

ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Кафедра «Строительная механика и теория сооружений»

## **Практикум**

по проведению учебно-исследовательской  
лабораторной работы

# **«Испытание на твердость по Бринеллю с компьютерной обработкой результатов»**

Автор  
Авилкин В. И.

Ростов-на-Дону, 2024

## Аннотация

Практикум ставит своей задачей ознакомление студентов, изучающих общий курс дисциплин сопротивление материалов, техническая механика, архитектурно-строительная механика, теоретическая и прикладная механика, строительная механика, с вопросами экспериментального определения прочностных характеристик материала без разрушения.

В практикуме изложены основные теоретические положения, необходимые для проведения лабораторной работы «Испытание на твердость по Бринеллю с компьютерной обработкой результатов», дано описание образца и эксперимента, изложен порядок проведения и обработки результатов испытаний.

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения (очной, очно-заочной, заочной) технических направлений подготовки (специальностей), в частности, для студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01 – Строительство; 07.03.02 – Реконструкция и реставрация архитектурного наследия; 07.03.01 – Архитектура; 07.03.04 – Градостроительство; 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; 29.03.04 – Технология художественной обработки материалов и специальностям 08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений; 27.05.01 – Прикладная геодезия; 23.05.01 – Наземные транспортно-технологические средства.

## Автор

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Сопротивление материалов»  
Авилкин В.И.





## Оглавление

<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИСПЫТАНИЕ НА ТВЕРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛЮ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ» .....</b>	<b>4</b>
1.    Цель работы.....	4
2.    Описание установки .....	4
3.    Испытываемый образец.....	5
4.    Основные теоретические положения.....	5
5.    Подготовка эксперимента.....	7
6.    Проведение опыта.....	11
7.    Контрольные вопросы .....	16
<b>Приложение 1 .....</b>	<b>17</b>
<b>Приложение 2.....</b>	<b>19</b>

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИСПЫТАНИЕ НА ТВЕРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛЮ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ»

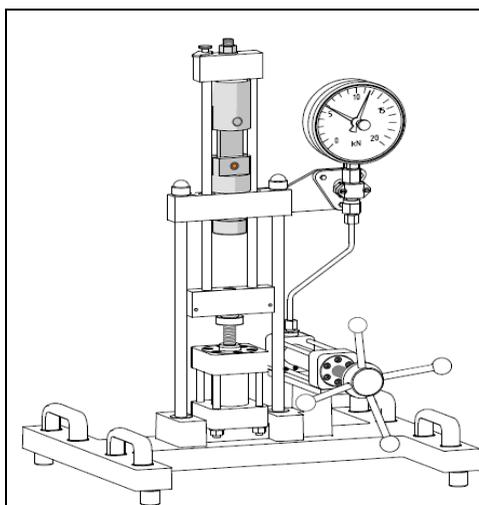
### 1. Цель работы

Ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения твердости материалов.

Настоящая учебно-исследовательская лабораторная работа ставит своей задачей:

1. Изучить поведение материалов при испытаниях на твердость.
2. Получить представление о характере деформации испытываемого образца.
3. Изучить вопросы экспериментального определения прочностных характеристик материала без разрушения.
4. Приобрести практические навыки по проведению испытаний
5. Приобрести практические навыки по проведению испытаний и расчету твердости материалов.

### 2. Описание установки



**Рис. 1. Вид установки**

Универсальная испытательная машина WP 300, усилием **20кН**, предназначена для ознакомления студентов с исследованиями прочностных характеристик материалов (рис.1).  
Универсальная испытательная машина WP 300 – это надежный прибор, разработанный специально для технических ВУЗов, который включает в себя классические виды испытаний конструкционных материалов.

## Испытание на твердость по Бринеллю с компьютерной обработкой результатов

Многофункциональность устройства позволяет осуществлять проведение различных экспериментов, требующих приложения сил на растяжение или сжатие. Устройство разработано для того, чтобы дать возможность студентам самостоятельно проводить лабораторные эксперименты в группах. Устройство дает возможность наглядно показать функции отдельных компонентов машины и общий принцип проведения испытаний.

В комплекте базовой поставки универсальная испытательная машина не требует никаких дополнительных источников энергии. Нагрузка создается за счет ручной гидравлической системы. Величина усилия отображается на манометре с удобной шкалой.

### 3. Испытываемый образец



Металлические пластинки размерами 30 x 30 x 10мм, изготовленные из алюминия, меди, латуни и стали (рис. 2).

**Рис. 2. Испытываемый образец**

### 4. Основные теоретические положения

Под *твердостью* понимается способность материала противодействовать механическому проникновению в него посторонних тел.

В материале, при вдавливании в него острого предмета, возникают местные пластические деформации, сопровождающиеся, при дальнейшем увеличении сил, местным разрушением. Поэтому, показатель твердости связан с показателями прочности и пластичности и зависит от конкретных условий проведения испытания.

Наиболее широкое распространение получили пробы по Бринеллю и по Роквеллу.

В первом случае, в поверхность исследуемой детали вдавливается стальной, во втором – острый алмазный наконечник. По размеру полученного отпечатка судят о твердости материала.

При испытании на твердость по Бринеллю, в качестве индентора, берется твердосплавный или закаленный стальной шарик в

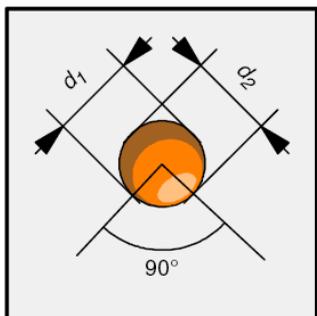
## Испытание на твердость по Бринеллю с компьютерной обработкой результатов

соответствии с ISO 6506 (ГОСТом 23677-79) , как правило, диаметром **10; 5; 2,5; 1 мм**.

В УИМ WP 300 используется закаленный стальной шарик диаметром **10мм**. Сокращение **HBS** используют для значений твердости, определенных для закаленных стальных шариков, **HBW** – для значений, полученных при использовании твердосплавных шариков.

Метод можно применять для материалов с твердостью до **650HB**. Метод неприменим для тонких образцов.

В испытании на твердость, шарик определенного диаметра **D**, вдавливается вертикально в образец под нагрузкой **F**, причем величина нагрузки постепенно увеличивается, все испытание длится определенное время. В результате на образце появляется небольшая метка диаметра **d**, размеры которой измеряют после проведения испытания (рис.3).



**Рис. 3. Результаты испытаний**

$d$  – среднее значение диаметра метки.

Если метка, оставленная в образце, не круглая, необходимо взять среднее значение двух перпендикулярных измерений (как показано на рисунке)

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Для того, чтобы сопоставить значения твердости различных материалов, формы образцов и диаметр шарика должны быть сопоставимы, само испытание необходимо проводить по одинаковой схеме.

При проведении испытания важно, чтобы образец находился в неподвижном состоянии.

Твердость по Бринеллю рассчитывают по формуле

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A_B} = \frac{2 \cdot 0,102 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Где

HВ – значение твердости по Бринеллю (выражается в  $\text{кГ/мм}^2$ , но по стандарту размерность, обычно, не записывается).

F – нагрузка, Н.

$A_B$  – площадь поверхности метки,  $\text{мм}^2$ .

Множитель **0,102** используют для того, чтобы учесть соответствие между  $\text{кгс/мм}^2$  и  $\text{Н/мм}^2$ .

D – диаметр шарика, мм

Результаты испытания записываются особым образом, например:

*170 HBS 5/250/30 (170 – твердость по Бринеллю).*

Где

HBS – шарик изготовлен из закаленной стали;

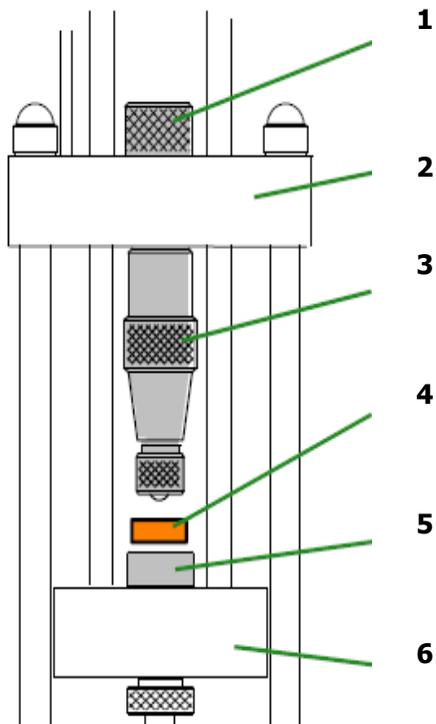
5 – диаметр шарика 5 мм;

250 – величина нагрузки  $F = 250 \text{ кГ} = 2450 \text{ Н}$ ;

30 – время выдержки под нагрузкой (30 сек).

## 5. Подготовка эксперимента

1. Захват для проведения испытания на твердость (3) вставляется в сжимающую часть устройства, между средней (2) и нижней траверсой (6) – рис. 4.



**Рис.4. Подготовка эксперимента**

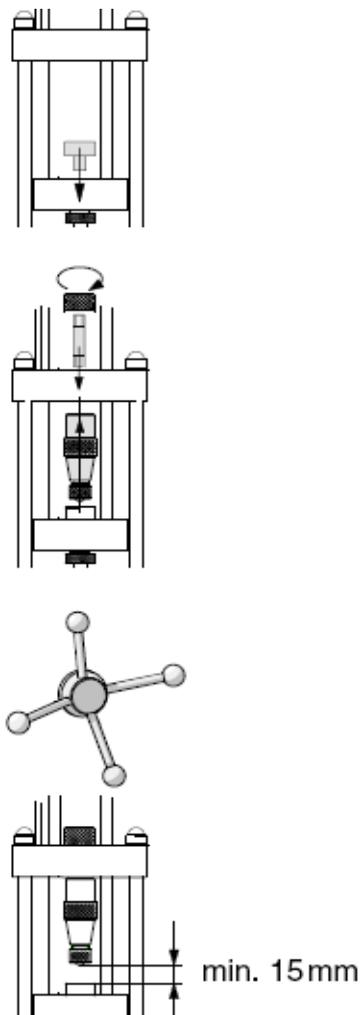
2. Захват для испытания на твердость закрепляется с помощью крепежного элемента (1).

3. Образец (4) помещают на сжимающую пластинку (5), расположенную на нижней траверсе.

Если устройство для определения твердости не установлено в УИМ, необходимо провести его установку в область между верхней и средней траверсами.

Для этого (рис. 5):

- Удалить все ненужные компоненты из указанной области УИМ.
- Полностью повернуть маховик и переместить нагруженную раму вниз до упора.
- Вставить сжимающую пластину в нижнюю траверсу.



**Рис. 5. Установка устройства для определения твердости**

- Установить механизм определения твердости с резьбовым стержнем как показано на рисунке и плотно завернуть сверху гайку (до верхней траверсы).
- Необходимо сохранять расстояние между шариком и сжимающей пластиной – не менее 15 мм.

### Требования к температуре воздуха в помещении

Испытание на твердость необходимо проводить при температуре **18...28°C**.

### Продолжительность действия нагрузки

Образец необходимо выдержать в нагруженном состоянии в среднем от **10** до **15** секунд. В случае испытания пластичных материалов - **30** секунд и более. Нагрузка должна быть приложена в течение минимум **5** секунд, далее должна возрастать до максимального значения.

### Коэффициент нагрузки

Чтобы получить четкие и воспроизводимые метки на образце, отношение диаметра **d** к **D** должно быть от **0,2** до **0,7**. Чтобы попасть в данный диапазон, для различных по твердости материалов, необходимо подбирать разные нагрузки, то есть нагрузка и площадь метки должны находиться в определенном соотношении. Данное соотношение характеризует коэффициент нагрузки **χ**:

В УИМ используется только шарик диаметром **10 мм**.

$$\chi = \frac{0,102 \cdot F}{D^2}$$

Множитель **0,102** используют для того, чтобы учесть соответствие между кгс/мм<sup>2</sup> и Н/мм<sup>2</sup>.

В следующей таблице представлены значения коэффициента **χ** для различных материалов:

Коэффициент $\chi$	30	10	5	2.5	1.25	0.5
Диапазон твердости НВ	67...400	22...315	11...158	6...78	3...39	1...15
Материал	Железосо- держащие материалы Сталь Литая сталь Литое же- лезо Ковкий чугун	Легкие металлы Медь Бронза Латунь Никель	Чистый алюминий Магний Цинк Литейная латунь	Баббит	Свинец Олово Мягкий припой	Мягкие металлы при высо- ких тем- пературах

Из таблицы следует, что для стальных образцов рекомендуется выбирать коэффициент нагрузки **30**.

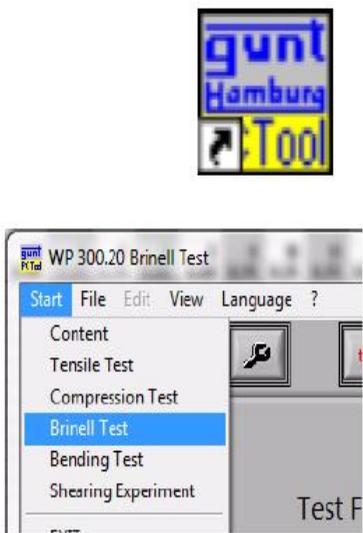
Однако в УИМ WP 300 невозможно достичь нагрузки  $F = 29\text{кН}$ , которая необходима для данного коэффициента. Поэтому, при проведении испытания стальных образцов с использованием шариков **10 мм**, также выбирают коэффициент нагрузки **10**.

Для шарика диаметром **10 мм**, на УИМ WP 300, могут быть использованы следующие нагрузки

<b>Коэффициент</b> $\chi$	30	10	5	2.5	1.25	0.5
<b>Нагрузка, Н</b>	29420	9800	4900	2450	1225	490

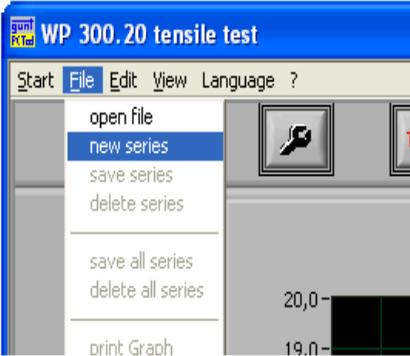
## 6. Проведение опыта

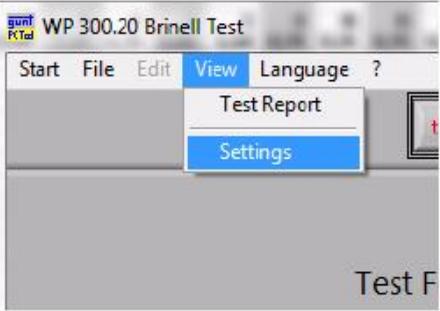
Осторожно опустите шарик на образец, поворачивая маховик без приложения нагрузки.



- Запустите программу WP 300.20 Системы сбора и обработки данных
- Запустите программное приложение для сбора данных измерений при испытании на твердость через меню Старт (Start) – Испытание по Бринеллю (Brinell Test).

Испытание на твердость по Бринеллю с компьютерной обработкой результатов

	<p>Создайте новый проект для нового эксперимента через меню Файл (File) – Новая серия (new series).</p>
	<p>В диалоговом окне, которое откроется, введите название эксперимента в поле Имя (name). Вы можете выбрать любое имя. Вы можете также добавить примечания в поле Примечание (comment), где записываются особенности этого эксперимента. Далее, нажмите ОК.</p>

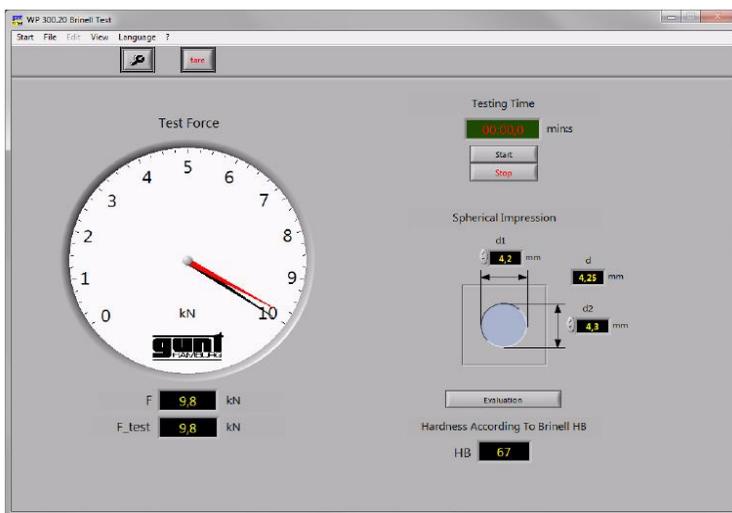
	<p>В меню Вид (View) – нажмите строку Настройки (setting) и откройте диалоговое окно, в котором указывается информация об образце и нагрузке.</p>
	<p>В диалоговом окне введите описание образца в поле Вид образца (Kind Of Specimen). В поле Материал (Material), выберите материал образца, или, если материала нет в списке, введите его с помощью опции – Определить (Define). Выберите коэффициент нагрузки в соответствующем окне. Для образцов, применяемых в УИМ указывается коэффициент нагрузки <b>10</b>. Далее, нажмите ОК.</p>

Испытание на твердость по Бринеллю с компьютерной обработкой результатов

При использовании данной системы, приложенная нагрузка и время выдержки фиксируются автоматически.

**TAPE**

Установите все показатели измерения на значение «0».



– Медленно и равномерно вращайте маховик до достижения нагрузки

**$F = 9800H$  ( $F = 9,8 \text{ кН}$ ).**

Чтобы обеспечить правильное значение испытательной нагрузки, стрелка в программном обеспечении указывает на необходимую нагрузку. Отрегулируйте нагрузку, вращая маховик, чтобы как можно точнее задать нагрузку.

Испытание на твердость по Бринеллю с компьютерной обработкой результатов

**Внимание:** Если заданная нагрузка отличается от необходимой нагрузки более чем на **1%**, эксперимент прекратится.

- После достижения необходимой нагрузки начинает работать секундомер.
- Когда через **10** секунд измерение закончится, и секундомер в окне изменит цвет с красного на зеленый – необходимо снять нагрузку с образца.
- Вы можете выбрать большее время нагрузки, для этого отметьте это в соответствующем поле программы.

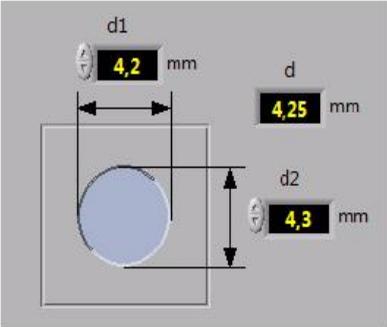
**После проведения эксперимента:**

- Полностью закрутите маховик и опустите нагрузную раму до упора.

Чтобы оценить результаты эксперимента, необходимо измерить диаметр сферического углубления на поверхности образца.

Вы можете сделать это с помощью измерительной лупы. Необходимо измерить диаметр с точностью не менее **0,5 мм**, лучше – **0,1 мм**.

Если углубление не круглое, необходимо измерять в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

	<p>Измеренные диаметры <math>d_1</math> и <math>d_2</math> вводят в соответствующие поля программы. Средний диаметр вычисляется автоматически.</p>
	<p>Твердость по Бринеллю определяется после нажатия команды «Оценка» (Evaluation). Данное действие использует преподаватель для контроля вычислений.</p>

## Испытание на твердость по Бринеллю с компьютерной обработкой результатов

Значения, полученные в ходе проведения эксперимента, сравнивают с соответствующими значениями из литературных данных:

Материал	Твердость	Материал	Твердость	Материал	Твердость
<b>C45</b>	192..238	St 12 03	65	AlMgSi1	65
<b>9SMn28</b>	140..215	CuZn39Pb3	90	AlMg3	66
<b>9 S 20 (K)</b>	140..215	CuZn40Pb2	150	Cu-ETP	55
<b>St14</b>	50	AlMgSi	35		
<b>St37 k (S235)</b>	108..140	AlMgSi0,5F22	75		

### 7. Контрольные вопросы

1. Что называется твердостью?
2. К каким методам относятся испытания на твердость?
3. Какие разновидности испытаний на твердость вы знаете.?
4. Материал испытали на твердость и записали полученный результат в стандартизованной форме. Расшифруйте обозначение.
5. В чем преимущества и недостатки испытания на твердость?
6. От чего зависит величина усилия при испытании на твердость?
7. В каких единицах измеряется твердость по Бринеллю?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

/Образец/

### ОТЧЕТ

по лабораторной работе № \_\_\_\_\_

#### ИСПЫТАНИЕ НА ТВЕРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛЮ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ

Дата проведения работы \_\_\_\_\_

**I. Наименование машины** – Универсальная испытательная машина WP  
300

**II. Журнал испытаний**

<b>ИСПЫТАНИЕ НА ТВЁРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛЮ РАЗЛИЧНЫХ ОБРАЗЦОВ</b>							
Номер образца	Материал	Время выдержки, сек	Диаметр метки, мм			Твердость по Бринеллю <i>HBS</i>	
			$d_1$	$d_2$	$d_{cp}$	Расчетная	Из литературы
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							



## **ВЫВОДЫ:**



## **ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

*/Образец оформления  
титального листа лабораторной работы/*

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра «Сопротивление материалов»**

**Лабораторная работа**

**на тему**

**«ИСПЫТАНИЕ НА ТВЕРДОСТЬ ПО БРИНЕЛЛЮ  
С КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ»**

**Выполнил студент группы \_\_\_\_\_**

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**Принял \_\_\_\_\_**

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**Ростов-на-Дону**

**2018**