



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Технология вяжущих веществ, бетонов  
и строительной керамики»

**Методические указания**  
к лабораторной работе № 2 по дисциплине  
«Физические основы измерений  
и эталоны»

**«Влияние вида средств  
измерений на величину  
погрешности измерения  
физической величины»**

для обучающихся по направлению  
подготовки 27.03.01 «Стандартизация и  
метрология»

Автор  
Егорочкина И.О.

Ростов-на-Дону, 2017



## Аннотация

Физические основы измерений и эталоны: методические указания к лабораторной работе №2 «Влияние вида средств измерений на величину погрешности измерения физической величины», для обучающихся по направлению подготовки 27.03.01 «Стандартизация и метрология».

## Автор

к.т.н., доцент  
кафедры «ТВВБиСК»  
Егорочкина И.О.





## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Определение плотности материала с использованием различных средств измерений.....</b>	<b>5</b>
Порядок выполнения работы.....	5
1. Измерение размеров образцов (изделий) масштабной линейкой.....	6
2. Измерение размеров образцов штангенциркулем.....	7
3. Измерение размеров микрометром.....	11
4. Определение массы образцов.....	14
5. Определение плотности образцов .....	14
6. Определения погрешности измерения плотности бетонных образцов .....	14
<b>Литература.....</b>	<b>15</b>



## ВВЕДЕНИЕ

Определение свойств отдельно взятого материала может производиться различными методами с использованием разных средств измерений, при разных условиях окружающей среды, что приводит к тому, что полученные результаты нельзя сопоставлять с результатами других испытаний, проведенных другими способами и на других видах оборудования. Поэтому всякое определение любого свойства материала следует производить всегда одним и тем же методом, используя одни и те же средства измерений.

В повседневной инженерной практике приходится неоднократно производить такие операции, которые входят почти в каждое определение свойств материалов. К таким операциям относятся определение линейных и объемных размеров, массы, измерение температуры и др. Все эти операции работники лабораторий должны выполнять, четко придерживаясь установленных методов, используя одни и те же приемы, так как всякое отклонение от единых методик может привести к неправильным результатам и выводам.

Целью данной работы является приобретение студентами практических навыков в проведении операций по определению того или иного свойства материала, установление величины погрешности измерения физической величины при использовании разных методик и разных средств измерений.

В данной работе студенты исследуют влияние вида средств измерений на погрешность измерения физической величины – плотности материала.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.

В работе плотность материала (изделия) ( $\rho$ ) определяется геометрическим способом посредством измерения объема и массы образца с использованием формулы:

$$\rho = m / v, \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

в которой определение объема образца ( $v$ , м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>)) может производиться по различным методикам с использованием разных средств измерений (СИ) – линеек, штангенциркуля, микрометра.

$m$  – масса образца, кг (г). Масса определяется взвешиванием на технических лабораторных весах.

Для измерений применяют следующее **оборудование и материалы**:

- 1) бетонные образцы-кубы с размером ребра 100 мм (3 штуки);
- 2) весы по ГОСТ 13882;
- 3) металлическая линейка по ГОСТ 427;
- 4) штангенциркуль с ценой деления 0,1 мм по ГОСТ 166.

### Порядок выполнения работы

1. Лабораторная работа выполняется подгруппой студентов, которая делится на 2 бригады.

2. В лаборатории каждая бригада выполняет измерения массы и объема образцов-кубов, используя различные виды средств измерений для контроля геометрических параметров изделий. Первая бригада определяет размеры образца мерной масштабной линейкой, вторая – штангенциркулем.

3. Каждая бригада определяет плотность образцов-кубов по формуле (1).

4. Результаты измерений представляются в табличной форме.

5. По полученным результатам определяется погрешность измерения плотности бетонных образцов-кубов и делается вывод о влиянии различных средств измерения на величину погрешности измерения физической величины.

## 1. Измерение размеров образцов (изделий) масштабной линейкой.

Мерная масштабная линейка с точностью измерения до 0,5 мм, с нанесенными через 1 мм штрихами изготавливается из инструментальной стали. Длина масштабных линейек составляет от 150 до 1000 мм.

Измерения проводят, прикладывая масштабную линейку к образцу так, чтобы нулевой отсчет шкалы совпадал с крайним положением левой грани измеряемого образца (изделия), затем наблюдают, против какого отсчета шкалы приходится крайнее положение правой грани образца, и записывают это значение.

### Правила измерения масштабной линейкой образцов различной формы:

Образец кубической формы. Каждую грань образца измеряют в трех местах по длине, ширине и высоте ( $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, h_1, h_2, h_3$ ) (рис. 1.). За окончательный результат принимают среднее арифметическое из результатов трех измерений каждой грани.

Образец цилиндрической формы. На каждой из параллельных плоскостей цилиндра и в центре его высоты проводят по два взаимно перпендикулярных диаметра ( $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ ) (рис. 2.). За окончательный результат принимают среднее арифметическое из результатов шести измерений диаметра. Высоту цилиндра определяют в четырех местах ( $h_1, h_2, h_3, h_4$ ) и за окончательный результат принимают среднее арифметическое из результатов четырех измерений.

Образец в форме плиты. Длину и ширину плиты измеряют в трех местах: по краям и середине её; толщину плиты – в девяти местах. По полученным результатам определяют среднее арифметическое (из трех – по длине и ширине, из девяти – по толщине) и принимают за окончательный результат.

В настоящей работе следует определить размеры образца-куба. При измерении образец следует держать в левой руке, а линейку в правой, на уровне глаз.

Объем образца-куба определяется по формуле:

$$V = a^3, \quad (2)$$

где  $a$  – длина стороны куба, см.  
Результаты измерений представляются в таблице 1.

Таблица 1 – Определение плотности материалов геометрическим способом с использованием масштабной линейки

№ образца	Геометрические параметры образцов, м												V, м <sup>3</sup>	ρ, кг/м <sup>3</sup>
	длина, м				ширина, м				высота, м					
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	ā	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h		
1														
2														
3														

## 2. Измерение размеров образцов штангенциркулем.

Штангенциркуль (рис. 1.) представляет собой стальную линейку (4) с нанесенными миллиметровыми делениями, на конце которой неподвижно закреплена губка (1). Другая губка (2) свободно передвигается по линейке (4) и снабжена добавочной шкалой – нониусом (6).

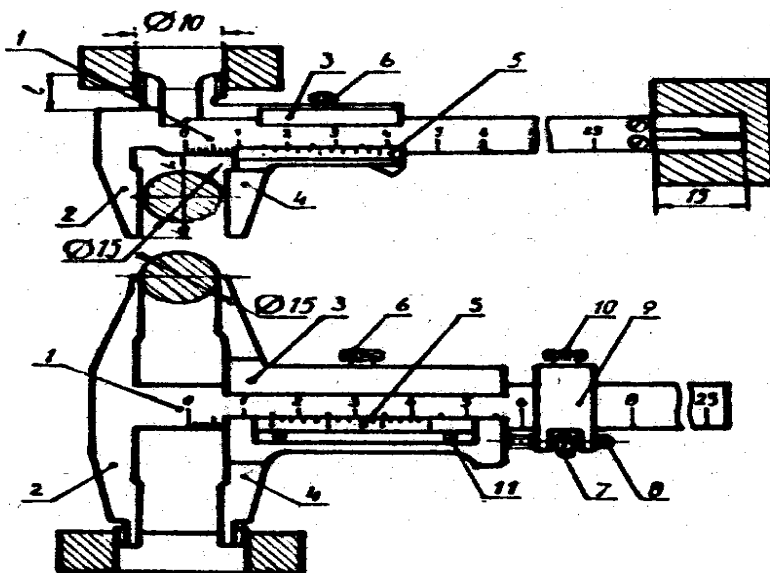


Рис.1. Типы штангенциркулей:

а) – двусторонний с глубиномером; б) – двусторонний.  
 Штангенциркуль: 1 – неподвижная губка, 2 – свободная губка, 3 – зажим рамки нониуса, 4 – линейка, 5 – микрометрический винт, 6 – нониус.

Штангенциркуль (рис. 1) состоит из штанги 1, неподвижных измерительных губок 2, изготовленных заодно со штангой, рамки 3 с подвижными измерительными губками 4, нониуса 5, винтов крепления нониуса 11, зажима 6, гайки 7, микрометрического винта 8, хомута 9, зажима 10. Рамка 3 и хомут 9 соединены между собой винтом 8. При помощи винтовой передачи 7, 8 осуществляется малая подача рамки 3 при фиксированном положении хомута 9 зажимом 10.

Штангенциркули снабжены измерительными губками для наружных и внутренних измерений, а также специальной линейкой для измерения глубин и уступов. Глубина измеряется от торца штанги до конца линейки, отсчет производится по шкале, как и при других видах измерений.

У штангенциркуля, изображенного на рис.16, нижние измерительные губки предназначены для измерений как внутренних, так и наружных размеров. При измерении внутреннего размера к показаниям штангенциркуля надо прибавлять общую толщину губок, которая обозначена на их лицевой стороне. Верхние губки служат для измерения наружных размеров. а их заостренные концы используются также для нанесения разметочной линии.

Для уменьшения погрешностей, возникающих вследствие деформации губок, в процессе измерений не следует пользоваться микроподачей. Она применяется только при установке заданного размера.

Перед измерениями необходимо проверить штангенциркуль. Поверхности губок должны быть ровными, без забоин.

Между измерительными поверхностями не должно быть просвета при их соприкосновении, а нулевые штрихи шкалы штанги и шкалы нониуса

Также должен совмещаться последний штрих нониуса с соответствующим штрихом шкалы штанги.

Если штрихи не совпадают, то надо, отвернув винт нониуса 2, сдвинуть его до совмещения штрихов. Затем проверить наличие перекоса рамки. Если при зажиме винтом 6 возникает перекосяк и размер изменяется или появляется зазор между губками, то таким штангенциркулем пользоваться нельзя.

Отсчетное устройство, нулевые штрихи основной шкалы и шкалы 1 и линейный нониус 2 показаны на рис. 2. Поэтому штангенциркуль относят к штриховым измерительным инструментам с линейным нониусом. Шкала нониуса закрепляется на подвижной рамке и служит для отсчета дробных делений основной шкалы.



При исходном положении нониуса (рис.2а) нулевые штрихи основной шкалы и шкалы нониуса совпадают. При измерении (рис.2б) шкала нониуса смещается относительно основной шкалы и по положению нулевого штриха нониуса определяют величину этого смещения, равную измеряемому размеру. Нониусы изготавливают с ценой деления 0,1; 0,05 или 0,02 мм.

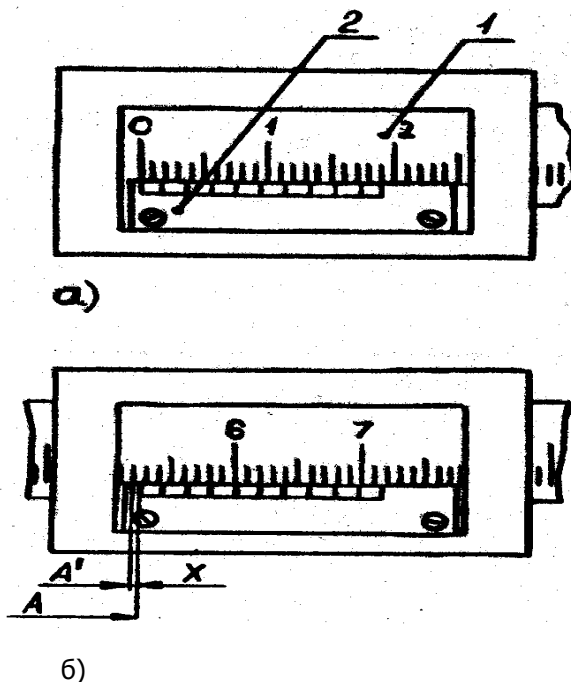


Рис.2 Отсчетное устройство штангенциркуля:  
а) – исходное положение; б) – положение нониуса, соответствующее измеряемому размеру 52,50 мм

Основные метрологические параметры рассчитывают по следующим формулам:

а) цена деления:

$C = a/n$ , где  $a$  – длина деления одной шкалы;  $n$  – число деления шкалы нониуса;

б) длина деления:

$a_i = a \cdot j - c$ , где  $j$  – модуль показывает, сколько делений основной шкалы соответствует одному делению нониуса. На рис. 1а модуль равен 2, т.к. в одном делении шкалы нониуса заключено 2 деления основной шкалы. В различных модификациях штангенциркулей модуль может быть равен 1,2 или 5.

в) длина шкалы:  $\delta = a_1 \cdot n = n(a \cdot j - c) = a(n \cdot j - I)$ ;

г) число делений:  $n = a/c$ .

Рассмотрим порядок отсчета показаний штангенциркуля для случая, приведенного на рис.2б. Цена деления по нониусу равна 0,1 мм. Расстояние  $A$ , соответствующее измеряемому размеру, равно числу целых интервалов основной шкалы  $A'$  плюс часть интервала  $X$ . Исходный размер  $A = A' + X$ . Величина  $X$  определяется как  $X = m \cdot c$ , где  $m$  равно порядковому номеру штриха шкалы нониуса, совпавшего со штрихом основной шкалы. Таким образом,  $A = A' + m \cdot c = 52 + 5 \cdot 0,1 = 52,5$  мм.

Шкала нониуса разбита следующим образом: каждое деление равно 0,9 мм (9 мм шкалы разделены на 10 равных частей), таким образом разность между делениями линейки нониуса составляет 1 мм – 0,9 мм = 0,1 мм. При сдвигании обеих ножек штангенциркуля вплотную нулевые деления линейки и нониуса совпадают, а десятое деление нониуса совпадает с девятым делением линейки. При измерении сначала отсчитывают целое число миллиметров, пройденных по линейке нулевым делением (чертой) нониуса, а затем подсчитывают, какое деление нониуса совпадает с делением на линейке. Количество таких делений дает количество десятых долей миллиметра размера образца.

Точность измерения геометрических параметров образцов и изделий штангенциркулем превышает точность измерения масштабной линейкой и составляет 0,1 мм. Результаты измерений размеров образца-куба геометрическим способом с использованием штангенциркуля представляются в таблице 2.

Таблица 2 – Определение плотности материалов

№ образца	Геометрические параметры образцов, м												V, м <sup>3</sup>	ρ, кг/м <sup>3</sup>
	длина, м				ширина, м				высота, м					
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	$\bar{a}$	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h		
1														
2														

### 3. Измерение размеров микрометром.

Более точные измерения производят микрометром, позволяющим измерять искомую величину с точностью до 0,01 мм. Микрометр очень удобен для замера диаметров стержней, трубок или толщины пластинок. При отсчете показаний микрометра сначала смотрят по шкалам стебля, определяя целые миллиметры по верхней шкале и половины миллиметра – по нижней шкале. По штрихам на скошенной части барабана определяют сотые доли миллиметра, которые прибавляют к показаниям шкалы стебля.

Микрометр (рис. 3) относится к группе микрометрических инструментов и служит для измерения наружных размеров. Он состоит из жесткой скобы 1 с запрессованной в нее неподвижной измерительной пяткой 2 и микрометрической головкой, запрессованной посадочной поверхностью стебля 3. Винтовую пару образуют микрометрическая гайка стебля 3 и микрометрический винт 5. Торцевая поверхность гладкой цилиндрической части микровинта 5 образует вторую измерительную плоскость микрометра. Вращение микрометрического винта 5 осуществляется посредством барабана 6, скрепленного с ним установочным колпачком 7.

Трещетка 8 соединяется с барабаном 6 при помощи ограничительной пружинной муфты, обеспечивая тем самым постоянное измерительное усилие  $5 \div 8H$ . Стопор 4 служит для фиксации в нужном положении микровинта относительно скобы 1.

В комплект инструментов с пределами измерений свыше 25 мм входят установочные меры – цилиндры с нормированным осевым размером.

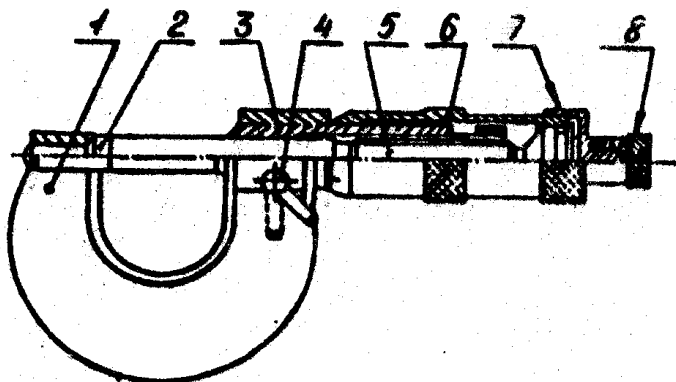


Рис.3. Микрометр гладкий

Гладкие микрометры для наружных измерений выпускаются с пределами измерений 0 – 25, 25 – 50, 50 – 75 и т.д. до 575 – 600 мм.

Микрометрические инструменты имеют два отсчетных устройства (рис. 4). Первое состоит из шкалы с ценой деления 0,5 мм, нанесенной на стебле 1 (рис.4а) указателя, которым является торец барабана 2.

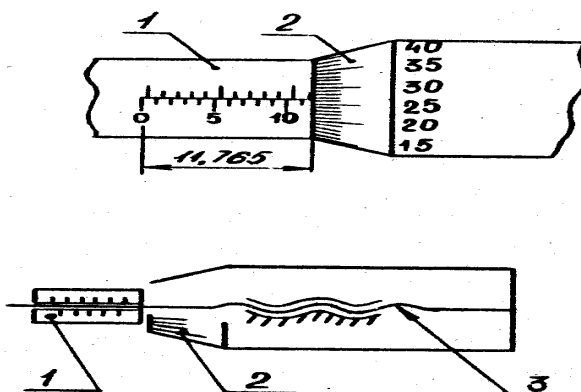


Рис. 4. Отсчетное устройство микрометрических инструментов:  
а) – отсчет, соответствующий 11,765 мм; б) – кинематическая схема

Второе отсчетное устройство состоит из круговой шкалы с ценой деления 0,01 мм, нанесенной на корпусной поверхности барабана 2, и указателя в виде продольного штриха, нанесенного на стебле 1.

Рассмотрим кинематическую схему.

Шаг микровинта 3 (рис.4б) 0,5 мм, следовательно, одному обороту микровинта и жестко скрепленному с ним барабану соответствует линейное перемещение торца барабана на одно деление относительно продольного штриха стебля равное 0,01 мм.

Для определения размера проверяемой детали производят отсчет по двум отсчетным устройствам и суммируют их. Отсчет по микрометру (рис.4а) будет равен  $11,5 + 0,265 = 11,765$  мм (третий десятичный знак взят приблизительно).

Перед началом измерений проверяется нулевая установка микрометра. Если она сбита, установка на нуль осуществляется в следующем порядке (рис. 3):

1) устанавливают микрометр в исходное положение. Для этого у микрометров с пределами измерения 0 – 25 мм, вращая микрометрический винт за трещетку, приводят в соприкосновение измерительные поверхности торцов микровинта 5 и пятки. У микрометров с пределами измерений 25 – 50 мм и более для этой операции используется специальная установочная мера;

2) закрепляют микровинт 5 стопором 4;

3) отворачивают установочный колпачок 7 на пол-оборота;

4) барабан 6 поворачивают до совпадения нулевого штриха круговой шкалы на барабане с продольным штрихом на стебле 3;

5) закрепляют барабан 6 колпачком 7;

6) освобождают микровинт;

7) проверяют установку микрометра на нуль и в случае не совпадения нулевого штриха на барабане с штрихом на стебле повторяют операцию в той же последовательности.

После установки на нуль проводят измерения. Для этого измеряемый образец зажимают между измерительными поверхностями, вращая барабан за трещетку. При возникновении холостого прокручивания трещетки (при этом слышится характерный треск) микровинт зажимают стопором 4 и производят отсчет по отсчетному устройству.

#### 4. Определение массы образцов

Масса образцов материала определяется путем взвешивания на электрических, технических или торговых весах. Взвешивание образцов массой менее 1 кг производится с точностью до 1 г, массой от 1 до 10 кг – с точностью до 5 г и массой свыше 10 кг – с точностью до 50 г.

#### 5. Определение плотности образцов

Плотность образцов определяется косвенным методом путем соотношения прямых измерений массы образца на его объем в соответствии с формулой:

$$\rho = m/v, \text{ г/см}^3,$$

где  $m$  – масса образца, высушенного до постоянной массы, г;  
 $v$  – объем образца, см<sup>3</sup>

Может быть использована и другая размерность, например, кг/м<sup>3</sup>, т/м<sup>3</sup>.

#### 6. Определения погрешности измерения плотности бетонных образцов

Погрешность измерения плотности бетонных образцов, обусловленная использованием различных средств измерений для определения размеров образцов-кубов представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Определение плотности бетонных образцов

Вид используемого средства измерения	Класс точности прибора	№ образца	Измеренные значения размеров образца, см			V, см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta \rho$	$\hat{H}$
			a	b	h				
Масштабная линейка	0,5	1							
		2							
		3							
Штангенциркуль	0,1	1							
		2							
		3							

$\hat{H}$  – относительная погрешность измерения



## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8.010-90. Методика выполнения измерений
2. ГОСТ 12730.1 Бетоны. Методы определения плотности.
3. Градищев Н.Е. Испытание строительных материалов. – М. Стройиздат, 1987
4. Маркин Н.С., Ершов В.С. Метрология. Введение в специальность. Учебник. – М.: Издательство стандартов, 1991.
5. Шерстюков В.И., Лифанов Н.Г. Метрологическое обеспечение производственных процессов.