

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ

Цели работы: изучить устройство, овладеть правильными приемами измерений штангенинструментами с нониусным и электронным отсчетами.

### Теоретические сведения

**Физической величиной** называется одно из свойств физического объекта (явления, процесса), которое является общим в качественном отношении для многих - физических объектов, отличаясь при этом количественным значением.

**Целью измерений** является определение значения **физической величины** - некоторого числа принятых для нее единиц (например, результат измерения массы изделия составляет 2 кг, высоты здания -12 м и др.).

**Истинное значение физической величины** - это значение, идеально отражающее в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

**Действительное значение физической величины** - это значение величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Измеренное значение физической величины - это значение, полученное при измерении с применением конкретных методов и средств измерений.

**Измерение** - это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

**Средство измерения** - техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

**Мерой** называется средство измерения, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью (например, плоскопараллельная концевая мера длины).

**Многозначная мера** - мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая мера длины).

**Измерительный прибор** - средство измерения, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.

**Цена деления шкалы** - разность значения величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерения.

**Показание средства измерения** – значение величины или число на показывающем устройстве средства измерений.

Измерения **методом непосредственной оценки** характеризуются тем, что значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерения. При измерении методом непосредственной оценки используется одно измерительное средство.

В данной работе рассматриваются простейшие методы непосредственной оценки линейных измерений. Методы непосредственной оценки бывают контактные и бесконтактные. В контактном методе измерительные поверхности прибора **касаются** поверхностей объекта (штангенциркуль, микрометр). Бесконтактные измерения можно **производить** с помощью микроскопа или специальных проекторов.

К штангенинструментам общего назначения относятся: штангенциркуль, штангенрейсмус, штангенглубиномер. Измерение в штангенинструментах основано на применении нониуса, который позволяет отсчитывать дробные деления основной шкалы. Выпускают штангенинструменты с ценой деления нониуса 0,1, 0,05 и 0,02 мм. Пределы измерения выпускаемых штангенинструментов: штангенциркулей до 2000 мм; штангенглубиномеров – до 500 мм; штангенрейсмусов до 1000 мм. Интервал измеряемых геометрических величин определяется типоразмером и назначением штангенинструмента. Точность отсчета равна цене деления шкалы нониуса.

**Штангенциркули** ШЦ-I, ШЦ-II (рисунок 1.1, 1.2) предназначены для измерения наружных и внутренних поверхностей. Штангенциркулем ШЦ-I можно измерить также глубины пазов и отверстий при наличии штанги глубиномера. ГОСТ 166-89 «Штангенциркули. Технические условия» установлены пределы измерений и цена деления: для штангенциркуля ШЦ-I – 125 мм; 0,1 мм; для ШЦ-II – 0 – 160 мм; 0 – 200 мм, 0 – 250 мм; 0,1 мм и 0,05 мм соответственно.

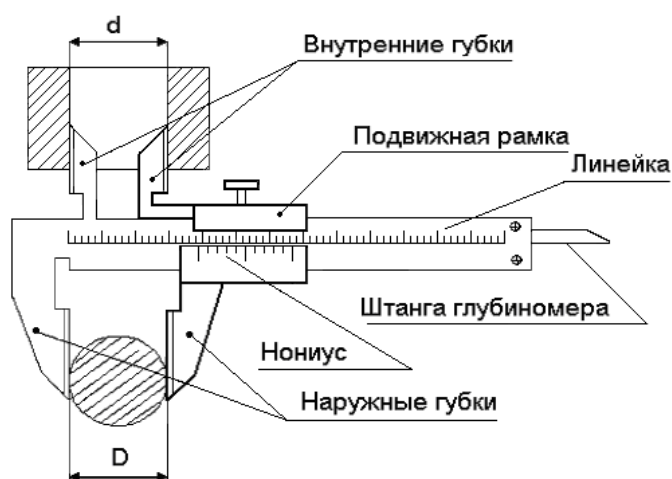


Рис. 1.1. Штангенциркуль ШЦ-I

Штангенциркуль может быть использован для измерений, если при совмещении губок между ними не просматривается просвет, а нулевые штрихи нониуса и шкалы штанги совпадают.

Пример условного обозначения штангенциркуля ШЦ-II с пределом измерений 0 - 250 мм и значением отсчета по нониусу 0,05 мм: *штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89*.

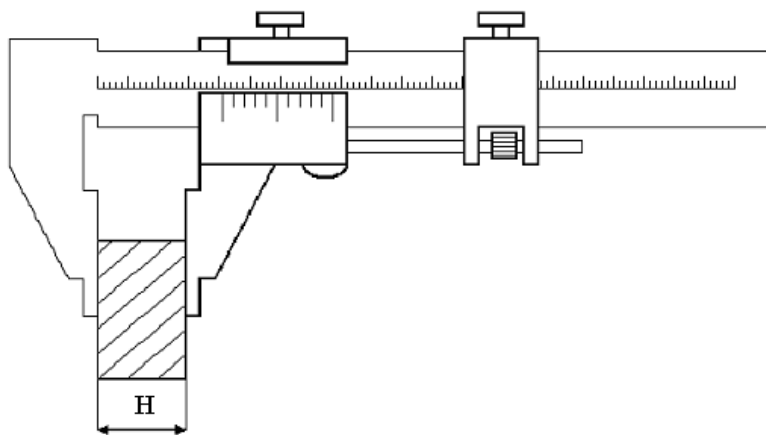


Рис. 1.2. Штангенциркуль ШЦ-II

**Штангенциркули с электронным отсчетом.** Основой этих инструментов, как и штангенциркулей с нониусным отсчетом, является линейка-штанга, на которой нанесены две штриховые шкалы: одна – с интервалом деления 1 мм (метрическая система мер), другая – с интервалом деления 1 дюйм (королевская система мер). Общий вид инструментов изображен на рисунке 1.3.

Штанга выполнена с верхней и нижней неподвижными губками и пазом. По штанге перемещается рамка с верхней и нижней подвижными губками, глубиномером и аттестованным роликом. На рамке располагаются микропроцессор, блок питания, дисплей, зажимной винт и два переключателя. Один служит для установки показаний "на ноль", второй – для проведения измерений в метрической или королевской системах.

С помощью этих инструментов можно измерять размеры валов, отверстий, глубин и высот, они имеют точность измерений до 0,01 мм.

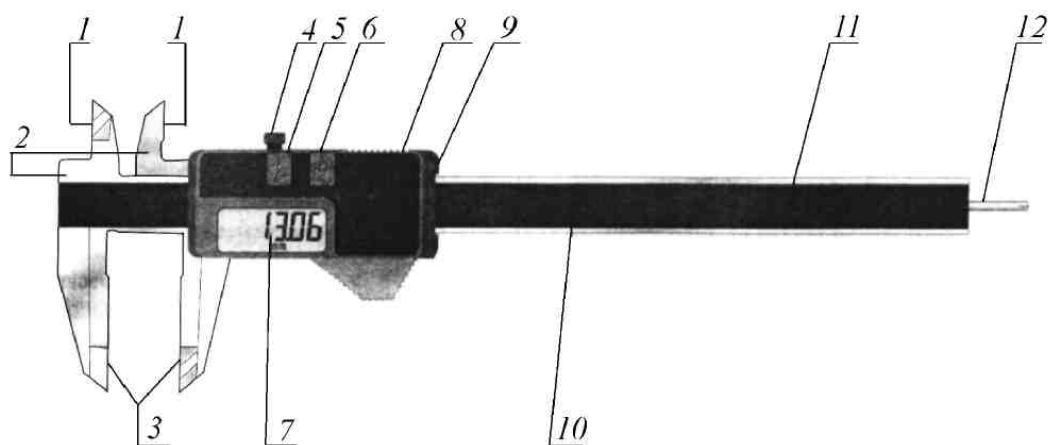


Рис. 1.3. Штангенциркуль с электронным отсчетом:

1 – поверхности для внутренних замеров; 2 – поверхности для замеров расстояний; 3 – поверхности для внешних замеров; 4 – стопорный винт; 5 – кнопка "M/O@"; 6 – кнопка "C/ON"; 7 – ЖК-индикатор; 8 – разъем для вывода данных; 9 – крышка бата-рейного отсека; 10 – дискретная шкала с защитой; 11 – планка; 12 – штырь глубиномера

Перед началом измерений необходимо произвести поверку инструмента. Если инструмент имеет деформированные губки, игру рамки, забоины, царапины, стертые штрихи, им пользоваться нельзя. Убедившись в исправности инструмента, необходимо открыть крышку гнезда блока питания пальцем правой руки, установить аккумулятор в гнездо и закрыть крышку. Затем необходимо убедиться в правильности нулевого показания инструмента. При соприкасающихся поверхностях нижних губок на дисплее должно быть нулевое значение. Если это условие не выполняется, необходимо нажать пальцем на кнопку, расположенную в нижней части рамки, и добиться, чтобы это условие было выполнено.

Переключением соответствующей кнопки можно выполнять измерения линейных размеров в метрической (мм) или королевской (дюйм) системах мер.

Технология измерения деталей (сборочных единиц) штангенциркулями с электронным отсчетом такая же, как и у аналогичных инструментов с нониусным отсчетом. Значения измерений высвечиваются на дисплее.

**Штангенглубиномеры** (рисунок 1.4) служат для измерения глубины канавок, выступов, пазов и т. д. Согласно ГОСТ 162 - 90 «Штангенглубиномеры. Технические условия» они выпускаются с пределами измерений 160, 200, 250, 315, 400 мм, со значениями отсчета по нониусу 0,05 мм. Пример условного обозначения: *штангенглубиномер ШГ 250 ГОСТ 162-90* (предел измерения 0 - 250 мм; точность по нониусу 0,05 мм).

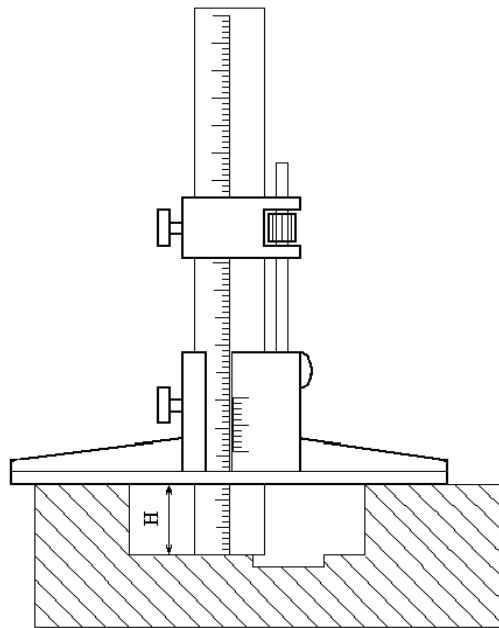


Рис. 1.4. Штангенглубиномер

**Штангенрейсмасы** (рисунок 1.5) предназначены для измерения высоты и проведения разметочных работ. Пределы измерений: 0 – 250 мм, 40 – 400 мм, 60 – 630 мм, 100 – 1000 мм, 600 – 1600 мм, 1500 – 2500 мм. Значения отсчета по нониусу – 0,05 мм или 0,1 мм (ГОСТ 164-90 «Штангенрейсмасы. Технические условия»). Пример условного обозначения штангенрейсмаса с пределом измерений 0-250 мм и значением отсчета 0,05 мм: *штангенрейсмас ШР-250-0,05 ГОСТ 164-90*.

Штангенглубиномеры и штангенрейсмасы имеют основание для их установки на измеряемый объект или разметочную плиту.

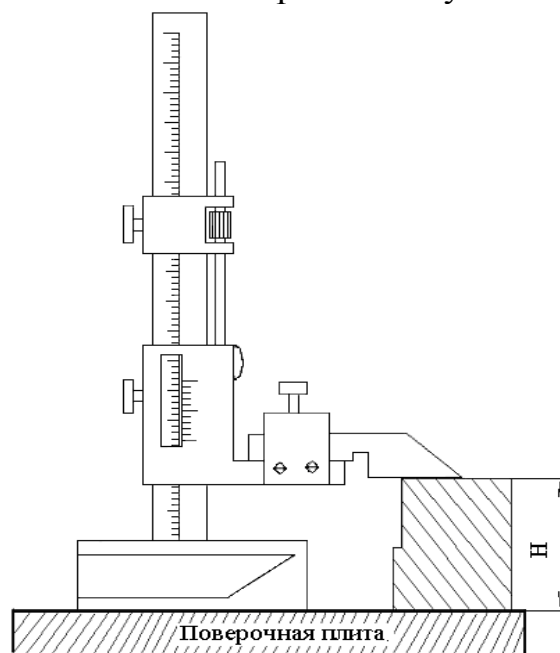


Рис. 1.5. Штангенрейсмас

**Штангензубомеры** (рисунок 1.6) применяются для измерения толщины зуба цилиндрического зубчатого колеса по постоянной хорде. Обычно ими измеряют толщину зубьев больших колес, изготовленных с невысокой степенью точности. Отечественная промышленность выпускает штангензубомеры двух типоразмеров : для колес с модулями 1 - 16 мм и 5 - 36 мм, с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм.

По конструкции штангензубомер значительно отличается от других штангенинструментов. Особенность его заключается в том, что в нем как бы совмещены штангенглубиномер и штангенциркуль. Его высотная линейка подобно линейке глубиномера, выставляется на размер так, чтобы контакт измерительных губок с зубом контролируемого колеса шел по делительной окружности, см. рисунок 1.6. Значение толщины зуба по постоянной хорде читается во второй рамке, как на штангенциркуле. Размер хорды для всех колес с одним модулем и углом зацепления остаётся постоянным (независимо от числа зубьев).

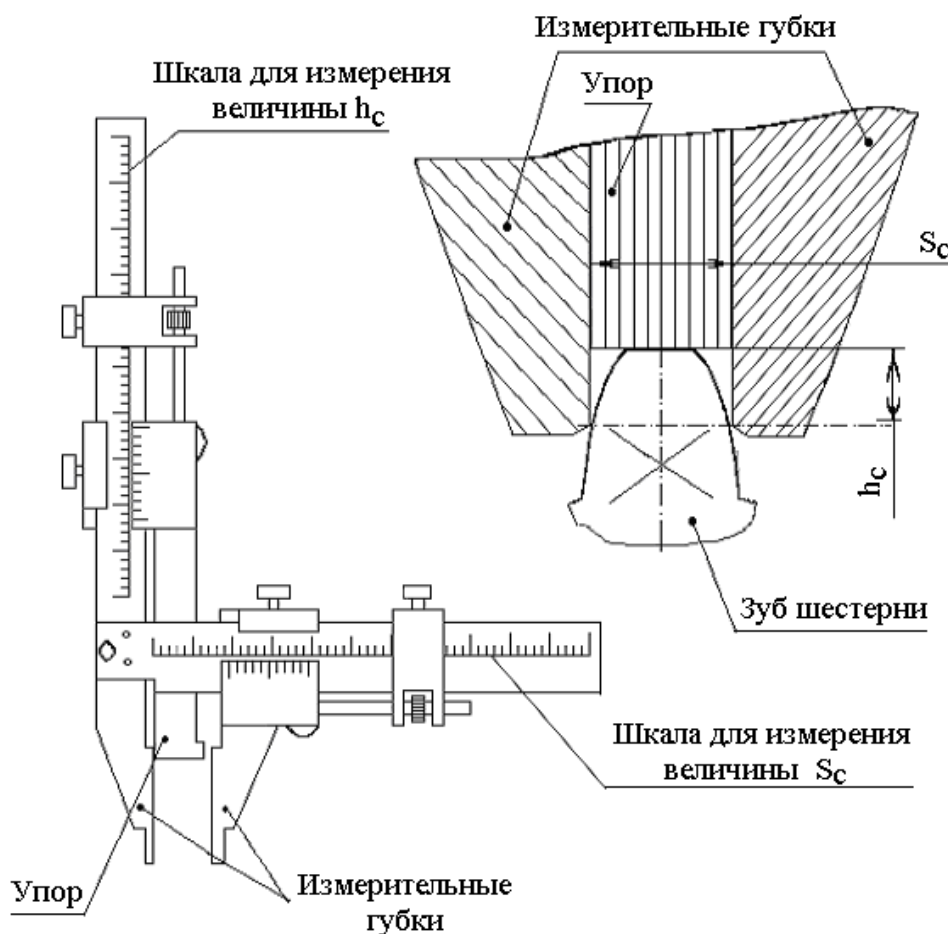


Рис. 1.6. Штангензубомер и схема измерения толщины зуба шестерни

## ***Порядок измерения штангенинструментами***

Для отсчета измеряемой величины с помощью нониуса сначала определяют целое число миллиметров перед нулевым делением нониуса по основной шкале (рисунок 1.7). Затем добавляют к нему число долей по нониусу в соответствии с тем, какой штрих шкалы нониуса ближе к штриху основной шкалы.

На рисунке 1.7 искомый размер равен 13 мм по основной шкале плюс 0,9 мм по подвижной. Один интервал шкалы нониуса, согласно рисунку 6, составляет 0,1 мм.

При выполнении внутренних и наружных измерений нужно использовать соответствующие губки или поверхности губок инструментов. Работая со штангенциркулем ШЦ-II и штангенрейсмасом, необходимо помнить о поправках в результатах измерений, которые зависят от толщины губок и измерительной ножки. При измерении детали губки штангенинструментов должны соприкасаться своими поверхностями с измеряемыми поверхностями без перекосов.

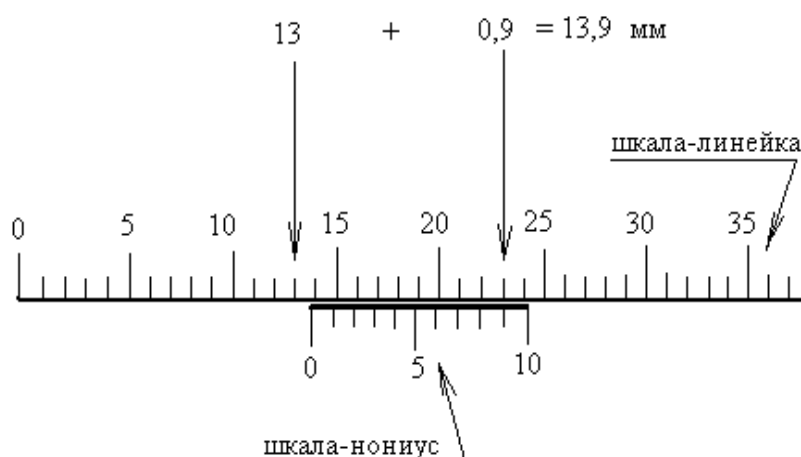


Рис. 1.7. Отсчетное устройство штангенинструментов

## ***Погрешность измерения и выбор измерительных средств***

Погрешность измерения равна совокупности погрешностей средства измерения (инструментальная погрешность), метода измерения и др.

На примере штангенциркуля рассмотрим инструментальную (основную) погрешность. Её причины - неточность делений штанги и нониуса, отклонение от плоскости и нарушение параллельности измерительных поверхностей, а также перпендикулярности измерительных поверхностей и направляющей грани штанги. Эта погрешность отдельно не нормируется, а входит в суммарную погрешность инструмента.

ГОСТ 8.051-81 «ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм» регламентирует допускаемые погрешности измерений линейных параметров до 500 мм (для всех интервалов размеров и качеств). В зависимости от размера и точности изготовления детали стандартом устанавливается наибольшая допустимая погрешность измерения, которая включает погрешности средства измерения, установочных мер, температурных деформаций, базирования, а также случайные, неучтенные систематические погрешности измерения.

Выбор измерительных средств в общем случае зависит от пределов измерений, допускаемых погрешностей, конструктивных особенностей деталей, масштаба производства и др.

Нормальные условия, устанавливаемые ГОСТ 8.050-73 «ГСИ. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений» (температура окружающей среды +20°C, атмосферное давление 101324,72 Па, относительная влажность воздуха 58% и т. д.), исключают дополнительные погрешности.

### Ход работы

Оборудование и приборы: штангенциркули ШЦ-I, ШЦ-II ГОСТ 166-89; штангенглубиномеры ГОСТ 162-90; штангенрейсмасы ГОСТ 164-90; штанген-зубомеры; детали; рабочие чертежи деталей.

1) Изучить устройство штангенинструментов, см. рисунок 1.1 – 1.6. Ознакомиться с измеряемыми деталями. Для каждой детали вычертить эскиз.

2) Выбрать штангенинструменты для измерения соответствующих параметров и внести их основные значения в таблицу (пример – таблица 1.1).

3) Измерить линейные размеры штангенинструментом с нониусным и электронным отсчетом, записать полученные данные в протокол измерений

Таблица 1.1

Средства измерения

Инструмент	Тип (модель)	Диапазон	Цена деления	Обозначение
Штангенциркуль	ШЦ-I	0 - 150 мм	0,1 мм	Штангенциркуль ШЦ-I 0-150; 0,1 - ГОСТ 166-89

4) Измерить диаметр  $x$  деталей, т.е. провести *прямые* равноточные измерения, в итоге которых значение физической величины находят непосредственно из опытных данных, сравнив измеряемую величину с её



мерой или используя измерительные средства, непосредственно дающие её значения.

*Равноточными (равнорассеянными)* называются прямые независимые измерения постоянной величины, результаты которых могут рассматриваться как случайные, распределенные по одному и тому же закону. В большинстве случаев при обработке прямых равноточных измерений исходят из предположения нормального закона распределения результатов и погрешностей измерений.

Статистические оценки находят, исходя из конкретного закона распределения случайной величины. Обычно предполагается, что диаметр (длина, ширина и т.п.), как случайная измеряемая величина, подчиняется закону нормального распределения.

5) Обработать результаты прямых измерений диаметра (длины), используя точечные оценки соответствующих им характеристик генеральной совокупности. Определить среднеарифметическое значение величины  $x$ , т.е.  $\bar{x}$  (математическое ожидание  $m_x^*$ ) :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (1.1)$$

Если известна систематическая погрешность и она постоянна, то ее исключают из найденной величины математического ожидания.

6) Вычислить среднеквадратичное отклонение (СКО)  $\tilde{\sigma}$  среднеарифметического значения результатов измерений, характеризующего рассеивание, по формуле

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad \text{при } n > 20 \quad (1.2)$$

или

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad \text{при } n < 20. \quad (1.3)$$

7) Исключить грубые погрешности (промахи).

При однократных измерениях обнаружить грубую погрешность удастся не всегда. При многократных измерениях для её обнаружения используют статистические критерии. При этом задаются вероятностью  $q = 1 - P$  (уровнем значимости) того, что сомнительный результат, действительно, возможен в данной их совокупности.

При числе наблюдений  $n > 20$  используют, как правило, *критерий трех сигм (критерий Райта)*. По этому критерию, промахом считается результат наблюдения  $x_i$ , который отличается от среднего  $\bar{x}$  более чем на  $3\tilde{\sigma}$ , т.е.  $|x_i - \bar{x}| > 3\tilde{\sigma}$ . Вероятность такого результата  $q < 0,003$  ( $1 - 0,9973$ ).

При малом числе наблюдений ( $n < 20$ ) применяют *критерий Романовского (критерий  $\beta$ )* :

$$\left| \frac{x_i - \bar{x}}{\tilde{\sigma}} \right| = \beta. \quad (1.4)$$

Сначала вычисляют это отношение и сравнивают его с критерием  $\beta_T$ , зависящим от заданного уровня значимости  $q$  и числа  $n$  наблюдений (таблица 1.2). При  $\beta \geq \beta_T$  результат считается промахом и не учитывается

8) Определить границы доверительного интервала, в котором с заданной вероятностью (обеспеченностью) находится случайная погрешность среднеарифметического значения измеряемой величины. Формула расчета –

$$\Delta_{\text{сл.}} = \pm t \cdot \tilde{\sigma}. \quad (1.5)$$

При числе наблюдений  $n > 20$  значения коэффициента  $t$  определяют по таблицам функции Лапласа, см. таблицу 1.3, а при  $n < 20$  – по таблицам функции Стьюдента, см. таблица 1.3.

Таблица 1.2

Значения критерия Романовского  $\beta_T$  при числе измерений  $n$  от 4 до 20

Вероятность результата	Число измерений											
	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
0,010	1,72	1,96	2,13	2,26	2,37	2,46	2,54	2,66	2,76	2,84	2,29	2,96
0,025	1,71	1,92	2,07	2,18	2,27	2,35	2,41	2,52	2,60	2,67	2,73	2,78
0,050	1,69	1,87	2,00	2,09	2,17	2,24	2,29	2,39	2,46	2,52	2,56	2,62
0,100	1,64	1,73	1,89	1,97	2,04	2,10	2,23	2,23	2,30	2,35	2,40	2,45

Смысл понятий «доверительный интервал» и «доверительная вероятность» состоит в следующем: пусть доверительная вероятность  $P = 0,95$ , тогда с надежностью 95% можно утверждать, что истинное значение величины  $x_{\text{ист.}}$  не отличается от оцениваемого больше чем на  $\pm \Delta x_{\text{сл.}}$

Таблица 1.3

Значения функции Лапласа

t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)
0,0	0,0000	1,0	0,3413	2,0	0,4772
0,1	0,0398	1,1	0,3643	2,1	0,4821
0,2	0,0793	1,2	0,3849	2,2	0,4861
0,3	0,1179	1,3	0,4032	2,3	0,4893
0,4	0,1554	1,4	0,4192	2,4	0,4918
0,5	0,1915	1,5	0,4332	2,5	0,4938
0,6	0,2257	1,6	0,4452	2,6	0,4953
0,7	0,2580	1,7	0,4554	2,7	0,4965
0,8	0,2881	1,8	0,4641	2,8	0,4974
0,9	0,3159	1,9	0,4713	2,9	0,4981

Значения коэффициентов  $t_{p, n}$  в зависимости от  $P$  и  $n$  представлены в таблице 1.4. Для того чтобы окончательно установить границы доверительного интервала необходимо расширить его с учетом

систематической погрешности  $\pm x_{\text{сист.}}$ , которая, как правило, указана в паспорте или на шкале прибора, а в простейших случаях может быть принята равной половине цены деления младшего разряда шкалы.

Таблица 1.4

Значения коэффициента Стьюдента

P = 0,70		P = 0,95		P = 0,99	
n	t <sub>p. n</sub>	n	t <sub>p. n</sub>	n	t <sub>p. n</sub>
2	1,96	2	12,71	2	63,70
3	1,34	3	4,30	3	9,92
4	1,25	4	3,18	4	5,84
5	1,19	5	2,77	5	4,60
6	1,16	6	2,57	6	4,03
7	1,13	7	2,45	7	3,71
8	1,12	8	2,36	8	3,50
9	1,11	9	2,31	9	3,36
10	1,11	10	2,26	10	3,25
15	1,08	15	2,14	15	2,98
20	1,07	20	2,09	20	2,86
30	1,07	30	1,96	30	2,58
100	1,04	100	1,96	100	2,58

9) Оценить относительную погрешность измеряемой физической величины по формуле

$$\delta = \frac{\Delta_{\text{сл.}}}{\bar{x}}. \quad (1.6)$$

10) Найти результат измерения по формуле

$$x = \bar{x} \pm \Delta_{\text{сл.}}. \quad (1.7)$$

На шкалах многих измерительных приборов указывается *класс точности*. Его условным обозначением является цифра, обведенная «кружком». Класс точности определяет абсолютную приборную погрешность в процентах от наибольшего значения величины, которое может быть измерено данным прибором.

Если класс точности на шкале прибора не указан, то абсолютную погрешность принимают равной половине цены наименьшего деления шкалы прибора.

При определении абсолютной погрешности прибора по цене деления нужно обращать внимание на метод измерения, а также на то, чем и как регистрируются результаты, каково расстояние между соседними штрихами на шкале прибора. При отсутствии каких-либо указателей (визиров и т.п.) приборная погрешность может быть принята равной цене деления, если указателем прибора является не плавно перемещающаяся, а «скачущая» стрелка (как, например, у ручного секундомера).

11) Оформить отчет.

Содержание отчета:

- 1) название работы;
- 2) цели;
- 3) общие сведения о штангенинструментах;
- 4) эскизы деталей с указанием размеров;
- 5) результаты прямых измерений, определение среднеарифметического значения; границы доверительного интервала; значение относительной погрешности;
- 6) основные выводы.

### **Контрольные вопросы и задания**

- 1) Объясните устройство штангенциркуля ШЦ-I.
- 2) Назовите штангенинструменты, применяемые в ходе технических измерений.
- 3) Назовите нормальные условия окружающей среды, необходимые для линейных измерений (по ГОСТ 8.050-73 «ГСИ. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений»).
- 4) Какие измерительные средства применяются для определения размеров внутренних поверхностей деталей?
- 5) Объясните назначение штангензубомера и назовите его конструктивные особенности.
- 6) Как выбирается штангенинструмент? Что называется погрешностью измерения?
- 7) Объясните следующие обозначения: ШЦ-II-200-0,05 ГОСТ 166-89; ШР-250-0,05 ГОСТ 164-90; ШГ-200 ГОСТ 162-90.
- 8) Каково назначение шкалы нониуса штангенинструмента?
- 9) Назовите составляющие инструментальной погрешности штангенциркуля.

### **ВИДЕО К ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ ПРОСМОТРУ**

<https://www.youtube.com/watch?v=Gn7y7uxfOJ4>

Измерения штангенциркулем