 – Индикаторная рычажная скоба



Рисунок 2.10 – Рычажная скоба со встроенным индикатором

Нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров отверстий, пазов, резьб и т.п. (рисунки 2.11 ... 2.13).

Нутромеры, как правило, имеют цену деления от 1 до 10 мкм и, в зависимости от конструкции имеют пределы измерений от 0,2 мм до 10 м.



Рисунок 2.11 – Нутромер с микрометрической резьбой для измерения внутренних диаметров



Рисунок 2.12 – Нутромер цифровой для измерения внутренних диаметров



Рисунок 2.13 – Нутромер с микрометрической резьбой для измерения внутренних размеров

Длиномеры – весьма редкие средства измерений, предназначенные для непосредственного измерения отклонений от номинального значения

больших линейных размеров. Они имеют аналогичный скобам или нутромерам принцип действия, но отличаются большой базовой длиной.

Индикаторы предназначены для применения в комплекте с приспособлениями, задающими начало отсчёта (например, см. рисунок 2.8). Индикаторы бывают часового типа (рисунок 2.14) и цифровые (рисунок 2.15).

Они входят в состав таких средств измерений, как измерительные скобы, стенкомеры, толщиномеры, применяются для измерения усадки и ползучести бетонов, деформаций опор при испытаниях железобетонных конструкций и др.



Рисунок 2.14 – Индикатор часового типа

Дальномеры (лазерные) в строительстве стали применяться сравнительно недавно. Главное их преимущество перед измерительными рулет-



Рисунок 2.15 – Цифровые индикаторы

ками – удобство применения и ускорение процесса измерений, недостаток – высокая стоимость, особенно у приборов, аналогичных по точности рулеткам.

Измерительные лупы – простейшие средства измерений, представляющие собой линзу со шкалой, помещённую в пластмассовый корпус, обеспечивающий постоянное расстояние от измеряемой поверхности до линзы. Предназначены для измерения дефектов поверхности – ширины раскрытия трещин, ширины раковин и т.п.; могут также использоваться для измерения толщины листовых материалов – плёнок, линолеума, стекла, гидроизоляционных материалов и т.п. Измерительные лупы имеют, как правило, цену деления 0,1 мм.

Измерительные микроскопы (МПБ-2, МПБ-3 и др.) имеют то же назначение, что и измерительные лупы, но отличаются более сложным устройством, большей точностью (цена деления бывает 0,05 мм, 0,025 мм и менее), но надо иметь в виду, что с уменьшением цены деления уменьшается и верхний предел измерений (см. рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 - Измерительный микроскоп МПБ-2

Толщиномеры (рисунок 2.17) предназначены для измерения толщины относительно тонких материалов и изделий – листов, плитных, рулонных материалов: различных плёнок, стёкол, линолеума, стальных листов, плиток, ДСП, ДВП, кровельных и изоляционных материалов и др.

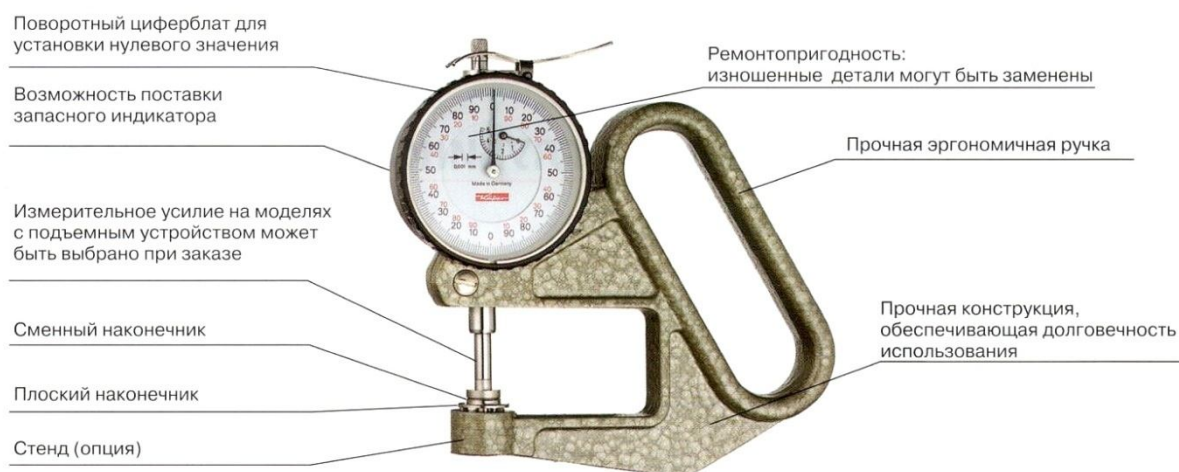


Рисунок 2.17 – Толщиномер индикаторный

Толщиномеры во многих случаях с успехом могут быть заменены более универсальными штангенциркулями или микрометрами, поэтому в строительстве толщиномеры применяются редко.

Стенкомеры представляют собой разновидность толщиномеров, в которых учтена особенность измерения толщины криволинейных элементов, к которым невозможно плотно прижать с внутренней стороны плоскую поверхность наконечника. Поэтому наконечники стенкомеров имеют закруглённую форму.

Плоскопараллельные концевые меры представляют собой стальные бруски в форме прямоугольных параллелепипедов. Они предназначены для проверки или калибровки других средств измерений, а также могут входить в комплект измерительных скоб.

Прогибомеры. В строительстве довольно распространёнными являются испытания изделий и конструкций на изгиб, контроль изменения прогибов конструкций и т.п. Для таких испытаний были разработаны средства измерений – прогибомеры различных конструкций. На рисунке 2.18 показан прогибомер марки "6-ПАО", имеющий цену деления 0,01 мм.

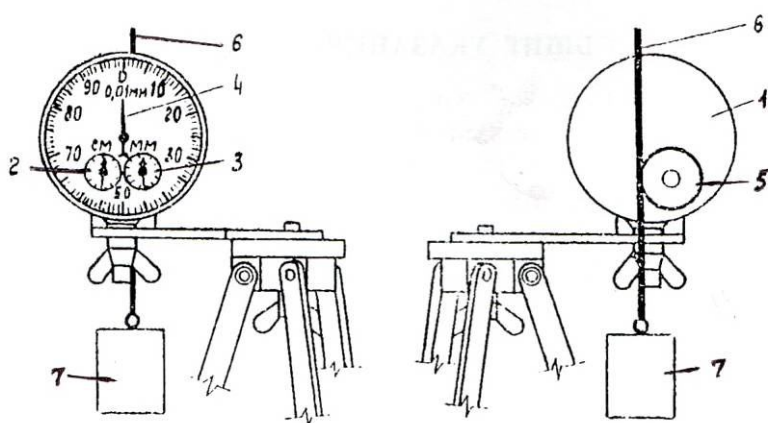


Рисунок 2.18 – Прогибомер 6-ПАО

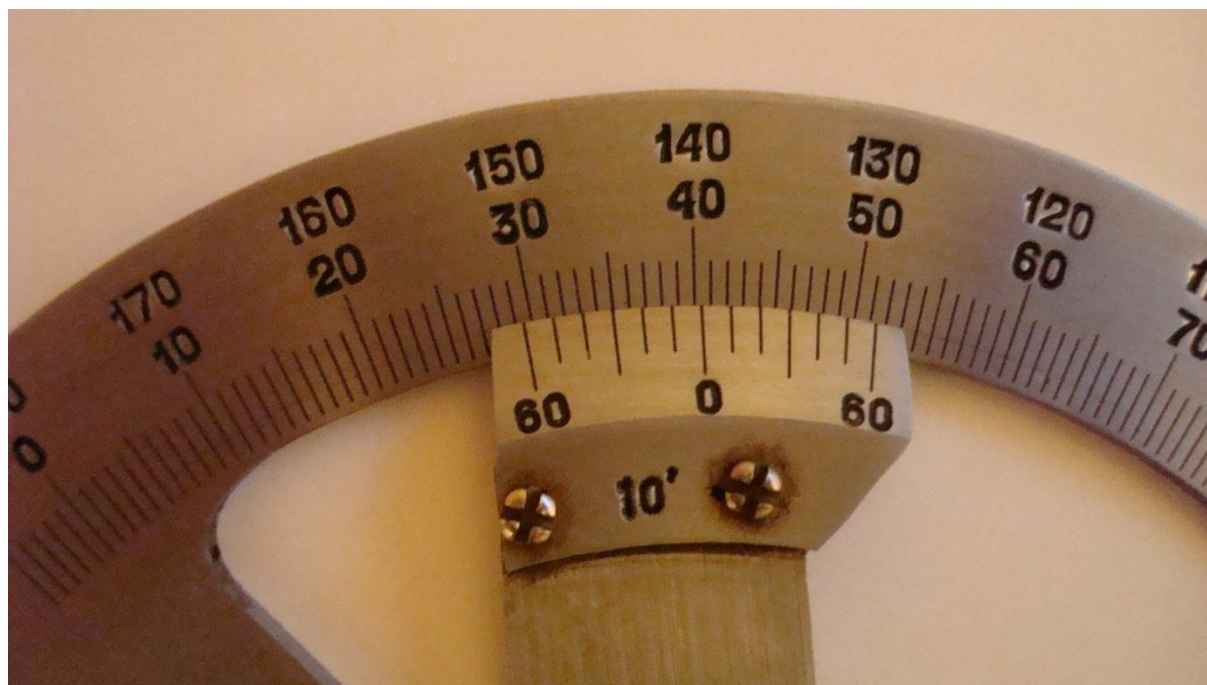
При работе сам прогибомер 1 крепится на независимом от конструкции штативе. К испытываемой конструкции крепится проволока 6, пропускаемая через ролик прогибомера 5, с грузом 7 на конце. При перемещении конструкции и проволоки её движение передаётся ролику, который через систему шестерёнок вращает указатели прибора 2 (показывает сантиметры), 3 (показывает миллиметры) и 4 (показывает десятые и сотые доли миллиметра).

Угломеры предназначены для измерения внутренних и наружных углов. В настоящее время применяются, в основном, угломеры с нониусом (см. рисунки 2.18 и 2.19), принцип устройства которого аналогичен нониусу штангенциркуля.



Рисунок 2.18 – Угломер с нониусом

Так как в строительстве угловые величины чаще всего задаются в линейной мере (см. п. 6.3.2), то угломеры не нашли здесь широкого применения.



$$\alpha = 40^{\circ}20'$$

Рисунок 2.19 – Измерение угла угломером

Поверочные линейки предназначены для измерения отклонений от прямолинейности рёбер или профиля поверхности различных изделий и конструкций. Рабочие поверхности линеек воспроизводят прямую линию.

Стандартом [2] предусмотрено изготовление из стали, чугуна или из твёрдых горных пород поверочных линеек следующих типов:

- ЛД – лекальные с двусторонним скосом;
- ЛТ – лекальные трёхгранные;
- ЛЧ – лекальные четырёхгранные;
- ШП – с широкой рабочей поверхностью прямоугольного сечения;
- ШПХ – то же хромированные;
- ШД – с широкой рабочей поверхностью двутаврового сечения;
- ШМ – чугунные с широкой рабочей поверхностью;
- УТ – чугунные угловые трёхгранные;

- ШП-ТК – твёрдокаменные (гранитные) с широкой рабочей поверхностью прямоугольного сечения;
- ШМ-ТК – твёрдокаменные с механически обработанными рабочими поверхностями.

Чаще всего применяются стальные поверочные линейки типов ШП и ШД.

Длина поверочных линеек может быть от 50 мм до 3 м.

Так как поверочные линейки лишь задают прямую линию, для измерений отклонений необходимо использовать дополнительные средства измерений – щупы, измерительные линейки, глубиномеры и т.п.

Следует отметить, что, в силу высоких требований к жёсткости этих линеек, они имеют довольно большую массу. Даже наиболее распространённые поверочные линейки метровой длины могут весить свыше 10 кг, что серьёзно осложняет работу с ними.

Поверочные угольники предназначены для измерения отклонений от прямоугольности формы изделий, от перпендикулярности смежных поверхностей. Они представляют собой два металлических бруска, скреплённых между собой под углом 90°. Кроме того, бывают цилиндрические (круглые) поверочные угольники. Сечение брусков по аналогии с поверочными линейками может быть прямоугольным ("слесарные угольники") и с заострённым краем ("лекальные").

Минимальная длина стороны поверочного угольника 40 мм, максимальная – 1,6 м.

Кроме стандартизированных поверочных угольников сегодня, в силу малого веса и удобства в работе, широкое распространение получили аналогичные поверочные угольники, одна из сторон которых представляет собой стальную линейку. По точности они значительно уступают стандартным и могут применяться только для неофициальных измерений.

Так же как и поверочные линейки, поверочные угольники только воспроизводят параметр (в данном случае – угол 90°), и для измерения отклонений необходимо использовать дополнительные средства измерений.

Поверочные плиты предназначены для измерения отклонения от плоскостности поверхности изделий и конструкций. На металлургических предприятиях такие плиты применяются для изготовления на них сварных и др. конструкций, для выпрямления покоробившихся изделий и т.п. В силу очень большой массы они, как правило, располагаются стационарно в лаборатории или в цехе. Плиты воспроизводят с большой точностью плоскость.

Поверочные плиты в строительстве не нашли сколько-либо широкого применения.

Щупы предназначены для измерения ширины пазов, зазоров, ширины раскрытия трещин и т.п. Щупы бывают плоские и клиновые.

Плоские (пластинчатые, лепестковые) щупы представляют собой набор плоских пластин определённой толщины (рисунок 2.20). Толщина в миллиметрах указаны на каждом лепестке. В набор может входить от 10 до 20 отдельных щупов – лепестков.

Процесс измерения плоскими щупами заключается в следующем. В измеряемый зазор или трещину поочерёдно вставляют лепестки, находят, в конечном счёте, два соседних, один из которых пролезает, а другой – не пролезает в зазор. За окончательный результат, обычно, принимают толщину щупа, не пролезающего в зазор.

Минимальная толщина щупа может быть 0,01 мм, максимальная – 1,0 мм. При необходимости можно производить измерения, складывая вместе несколько щупов для получения толщины более 1 мм.

Клиновой щуп представляет собой стальной треугольный брусок, на боковые и (или) на верхнюю стороны которого нанесена шкала, значения



Рисунок 2.20 – Щупы плоские

которой соответствуют толщине бруска в данном месте (см. рисунок 6.7). Клиновой щуп вставляют в зазор до упора и по шкале определяют результат измерения.

Трубомеры – это средства измерений внутренних диаметров труб или отверстий (рисунок 2.21). Принцип работы ими – такой же, что и клиновыми щупами.

Трубомер представляет собой металлический лист со шкалой и рукояткой. Для измерения внутреннего диаметра трубы его вставляют в отверстие и по шкале определяют результат.

Угловой масштаб – средство измерений диаметров отверстий, раковин на поверхностях изделий; так же применяется для измерения диаметров отпечатков при неразрушающем контроле прочности бетона молотком Кашкарова.

На рисунке 2.22 показан угловой масштаб, изготовленный из двух

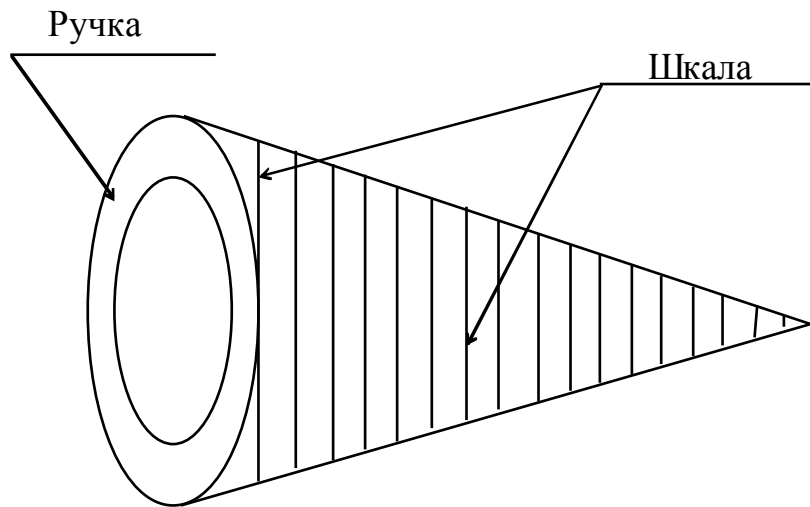


Рисунок 2.21 - Трубомер

стальных линеек. Результаты по нему следует определять по верхней шкале, на которой одно деление соответствует 0,1 мм.

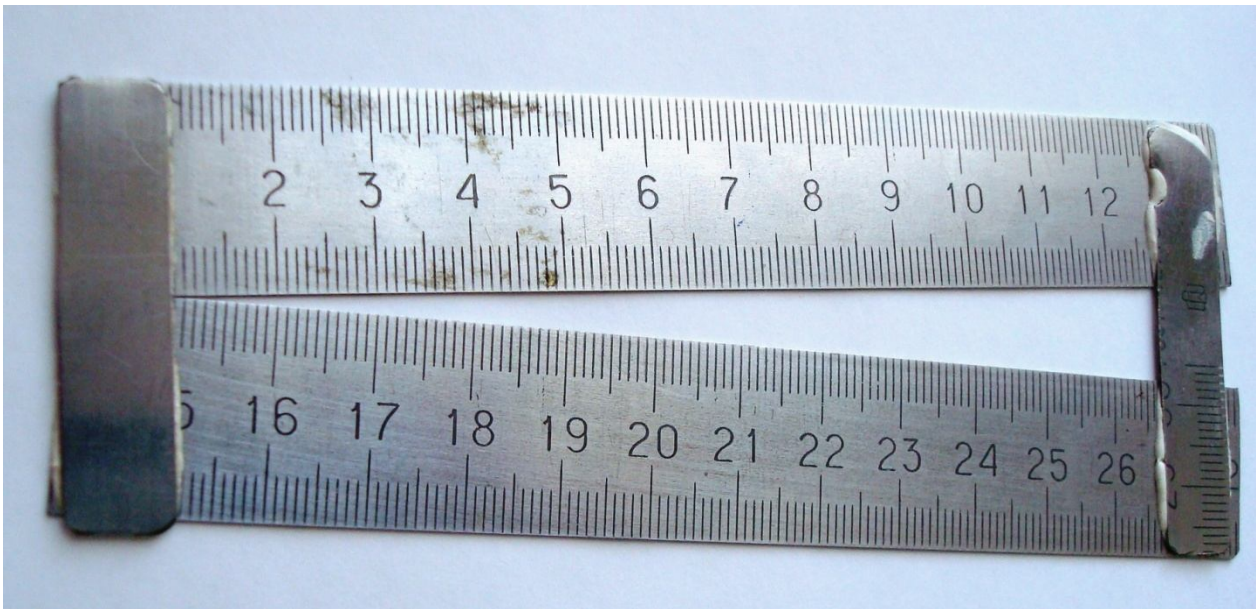


Рисунок 2.22 – Угловой масштаб

Угловой масштаб накладывают на отверстие или отпечаток так, чтобы края отверстия касались обеих внутренних граней верхней и нижней линеек. По шкале снимают результат в точке касания.

Следует заметить, что, строго говоря, таким образом измеряется не диаметр отверстия, а длина хорды, меньшей диаметра приблизительно на 0,13 % (погрешность зависит от длины углового масштаба).

Уровни (строительные) – средства измерений, предназначенные для определения горизонтального и вертикального положения изделий или конструкций (Рисунок 2.23). Представляют собой бруски различной длины с встроенными в них одной или несколькими ампулами, заполненными подкрашенным спиртом или эфиром так, чтобы оставался небольшой воздушный пузырёк (рисунок 2.24). Иногда конструкция обоймы с ампулой позволяет поворачивать её на заданный угол. В этом случае уровнем можно пользоваться для измерения отклонения элемента (ребра, поверхности изделия или конструкции) от заданного наклонного положения.

В горизонтальном (вертикальном или наклонном положении при за-

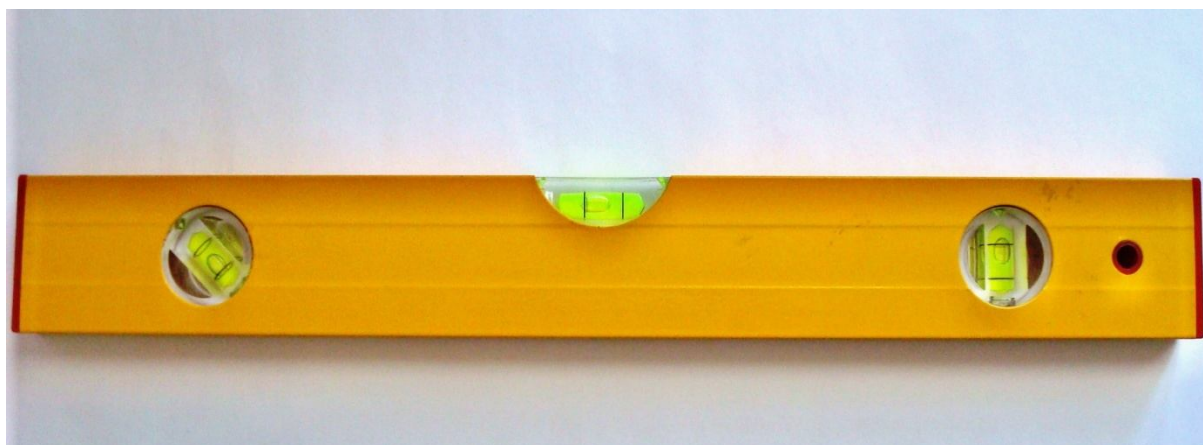


Рисунок 2.23 – Уровень



Рисунок 2.24 – Ампула с воздушным пузырьком

данном угле наклона) воздушный пузырёк соответствующей ампулы находится в её середине. При необходимости измерений отклонений от горизонтального, вертикального или заданного наклонного положения используют уровни и такие средства измерений, как линейки, щупы и др.

Гидравлические уровни предназначены для измерений отклонений от горизонтального расположения конструкций или перепадов по высоте между смежными конструкциями или их элементами. Они состоят из двух прозрачных мерных трубок со шкалами, соединённых длинной гибкой резиновой или пластмассовой трубкой. Шкалы градуированы в миллиметрах. Для сохранности трубок к ним прикрепляют металлические стержни, которые прикладывают непосредственно к измеряемым поверхностям (рисунок 2.25).

Перед измерением гидравлический уровень заполняют подкрашенной водой так, чтобы уровень жидкости в измерительных трубках находился приблизительно посередине шкалы. При измерении стержни прикладывают к измеряемой поверхности и фиксируют по шкалам показания

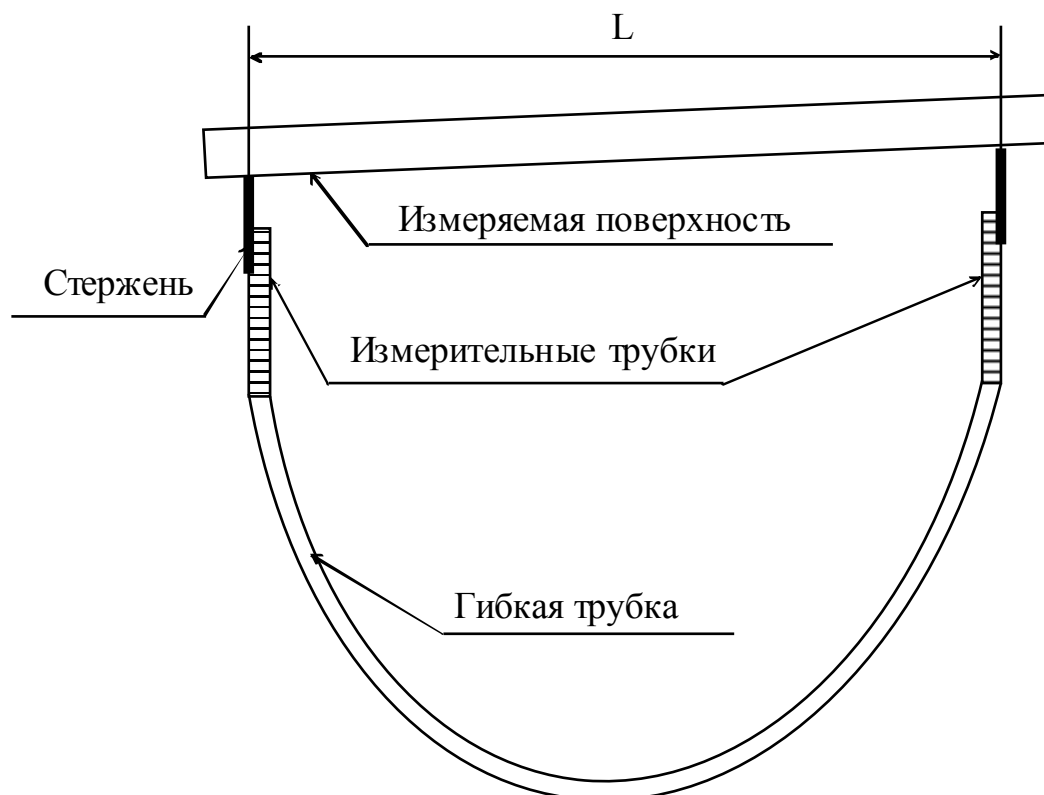


Рисунок 2.25 – Простейший гидравлический уровень

прибора – h_1 и h_2 . Также измеряют расстояние по поверхности (иногда по горизонтали) между измеряемыми точками – L .

Отклонение от горизонтали вычисляют по одной из формул:

$$X = |h_1 - h_2|, \text{ мм} \quad (2.1)$$

или $X = |h_1 - h_2| : L. \quad (2.2)$

Отвес – древнее простейшее средство измерений, предназначенное для определения вертикального положения относительно Земли. Представляет собой груз на длинной нити. Т.к. отвес на длинной нити довольно трудно зафиксировать на воздухе в неподвижном положении, груз опускают в ёмкость с водой.

Отвесами часто пользуются строители при ориентировочном определении отклонений от вертикали стен, колонн и других конструкций.

Сита предназначены для разделения сыпучих материалов на фракции по размерам, например, при определении зернового состава. Мелкие

сита, примерно до 0,63 мм, изготавливают ткаными из металлической проволоки, более крупные – штампованными из металлических листов.

Кроме перечисленных, существует также большое количество других средств измерений, испытательного оборудования, приспособлений для определения геометрических параметров, например, нивелиры, теодолиты и др.

2.3.3 Средства измерений массы, силы

Гири представляют собой меры массы. Наборы мелких гирь часто называют разновесами или разновесом.

Номинальное значение массы гири в килограммах должно быть равно $1 \cdot 10^n$ или $2 \cdot 10^n$ или $5 \cdot 10^n$, где n – целое число от минус 6 до плюс 3 включительно. Таким образом, масса гирь может находиться в пределах от 1 мг до 5000 кг.

Гири массой до 500 мг изготавливают в форме пластин (рисунок



Рисунок 2.26 – Гири

2.26, нижний ряд) или изогнутых проволочек; массой от 1 г до 20 кг включительно – в виде цилиндров с головкой (рисунок 2.26, верхний ряд) или без головки, усечённого конуса с головкой или без головки, а также в виде "условных" гирь - цилиндров с радиальным вырезом. Гири большей массы изготавливают по рабочим чертежам на заказ, например, в форме прямоугольного параллелепипеда с вырезом для захвата рукой или крюком.

Весы – широко распространённые средства измерений массы. Существует большое количество конструкций весов - рычажные, электротензометрические, гидростатические, гидравлические, пружинные, а также промышленные и специальные весы, например, автомобильные, непрерывного действия и др., охватывающих огромный диапазон измерений – от долей миллиграмма до десятков тонн.

Динамометры предназначены для измерения силы. Существуют динамометры сжатия и растяжения. Последние часто применяются для определения массы изделий, например, бытовые безмены по своей сути являются пружинными динамометрами растяжения.

2.3.4 Средства измерений и испытательное оборудование для определения прочностных и деформативных показателей

Прессы, испытательные машины, разрывные машины – наиболее распространённые средства измерений нагрузок при испытаниях материалов и изделий на прочность. В соответствии с ГОСТ 28840 [3] максимальная нагрузка данных средств измерений может находиться в пределах от 10 Н (1 кгс) до 10 МН (1000 тс).

Приспособления для испытаний различных материалов и изделий - каменных, деревянных, пластмассовых и др. - на изгиб, загиб, скалывание и т.п.

Цилиндры с пуансонами для испытания на прочность заполнителей для тяжёлых и лёгких бетонов.

Испытательные стенды и комплекты приспособлений для испытания на прочность, жёсткость, трещиностойкость, выносливость железобетонных, стальных, деревянных изделий и конструкций, фрагментов зданий и сооружений, оконных и дверных блоков, специальных стёкол и стеклопакетов и т.п.

2.3.5 Средства измерений и испытательное оборудование для определения теплотехнических показателей

2.3.5.1 *Термометры* – широко распространённые средства измерений температуры. Известны следующие основные виды термометров: расширения, манометрические, сопротивления, с термопарами, пирометры.

Термометры расширения бывают жидкостные, биметаллические и dilatометрические.

Жидкостные стеклянные термометры (рисунок 2.27) бывают ртутные (от минус 30 °С до 650 °С), спиртовые (от минус 100 °С), толуоловые (от минус 90 °С) и пентановые (от минус 190 °С).

По назначению бывают лабораторные, технические (длиной от 60 мм до 2 м), образцовые и контактные. Контактные термометры (рисунок 2.28) предназначены для контроля и регулирования температуры. У них имеются в капилляре впаянные (неподвижные) или подвижные контакты 1 и 2, расстояние между которыми регулируется винтом 4.

Биметаллический термометр показан на рисунке 2.29. Биметаллическая пластина имеет вид спирали 1, жёстко прикреплённой одним концом к корпусу. Вторым концом пластины при помощи рычага 2 соединён со

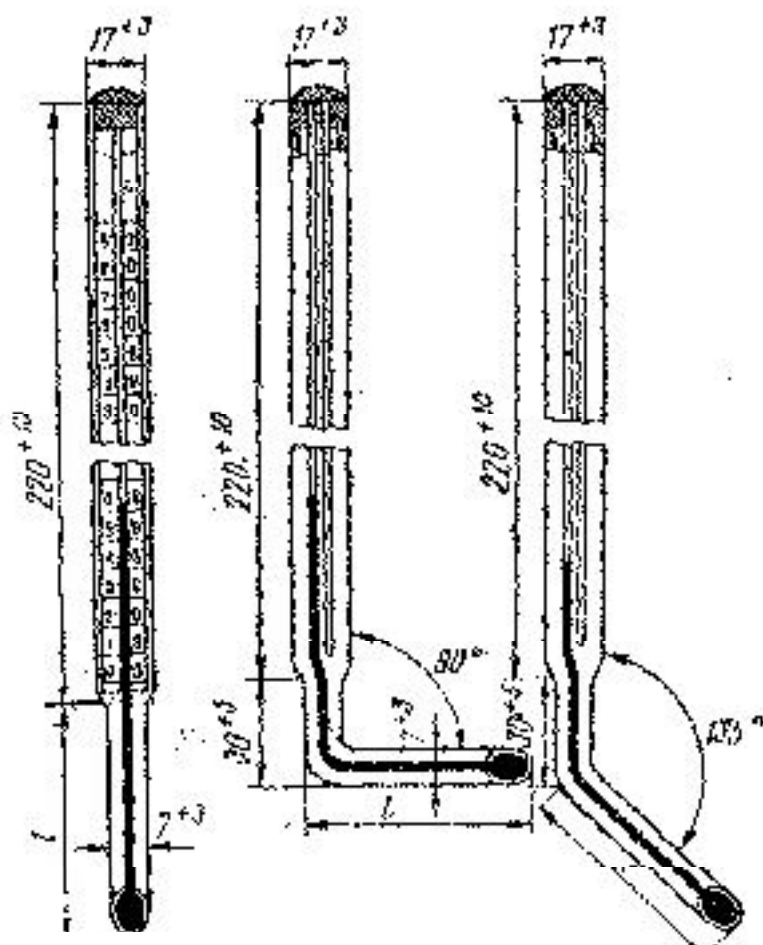


Рисунок 2.27 – Жидкостные термометры

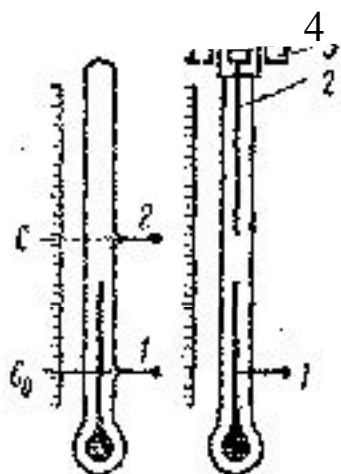


Рисунок 2.28 – Контактные термометры

стрелкой 3. Под воздействием температуры спираль раскручивается или скручивается, перемещая стрелку. В качестве металла с бóльшим коэффициентом линейного расширения применяется латунь, с меньшим – чаще всего инвар (железоникелевый сплав). Оба металла сваривают вместе, прокатывают до необходимой толщины и подвергают термической обработке.

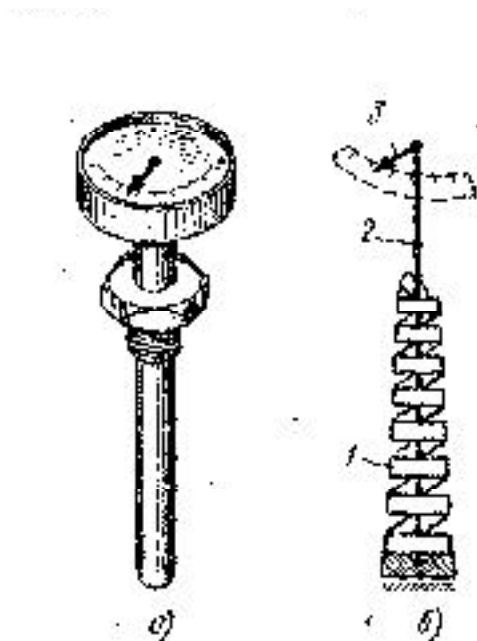


Рисунок 2.29 – Биметаллический термометр

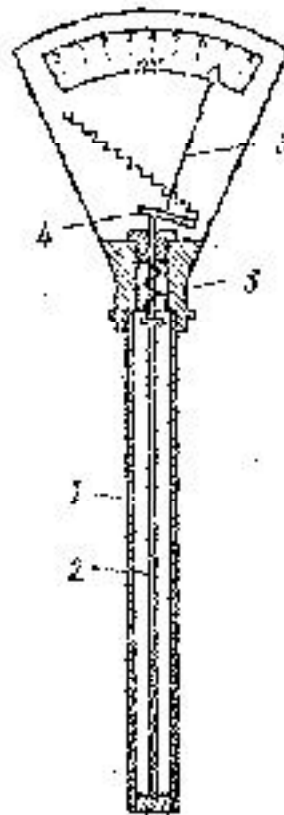


Рисунок 2.30 – Дилатометрический термометр

измерения температуры до 500 °С. Они состоят из трубки 1 и стержня 2. Стержень вмонтирован в трубку и прижимается к её нижнему торцу пружиной 3. При погружении трубки в измеряемую среду стержень 2 удлиняется меньше, чем трубка, за счёт разности коэффициентов линейного рас-

ширения. Передаточные устройства 4 и 5 под действием пружины 3 перемещают стрелку 5.

Манометрические термометры (рисунок 2.31) основаны на свойстве жидкости и газа изменять давление в замкнутом сосуде при изменении температуры. Термометр состоит из первичного элемента – термобаллона 1, заполненного рабочим веществом (его помещают в измеряемую среду), передаточной капиллярной трубки 2, многовитковой трубчатой пружины 3 и шкалы 4. Все элементы герметично соединены между собой. Длина капиллярной трубки достигает 60 м. Манометрическими термометрами измеряют температуру на расстоянии, а также их применяют для контроля температуры.

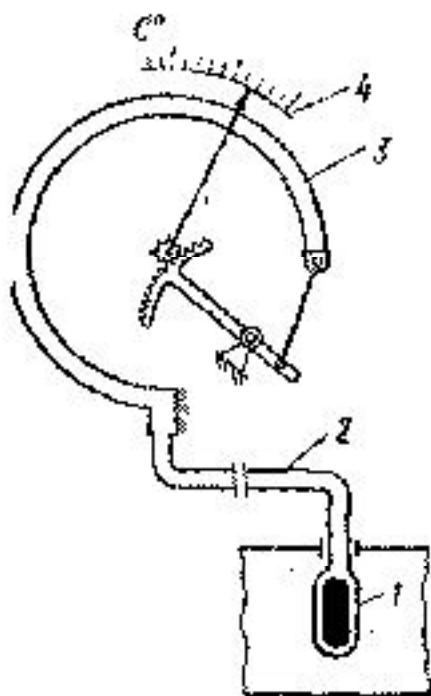
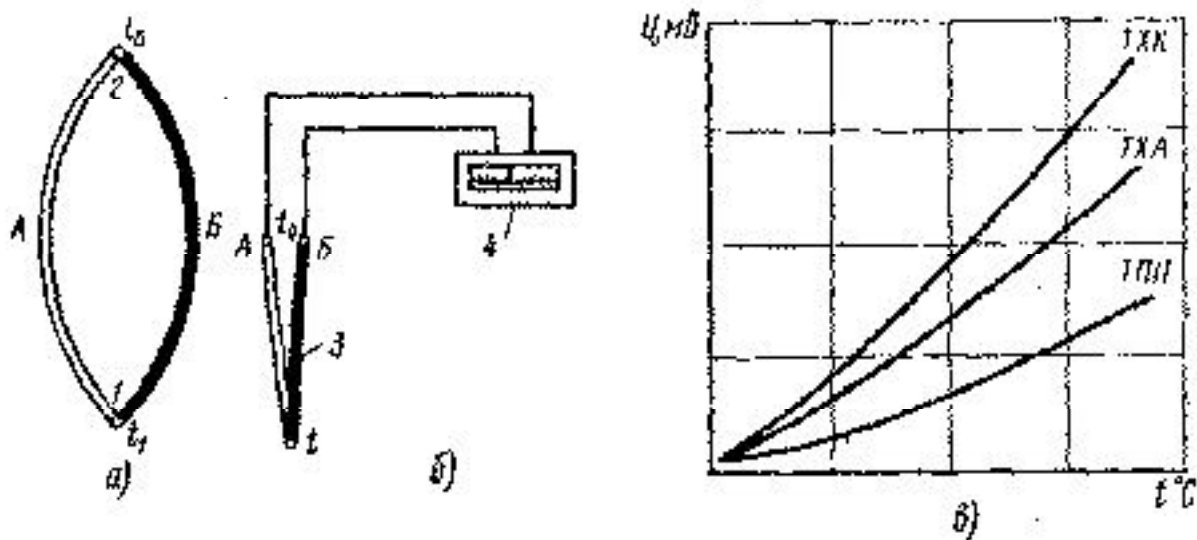


Рисунок 2.31 – Манометрический термометр

Измерительные преобразователи - *термопары* - входят в состав различных средств измерений и испытательного оборудования. Устройство

термопары показано на рисунке 2.32. Если соединить два разнородных металла, между ними начинается взаимное проникновение свободных электронов. Из проводника, имеющего большее количество свободных электронов, последние будут переходить в большем количестве, чем из проводника с меньшим их числом. Между свободными концами этих проводников появится разность потенциалов, возникнет э.д.с. С увеличением температуры количество взаимно проникающих электронов увеличивается, и следовательно, растёт э.д.с. Результирующая э.д.с. $E_{AB}(t_1t_0) = e_{AB}(t_1) - e_{AB}(t_0)$. Т.е. термоэлектродвижущая сила, развиваемая термопарой, равна разности э.д.с. рабочего и свободного конца. Свободный конец для удобства помещают в термостат с тающим льдом. 4 – милливольтметр или потенциометр.



а – схема термопары; б – схема включения измерительного прибора в цепь термопары; в – э.д.с. различных термопар

Рисунок 2.32 – Термоэлектрическая цепь

Термометры сопротивления предназначены для измерения температур от минус 200 °С до плюс 650 °С. Принцип их действия основан на свойстве металлических проводников увеличивать электрическое сопро-

тивление при нагревании. $R_t = R_0(1 + \alpha t)$, где α – температурный коэффициент сопротивления. Для меди $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$; для платины $\alpha = 3,94 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$. Термочувствительный элемент представляет собой тонкую медную или платиновую проволоку, намотанную бифилярно на каркас и заключённую в чехол. Чувствительность: сопротивление термометра с платиновой проволокой при изменении температуры на 1°C изменяется на 0,36 %.

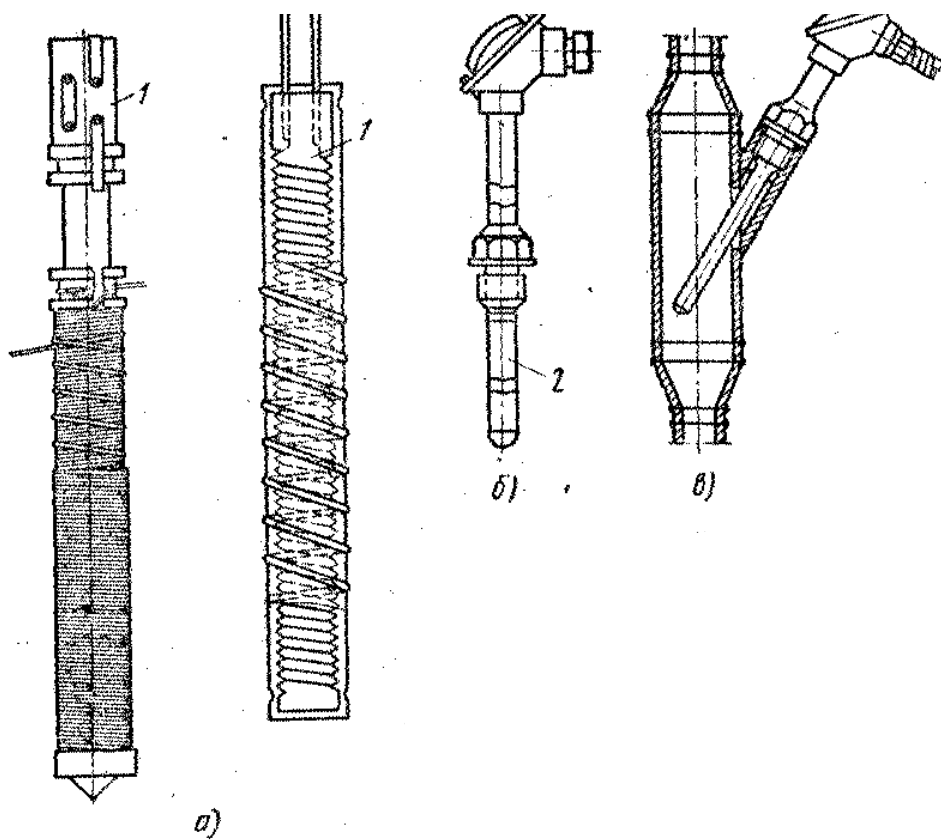
Термометр сопротивления (рисунок 2.33) состоит из сердечника 1 из электроизоляционного материала, на котором намотана платиновая проволока диаметром 0,07 мм или медная диаметром 0,1 мм. Для защиты от повреждений чувствительный элемент помещают в защитную арматуру 2. В комплект прибора могут входить электроизмерители – приборы, фиксирующие изменение сопротивления: логометры и автоматические электронные мосты.

Пирометры излучения предназначены для измерения температур от отрицательных до 6000°C . Так как они уступают по точности большинству термометров, то для измерения невысоких температур применяются редко.

2.3.5.2 *Сушильные шкафы* создают в замкнутом объёме повышенную температуру, обычно, не выше 500°C . Основное их назначение – нагрев материала до заданной температуры с целью удаления свободной влаги. Поэтому большинство из них имеют в нижней части отверстие для слива воды.

Вакуумные сушильные шкафы имеют герметичную камеру и снабжены насосом для откачивания воздуха из неё. Создание разрежения ускоряет сушку в несколько раз.

Сушильные шкафы используются также для проведения испытаний различных строительных материалов и изделий, требующих нагревания среды или материала до заданной температуры.



а – схема термометра; б – общий вид термометра; в – установка термометра сопротивления на трубопроводе

Рисунок 2.33 – Термометр сопротивления

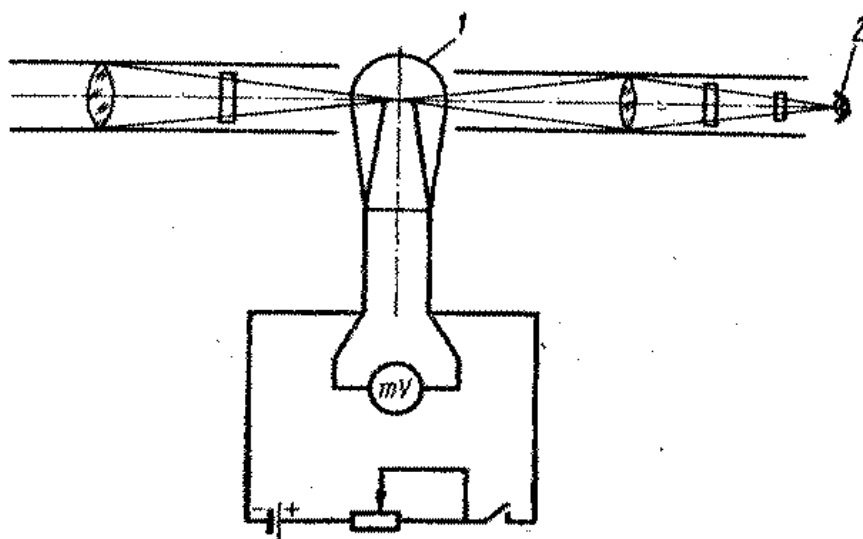
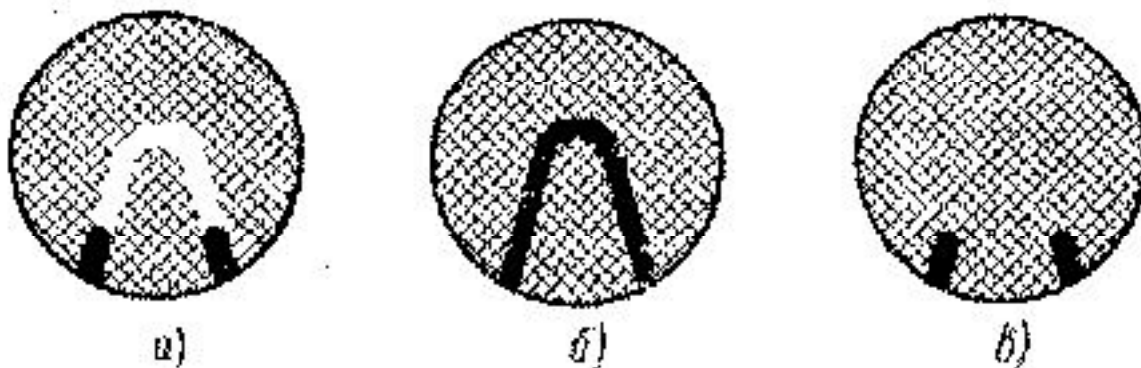


Рисунок 2.34 – Схема оптического пирометра



а – температура нити выше температуры тела; б – температура нити ниже температуры тела; в – температура нити равна температуре тела

Рисунок 2.35 – Изображение нити оптического пирометра на фоне накаливаемого тела или печной атмосферы

Сушильные шкафы получили широчайшее распространение в строительных лабораториях, т.к. многие испытания предполагают предварительное высушивание образцов или проб.

2.3.5.3 *Термостаты*, как и сушильные шкафы, предназначены для создания в замкнутом объёме повышенной температуры. В термостатах, как правило, отсутствуют нижние сливные отверстия. Термостаты обеспечивают повышенную точность регулирования установленной (заданной) температуры.

2.3.5.4 *Лабораторные печи* или *термокамеры* создают в объёме своей камеры высокую температуру. Максимальная температура, в зависимости от назначения оборудования, может быть от 400 °С до 1700 °С. Для специальных работ создаются печи с большей максимальной температурой.

2.3.5.5 *Морозильные (крио-) камеры* предназначены для охлаждения материалов до заданной температуры.

2.3.5.6 *Климатические камеры* предназначены для моделирования одновременного воздействия на строительные материалы и изделия нескольких климатических факторов: повышенной и (или) пониженной температуры, переменной влажности воздуха, дождя, ультрафиолета и др.

Среди них можно выделить установки для испытания на сопротивление теплопередаче различных строительных конструкций, состоящие, обычно, из "тёплого" и "холодного" отсеков, между которыми монтируется образец – фрагмент испытываемой конструкции. Сопротивление теплопередаче оценивается по разности температур на противоположных поверхностях образца.

2.3.5.7 Следует отметить один общий недостаток, присущий большинству видов испытательного оборудования, приведённых в п.п. 2.3.5.2 – 2.3.5.6. Это – перепад температур по высоте камеры, достигающий иногда очень большой величины – до (12 – 15) °С.

Величина перепада температур зависит от высоты камеры, расположения нагревательных элементов в корпусе; резко увеличивают перепад отверстия в камере (см. п. 2.3.5.2).

Для исключения этого явления некоторые виды оборудования снабжаются вентиляторами, но, учитывая тяжёлые условия работы, они существенно усложняют и удорожают конструкцию.

2.3.5.8 *Автоклавы (лабораторные)* – оборудование, предназначенное для создания в замкнутом объёме повышенных температуры и давления, а также паровой среды. Автоклавы весьма редко встречаются в строительных лабораториях.

2.3.5.9 *Приборы для определения теплопроводности* позволяют измерять коэффициент теплопроводности испытываемого материала.

Существует два основных типа таких приборов – стационарного и нестационарного теплового потока. Первые обеспечивают большую точность измерений, но предполагают применение образцов определённой

формы и размеров (обычно, квадратные пластины толщиной от 10 мм до 30 мм), что часто создаёт большие трудности, а иногда делает невозможным испытание. Вторые приборы предполагают установку в образец или в реальную конструкцию специального датчика – зонда. Зонд требует большой толщины образца (не менее 10 см), но не зависит от прочих его размеров.

Можно отметить, что большинство приборов для определения теплопроводности имеют весьма большую погрешность, на уровне (5 – 7) %.

2.3.6 Средства измерений времени

Секундомеры – традиционное средство измерений времени при проведении испытаний строительных материалов. Цена деления механических секундомеров составляет (0,2 – 1) с, электронных – от 0,01 с.

Можно отметить, что сегодня в некоторых стандартах допускается измерять время при помощи обычных (бытовых) часов.

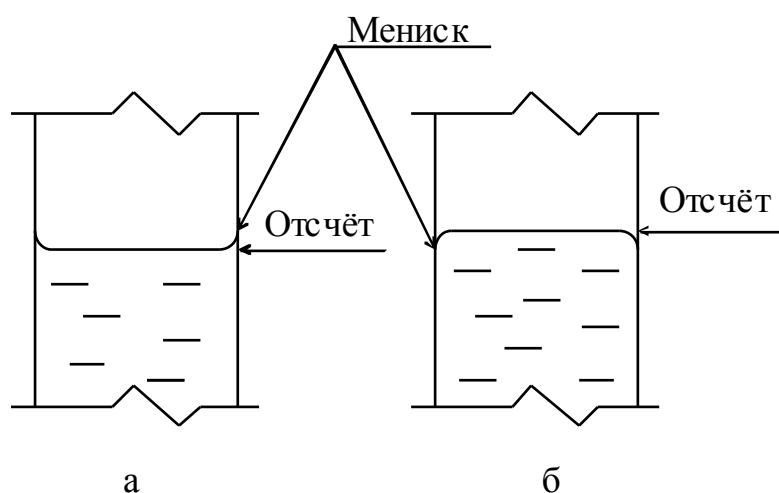
Часы песочные – древнейшее средство измерения времени. Представляют собой две колбы, соединённые узким горлышком и заполненные мелким сухим песком. Время пересыпания песка из одной колбы в другую при переворачивании часов – фиксированное и может находиться в широких пределах от 1 мин до 1 ч и более. Конечно, песочные часы уступают по точности секундомерам и современным электронным часам, но вследствие своей простоты и наглядности песочные часы до сих пор встречаются в строительных лабораториях.

В строительстве при некоторых испытаниях применяются *ультразвуковые приборы*, предполагающие измерение времени прохождения ультразвука через толщу материала. Время в таких приборах исчисляется миллионными долями секунды.

2.3.7 Средства измерений и испытательное оборудование для определения объёма и плотности жидкостей и твёрдых тел

Для измерения или отмеривания заданного объёма жидкостей, реже сыпучих материалов широко применяются стеклянные или пластмассовые *мерные цилиндры* (мензурки) – цилиндрические ёмкости со шкалой на боковой поверхности. Мерные цилиндры могут иметь верхний предел измерений от 25 мл до 2 л. Цена деления может находиться в пределах, соответственно, от 0.5 мл до 10 мл.

К сожалению, верхняя поверхность жидкости почти никогда не бывает плоской: всегда образуется мениск (рисунок 2.36). Причиной образования мениска является поверхностное натяжение на границе раздела сред – твёрдой (стекло), жидкой и газообразной (воздух). Мениск искажает действительное значение объёма, поэтому результат определяют по уровню жидкости в центральной части поперечного сечения цилиндра.



а – жидкость смачивает стекло. б – жидкость не смачивает стекло

Рисунок 2.36 – Определение объёма жидкости в мерном цилиндре

Бюретки представляют собой узкие стеклянные трубки с нанесённой на них шкалой объёма и краном с притёртой пробкой в нижней части. При помощи бюреток обычно проводят титрование. Верхний предел измерений и цена деления бюреток значительно меньше, чем у мерных цилиндров.

Мерные стаканы предназначены для грубых измерений объёма жидкостей. Цена их делений составляет (10 ... 50) мл.

Стальные мерные цилиндры объёмом от 1 л до 20 л предназначены для определения насыпной плотности сыпучих материалов, а также средней плотности бетонных смесей и аналогичных материалов. Стальные мерные цилиндры не имеют шкалы.

Объёмомер представляет собой ёмкость, в верхней части стенки которого имеется небольшое отверстие с "носиком" (рисунок 2.37). Объёмомеры предназначены для измерения плотности твёрдых тел.

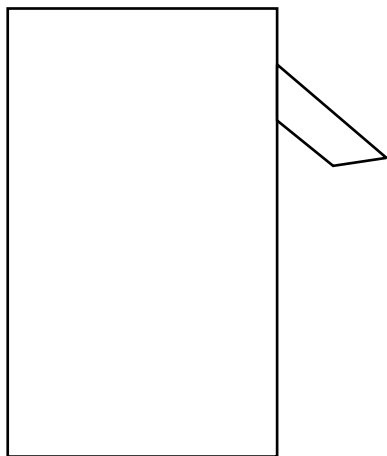


Рисунок 2.37 - Объёмомер

Измерение объёма производится в два этапа. Сначала в объёмомер наливают воду выше уровня отверстия и ждут момента, когда вся лишняя вода сольётся и перестанет капать из "носика". Затем под носик подставляют ёмкость для сбора воды и аккуратно погружают в объёмомер

измеряемый объект. Собрав всю слившуюся после этого воду, измеряют её объём, который равен объёму объекта измерения.

При использовании объёмометров могут возникнуть следующие проблемы. Процесс слива избыточной воды может длиться довольно долго – десятки минут. Чтобы ускорить процесс, можно зафиксировать характерный момент – превращение струйки в отдельные капли и отсчитать от него любое время (1 ... 3 мин), после чего сразу перейти ко второму этапу, а на втором этапе через такое же время прекратить сбор воды.

Во-вторых, многие твёрдые материалы обладают пористостью и сразу после погружения в воду начинают её впитывать, что приводит к искажению в сторону уменьшения результата измерения объёма. В таких случаях измеряемые образцы предварительно либо насыщают водой, либо парафинируют – погружают на несколько секунд в расплавленный парафин и затем охлаждают. При этом надо иметь в виду, что такая предварительная обработка привносит в результат измерения дополнительную погрешность, т.к. при насыщении водой материалы, как правило, набухают, а при парафинировании объём образца увеличивается за счёт тонкого слоя парафина. Учесть впитывание можно также взвешиванием образца до и после опыта. Разность масс следует разделить на плотность воды и прибавить к объёму слившейся воды.

В-третьих, ряд материалов имеют плотность меньше, чем у воды, и поэтому погружаются в неё не полностью. В этом случае заранее делают металлическую решётку, которой пригружают образец. При сливе воды без образца на первом этапе опыта решётка также должна находиться в объёмометре.

Ареометры – приборы для определения плотности жидкостей. Слово "ареометр" произошло от греческого "αραίος" – неплотный, жидкий и слова "метр" [8]. Различают ареометры постоянной массы, называемые денси-

метрами, и постоянного объёма. Последние применяются значительно реже, но могут использоваться для определения плотности твёрдых тел.

Ареометр – денсиметр (рисунок 2.38) представляет собой стеклянный запаянный сосуд, в нижней – широкой части которого располагается груз (обычно дробь), а в верхней – узкой – шкала плотности. Ареометр погружают в сосуд с жидкостью и фиксируют по шкале плотность испытуемой жидкости.



Рисунок 2.38 - Ареометр постоянной массы (денсиметр)

Ареометр постоянного объёма не имеет шкалы; в узкой его части имеется единственная риска. Конструктивно ареометр постоянного объёма отличается от денсиметра тем, что сверху имеется подставка, на которую кладут гири (разновесы), а снизу подвешена "корзиночка" (есть только в ареометрах, предназначенных для определения плотности твёрдых тел).

При определении плотности жидкости ареометр погружают в неё и, подкладывая на верхнюю подставку гири, добиваются, чтобы риска совпала с уровнем воды. Отношение суммарной массы гирь и ареометра к

массе ареометра равно отношению плотности испытуемой жидкости к плотности жидкости, на которую изначально настроен ареометр (обычно это плотность воды $\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$).

При определении плотности твёрдого тела его кладут сначала в "корзиночку", а потом на верхнюю подставку, каждый раз гирьками доводя риску до уровня жидкости. Плотность тела определяется как отношение массы тела (его можно взвесить заранее, а можно определить как разность масс гирек при определении плотности жидкости и при доведении риски до уровня жидкости, когда твёрдое тело находилось на верхней подставке) к разности масс гирек, уложенных на верхнюю подставку при нахождении твёрдого тела в "корзиночке" и на верхней подставке.

Как и при применении мерных цилиндров, при использовании ареометров имеет место проблема мениска. При снятии показаний мениск, высота которого может достигать двух делений шкалы, не должен учитываться.

2.3 8 Средства измерений влажности

Психрометры предназначены для измерения влажности воздуха. Бывают двух основных типов – аспирационные и электронные. Точному измерению влажности воздуха серьёзно мешает расслоение воздуха в помещении по высоте, движение воздуха (ветер), и даже дыхание оператора. Поэтому при необходимости повышения точности измерений применяют выносные датчики, позволяющие минимизировать влияние двух последних факторов.

Влагомеры предназначены для измерения влажности материалов – древесины, песка, щебня (гравия) и др. Наибольшее распространение по-

лучили электронные влагомеры, принцип действия которых основан на зависимости между влажностью и электросопротивлением материалов.

Известны также радиоизотопные влагомеры.

2.4 Испытательное оборудование

Испытательное оборудование – это средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний [1].

Средство испытаний – техническое устройство, вещество или материал для проведения испытаний [1].

Испытательное оборудование должно обеспечивать заданные параметры окружающей среды при проведении каких-либо испытаний. При этом оно может содержать в себе одно или несколько средств измерений.

Наиболее распространённым испытательным оборудованием являются сушильные шкафы, термостаты, лабораторные печи, морозильные и климатические камеры, лабораторные автоклавы, лабораторные вибрационные площадки, формы для изготовления образцов, встряхивающие столы (для испытания цементов), лабораторные мешалки (в случаях, если к их техническим характеристикам предъявляются требования), установки для испытания бетона на водонепроницаемость и т.п. Также к испытательному оборудованию относят сита для разделения сыпучих материалов на фракции.

3 Виды и методы измерений

3.1 Виды измерений

В зависимости от способа получения значения измеряемой величины измерения подразделяются на два основных вида: прямые и косвенные. В зависимости от особенностей измерений выделяют также совокупные и совместные измерения.

Прямым называют измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение массы на циферблатных или равноплечих весах, температуры – термометром, длины – линейкой, рулеткой или штангенциркулем, растяжимость биту – по шкале дуктилометра. Прямые измерения лежат в основе других, более сложных видов измерений.

Косвенным называют измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Например, для нахождения объёма цилиндрического образца следует измерить его высоту – h и диаметр – d :

$$V = \pi d^2 h : 4; \quad (1.6)$$

для нахождения плотности образца - куба следует измерить его массу – m и длину ребра – a :

$$\rho = m : a^3 ; \quad (1.7)$$

относительную влажность воздуха определяют по показаниям "сухого" и "мокрого" термометров с помощью специальной таблицы; предел прочности при сжатии или растяжении образца определяют по разрушающей нагрузке – F_p и площади поперечного сечения образца – A :

$$R = F_p : A. \quad (1.8)$$

Совокупными называют одновременно производимые измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. Например: измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь.

Совместными называют производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними. Например, при определении модуля упругости бетона – E_b необходимо произвести испытание образца – призмы на сжатие, повышая нагрузку ступенями и фиксируя на каждой ступени напряжение в бетоне – σ_i , относительную продольную деформацию ε_i . По результатам испытаний (представляющих собой совокупность пар значений $\sigma_i - \varepsilon_i$) определяют напряжение, соответствующее нагрузке, равной 30 % от разрушающей – $\sigma_{0,3}$, а также соответствующую деформацию – $\varepsilon_{0,3}$. Модуль упругости вычисляют по формуле:

$$E_b = \sigma_{0,3} : \varepsilon_{0,3} . \quad (1.9)$$

Результат совместных измерений может быть выражен графически, например: построение зависимости прочности бетона – R_b от скорости прохождения через него ультразвука – v :

$$R_b = f(v). \quad (1.10)$$

3.2 Методы измерений

В основе косвенных, совокупных и совместных измерений лежат прямые измерения, основные методы которых приведены в данном подразделе.

Метод непосредственной оценки позволяет получить значение величины непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого действия (без каких-либо дополнительных действий и вычислений, за исключением умножения показаний на цену или на постоянную прибора).

Метод сравнения с мерой – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Этот метод включает в себя несколько разновидностей: метод противопоставления, метод замещения, нулевой, дифференциальный и метод совпадений.

Метод противопоставления заключается в одновременном воздействии на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами. Например: измерение массы на равноплечих весах с помещением измеряемого объекта на одну чашку весов, а уравновешивающих его гирь – на другую чашку.

Метод замещения заключается в замещении измеряемой величины известной величиной, воспроизводимой мерой. Например: взвешивание с поочерёдным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов.

Дифференциальный метод заключается в том, что на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой. Использование этого метода позволяет значительно повысить точность измерений.

Например, необходимо измерить длину l некоторого изделия (рисунок 3.1).

Длину можно измерить методом непосредственной оценки, например, измерительной линейкой, обеспечивающей относительную погрешность измерений δ . Абсолютная погрешность составит $\Delta_1 = \delta l$.

При применении дифференциального метода заранее изготавливается

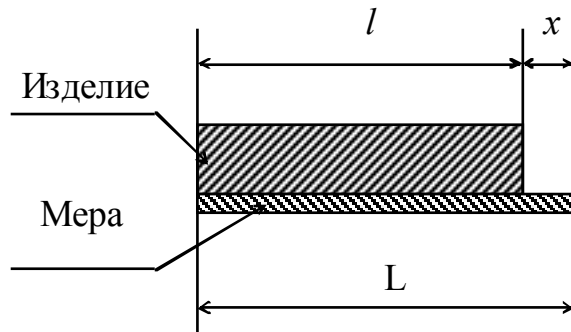


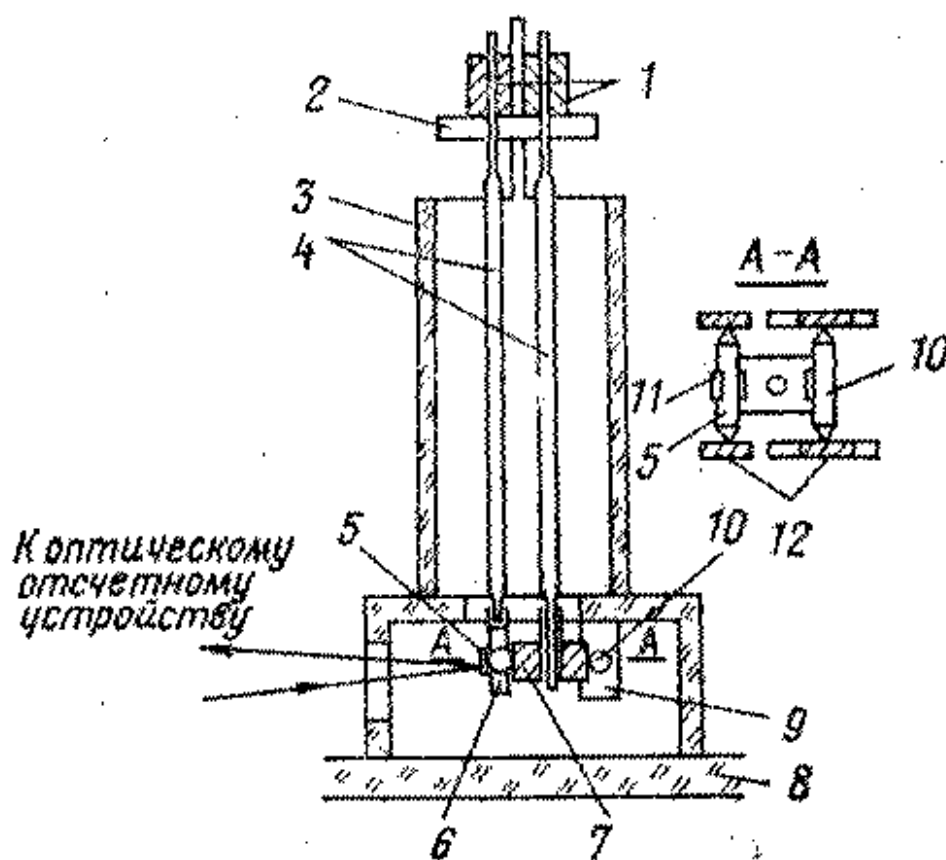
Рисунок 3.1 – Дифференциальный метод измерений длины

мера, воспроизводящая номинальный размер L изделия с высокой точностью. Мери прикладывают к изделию и линейкой измеряют разность длин изделия и меры – x . Абсолютная погрешность составляет $\Delta_2 = \delta x$. Тогда относительная погрешность измерения всей длины изделия составит: $\delta_2 = \delta x : l$, что намного меньше δ .

Например, если $L = 2,0$ м, $x = 0,1$ м, $\delta = 0,005$, то при измерении дифференциальным методом погрешность измерения длины изделия ($l = 2,0 - 0,1 = 1,9$ м) составит $\delta_2 = 0,005 \cdot 0,1 : 1,9 = 0,00026$, что в 19 раз меньше погрешности при измерении всей длины изделия той же линейкой.

Дифференциальный метод требует наличия высокоточной меры, однако, ещё труднее сделать прибор высокой точности для измерения больших величин.

В строительстве в некоторых случаях требуется подбирать материалы, имеющие близкие коэффициенты термического расширения (бетон, железобетон, работающие в большом диапазоне температур, и др.). Экспериментальный выбор таких материалов может быть сделан с помощью дифференциального dilatометра (рисунок 4.1). Измерительное устройство прибора рассчитано на два образца, и в ходе измерения определяется разность их теплового расширения.



- 1 – сравниваемые образцы; 2 – кварцевый столик; 3 – кварцевая трубка;
 4 – толкатели; 5 – измерительный ролик; 6 – рамка; 7 – магнит,
 8 – основание; 9 – инваровый кронштейн; 10 – вспомогательный ролик;
 11 – зеркальце; 12 – корундовые опоры

Рисунок 4.1 – Принципиальная схема измерительного устройства дифференциального дилатометра

Метод совпадений – это метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигнала-

лов. Например, измерение длины с помощью штангенциркуля с нониусом, измерение углов угломером с нониусом.

4 Погрешности измерений

4.1 При проведении измерений неизбежны отклонения результатов измерений от истинных значений измеряемых величин. Основные причины этого:

- инструментальные погрешности;
- погрешности метода измерений;
- влияние внешних факторов;
- субъективные погрешности;
- изменение параметров состояния измеряемого объекта.

Инструментальными называют погрешности самих средств измерений. Как правило, они в той или иной форме указываются в руководстве по эксплуатации средств измерений.

Погрешности метода измерений связаны с его несовершенством. Например, при определении объёма образца кубической формы чаще всего измеряют длину любого ребра a и вычисляют объём как $V = a^3$. При этом фактические размеры рёбер могут отличаться друг от друга, грани могут иметь отклонения от плоскостности и т.п.

Площадь сечения арматурной стали периодического профиля определяют по формуле $A = m/(L \cdot \rho)$, (4.1)

где m – масса образца;

L – длина образца;

ρ – плотность стали, принимаемая равной 7850 кг/м^3 , в то время как фактическая плотность стали может заметно отличаться от указанного значения.

Состояние окружающей среды ("внешние факторы") может оказывать существенное влияние на точность результатов измерений. Характерный пример такого влияния – изменение фактической длины измерительных линеек, рулеток и т.п. при колебаниях температуры. Шкала, нанесённая на такие инструменты, рассчитана на температуру применения 20 °С. При отклонении от этой температуры цена деления изменяется, и в результате измерения следует вносить поправку. Например, если стальная рулетка имеет температуру 30 °С, а измеренное расстояние (например, между осями колонн) составило $L = 25\,000$ мм, то поправка составит:

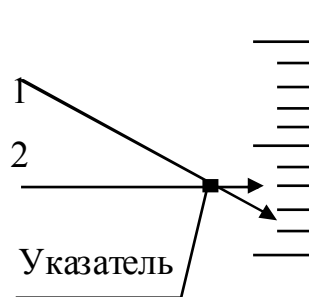
$$\Delta L = L \cdot \alpha(t - 20), \quad (4.2)$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения стали, $\alpha = 20,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

t – температура рулетки, °С.

$\Delta L = 25\,000 \cdot 20,5 \cdot 10^{-6}(30 - 20) \approx 5$ мм. Тогда фактическое расстояние составит 25 005 мм.

Субъективные погрешности являются следствием индивидуальных качеств оператора, обусловленных особенностями его органов чувств (плохое зрение и т.п.) и навыками работы. Например, весьма распространены погрешности отсчитывания при определении объёма жидкости в стеклянном мерном цилиндре (человек, смотрящий на него сбоку, видит две линии мениска – верхнюю и нижнюю. Отсчёт положено делать по нижнему мениску), погрешности от параллакса, происходящие вследствие визирования указателя, расположенного на некотором расстоянии от поверхности шкалы, в направлении не перпендикулярном поверхности шкалы (рисунок 4.2). При испытаниях материалов и изделий на прочность лаборанты нередко нарушают требования стандартов по скорости нагружения образцов (например, при испытании бетонов скорость должна быть в пределах от 0,2 до 1,0 МПа/с).



Положение наблюдателя относительно указателя и шкалы:

1 – неправильное;

2 – правильное.

Рисунок 4.2 – Погрешность от параллакса

Изменение параметров состояния измеряемого объекта может оказать большое влияние на результат. Например, при определении стандартной консистенции гипсового теста следует очень быстро произвести его укладку в цилиндр, так как в процессе испытания в тесте происходят физико-химические процессы.

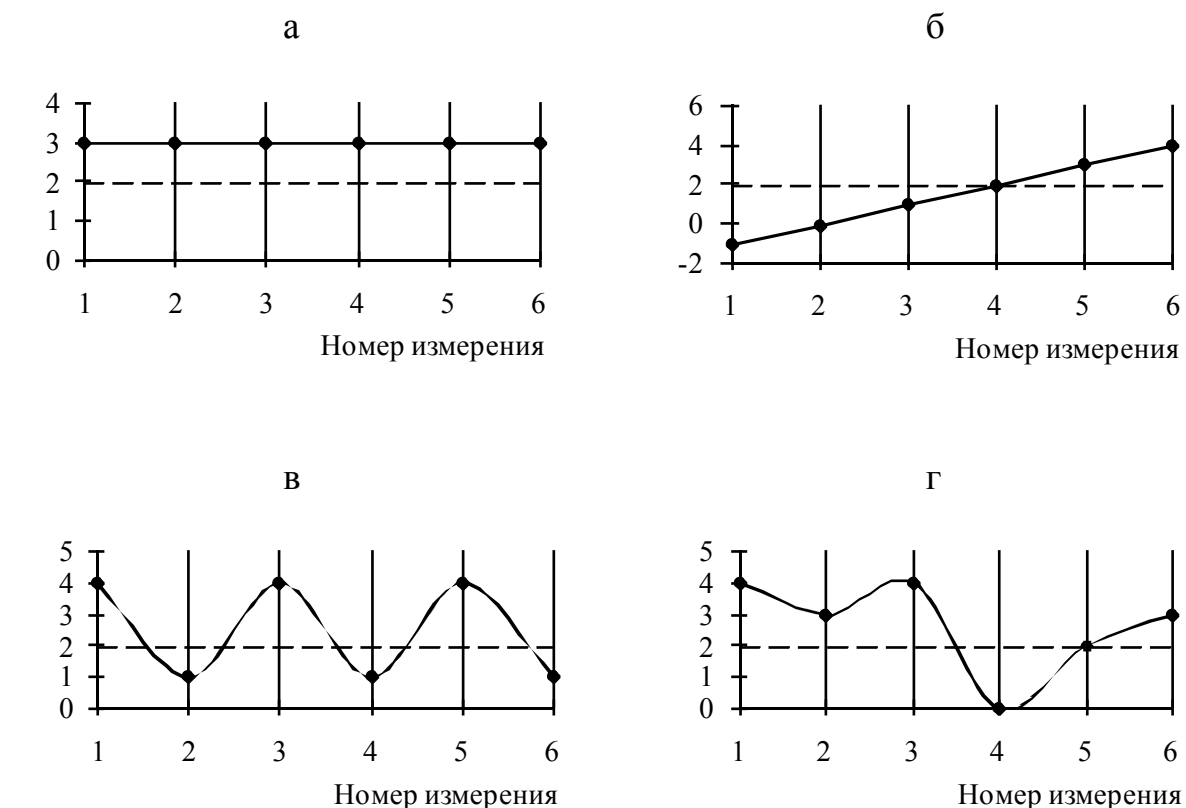
Очень трудно измерять толщину тонких лент и шнуров мягких герметизирующих материалов, так как герметик продавливается при соприкосновении с измерительным инструментом.

4.2 При многократных (повторных) измерениях одной и той же величины при прочих равных условиях – одним и тем же инструментом, при одних и тех же основных влияющих факторах и т.п. – погрешности измерений, в силу разных причин, могут быть различными. В зависимости от характера изменения погрешностей при повторных измерениях различают:

- систематические погрешности;
- случайные погрешности;
- грубые ошибки или промахи.

Систематическим называют погрешности измерений, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при повторных измерениях одной и той же величины (рисунок 4.3). Систематические погрешности могут быть изучены, т.е. может быть установлен закон их изменения, а ре-

зультаты измерений могут уточняться на основании установленной закономерности путём введения поправок к показаниям средства измерений.



----- — истинное значение измеряемой величины

————— — измеренное значение величины

а, б, в — систематические погрешности

г — случайные погрешности

Рисунок 4.3 – Виды погрешностей измерений

Например: при поверке термометра установлено, что он завышает показания на 1 °С. В этом случае использовать термометр можно, но в результаты измерений надо вносить поправку $A = -1$ °С.

При измерении длины изделия или расстояния рулеткой следует вводить поправку на температуру окружающей среды:

$$\delta x_{\text{cor},t} = l_{\text{изм}}[\alpha_1(t_1 - 20 \text{ °C}) - \alpha_2(t_2 - 20 \text{ °C})], \quad (4.3)$$

где $l_{\text{изм}}$ – измеренное значение, мм;

α_1 и α_2 – коэффициенты линейного расширения соответственно ленты рулетки и измеряемого объекта, $^{\circ}\text{C}^{-1}$. При измерении расстояния между объектами принимается $\alpha_2 = 0$;

t_1 и t_2 – температура средства измерений и измеряемого объекта, $^{\circ}\text{C}$.

Как правило, $t_1 = t_2$.

Например: при измерении длины железобетонной фермы получено значение 24010 мм. Измерение выполнялось стальной рулеткой при температуре минус 20 $^{\circ}\text{C}$. Для стали $\alpha_1 = 20,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Для железобетона $\alpha_2 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Тогда поправка на температуру окружающей среды составит: $\delta x_{\text{кор},t} = 24010 \cdot [20,5 \cdot 10^{-6}(-20 - 20) - 12 \cdot 10^{-6}(-20 - 20)] \approx -8 \text{ мм}$. Следовательно, действительная длина фермы при температуре 20 $^{\circ}\text{C}$ составляет $24010 - 8 = 24002 \text{ мм}$.

Случайными называют погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Значения случайных погрешностей взаимно независимы могут быть положительными или отрицательными по знаку (рисунок 4.3 г).

В отличие от систематических случайные погрешности нельзя исключить из результатов измерений. Кроме того, в большинстве случаев невозможно установить величину случайной погрешности, если произведено только одно измерение. Случайные погрешности изучают по результатам повторных измерений с использованием методов математической статистики и теории вероятностей, что даёт возможность найти действительное значение измеряемой величины, более близкое к истинному значению по сравнению с результатом одного измерения.

Грубой называют погрешность, существенно превышающую ожидаемую при данных условиях. Грубые погрешности (промахи, ошибки) обычно возникают в результате неисправности средств измерений, ошибок наблюдения, ошибок вычислений или резкого изменения условий изме-

ний. Результаты измерений, содержащие грубые погрешности, обычно исключают из совокупности и не принимают во внимание.

4.3 Оценка случайных погрешностей измерений

4.3.1 Источники случайных погрешностей при многократных измерениях связаны со случайными событиями, поэтому в теории погрешностей измерений используется математический аппарат теории вероятностей. Теория вероятностей изучает свойства случайных явлений, происходящих при массовых событиях. Массовые события (в данном случае - измерения, испытания) происходят многократно при неизменных основных условиях.

Случайным называют событие, которое в определённых условиях может произойти или не произойти.

Вероятность (точнее – математическая вероятность) – числовая характеристика степени возможности наступления какого-либо события в определённых условиях, которые могут повторяться неограниченное число раз. Вероятность P события A вычисляется как отношение числа благоприятных случаев – m , влекущих за собой появление события A , к общему числу событий – N :

$$P(A) = m/N. \quad (4.4)$$

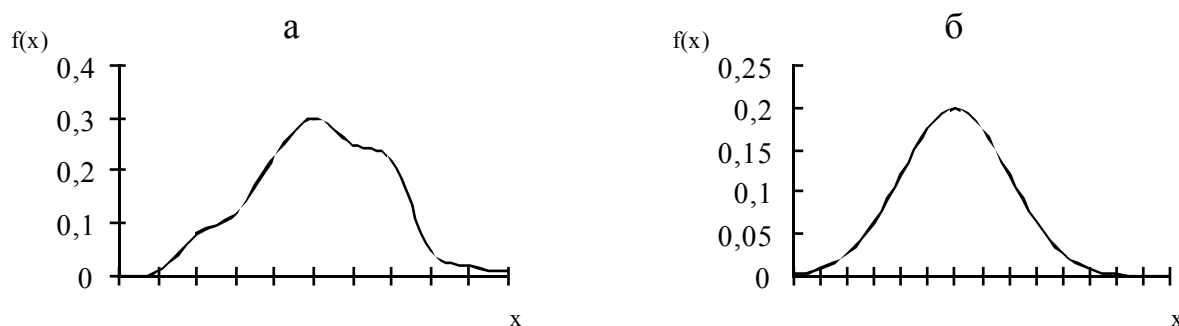
Например, в партии из 60 плит перекрытий находится 4 бракованных. Вероятность того, что погруженная на машину плита окажется бракованной, составляет: $P = 4 : 60 \approx 0,067$.

Можно заметить, что сумма вероятностей всех возможных событий всегда равна единице.

Случайная величина может быть дискретной или непрерывной. Дискретная случайная величина может принимать только определённые зна-

чения, причём эти значения могут быть перечислены. Например, количество бракованных изделий в партии, количество отказов оборудования за какой-либо период времени и т.п. – дискретные величины. Непрерывная случайная величина может принимать любое значение в некотором интервале. Например, средняя плотность лёгкого бетона марки D1500 может принимать любое значение в интервале свыше 1400 кг/м^3 до 1500 кг/м^3 включительно, активность цемента марки 400 может принимать любое значение от $39,2 \text{ МПа}$ до $49,0 \text{ МПа}$.

Каждому значению случайной величины соответствует определённая вероятность. Совокупность пар "случайная величина" – "вероятность случайной величины" представляет собой функцию её распределения (или закон распределения случайной величины), которую можно изобразить графически (рисунок 4.4). Такой график называется кривой распределения случайной величины. Кривая распределения характеризует плотность распределения вероятностей для данной случайной величины. Площадь, ограниченная кривой распределения, всегда равна 1.



а – произвольное распределение; б – нормальное распределение

Рисунок 4.4 – Кривые распределения непрерывной случайной величины (x)

Для определения вероятности того, что случайная величина лежит в пределах некоторого интервала $\Delta x = x_a - x_b$, необходимо найти площадь фигуры под кривой распределения, ограниченной абсциссами $x = a$ и $x = b$.

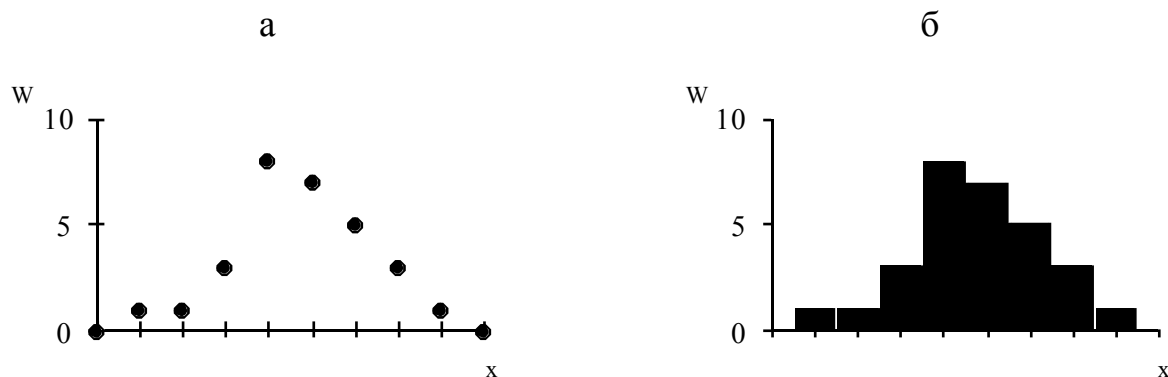
Дискретная случайная величина считается заданной, если известны все возможные её значения и их вероятности. Непрерывные величины характеризуются бесчисленным множеством возможных значений, поэтому непрерывную случайную величину на практике задают в виде дискретной, разбивая область всех возможных её значений на интервалы и определяя вероятность появления этих интервалов. Например, непрерывный ряд прочности бетона от 41,0 до 51,0 МПа может быть заменён рядом интервалов, МПа:

- 41,0 – 42,0;
- 42,1 – 43,0;
- 43,1 – 44,0;
- ...
- 50,1 – 51,0.

Для удобства каждый интервал может быть заменён численным значением прочности, представляющим собой среднее арифметическое значение интервала: 41,5 МПа, 42,5 МПа, ... 50,5 МПа.

Исходя из значений вероятностей, найденных для всех интервалов, строится ступенчатый график, называемый гистограммой (рисунок 4.5).

Если значение случайной величины формируется под воздействием большого числа независимых факторов, то можно ожидать распределения по так называемому нормальному закону (рисунок 4.4 б). Наибольшая плотность вероятности при нормальном распределении соответствует математическому ожиданию – $M(x)$, а при конечном числе наблюдений – среднему значению – x_m .



а – точечный график; б – гистограмма

W – частота появления значений случайной величины x

Рисунок 4.5 – Кривые распределения дискретной случайной величины (x)

Математическое ожидание непрерывной случайной величины выражается интегралом:

$$M(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) \cdot dx \quad . \quad (4.5)$$

Математическое ожидание дискретной случайной величины – это сумма произведений всех возможных значений величины x_i на вероятности этих значений p_i :

$$M(x) = \sum_{i=1}^n (x_i p_i) \quad . \quad (4.6)$$

Среднее значение случайной величины определяется по формуле

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad , \quad (4.7)$$

где n – число повторных измерений.

Понятия математическое ожидание и среднее значение иногда ошибочно отождествляют друг с другом. Но, как видно из приведённых формул, это – различные понятия. При этом можно отметить, что при $n \rightarrow \infty$ среднее значение стремится к математическому ожиданию.

5 Единицы физических величин

5.1 Развитие международной торговли привело к необходимости создания общей для всех стран системы единиц физических величин. Первый шаг в этом направлении был сделан во Франции после Великой французской революции 1789 г. Учёные разработали и предложили новую – метрическую систему мер и предложили всем странам принять её.

Главной идеей новой системы было следующее: она базировалась на одной основной единице – метре ("метр" в переводе с греческого – мера), определяемом как одна сорокамиллионная часть меридиана Земли, проходящего через Париж; система счисления – десятичная. Немаловажным было то, что метр был новой единицей и поэтому не затрагивал чьей-либо национальной гордости. Все остальные единицы физических величин были производными от метра: площади (ар, равный площади квадрата со стороной 10 м), объёма (стер, равный объёму куба со стороной 1 м), вместимости для жидких и сыпучих тел (литр, равный объёму куба с ребром 0,1 м), массы (килограмм, равный массе воды, заполняющей при 0 °С куб с ребром 0,1 м). Из платины были изготовлены эталоны метра и килограмма.

20 мая 1875 году, в период Третьей Французской республики, в Париже 17 государств, и в т.ч. Россия, подписали "Метрическую конвенцию для обеспечения международного единства и усовершенствования метрической системы мер" и создали международную организацию мер и весов.

Незадолго до этого – в 1872 г. – учёные убедились, что принятые ранее определения единиц метра и килограмма являются недостаточно точными, поэтому за единицы метра и килограмма приняли эталоны, изготовленные ещё в 1799 г.

При некоторых расчётах пользовались также единицей времени – секундой, определяемой как $1/86400$ суток.

В России в 1899 г. специальным указом разрешено применять метрическую систему в торговых сделках наравне с "основными" российскими мерами.

Развитие науки и техники вызвало необходимость установления единиц для новых физических величин. В развитие метрической системы мер был создан целый ряд отраслевых метрических систем единиц для механических, электрических, магнитных величин: ММС (миллиметр – миллиграмм – секунда), МКС (метр – килограмм – секунда), МКСА (метр – килограмм – секунда – ампер), МКСК (метр – килограмм – секунда – кельвин), МКСКД (метр – килограмм – секунда – кандела), МКС μ_0 (метр – килограмм – секунда – магнитная постоянная μ_0), МКСЛМ (метр – килограмм – секунда – люмен), МКГСС (метр – килограмм-сила – секунда), СГС (сантиметр – грамм – секунда) и её разновидности: СГСФ (сантиметр – грамм – секунда – фарада), СГСБ (сантиметр – грамм – секунда – био. Био – устаревшая единица силы тока, равная 10 А), СГСМ (сантиметр – грамм – секунда; магнитная постоянная $\mu_0 = 1$), СГС μ_0 (сантиметр – грамм – секунда – μ_0), СГСЭ (сантиметр – грамм – секунда; электрическая постоянная $\epsilon_0 = 1$), СГС ϵ_0 (сантиметр – грамм – секунда – ϵ_0), МТС (метр – тонна – секунда) и др.

Существование нескольких систем создавало большие трудности при переводе единиц из одной системы в другую. В конце концов, стала очевидной необходимость их замены одной универсальной системой.

В октябре 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам, проходившей в Париже, была принята и рекомендована к применению международная система единиц ("Système International d'unités"), сокращённо СИ (SI). С 01.01.1982 г. применение её в СССР стало обязательным. В СИ основными являются семь единиц:

- метр (м) – единица длины, равная длине пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ с; международное обозначение m;

- секунда (с) – единица времени, равная 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия – 133; международное обозначение s;

- килограмм (кг) – единица массы, равная массе международного эталона; международное обозначение kg;

- кельвин (К) – единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды; международное обозначение K;

- моль (моль) – единица количества вещества, равная количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде – 12 массой 0,012 кг; международное обозначение mol;

- ампер (А) – единица силы электрического тока, равная силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м друг от друга в вакууме, вызвал бы на участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н; международное обозначение A;

- кандела (кд), от латинского "свеча" – единица силы света, равная силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света кото-

рого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср; международное обозначение cd. "ср" – стерadian – единица телесного угла, равная телесному (т.е. объёмному) углу с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Кроме основных единиц в СИ имеется ряд производных единиц, образованных из основных по определяющим уравнениям и имеющим собственные названия:

- тонна (т) – единица массы, равная 1000 кг;
- ньютон (Н) – единица силы, $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2$;
- паскаль (Па) – единица давления, предела прочности, $1 \text{ Па} = 1 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)$;
- литр (л) – единица объёма, равная 0,001 м³;
- джоуль (Дж) – единица энергии, работы, $1 \text{ Дж} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$;
- ватт (Вт) – единица мощности, $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж}/\text{с}$;
- вольт (В) – единица электрического напряжения, $1 \text{ В} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/(\text{с}^3 \cdot \text{А})$;
- люкс (лк) – единица освещённости, $1 \text{ лк} = 1 \text{ кд}/\text{м}^2$;
- герц (Гц) – единица частоты периодического процесса, колебаний, равная 1 с^{-1} ;
- грэй (Гр) – единица поглощённой дозы излучения, $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж}/\text{кг}$;
- беккерель (Бк) – единица активности нуклида в радиоактивном источнике, равная 1 с^{-1} ;
- зиверт (Зв) – единица эквивалентной дозы излучения, $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж}/\text{кг}$.

В СИ не входит такая распространённая единица температуры, как градус Цельсия (°C). Температура по шкале Цельсия¹⁾ связана с температурой в кельвинах формулой $t = T - 273,15$, (5.1)

¹⁾ Шведский астроном Андерс Цельсий предложил температурную шкалу, в которой ноль соответствовал температуре кипения воды, а 100

а размер градуса Цельсия приблизительно равен градусу кельвина: (точнее 0,9997 K).

Так как при использовании основных или производных единиц физических величин могут получаться очень большие или очень маленькие числа, что неудобно, то в СИ разработаны специальные приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц, приведённые в таблице 5.1.

Например: 1 мкм (один микрометр) = 10^{-6} м; 0,5 МПа (ноль целых пять десятых мегапаскаля) = $5 \cdot 10^5$ Па; 3,2 Гмоль (три целых две десятых гигамоля) = $3,2 \cdot 10^9$ моль; 200 нс (двести наносекунд) = $2 \cdot 10^{-7}$ с.

– температуре тройной точки воды, которая почти совпадает с температурой плавления льда при нормальном давлении. После его смерти М.Штремер предложил новую шкалу, поменяв местами ноль и 100 в шкале Цельсия. Однако в дальнейшем эту новую шкалу стали называть шкалой Цельсия.

В 1887 г. Международной комиссией по мерам и весам была принята стоградусная шкала – "centigrade", в которой за ноль градусов принята температура плавления льда, а за 100 градусов – температура паров кипящей дистиллированной воды при стандартном атмосферном давлении.

Т.к. стоградусная шкала очень близка к шкале Цельсия, то обозначения единицы температуры по ним совпадают – °С. В силу невозможности воспроизвести идеальные условия измерений при плавлении льда стоградусная шкала в настоящее время практически не применяется.

Таблица 5.1

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		русское	международное
10^{-24}	иокто	и	y
10^{-21}	zepto	з	z
10^{-18}	атто	а	a
10^{-15}	фемто	ф	f
10^{-12}	пико	п	p
10^{-9}	нано	н	n
10^{-6}	микро	мк	μ
10^{-3}	милли	м	m
10^{-2}	санτι	с	c
10^{-1}	деци	д	d
10	дека	да	da
10^2	гекто	г	h
10^3	кило	к	k
10^6	мега	М	M
10^9	гига	Г	G
10^{12}	тера	Т	T
10^{15}	пета	П	P
10^{18}	экса	Э	E
10^{21}	зетта	З	Z
10^{24}	иотта	И	Y

5.2 Перевод единиц физических величин

Наиболее часто приходится переводить одну и ту же единицу физической величины, но с изменением приставки (граммы в килограммы, мегапаскали в килопаскали, кубометры в кубические сантиметры и т.п.). В этом случае достаточно знать, какие множители соответствуют данным приставкам (таблица 5.1).

Пример 1

Перевести $0,0005 \text{ м}^3$ в кубические сантиметры.

$$0,0005 \text{ м}^3 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 5 \cdot 10^{-4} (\text{м})^3 = 5 \cdot 10^{-4} (100 \text{ см})^3 = 5 \cdot 10^{-4} \times \\ \times 10^6 \text{ см}^3 = 5 \cdot 10^2 \text{ см}^3 = 500 \text{ см}^3.$$

Пример 2

Перевести 7850 кг/м³ в граммы на кубический сантиметр.

$$7850 \text{ кг/м}^3 = 7850 \cdot 1000 \text{ г} : (100 \text{ см})^3 = 7850 \cdot 1000 \text{ г} : (10^6 \text{ см}^3) = \\ = 7,850 \text{ г/см}^3.$$

Более сложным является перевод производных единиц физических величин, имеющих собственные названия, а также внесистемных единиц. В таких случаях необходимо знать определяющие зависимости производных единиц или переводные коэффициенты для внесистемных единиц.

Пример 3

Перевести 122 МПа в килограмм-силу на квадратный сантиметр. Для перевода необходимо знать, что 1 Па = 1 Н/м², а 1 Н = 1/г кгс, где г - ускорение свободного падения. $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$, но в расчётах г часто округляют до 10 м/с².

$$122 \text{ МПа} = 122 \cdot 10^6 \text{ Па} = 122 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 122 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \text{ кгс} : (100 \text{ см})^2 \\ = 122 \cdot 10^5 : 10^4 \text{ кгс/см}^2 = 1220 \text{ кгс/см}^2.$$

Данный перевод в строительных расчётах встречается довольно часто, и его полезно запомнить:

$$1 \text{ МПа} = 10 \text{ кгс/см}^2 \text{ (точнее } 10,19 \text{ кгс/см}^2);$$

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 0,1 \text{ МПа (точнее } 0,0981 \text{ МПа)}.$$

Пример 4

Перевести 0,6 кг/л в граммы на кубический сантиметр. Для перевода необходимо знать, что литр – это кубический дециметр: 1 л = 1 дм³.

$$0,6 \text{ кг/л} = 0,6 \cdot 1000 \text{ г} \cdot (1 \text{ дм}^3) = 600 \text{ г} : (10 \text{ см})^3 = 0,6 \text{ г/см}^3.$$

Пример 5

Перевести 3/4" (три четвёртых дюйма) в сантиметры.

Дюйм – британская единица длины, равная 1/12 фута. 1" = 25,4 мм.

По сложившейся традиции дюймы до сих пор применяют для определения диаметров труб и резьб санитарно-технических изделий.

$$3/4" = 0,75" = 0,75 \cdot 25,4 \text{ мм} = 19,05 \text{ мм} = 19,05 \cdot 10^{-1} \text{ см} = 1,905 \text{ см}.$$

Пример 6

Перевести 0,12 ккал/(ч · м · °С) в ватты на метр – кельвин. 1 кал (калория) = 4,1868 Дж ≈ 4,19 Дж. В данном примере речь идёт о коэффициенте теплопроводности, и в знаменателе находится не температура, а разность температур, поэтому в данном случае 1 °С = 1 К. 1 Вт = 1 Дж/с.

$$0,12 \text{ ккал/(ч} \cdot \text{м} \cdot \text{°С)} = 0,12 \cdot 10^3 \text{ кал} : (3600 \text{ с} \cdot \text{м} \cdot \text{К)} = 0,1 \text{ кал} : (3 \text{ с} \cdot \text{м} \cdot \text{К)} = 0,1 \cdot 4,19 \text{ Дж/с} : (3 \text{ м} \cdot \text{К)} = 0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Пример 7

Перевести 0,3 л/с в кубометры в сутки.

$$0,3 \text{ л/с} = 0,3 \cdot \text{дм}^3 : (1/3600 \text{ ч)} = 1080 \cdot (0,1 \text{ м})^3 : \text{ч} = 1,08 \text{ м}^3 : (1/24 \text{ сут.}) = 25,92 \text{ м}^3/\text{сут.} \approx 26 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

5.3 Некоторые правила записи физических величин

В тексте единица физической величины должна отделяться от численного значения пробелом, например: 25 МПа, 30 Н · м, 20 °С, $5 \cdot 10^2$ кг/м³, 30 Ом, 15 % и т.п. Делается это для лучшего восприятия текста человеком и для исключения ошибок: 300м может означать триста метров или тридцать Ом. Исключение составляют дюймы и угловые градусы, минуты и секунды.

Не допускается в текстовых документах записывать единицы физических величин без численного значения, за исключением таблиц и рисунков. Например: "Теплопроводность составляет 0,12 Вт/(м·К)", но: "Теплопроводность измеряется в ваттах на метр – кельвин".

В производных единицах, состоящих из нескольких единиц физических величин, все они должны отделяться друг от друга знаками "." или "/". Например, запись 5 кг·с/м² означает "пять килограммов – секунд на квадратный метр", а 5 кгс/м² – "пять килограммов – силы на квадратный метр".

Иногда число содержит дополнительную информацию о его точности. С точки зрения алгебры значения 100 см и 100,0 см одинаковы. Однако первый вариант означает, что длина находится в пределах от 99,5 см до 100,4 см, а во втором случае – от 99,95 см до 100,04 см. Т.е. во втором случае погрешность измерения или погрешность числа на порядок меньше. По этой же причине неравноценны с точки зрения точности следующие численные значения: 100 см и 10 дм, 200 кг и 0,2 т, 50 кН и $5 \cdot 10^4$ Н. Правильнее было бы записать: 100 см и 10,0 дм, 200 кг и 0,200 т, 50 кН и $50 \cdot 10^3$ Н.

5.4 Оценка погрешности результата при вычислениях

При косвенных измерениях во многих случаях оператору приходится принимать решение об округлении результатов вычислений. Наличие удобной вычислительной техники сегодня позволяет легко получать результаты с очень большим количеством цифр в числе – результате вычислений. Но инженер должен иметь представление о том, какие цифры в полученном результате являются значимыми и, соответственно, до какого знака округлять его. Ниже приведены известные из арифметики [7] правила определения погрешности результатов простейших вычислений (при сложении, вычитании, умножении и делении).

При сложении и вычитании чисел абсолютная погрешность результата – суммы или разности – равна сумме абсолютных погрешностей всех слагаемых: $\Delta z = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n$. (5.2)

При умножении или делении относительная погрешность результата – произведения или частного – приблизительно равна сумме всех относительных погрешностей сомножителей или делимого и делителя:

$$\delta z = \delta x_1 + \delta x_2 + \dots + \delta x_n. \quad (5.3)$$

Пример 8

Оценить погрешность определения насыпной плотности песка.

Объём мерного цилиндра 1 л, относительная погрешность измерения объёма (изготовления) цилиндра составляет $\delta V = 1 \% = 0,01$. Погрешность определения массы на весах составляет $\delta m = 0,1 \% = 0,001$. Измеренное значение массы пустого мерного цилиндра $m_{\text{ц}} = 200$ г, мерного цилиндра с песком – $m_{\text{ц+п}} = 1550$ г.

Насыпная плотность определяется по формуле

$$\rho_{\text{н}} = (m_{\text{ц+п}} - m_{\text{ц}})/V, \text{ кг/м}^3. \quad (5.4)$$

$$\rho_n = (1,55 - 0,2) : 0,001 = 1350 \text{ кг/м}^3.$$

Абсолютная погрешность измерения масс составляет:

$$\begin{aligned} & \text{- массы цилиндра без песка} - \Delta m_{\text{ц}} = m_{\text{ц}} \cdot \delta m = 200 \cdot 0,001 = \\ & = 0,200 \text{ г;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{- массы цилиндра с песком} - \Delta m_{\text{ц+п}} = m_{\text{ц+п}} \cdot \delta m = 1550 \text{ кг} \cdot 0,001 = \\ & = 1,550 \text{ г;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{- массы песка} - \Delta m_{\text{п}} = \Delta(m_{\text{ц+п}} - m_{\text{ц}}) = \Delta m_{\text{ц}} + \Delta m_{\text{ц+п}} = 0,200 + 1,550 = \\ & = 1,750 \text{ г.} \end{aligned}$$

Относительная погрешность определения массы песка составляет:

$$\delta m_{\text{п}} = \Delta m_{\text{п}} : m_{\text{п}} = 1,750 : (1550 - 200) \approx 0,0013 = 0,13 \text{ \%}.$$

Относительная погрешность определения насыпной плотности составляет: $\delta \rho_n = \delta m_{\text{п}} + \delta V = 0,0013 + 0,01 = 0,0113 = 1,13 \text{ \%}$.

Абсолютная погрешность определения насыпной плотности составляет: $\Delta \rho_n = \rho_n \cdot \delta \rho_n = 1350 \cdot 0,0113 = 15,255 \text{ кг/м}^3 \approx 15 \text{ кг/м}^3$.

Т.о. можно утверждать, что насыпная плотность песка находится в пределах $(1335 - 1265) \text{ кг/м}^3$. Т.е не только последняя, но даже предпоследняя цифра в численном значении насыпной плотности является незначимой.

Именно поэтому национальный стандарт на методы испытаний песка требует округлять полученное значение его насыпной плотности до десятков килограммов на кубометр. Запись результатов в виде, например, 1352 кг/м^3 или $1352,4 \text{ кг/м}^3$ не имеет практического смысла, а только лишь затрудняет восприятие текста.

6 Правила выполнения измерений геометрических параметров в строительстве

6.1 Обеспечение точности геометрических параметров строительных изделий и конструкций, при проведении строительных работ является важной задачей, от решения которой во многом зависят как несущая способность и долговечность зданий и сооружений, так и производительность труда и качество строительно-монтажных работ. Наряду с техническими и технологическими причинами точность геометрических размеров может снижаться из-за неправильного измерения. Кроме правильного выбора инструмента следует ещё и правильно выбрать схему измерения, соответствующую данным условиям и требуемой точности. Схемы измерений рассматриваются в п. 6.3.

6.2 Расчёт погрешности при выборе методов и средств измерений

Методы и средства измерений принимают из условия:

$$\delta x_{\Sigma \text{met}} \leq \delta x_{\text{met}}, \quad (6.1)$$

где $\delta x_{\Sigma \text{met}}$ – расчётная суммарная погрешность метода и средства измерений;

δx_{met} – предельная (максимально допускаемая) погрешность измерения для данного объекта.

Предельная погрешность определяется по формуле

$$\delta x_{\text{met}} = K \cdot \Delta x, \quad (6.2)$$

где K – коэффициент, зависящий от цели измерений и характера объекта.

Для измерений, выполняемых в процессе и при контроле точности изготовления и установки элементов, а также при контроле точности разбивоч-

ных работ, принимают $K = 0,2$. Для измерений, выполняемых в процессе производства разбивочных работ, $K = 0,4$;

Δx – допуск.

Расчётная погрешность измерения определяется по формуле

$$\delta x_{\Sigma \text{met}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i \delta x_i)^2 + (\sum_{j=1}^u [K_j \delta x_j])^2}, \quad (6.3)$$

где K_i, K_j – коэффициенты, учитывающие характер зависимости между суммарной и каждой из составляющих погрешностей измерения. В простейших случаях их принимают равными единице;

$\delta x_i, \delta x_j$ – соответственно, случайные и систематические составляющие погрешности измерения;

n, u – число, соответственно, случайных и систематических составляющих погрешности измерения.

Например, требуется определить возможность применения 10-метровой стальной рулетки 3-го класса точности для контроля длины плиты перекрытия длиной $L = (5980 \pm 10)$ мм.

Допуск составляет $\Delta x = 20$ мм.

$$\delta x_{\text{met}} = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ мм.}$$

Суммарная погрешность измерения длины изделия рулеткой складывается из:

- случайной погрешности из-за отклонения температуры воздуха от стандартной – 20°C , которое может достигать 15°C (при больших отклонениях следует делать пересчёт результатов измерений). $\delta x_1 = L \cdot (\alpha_{\text{рул}} - \alpha_{\text{б}}) \times \Delta t = 5980 \cdot (20,5 - 12,5) \cdot 10^{-6} \cdot 15 = 0,72 \text{ мм}$. $\alpha_{\text{рул}}$ и $\alpha_{\text{б}}$ – коэффициенты термического расширения, соответственно, материала рулетки и бетона;

- случайной погрешности от колебания силы натяжения рулетки $\delta x_2 = L \cdot \Delta P : (F \cdot E) = 5980 \cdot 10 : (3 \cdot 2 \cdot 10^5) = 0,10 \text{ мм}$, где ΔP – погрешность натяже-

ния рулетки вручную, принимается 10 Н; $F = 3 \text{ мм}^2$ - площадь поперечного сечения ленты рулетки; $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости стали;

- случайной погрешности снятия левого и правого отсчёта по шкале рулетки $\delta x_3 = a : \sqrt{2} = 1 : \sqrt{2} = 0,71 \text{ мм}$, где $a = 1 \text{ мм}$ – цена деления шкалы рулетки;

- систематической погрешности поверки рулетки $\delta x_4 = 0,2 \text{ мм}$.

Коэффициенты K_i и K_j принимаются равными 1.

$$\delta x_{\Sigma \text{met}} = \sqrt{0,72^2 + 0,10^2 + 0,71^2 + 0,2^2} = 1,04 \text{ мм}.$$

$\delta x_{\Sigma \text{met}} = 1,04 \text{ мм} < \delta x_{\text{met}} = 4 \text{ мм}$, следовательно, данный метод и средство измерения могут быть приняты для контроля длины изделий.

Следует заметить, что такие задачи строителям приходится решать достаточно редко, обычно при разработке новых методик измерений, т.к. подавляющее большинство строительной продукции испытывается по стандартизованным методикам, в которых указываются допускаемые средства измерений.

6.3 Правила выполнения измерений геометрических параметров в строительстве

6.3.1 Измерение линейных размеров

При измерениях длины, ширины, толщины изделий и их частей наиболее часто используется метод прямого измерения. При этом используются простейшие измерительные инструменты – измерительные линейки, рулетки, штангенциркули, штангенглубиномеры, микрометры, измерительные лупы, микроскопы и др. (см. п.2.3.2). Для фиксирования точек отсчёта могут применяться поверочные угольники (рисунки 6.1.в, 6.2.в), струбины (рисунок 6.2.б) и другие приспособления.

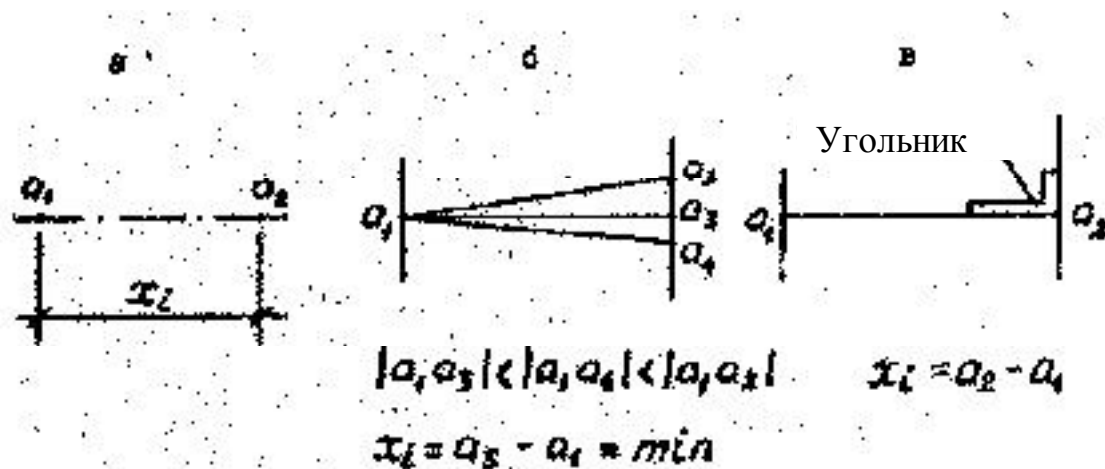
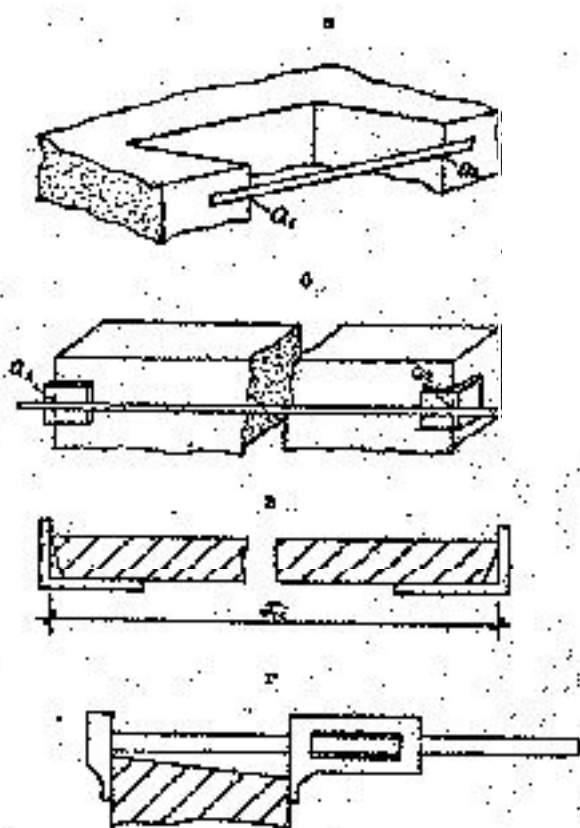


Рисунок 6.1 – Принципиальные схемы измерений расстояния между двумя фиксированными точками (а), между точкой (прямой, плоскостью) и прямой или плоскостью (б, в)



а – измерение линейкой; б – измерение рулеткой; в – измерение в случае перпендикулярных смежных граней; г – измерение штангенциркулем

Рисунок 6.2 – Прямое измерение линейных размеров

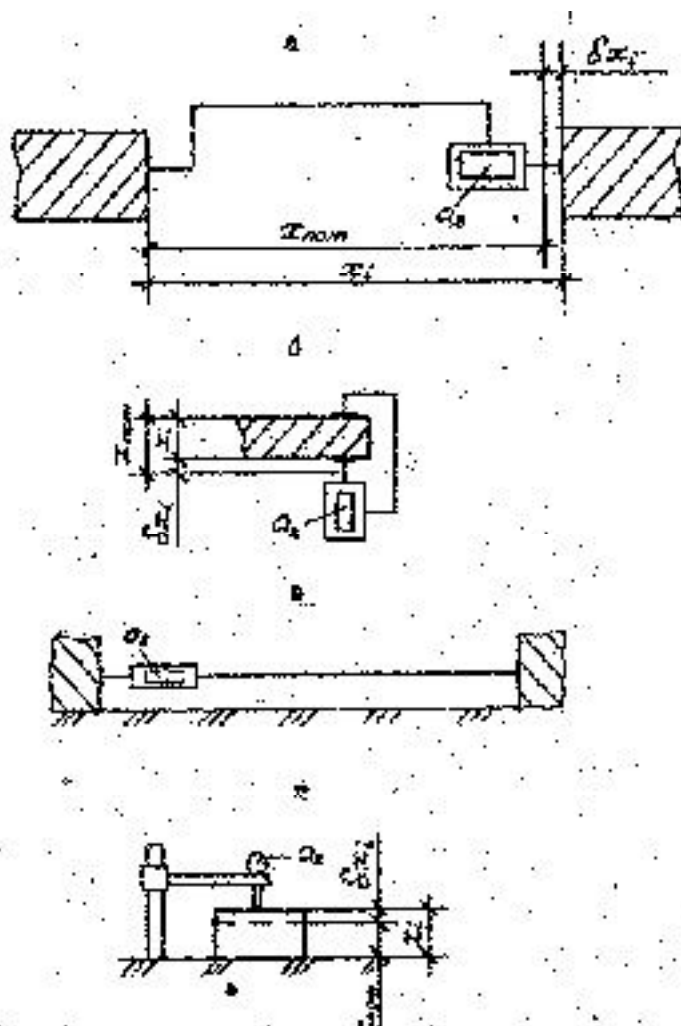
На практике широко встречается ситуация, когда оператор не может заранее зафиксировать точки отсчёта, например, при измерении длины стеновой панели при отсутствии возможности приложить рулетку к ребру панели. В таких случаях применяют т.н. "метод покачиваний", поверочные угольники (рисунок 6.1.в), строительные уровни, отвесы и т.п.

При применении метода покачиваний оператор фиксирует первую точку отсчёта (обычно она выбирается произвольно), прикладывает к ней средство измерений – линейку, рулетку и т.п. и, поворачивая его в обе стороны, находят наименьшее значение (при измерении диаметров - наибольшее значение), которое и принимается за измеренное значение. Данный метод и метод измерения при помощи поверочных угольников нельзя применять, если элементы, между которыми измеряется расстояние (рёбра, поверхности и т.п.), не параллельны друг другу.

При измерении больших размеров рулеткой лента может провисать на значительную величину, поэтому ленту следует довольно сильно натягивать. При измерении расстояний свыше 10 м ленту положено натягивать при помощи груза массой не менее 1 кг.

В случаях, когда требуется повышенная точность, измерения проводят с помощью нутромеров, измерительных скоб, длиномеров, индикаторов и других средств измерений, которые предварительно настраиваются на номинальный размер (рисунок 6.3).

При измерении наружных диаметров элементов можно применять один из косвенных методов – метод обвязки рулеткой (рисунок 6.4.а) или метод измерения хорды и высоты сегмента (рисунок 6.4.б). Данные методы менее точны, чем прямые, и их применяют только в крайнем случае, например, при измерении диаметра трубы, имеющей расширение и сужение на торцах, при измерении диаметра смонтированного трубопровода и т.п.



а – измерение нутромером; б – измерение скобой; в – измерение длиномером; г – измерение индикатором, установленном на стенде

Рисунок 6.3 – Прямое измерение отклонения от номинального размера

Определённые трудности могут возникнуть при измерении межосевых расстояний элементов. Принципиальные схемы таких измерений показаны на рисунках 6.5. и 6.6.

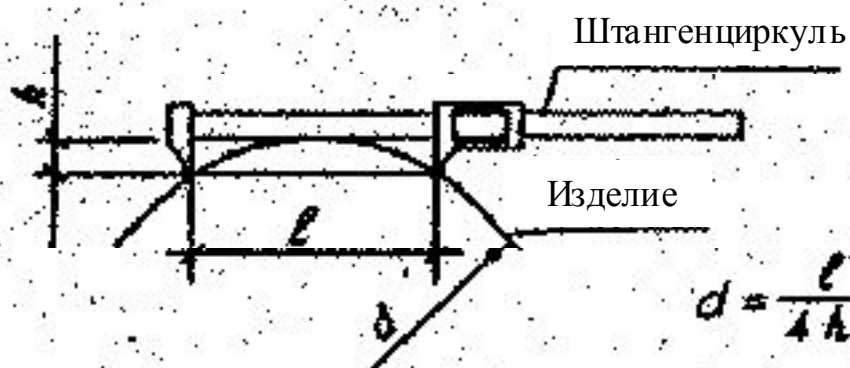
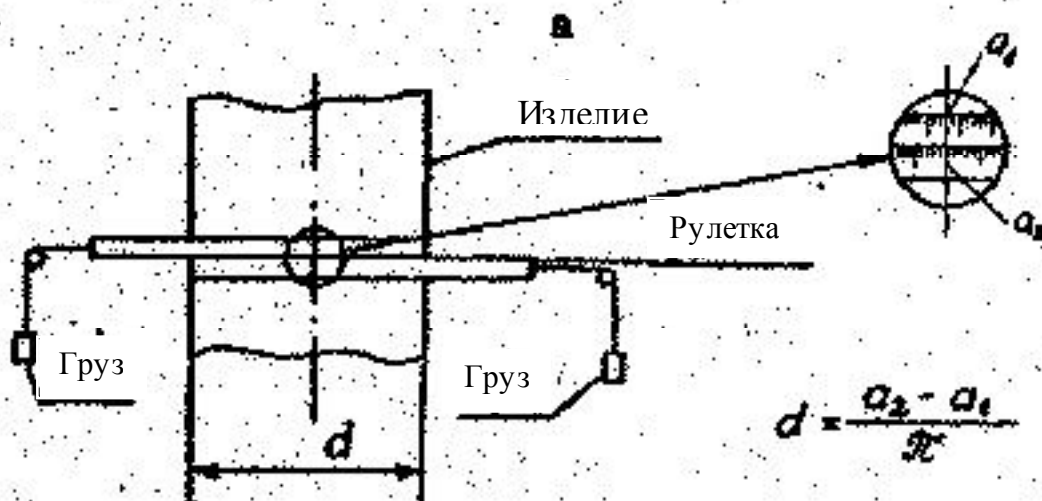


Рисунок 6.4 – Косвенное измерение диаметра методом обвязки рулеткой (а) и методом измерения хорды и высоты сегмента штангенциркулем (б)

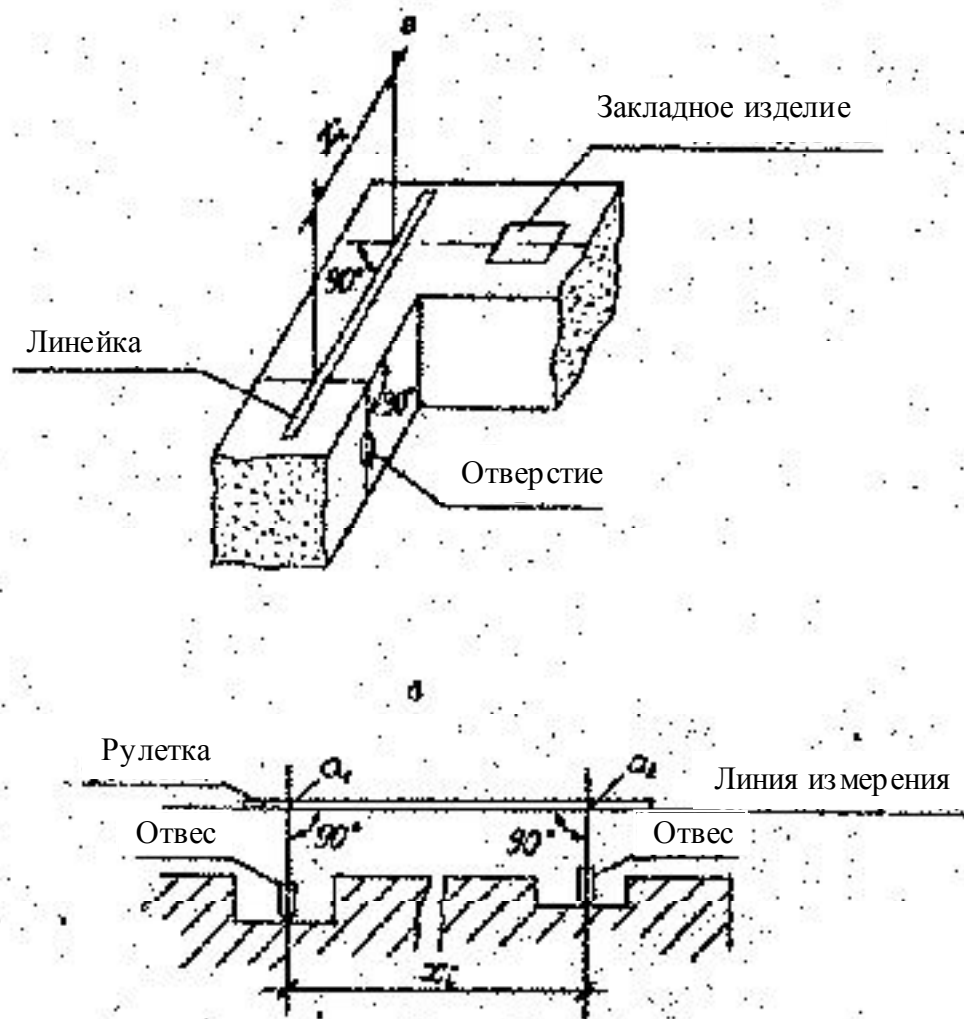


Рисунок 6.5 – Прямое измерение расстояния между точками (осями), расположенными на различных гранях элемента

Размеры дефектов поверхности – трещин, зазоров, раковин, околлов, наплывов измеряют при помощи измерительных линеек, штангенциркулей, штангенглубиномеров, измерительных микроскопов и луп, щупов (рисунок 6.7). При измерении высоты наплыва иногда приходится применять дополнительное приспособление – скобу (рисунок 6.8).

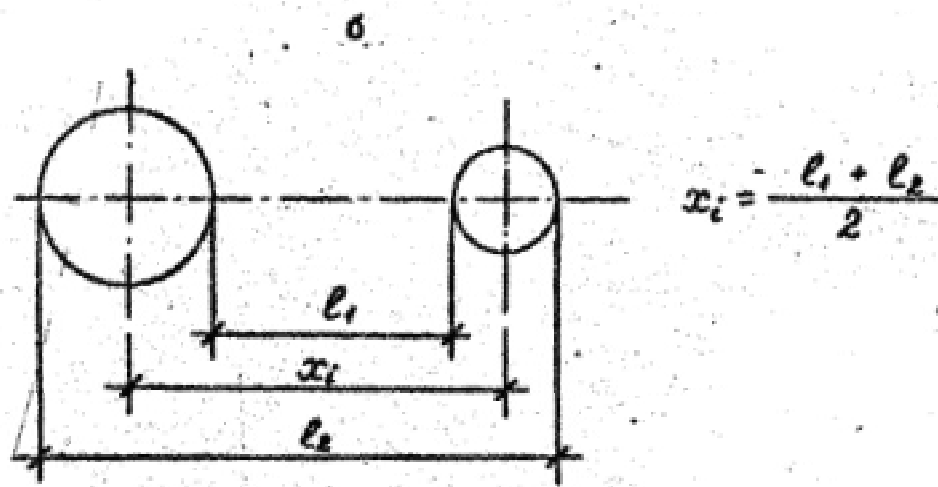
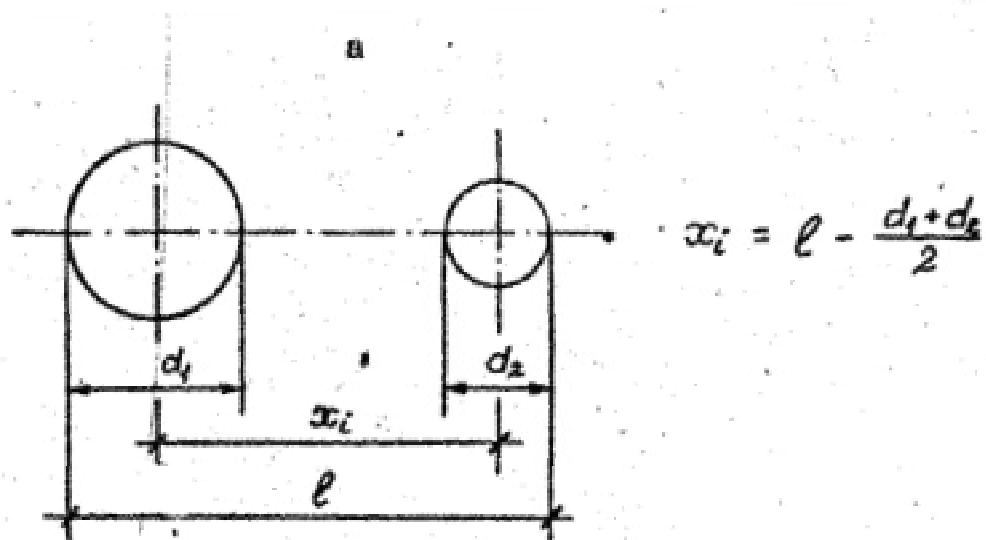


Рисунок 6.6 – Косвенное измерение межосевого расстояния

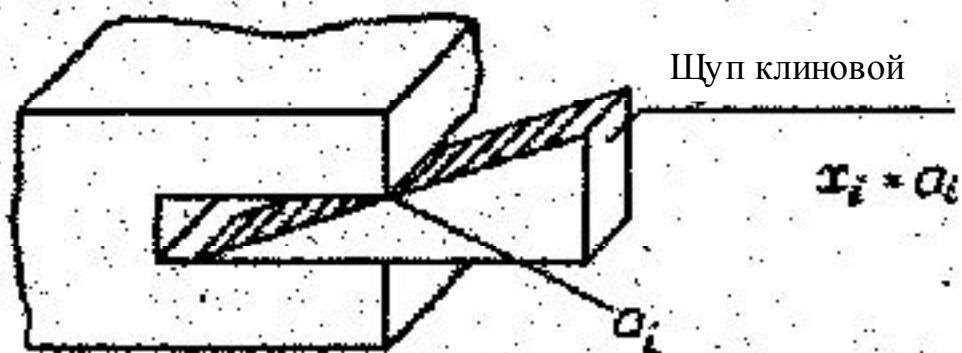


Рисунок 6.7 – Измерение ширины зазора (паза) клиновым щупом

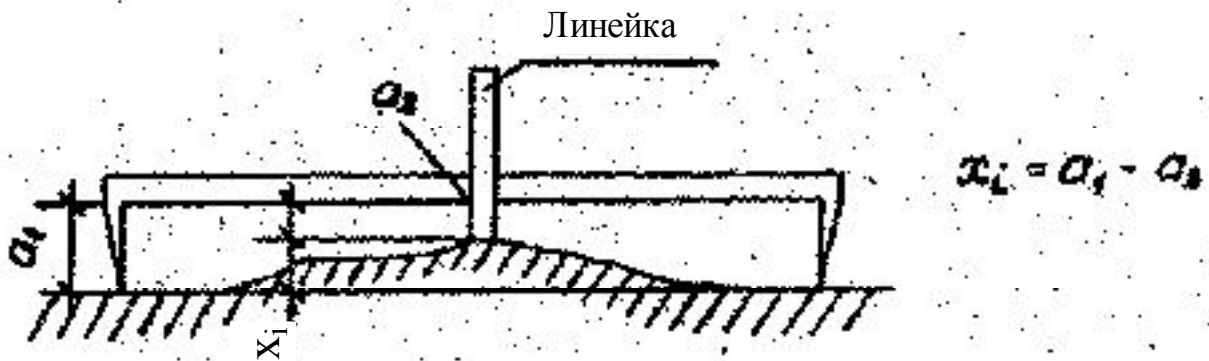


Рисунок 6.8 – Измерение высоты наплыва косвенным методом при помощи скобы

6.3.2 Измерение угловых размеров

Прямое измерение углов производят угломерами (рисунок 2.18).

В строительстве угловые размеры задаются обычно в линейной мере, т.е. как отношение длин катетов. Такие величины могут быть безразмерными (тангенс угла), а могут выражаться в следующих единицах:

- процентах – %;
- миллиметр на метр длины – мм/м;
- миллиметр на 100 мм длины – мм/100 мм (численно равно проценту);
- миллиметрах на всю длину (ширину, толщину) элемента – мм.

Например, задан технологический уклон тротуарной плиты толщиной $h = 70$ мм $x = 5$ мм (на всю толщину). В других единицах это составит:

- $5 : 70 \approx 0,071$ (безразмерная величина или мм/мм);
- $5 : (70 : 1000) = 71$ мм/м;
- $5 \cdot 100 : 70 = 7,1 \% = 7,1$ мм/100 мм.

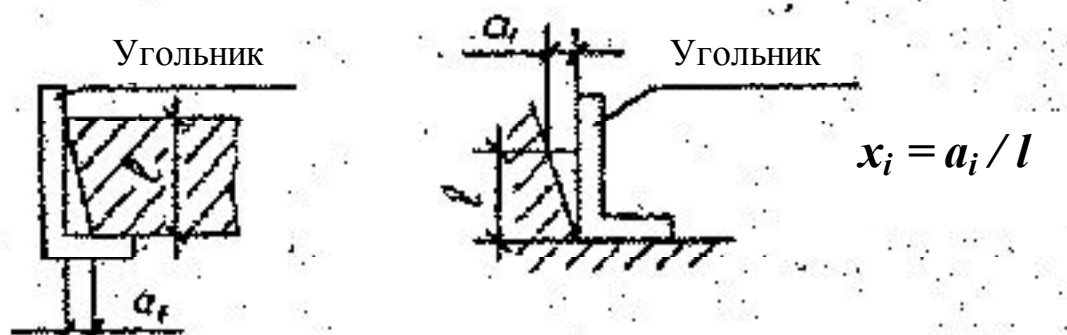


Рисунок 6.9 – Прямое измерение отклонения углового размера в линейной мере на длине l

По найденному тангенсу угла наклона можно также вычислить его в угловых единицах: $\alpha = \arctg 0,071 \approx 4^\circ 14'$.

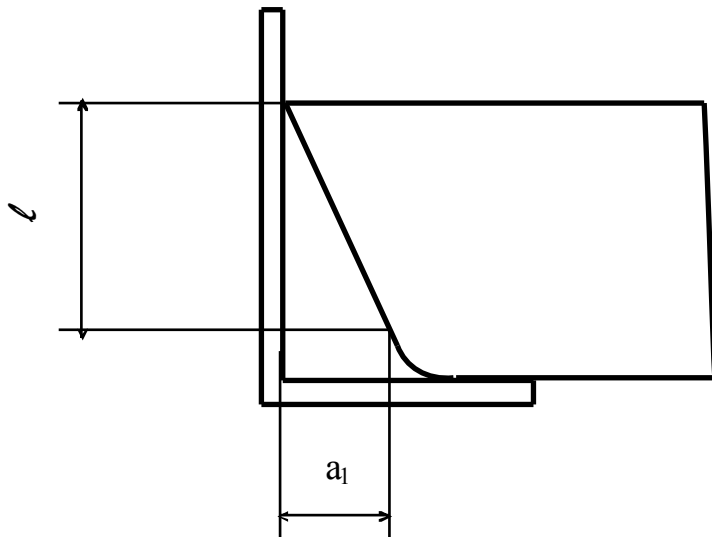
Угловые размеры измеряют косвенным методом при помощи поверочных угольников 90° и линейки или щупов (рисунок 6.9). Искомое значение находится как a_1/l .

На практике часто бывают случаи, когда рёбра сколоты или имеют фаску или утолщение. В таких случаях применяют схемы измерения, показанные на рисунке 6.10.

6.3.3 Измерение отклонения от прямолинейности

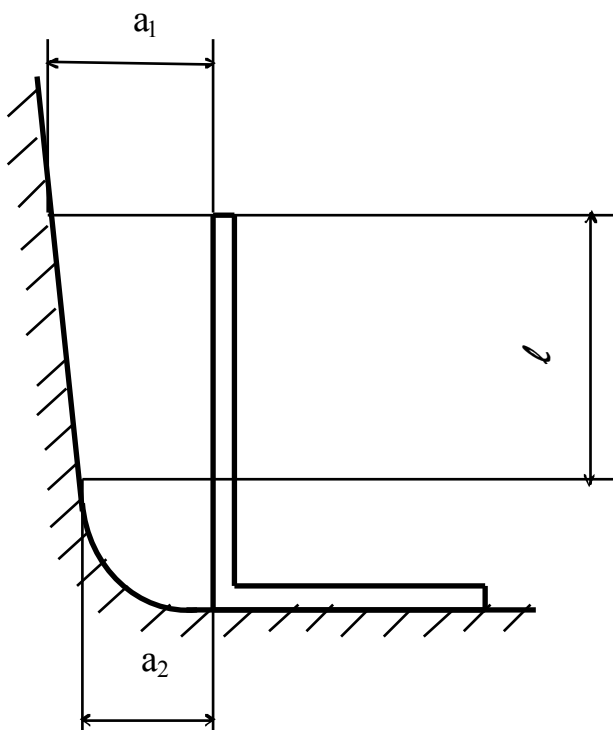
Отклонение от прямолинейности может определяться по всей длине элемента или на участке определённой (заданной) длины, чаще всего на участке длиной 1 м. При этом необходимо задать так называемую линию отсчёта – то есть линию, до которой будут измеряться расстояния от поверхности (или ребра) элемента. Для этого вдоль элемента натягивают

а



$$x = a_1 : l$$

б



$$x = (a_1 - a_2) : l$$

Рисунок 6.10 – Косвенное измерение отклонения углового размера в линейной мере

струну или устанавливают на опорах равной высоты поверочную линейку (контрольную рейку), или задают линию условно при помощи нивелира (теодолита). Затем измеряют расстояния от линии отсчёта до поверхности элемента в различных точках (размечаемых по заданной схеме или произвольно), вычисляют отклонения от прямолинейности в этих точках по формуле

$$\delta h_i = h_1 - h_i + (h_n - h_1) \cdot \ell_i / \ell_n$$

(6.4)

или при применении опор равной высоты

$$\delta h_i = h_1 - h_i, \quad (6.5)$$

где обозначения см. на рисунке 6.11.

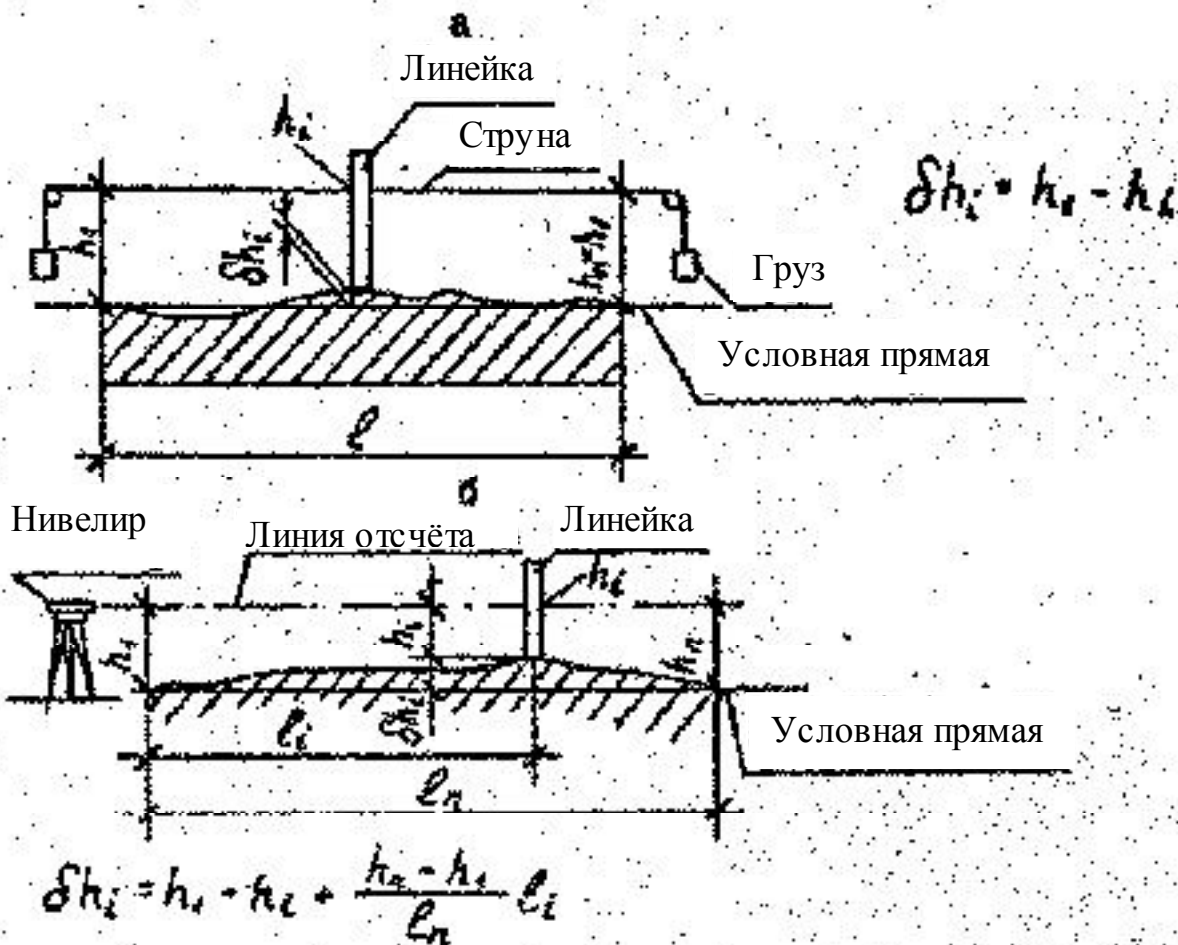


Рисунок 6.11 – Определение отклонения от прямолинейности при помощи струны (а) или нивелира (б)

Затем выбирают наибольший и наименьший результаты с учётом знаков и определяют окончательный результат:

- если все отклонения положительные, то отклонение от прямолинейности равно наибольшему из них;
- если все отклонения отрицательные, то отклонение от прямолинейности равно модулю наименьшего из них;
- если отклонения имеют разные знаки, то отклонение от прямолинейности равно сумме модулей наименьшего и наибольшего отклонений.

6.3.4 Измерение отклонения от плоскостности

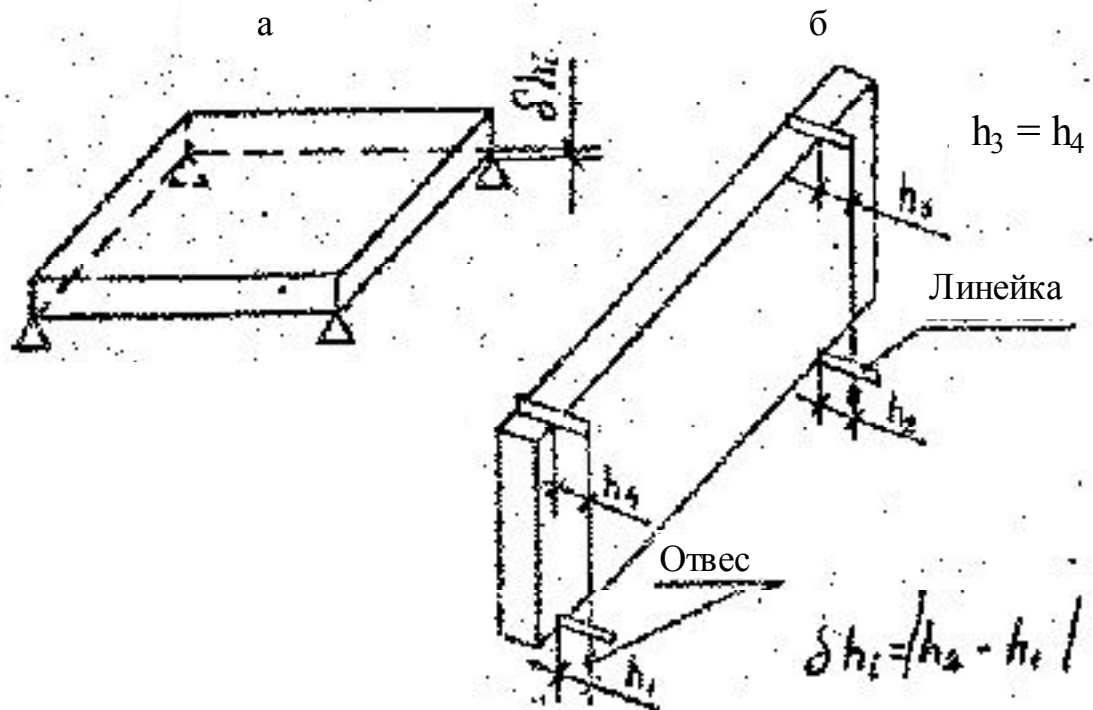
6.3.4.1 Отклонение от плоскостности, наряду с рассмотренными выше показателями, является важной геометрической характеристикой многих строительных материалов, изделий и конструкций.

Отклонение от плоскостности может определяться в угловой точке прямоугольного элемента (от условной плоскости, проведённой через три другие угловые точки) – "пропеллерность", или по всей поверхности элемента.

Определение пропеллерности значительно проще и быстрее по сравнению со вторым показателем, поэтому регламентируется значительно чаще, особенно для крупногабаритных объектов. Способы определения пропеллерности показаны на рисунке 6.12.

Существует три основных метода измерения отклонения от плоскостности по всей поверхности элемента (далее – отклонения от плоскостности):

- метод прямого измерения отклонения поверхности от условной плоскости, проведённой через три точки;



При $h_3 \neq h_4$ $\delta_i = |h_1 + h_3 - h_2 - h_4|$.

Рисунок 6.12 – Определение пропеллерности методом прямого измерения линейкой или щупом (а) и методом измерения линейкой расстояний от каждой из четырёх угловых точек элемента до поверхности отсчёта (б)

- метод измерения линейкой расстояния от размеченных на поверхности элемента точек до линии отсчёта, заданной струной, поверочной линейкой или контрольной рейкой;
- метод измерения линейкой расстояния от размеченных на поверхности элемента точек до плоскости отсчёта, заданной горизонтально нивелиром или вертикально теодолитом.

6.3.4.2 Метод прямого измерения отклонения поверхности от условной плоскости, проведённой через три точки

Данный метод заключается в том, что на поверхность элемента устанавливается на три опоры равной высоты поверочная плита, или, наоборот, на поверочную плиту устанавливается элемент, и с помощью щупов или индикаторов, смонтированных на плите, определяются отклонения (величины зазоров) от плоскости в различных точках.

Отклонение от плоскостности принимают равным наибольшему результату измерений.

Метод прямого измерения применяется редко, главным образом при небольших размерах объектов измерений. Основным преимуществом метода является быстрота измерений и отсутствие расчётов.

6.3.4.3 Метод измерения линейкой расстояния от размеченных на поверхности элемента точек до линии отсчёта, заданной струной, поверочной линейкой или контрольной рейкой

На поверхности элемента размечают точки в местах пересечения продольных и поперечных сечений из расчёта 4 ... 10 сечений по длине и ширине в зависимости от размеров элемента, а также в местах пересечения диагоналей (рисунок 6.13). Затем две опоры (обычно равной высоты: $h_1 = h_n$) устанавливаются в двух угловых точках, расположенных по диагонали; на опоры натягивается струна, представляющая собой тонкую проволоку, или устанавливается поверочная линейка или контрольная рейка, и линейкой измеряется расстояние от струны до поверхности элемента в точке пересечения диагоналей – $h_{0(I-III)}$. Далее опоры устанавливаются в двух других угловых точках, и измеряется расстояние от струны до поверхности

элемента в той же точке - $h_{0(II-IV)}$. Разность $h_{0(II-IV)} - h_{0(I-III)}$ принимается за отклонение точек II и IV от условной плоскости, проходящей через точки I, III и параллельной диагонали II – IV (соответственно отклонения в точках I и III равны нулю).

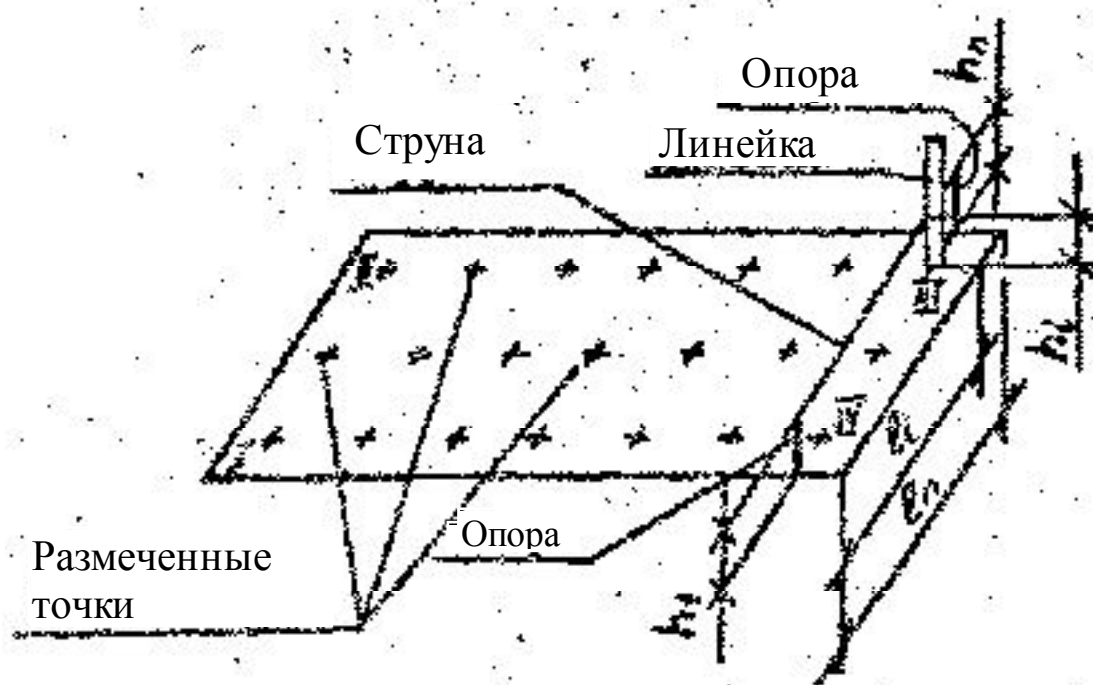


Рисунок 6.13 – Определение отклонения от плоскостности по всей поверхности элемента при помощи струны

Затем опоры последовательно устанавливают в крайние точки всех сечений (сначала по периметру, потом – остальных) и измеряют расстояния от струны до поверхности элемента во всех размеченных точках. Результаты оформляют в виде таблицы (см. приложение А).

Отклонение от условной плоскости в i -той точке определяется по формуле

$$\delta h_i = h_1 - h_i + (\delta h_n - \delta h_1) \cdot \ell_i / \ell_n + \delta h_1, \quad (6.5)$$

где обозначения – см. на рисунке 6.13.

Отклонение от плоскостности определяется так же, как и отклонение от прямолинейности:

- если все отклонения положительные, то отклонение от плоскостности равно наибольшему из них;
- если все отклонения отрицательные, то отклонение от плоскостности равно модулю наименьшего из них;
- если отклонения имеют разные знаки, то отклонение от плоскостности равно сумме модулей наименьшего и наибольшего отклонений.

6.3.4.4 Метод измерения линейкой расстояния от размеченных на поверхности элемента точек до плоскости отсчёта, заданной горизонтально нивелиром или вертикально теодолитом

Данный метод, по сути, не отличается от предыдущего и является его усовершенствованным вариантом. Существенным преимуществом здесь является стационарная установка прибора – нивелира или теодолита, который лишь поворачивается в плоскости (соответственно горизонтальной или вертикальной) при переходе от одной точки к другой (см. рисунок 6.14), но расчёты при этом несколько усложняются.

Прибор устанавливается произвольно по отношению к проверяемой поверхности, на которой заранее размечают точки. Поворачивая прибор, по линейке снимают отсчёты, равные расстоянию от поверхности элемента до плоскости нивелирования.

Вычисляются коэффициенты K_1 и K_2 по формулам:

$$K_1 = (a_I - a_{II} - a_{III} + a_{IV}) / (2\ell_1), \quad (6.6)$$

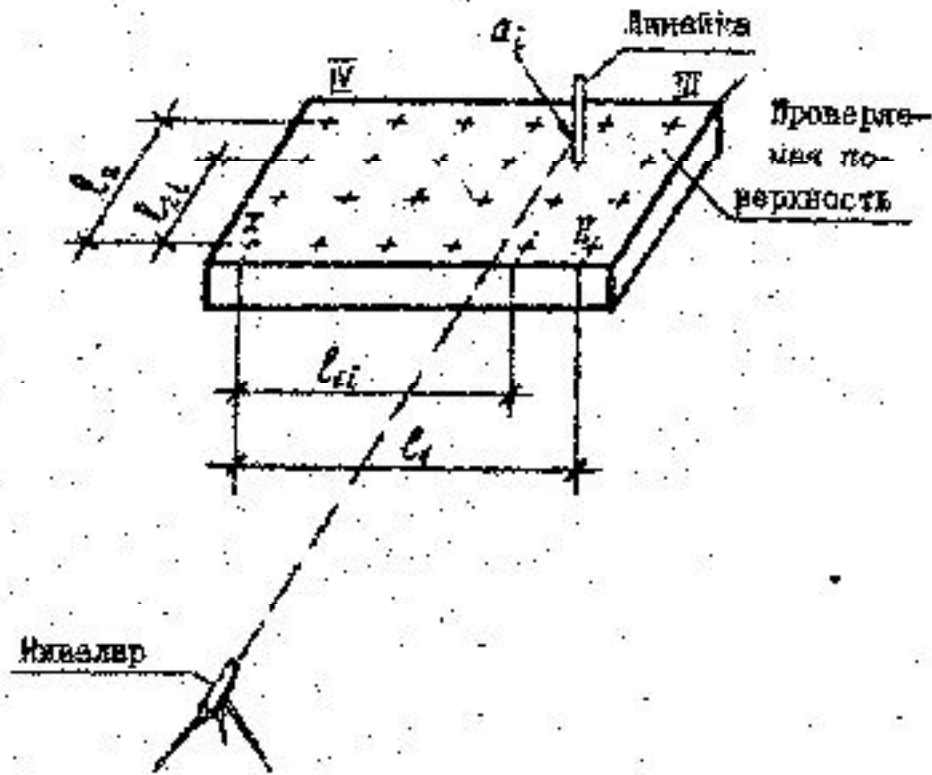


Рисунок 6.14 – Определение отклонения от плоскостности при помощи нивелира

$$K_1 = (a_I + a_{II} - a_{III} - a_{IV}) / (2l_2), \quad (6.7)$$

где $a_I, a_{II}, a_{III}, a_{IV}$ – отсчёты по линейке в угловых точках соответственно I, II, III, IV;

l_1, l_2 – расстояния между угловыми точками соответственно I и II, III и IV.

Отклонения от условной плоскости, проходящей через диагональ I – III и параллельной диагонали II – IV, в каждой из размеченных точек вычисляют по формуле

$$\delta h_i = a_i - a_r - K_1 l_{1i} - K_2 l_{2i}, \quad (6.8)$$

где a_i – отсчёт по линейке, установленной в i -й точке;

ℓ_{1i}, ℓ_{2i} – расстояния от i -той точки до прямых, соединяющих соответственно точки I – IV и II – III.

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу. Отклонение от плоскостности определяется так же, как и в предыдущем случае (см. п/п. 6.3.4.3).

7 Обеспечения единства измерений в Российской Федерации

7.1 Правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации установлены законом "Об обеспечении единства измерений" [5]. Основные цели его:

- защита прав и законных интересов граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;
- обеспечение потребности граждан, общества и государства в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в целях защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, животного и растительного мира, обеспечения обороны и безопасности государства, в том числе экономической безопасности;
- содействие развитию экономики Российской Федерации и научно-техническому прогрессу.

7.2 Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, к которым установлены обязательные требования и которые выполняются при:

- 1) осуществлении деятельности в области здравоохранения;
- 2) осуществлении ветеринарной деятельности;
- 3) осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды;

- 4) осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях;
- 5) выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда;
- 6) осуществлении производственного контроля за соблюдением установленных законодательством Российской Федерации требований промышленной безопасности к эксплуатации опасных производственных объектов;
- 7) осуществлении торговли и товарообменных операций, выполнении работ по расфасовке товаров;
- 8) выполнении государственных учётных операций;
- 9) оказании услуг почтовой связи и учёте объёма оказанных услуг электросвязи операторами связи;
- 10) осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства;
- 11) осуществлении геодезической и картографической деятельности;
- 12) осуществлении деятельности в области гидрометеорологии;
- 13) проведении банковских, налоговых и таможенных операций;
- 14) выполнении работ по оценке соответствия промышленной продукции и продукции других видов, а также иных объектов установленным законодательством Российской Федерации обязательным требованиям;
- 15) проведении официальных спортивных соревнований, обеспечении подготовки спортсменов высокого класса;
- 16) выполнении поручений суда, органов прокуратуры, государственных органов исполнительной власти;
- 17) осуществлении мероприятий государственного контроля (надзора);
- 18) проведении измерений, предусмотренных законодательством Российской Федерации о техническом регулировании [5].

7.3 Деятельность по обеспечению единства измерений основывается на законодательстве Российской Федерации об обеспечении единства измерений и осуществляется:

1) федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений и государственному метрологическому надзору;

2) подведомственными федеральному органу исполнительной власти, осуществляющему функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений, государственными научными метрологическими институтами и государственными региональными центрами метрологии;

3) Государственной службой времени, частоты и определения параметров вращения Земли, Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов, Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, руководство которыми осуществляет федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений;

4) метрологическими службами, в том числе аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Основными задачами федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию, оказанию государственных услуг, управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений и государственному метрологическому надзору, являются:

- разработка государственной политики и нормативно-правовое регулирование в области обеспечения единства измерений, а также координация деятельности по нормативно-правовому регулированию в данной области;
- организация взаимодействия с органами государственной власти иностранных государств и международными организациями в области обеспечения единства измерений;
- реализация государственной политики в области обеспечения единства измерений;
- координация деятельности по реализации государственной политики в области обеспечения единства измерений;
- осуществление государственного метрологического надзора и координация деятельности по его осуществлению.

В настоящее время основные функции и общее руководство деятельностью в области обеспечения единства измерений в нашей стране возложены на Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, сокращённо – ФАТРИМ или Ростехрегулирование.

Ростехрегулирование включает в себя семь управлений, четыре Государственные службы, перечисленные выше, территориальные органы – семь межрегиональных территориальных управлений (по числу округов) и 86 Центров стандартизации, метрологии и сертификации (по числу субъектов Российской Федерации), около 30 учреждений различных организационных форм, в т.ч. научно-исследовательских институтов, учебных центров, ФГУ "Академия стандартизации, метрологии и сертификации", издательства стандартов и т.п., несколько заводов по производству и ремонту средств измерений, в т.ч. ОАО "Нижегородский завод "Эталон".

Основными задачами государственных научных метрологических институтов являются:

- проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, экспериментальных разработок и осуществление научно-технической деятельности в области обеспечения единства измерений;
- разработка, совершенствование, содержание, сличение и применение государственных первичных эталонов единиц величин;
- передача единиц величин от государственных первичных эталонов единиц величин;
- участие в разработке проектов нормативных документов в области обеспечения единства измерений;
- проведение обязательной метрологической экспертизы содержащихся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений;
- создание и ведение Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений и предоставление содержащихся в нем документов и сведений;
- участие в международном сотрудничестве в области метрологии.

Основными задачами государственных региональных центров метрологии являются:

- проведение поверки средств измерений в соответствии с установленной областью аккредитации;
- совершенствование, содержание и применение государственных эталонов единиц величин, используемых для обеспечения прослеживаемости других эталонов единиц величин и средств измерений к государственным первичным эталонам единиц величин [5].

7.4 Закон [5] предусматривает следующие формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений:

- 1) утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;
- 2) поверка средств измерений;

- 3) метрологическая экспертиза;
- 4) государственный метрологический надзор;
- 5) аттестация методик (методов) измерений;
- 6) аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

7.5 Измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, должны выполняться по аттестованным методикам (методам) измерений с применением средств измерений утвержденного типа, прошедших поверку.

Тип средств измерений - совокупность средств измерений, предназначенных для измерений одних и тех же величин, выраженных в одних и тех же единицах величин, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации.

Утверждение типа средств измерений - документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов или типа средств измерений метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа. Для утверждения типа предприятие - разработчик подаёт соответствующую заявку в Ростехрегулирование, где проверяют техническую документацию и производят испытания средств измерений данного типа. В случае положительного решения данный тип средств измерений заносят в соответствующий Государственный реестр.

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в

процессе эксплуатации - периодической поверке. Владельцы этих средств измерений обязаны своевременно представлять их на поверку.

Поверка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

Результаты поверки удостоверяются знаком поверки (поверительным клеймом) и (или) свидетельством о поверке.

Средства измерений, на которые не утверждён тип, могут в добровольном порядке подвергаться калибровке.

Калибровка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений [5].

Подробнее о поверке средств измерений – см. п. 7.7.

7.6 Государственный метрологический надзор осуществляется Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзором) за:

- соблюдением обязательных требований в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к измерениям, единицам величин, а также к эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений при их выпуске из производства, ввозе на территорию Российской Федерации, продаже и применении на территории Российской Федерации;

- наличием и соблюдением аттестованных методик (методов) измерений;

- соблюдением обязательных требований к отклонениям количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения.

Государственный метрологический надзор распространяется на деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих:

- измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;

- выпуск из производства предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений эталонов единиц величин, стандартных образцов и средств измерений, а также их ввоз на территорию Российской Федерации, продажу и применение на территории Российской Федерации;

- расфасовку товаров [5].

Непосредственно надзор осуществляют должностные лица - государственные инспекторы, обладающие следующими правами:

- посещать объекты (территории и помещения) юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в целях осуществления государственного метрологического надзора во время исполнения служебных обязанностей;

- получать документы и сведения, необходимые для проведения проверки.

При выявлении нарушений инспекторы обязаны:

- запрещать выпуск из производства, ввоз на территорию Российской Федерации и продажу стандартных образцов и средств измерений, не соответствующих обязательным требованиям;

- запрещать применение стандартных образцов и средств измерений неутвержденных типов или не соответствующих обязательным требованиям, а также не поверенных средств измерений при выполнении измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;

- наносить на средства измерений знак непригодности;

- давать обязательные к исполнению предписания и устанавливать сроки устранения нарушений;

- направлять материалы о нарушениях требований в судебные и следственные органы, а также в федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий аккредитацию в области обеспечения единства измерений.

7.7 Поверка средств измерений. Аттестация испытательного оборудования

7.7.1 Поверку и калибровку средств измерений проводят по заявкам их владельцев аккредитованные на проведение таких работ юридические лица, в т.ч. Центры стандартизации, метрологии и сертификации.

В нашей стране, как в большинстве других стран, существует регламентируемый государством (в национальных стандартах) порядок передачи размера единиц физических величин от наиболее точных средств измерений к менее точным. Этот порядок называется поверочной схемой. Пример такой схемы приведён на рисунке 7.1.

Средства измерений, предназначенные не для измерений, а для воспроизведения, хранения и передачи единиц физических величин, называются эталонами единиц величин.

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

Эталоны, находящиеся в федеральной собственности, называются государственными.

Государственный первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы величины с наивысшей в стране точностью.

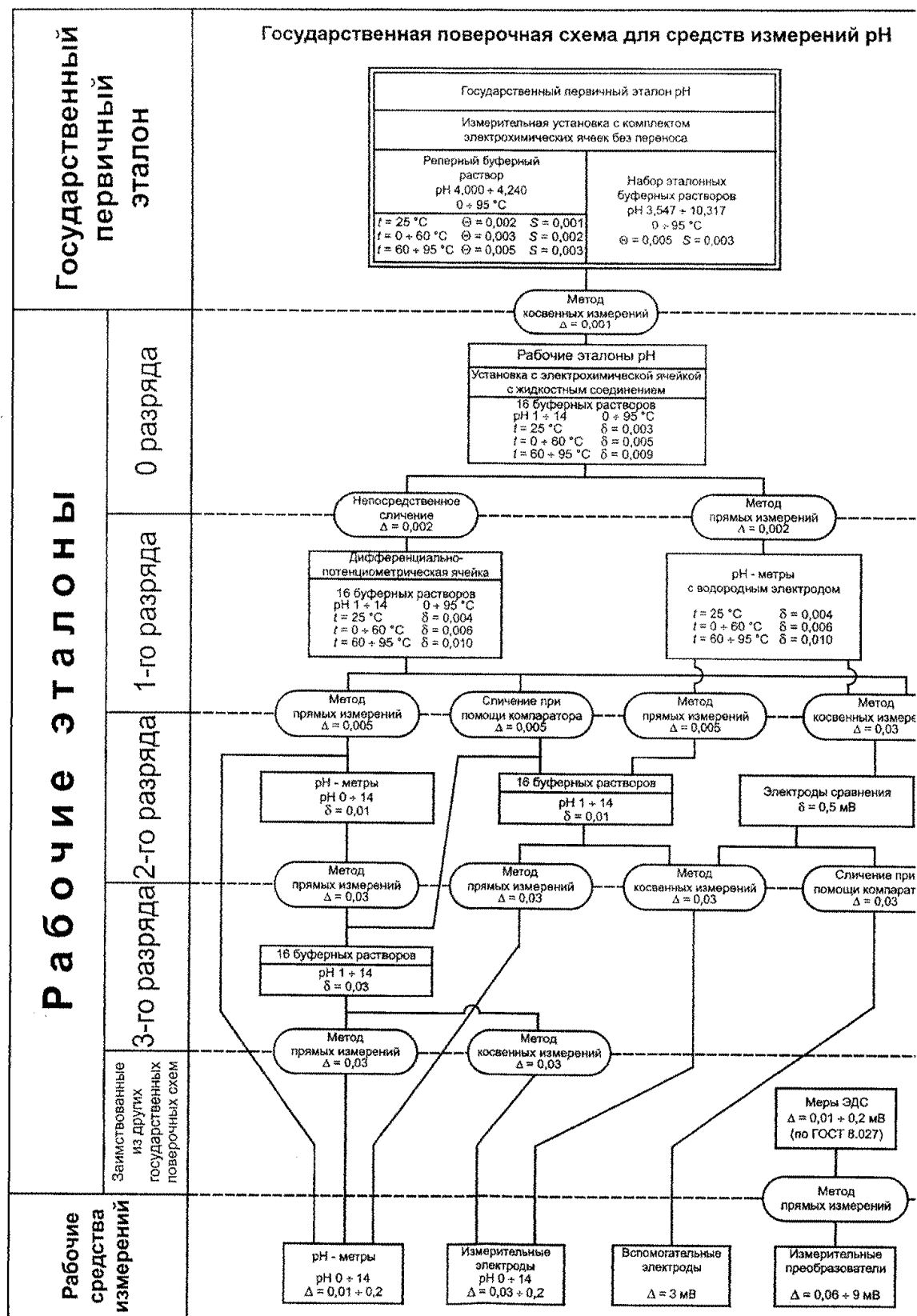


Рисунок 7.1 – Поверочная схема для средств измерений pH

Стандартный образец – мера для воспроизведения единиц величин, характеризующих свойства или состав веществ и материалов.

7.7.2 Испытательное оборудование, применяемое при проведении испытаний или измерений, должно проходить аттестацию.

Порядок проведения аттестации регламентируется ГОСТ Р 8.568 [1].

Аттестация испытательного оборудования – это определение его нормированных точностных характеристик, их соответствия требованиям нормативных документов и установление пригодности этого оборудования к эксплуатации.

После приобретения, монтажа, ремонта испытательного оборудования должна проводиться его первичная аттестация; в дальнейшем через определённые промежутки времени проводится периодическая аттестация.

Аттестацию могут проводить как имеющие соответствующую аккредитацию лаборатории, так и сами владельцы испытательного оборудования при наличии всех условий для проведения таких работ – помещений, оборудования и специалистов. При этом если испытательное оборудование применяется при проведении работ, входящих в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений, первичная аттестация должна проводиться в присутствии представителя государственной метрологической службы или государственных метрологических центров.

Результаты аттестации заносятся в протокол. При первичной (а иногда и при периодической) аттестации на основании протокола оформляется аттестат.

Приложение А

Пример определения отклонения от плоскостности по всей поверхности плиты перекрытия методом измерения линейкой расстояния от размеченных на поверхности элемента точек до линии отсчёта, заданной струной

А.1 Размечается поверхность плиты. Расстояние между точками принимается в продольном направлении 145 см, в поперечном – 62 см. Точки нумеруются (см. рисунок А.1).

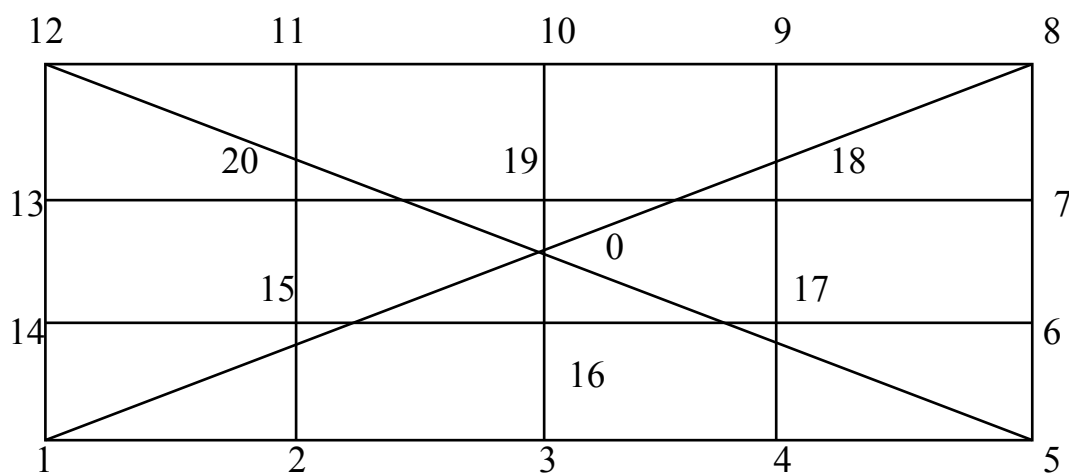


Рисунок А.1 – Схема разметки поверхности плиты перекрытия

А.2 При установке плиты используются опоры высотой 50 мм.

Устанавливая струну в направлениях 1–8 и 5–12, задаётся условная плоскость, проходящая через точки 1 и 8 и параллельную диагонали 5–12, и определяются отклонения от условной плоскости в точках 5, 12 и 0:

$$\delta h_5 = \delta h_{12} = h_{0(5-12)} - h_{0(1-8)} = 53 - 56 = -3 \text{ мм};$$

$$\delta h_0 = h_1 - h_{0(1-8)} = 50 - 56 = -6 \text{ мм}.$$

А.3 Струну устанавливают поочерёдно в направлениях 1–5, 5–8, 8–12, 12–1, 14–6, 7–13 и производят измерения во всех размеченных точках. Все результаты заносятся в таблицу А.1.

Таблица А.1

Сечение	Номер точки	Расстояние от линии отсчёта до поверхности h_i , мм	Отклонение от условной плоскости	
			формула	результат*, мм
1	2	3	4	5
1–8	1	50	-	0,0
	0	56	$50 - 56$	- 6,0
	8	50	-	0,0
5–12	5	50	-	- 3,0
	0	53	$50 - 53$	- 6,0
	12	50	-	- 3,0
1–5	1	50	-	0,0
	2	46	$50 - 46 + 1/4 (- 3,0 - 0) + 0$	3,3
	3	49	$50 - 49 + 2/4 (- 3,0 - 0) + 0$	- 0,5
	4	51	$50 - 51 + 3/4 (- 3,0 - 0) + 0$	- 3,3
	5	50	-	- 3,0
5–8	5	50	-	- 3,0
	6	52	$50 - 52 + 1/3 (0,0 + 3,0) - 3,0$	- 4,0
	7	55	$50 - 55 + 2/3 (0,0 + 3,0) - 3,0$	- 6,0
	8	50	-	0,0
8–12	8	50	-	0,0
	9	48	$50 - 48 + 1/4 (- 3,0 - 0,0) + 0,0$	1,3
	10	47	$50 - 47 + 2/4 (- 3,0 - 0,0) + 0,0$	1,5
	11	47	$50 - 47 + 3/4 (- 3,0 - 0,0) + 0,0$	0,8
	12	50	-	- 3,0
12–1	12	50	-	- 3,0
	13	46	$50 - 46 + 1/3 (0,0 + 3,0) - 3,0$	2,0
	14	49	$50 - 49 + 2/3 (0,0 + 3,0) - 3,0$	0,0
	1	50	-	0,0
14–6	14	50	-	- 4,0
	15	52	$50 - 52 + 1/4 (- 4,0 - 0,0) + 0,0$	- 3,0
	16	47	$50 - 47 + 2/4 (- 4,0 - 0,0) + 0,0$	1,0
	17	55	$50 - 55 + 3/4 (- 4,0 - 0,0) + 0,0$	- 8,0
	6	50	-	- 4,0
7–13	7	50	-	- 6,0
	18	49	$50 - 49 + 1/4 (2,0 + 6,0) - 6,0$	- 3,0
	19	48	$50 - 48 + 2/4 (2,0 + 6,0) - 6,0$	0,0
	20	46	$50 - 46 + 3/4 (2,0 + 6,0) - 6,0$	4,0
	13	50	-	2,0
Примечание - *Округлены до десятых долей миллиметра.				

А.4 Максимальное отклонение $\delta h_{\max} = 4,0$ мм, минимальное $\delta h_{\min} = -8,0$ мм. Отклонение от плоскостности поверхности плиты $\delta h_{\phi} = 4,0 + |-8,0| = 12,0$ мм.

Литература

1. ГОСТ Р 8.568-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения.
2. ГОСТ 8026-92 Линейки поверочные. Технические условия.
3. ГОСТ 28840-90 Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования.
4. РМГ 29-99 Метрология. Основные термины и определения.
5. Закон Российской Федерации "Об обеспечении единства измерений" от 2.06.2008 г. № 102-ФЗ.
6. Асташенков А. Русской метрологии – 1000 лет, ВНИИ метрологической службы – 100 лет //Стандарты и качество.– 2000,– № 9.– С. 20–21.
7. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике.– М.: Наука, 1975.– 416 с.
8. Политехнический словарь /Редкол.: А.Ю.Ишлинский (гл. ред.) и др. –М.: Советская энциклопедия, 1989.–656 с.
9. Русское православие: вехи истории/Под науч. ред. А.И.Клибанова.–М.: Политиздат, 1989.–719 с.

Исаев Андрей Владимирович

**Метрология, стандартизация и подтверждение
соответствия в строительстве**
Часть I
Метрология

Редактор
Н. А. Журавлёва

Подписано в печать _____. Формат 60×90 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.

Уч. изд. л. _____. Усл. печ. л. 6,6. Тираж 150 экз. Заказ № _____.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 603950,
Н.Новгород, ул. Ильинская, 65.

Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, ул. Ильинская, 65.