



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Сопротивление материалов»

**Практикум**  
по дисциплинам  
«Сопротивление материалов» и  
«Техническая механика»

**«Испытание балки на упругий  
изгиб с компьютерной обра-  
боткой результатов»**

Автор  
Авилкин В.И.

Ростов-на-Дону, 2022

## Аннотация

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по дисциплинам «Соппротивление материалов» и «Техническая механика» для студентов, обучающихся по техническим направлениям подготовки.

Содержат краткую теорию, описание эксперимента, форму отчетности.

## Автор

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





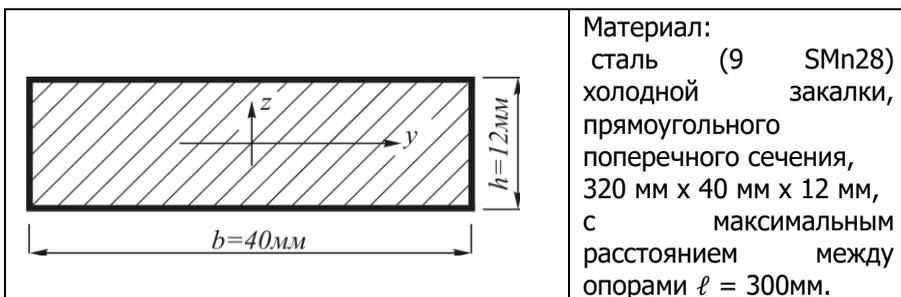
## Оглавление

<b>ИСПЫТАНИЕ БАЛКИ НА УПРУГИЙ ИЗГИБ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ.....</b>	<b>4</b>
Основные теоретические положения.....	4
Подготовка эксперимента .....	7
Проведение опыта .....	8
Основные правила техники безопасности.....	13
Контрольные вопросы .....	13
Замечание .....	14

## ИСПЫТАНИЕ БАЛКИ НА УПРУГИЙ ИЗГИБ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ

*Цель работы:* При испытании на упругий изгиб определить связь между нагрузкой на образец и его упругой деформацией. Изучить влияние расстояния между опорами балки на прогиб под постоянной нагрузкой, а также определить модуль упругости  $E$ .

### Образец для испытания на изгиб



### Основные теоретические положения

*Под изгибом понимают такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях бруса возникают изгибающие моменты.* Если изгибающий момент является единственным силовым фактором, возникающим в сечениях бруса, а поперечные силы отсутствуют, то изгиб называют *чистым*. Если кроме изгибающего момента в сечении присутствуют поперечные силы, то и изгиб называют *поперечным*. Брус, работающий на изгиб, называют *балкой*. При расчете бруса на изгиб, для определения законов изменения внутренних силовых факторов, используется метод сечений. Численно, они определяются по следующим правилам:

*Поперечная сила  $Q(x)$ , численно равна алгебраической сумме проекций всех внешних сил, приложенных к отсеченной части балки, на нормаль к оси балки.*

*Изгибающий момент  $M(x)$  численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, приложенных к отсеченной части балки, взятых относительно центра тяжести сечения.*

Причем, поперечная сила представляет собой производную от изгибающего момента по длине бруса:

## Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов

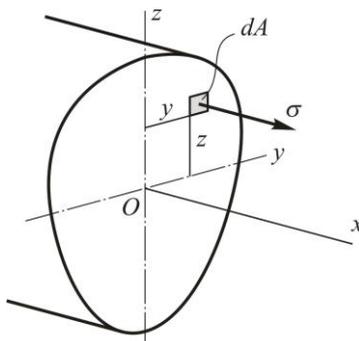
$$\frac{dM}{dx} = Q.$$

При чистом изгибе, напряжения в поперечном сечении, изменяются по линейному закону:

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{z}{\rho},$$

где  $\rho$  – радиус кривизны бруса.

При изгибе, часть продольных волокон испытывает сжатие, а часть – растяжение. Волокна, не испытывающие ни растяжения, ни сжатие, образуют слой, называемый нейтральным. Геометрическое место точек в сечении, удовлетворяющее условию  $\sigma = 0$ , называется *нейтральной линией сечения*.



Если все внешние силы лежат в вертикальной плоскости, тогда:

$$N = \int \sigma dA = 0, \quad M_z = \int \sigma y dA = 0,$$

$$M = M_y = \int \sigma z dA = \frac{E}{\rho} \int z^2 dA,$$

То есть, нейтральная линия проходит через центр тяжести сечения, а кривизна изогнутой оси балки прямо пропорциональна изгибающему моменту и обратно пропорциональна жесткости балки:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ_y}.$$

## Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов

Нормальное напряжение в произвольной точке поперечного сечения вычисляется по формуле Навье:

$$\sigma = \frac{M}{J_y} \cdot z.$$

Перемещение центра тяжести сечения 1, в направлении оси  $z$ , определим по приближенной формуле Мора:

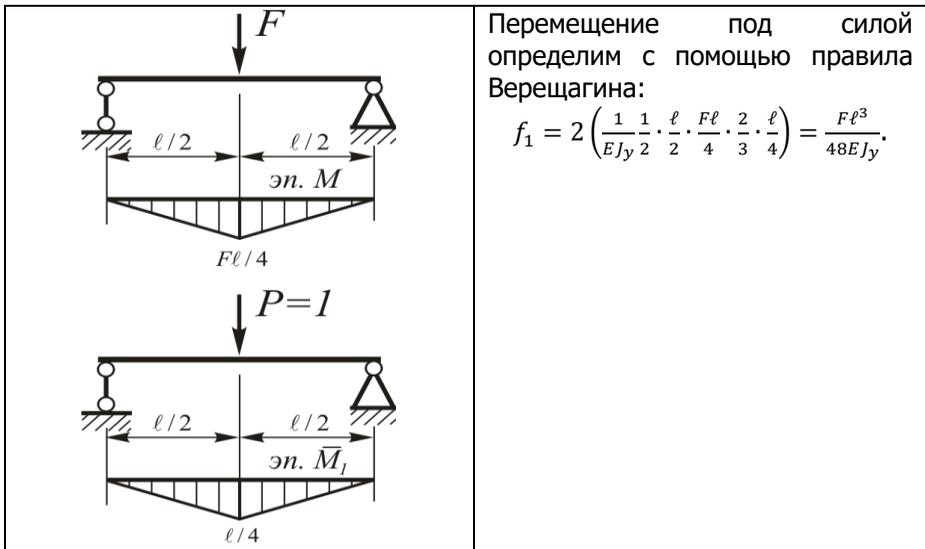
$$f_1 = \sum \int \frac{M \cdot \bar{M}_1}{E J_y} dx,$$

где  $\bar{M}_1$  – изгибающий момент от единичной силы, приложенной в сечении 1, в направлении прогиба.

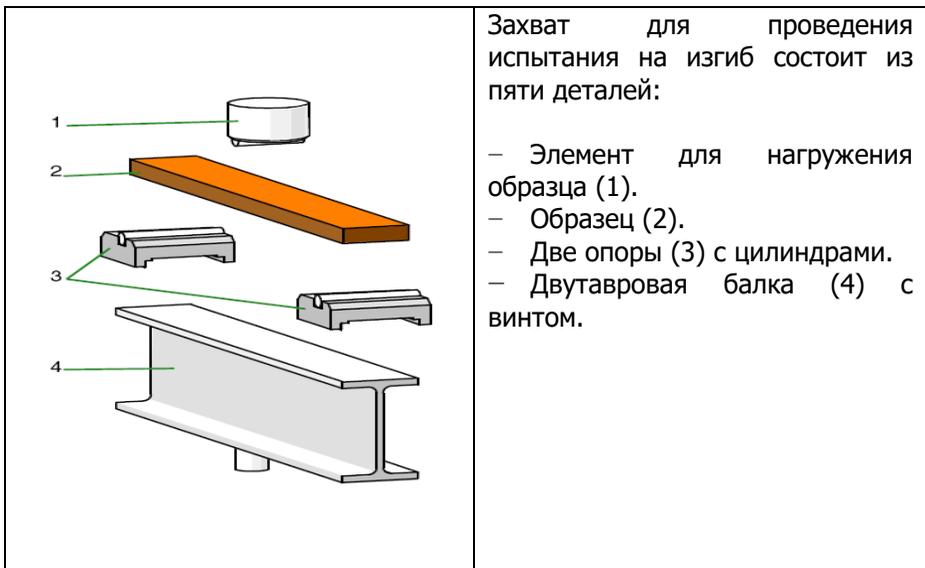
**Изгиб балки на двух опорах**

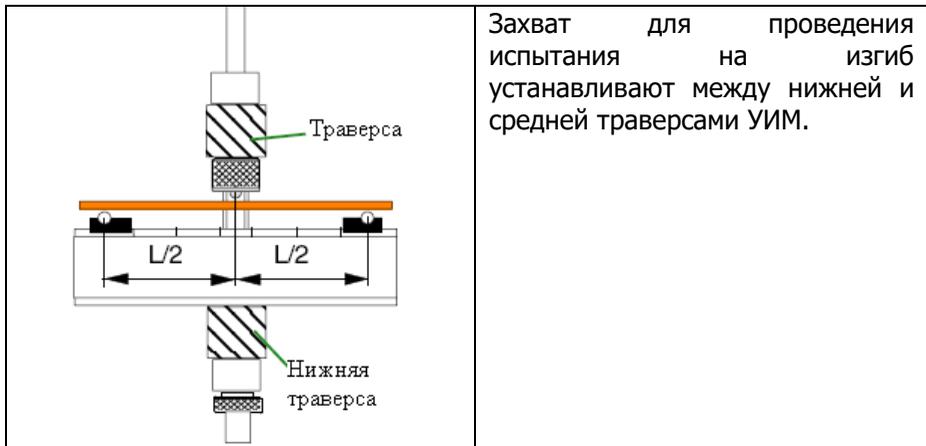
	<p>При проведении эксперимента важно знать максимально допустимую нагрузку на образец. Если превысить данную нагрузку, образец деформируется и становится непригодным для дальнейшего использования. Из условия для максимальных напряжений:</p> $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y},$ <p>определить максимальное усилие.</p> <p>Для стальной балки (9 SMn28) предел упругости взять 380 Н/мм<sup>2</sup>. Это значение использовать в формуле для расчета максимального нормального напряжения <math>\sigma_{\max}</math>.</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов

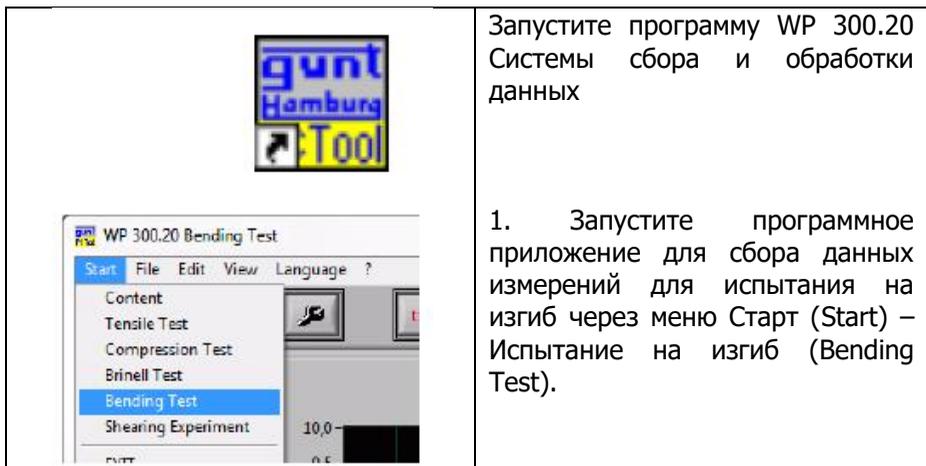


## Подготовка эксперимента

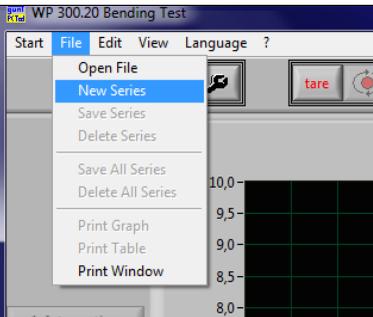


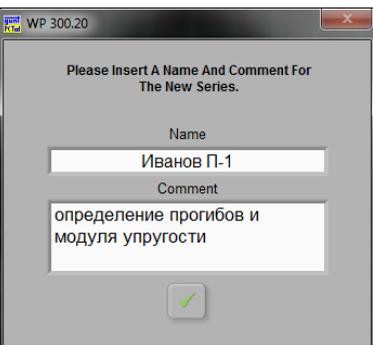


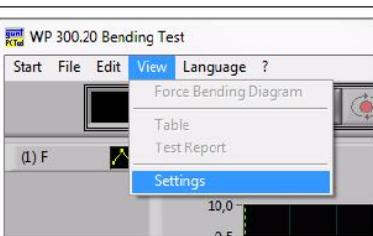
### Проведение опыта



Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов

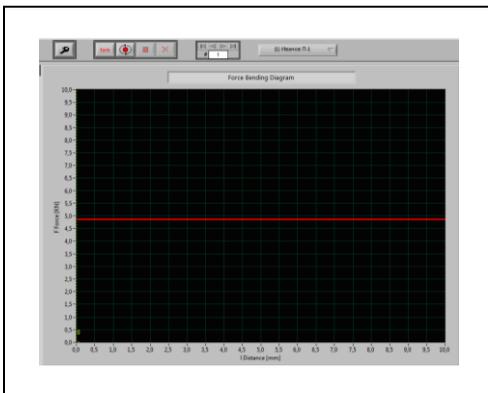
	<p>2. Создайте новый проект для нового эксперимента через меню Файл (File) – Новая серия (new series).</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>3. 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.</p> <p>Далее нажмите ОК.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>4. В меню Вид (View) – нажимаем строку Настройки (Settings) и открываем диалоговое окно, в котором указывается информация об образце и частота проведения измерений.</p>
------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов

5. Здесь должно быть отмечено:  
 Выбран материал (material) – после нажатия на кнопку (из предложенных, в открывающемся окне)  
 Предел упругости (Elastic Limit SIGMA) – 380 Н/мм<sup>2</sup>  
 Расстояние между опорами (Distance Between Supports) L = 300 мм  
 Ширина образца (Specimen Width) B = 40 мм  
 Высота образца (Sample Height) H = 12 мм  
 Время замера (Sample Time) T<sub>a</sub> = 1сек  
 Значение поля F<sub>max</sub>, кН (Max. Test Force), рассчитывается автоматически.  
 Далее нажмите ОК.



6. Максимально допустимая нагрузка отображается в виде красной полосы на диаграмме зависимости прогиба от нагрузки. Этот предел не может быть превышен в ходе эксперимента.

## Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов

measured value F [kN] <b>5,6</b> s [mm] <b>14,3</b>	→	measured value F [kN] <b>0,0</b> s [mm] <b>0,0</b>	7. Проект готов. Датчик значений должен быть откалиброван. – Слегка нагрузите образец (не более 0,5 кН), чтобы свести к минимуму влияние потерь.
Cursor F [kN] <b>0,0</b> s [mm] <b>0,0</b>		Cursor F [kN] <b>0,0</b> s [mm] <b>0,0</b>	



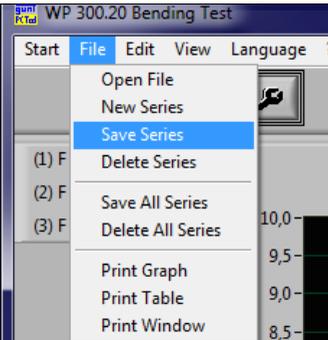
Нажав далее кнопку , обнулите значения всех табло.

8. Нажмите на кнопку «Старт»  в программе для начала эксперимента.

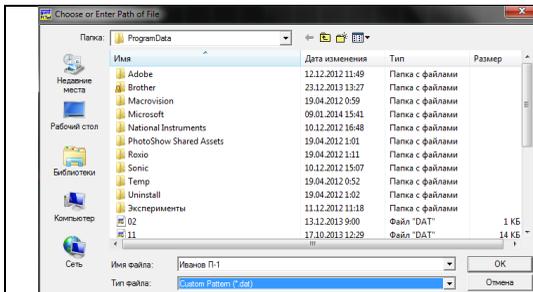
Медленно и равномерно подавайте нагрузку, поворачивая маховик, до достижения уровня красной линии.



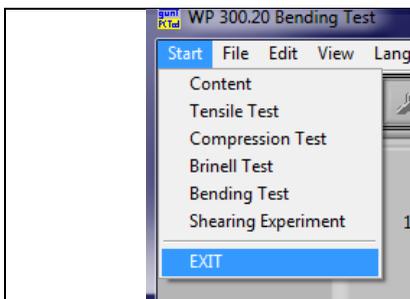
Остановите программу. Сохраните получившийся результат.

	9. Для сохранения результатов эксперимента, через меню Файл (File) – сохранить серию (save series).
------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------

Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов



10. Задать имя файла и сохранить его на рабочем столе:



После сохранения файла, выйти из программы через меню Старт (Start) – ВЫХОД (EXIT).

Повторите эксперимент для разной длины пролета (200 мм и 100 мм), с той же допустимой нагрузкой  $F_{max}$  (для этого необходимо изменить настройки в диалоговом окне).

Для обработки результатов испытания, студентам будет доступна диаграмма зависимости усилия от прогибов и таблица испытания.

## Основные правила техники безопасности

### ВНИМАНИЕ!

Держитесь на достаточном расстоянии от нагруженных частей установки!!! (верхняя перекладина, траверсы и нижняя перекладина).

Никогда не создавайте нагрузку более 20 кН. Устройство не предназначено для больших нагрузок. Любое усилие свыше 20кН приведет к серьезным повреждениям гидравлических и механических компонентов.

Устройство генерирует достаточно большие нагрузки, поэтому всегда проверяйте правильность крепления и положения образцов перед началом эксперимента.



### Контрольные вопросы

1. Что называется изгибом?
2. Какой изгиб называется чистым?
3. Чему численно равна поперечная сила?
4. Чему численно равен изгибающий момент?
5. Условие прочности при изгибе.
6. Дифференциальные зависимости между внутренними усилиями.
7. Что такое нейтральный слой?
8. Закон Гука при чистом изгибе.
9. Формула кривизны при чистом изгибе.
10. Что называется прогибом?
11. Зависимость модуля упругости от температуры?

### Замечание



Ни одно устройство не является полностью упругим, однако оно должно оставаться в пределах упругой области при допустимых параметрах использования. Также, не должна происходить деформация устройства.

Остаточные деформации имеют место при превышении пользователем максимально допустимых нагрузок: когда устройство находится в напряженном состоянии в течении длительного времени при выполнении испытаний на определение упругих деформаций.

УИМ WP 300 предназначена для нагрузок до 20 кН. Деформация в упругой области не является критической для нормальной работы устройства, но, возможно искажение результатов измерений.

Упругая деформация самого устройства представляет собой удлинение рамы при испытании на изгиб, а также изгиб траверс и двутавровой балки. Это удлинение добавляется к фактическому отклонению образца и, следовательно, искажает измеренные отклонения.

Упруго-нагруженные компоненты (выделены красным) при испытании на изгиб.

Результаты измерений можно скорректировать путем введения поправки. Для этого можно провести эксперимент для вертикально расположенного стержня. В этом случае, жесткость образца увеличивается в 11,1 раза, прогибы уменьшаются, и влияние упругости установки сказывается сильнее. Тогда, каждое измеренное отклонение должно быть исправлено по формуле:

$$f_{cor} = f - f_{el}$$

## Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов

где  $f_e$  – разность между теоретическим и экспериментальным значением прогиба для образца, расположенного вертикально.

Ниже дается пример определения величины  $f_e$  для материала 9SMn28:

Испытание на упругий изгиб материала: 9SMn28 Нагрузка $F = 4,7$ кН			
Расстояние между опорами $L$ , мм	100	200	300
Прогиб $f$ , мм	0,10	0,17	0,38
Прогиб $f$ , мм (расчетное значение)	0,01	0,06	0,20
$f_e$ , мм (используется для корректировки)	0,09	0,11	0,18

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

/Образец/

**ОТЧЕТ**

по лабораторной работе № \_\_\_\_\_

**«Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов»**

Дата проведения работы \_\_\_\_\_

Наименование машины \_\_\_\_\_

Эскиз испытываемого образца \_\_\_\_\_

**Журнал испытаний**

## 1. Характеристика испытываемого образца:

- Материал \_\_\_\_\_
- Размеры поперечного сечения \_\_\_\_\_
- Длина \_\_\_\_\_

## 2. Обработка данных испытаний

- Таблица испытания:

Горизонтальное положение балки	Испытание на упругий изгиб материала: _____			
	Нагрузка F _____ кН			
	Расстояние между опорами L, мм	100	200	300
	Прогиб f, мм			
	Прогиб f, мм (расчетное значение)			
	Модуль E, Н/мм <sup>2</sup>			
Модуль E, Н/мм <sup>2</sup> (расчетное значение)				

- Диаграмма зависимости усилия от прогибов

**ВЫПОЛНИЛ**

Студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Фамилия И.О.)**ПРОВЕРИЛ**

Преподаватель \_\_\_\_\_