

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Сопротивление материалов»

**ИСПЫТАНИЕ БАЛКИ НА УПРУГИЙ ИЗГИБ С КОМПЬЮТЕРНОЙ
ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Методические рекомендации
по проведению учебно-исследовательской лабораторной работы

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2018

УДК 620.178.32 (076.5)

Составитель: В.И. Авилкин

Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной обработкой результатов: методические рекомендации по проведению учебно-исследовательской лабораторной работы. – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2018. –16 с.

Методические рекомендации ставят 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 деформаций балки при плоском изгибе.

В методических рекомендациях изложены основные теоретические положения, необходимые для проведения лабораторной работы, дано описание испытательной установки, образца и эксперимента, изложен порядок проведения и обработки результатов испытаний.

Методические рекомендации предназначены 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 – РР; 07.03.01 – Архитектура; 07.03.04 – ГР; 23.03.03 – АС; 29.03.04 – ТХОМ и специальностям 08.05.01 – СУЗ; 27.05.01 – ПГ; 23.05.01 – ПТО.

УДК 620.178.32(076.5)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор канд. техн. наук, доцент С.В. Литвинов
Ответственный за выпуск профессор кафедры «Сопротивление материалов»
канд. техн. наук, доцент В.Д. Еремин

В печать 08.06. 2018 г.
Формат 60×84/16. Объем 1,0 усл.п.л.
Тираж 50 экз. Заказ № 201

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

..... © Донской государственный
технический университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Испытание балки на упругий изгиб с компьютерной

обработкой результатов.....	4
1. Цель работы.....	4
2. Образец для испытания на изгиб.....	4
3. Основные теоретические положения.....	4
4. Изгиб балки на двух опорах.....	6
5. Подготовка эксперимента.....	7
6. Проведения опыта.....	7
7. Основные правила техники безопасности.....	12
8. Замечания.....	13
9. Контрольные вопросы.....	14
Приложение 1.....	15
Приложение 2.....	16

ИСПЫТАНИЕ БАЛКИ НА УПРУГИЙ ИЗГИБ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ РЕЗУЛЬТАТОВ

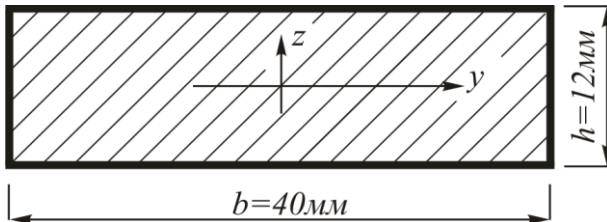
1. Цель работы

Ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения деформаций балки при плоском поперечном изгибе.

Настоящая учебно-исследовательская лабораторная работа ставит своей задачей:

1. Определить связь между нагрузкой на образец и его упругой деформацией при испытании на плоский поперечный изгиб.
2. Изучить влияние расстояния между опорами балки на прогиб при постоянной нагрузке.
3. Определить модуль упругости E испытываемого образца.

2. Образец для испытания на изгиб

	Материал: Сталь (9 SMn28) холодной заковки, прямоугольного поперечного сечения, 320мм х 40мм х 12мм, с максимальным расстоянием между опорами $\ell = 300$ мм.
---	--

3. Основные теоретические положения

Под изгибом понимают такой вид деформации, 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 внутренние силовые факторы 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.

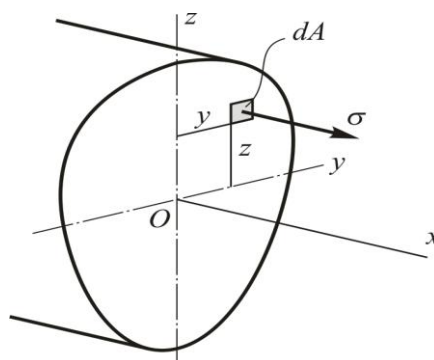
Изгибающий момент $M(x,)$ численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, приложенных к отсеченной части балки, взятых относительно центра тяжести сечения.

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

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

Нормальное напряжение в произвольной точке поперечного сечения вычисляется по формуле

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



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

$$N = \int \sigma dA = 0, \quad M_z = \int \sigma y dA = 0, \quad M = M_y = \int \sigma z dA = \frac{E}{\rho} \int z^2 dA,$$

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

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

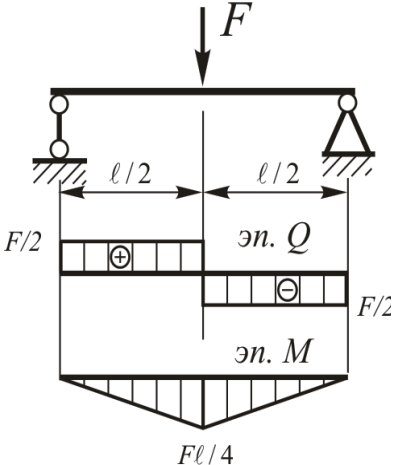
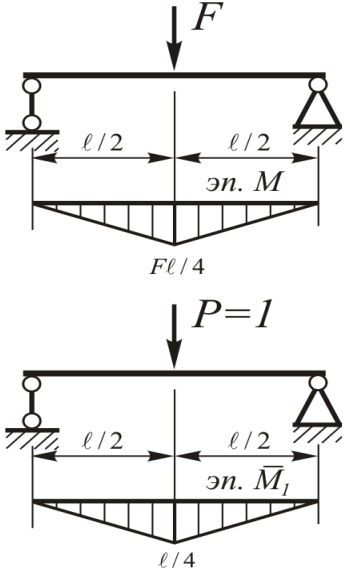
Перемещение центра тяжести сечения, в направлении оси z, определим по приближенной формуле Мора

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

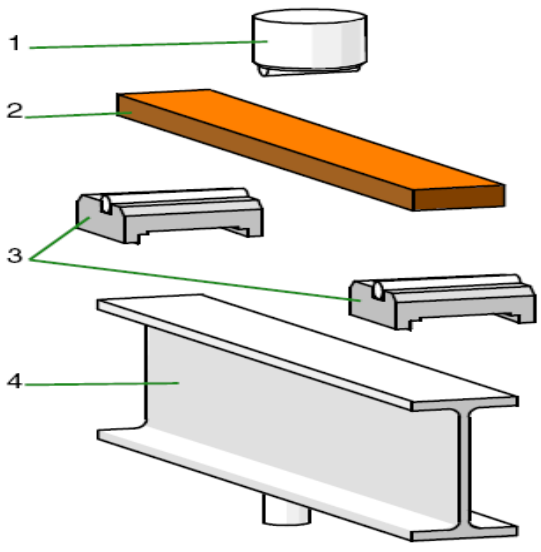
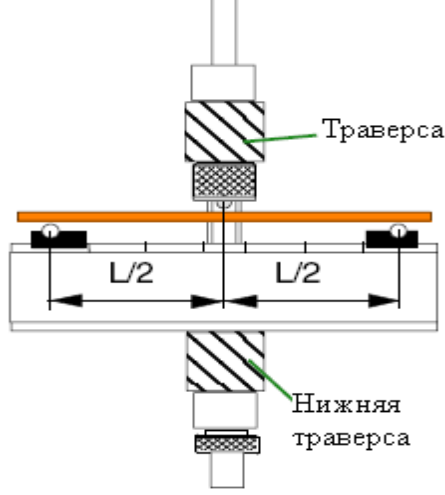
где

\overline{M}_1 – изгибающий момент от единичной силы, приложенной в исследуемом сечении, в направлении прогиба.

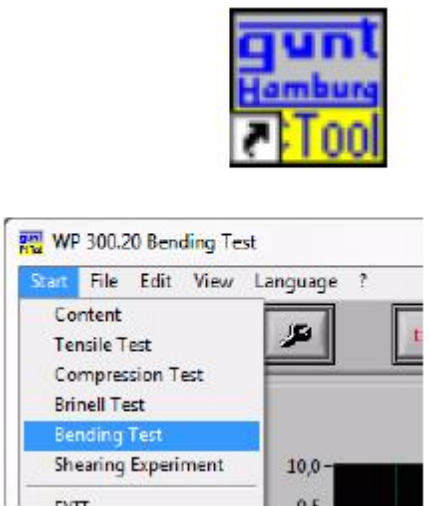
4. Изгиб баки на двух опорах

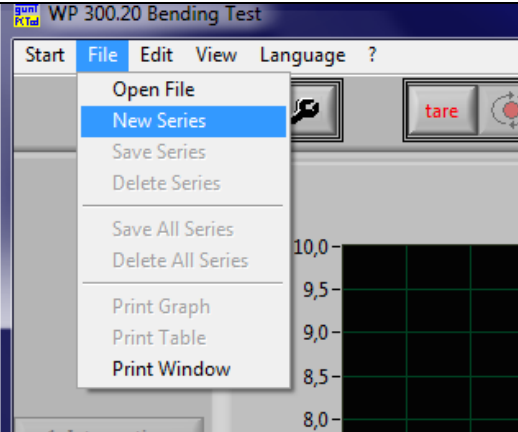
	<p>При проведении эксперимента важно знать максимально допустимую нагрузку на образец. Если превысить данную нагрузку, образец деформируется и становится непригодным для дальнейшего использования.</p> <p>Из условия для максимальных напряжений $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_y}$, определить максимальное усилие.</p> <p>Для стальной балки (9 SMn28) предел упругости взять 380 Н/мм^2. Это значение использовать в формуле для расчета максимального нормального напряжения σ_{max}.</p>
	<p>Перемещение под силой определим с помощью правила Верещагина</p> $f_1 = 2 \left(\frac{1}{EJ_y} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{F \cdot l}{4} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{l}{4} \right) = \frac{F l^3}{48 EJ_y}.$

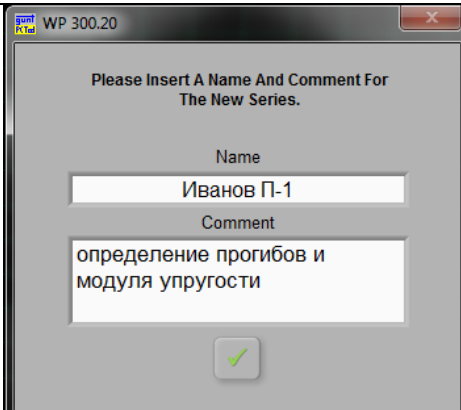
5. Подготовка эксперимента

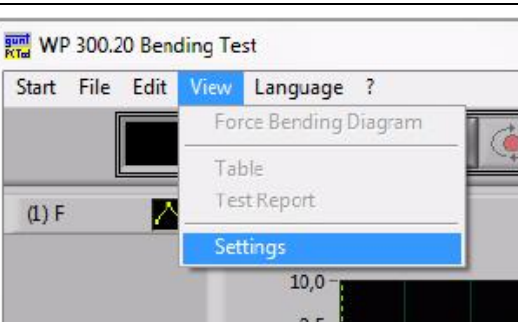
	<p>Захват для проведения испытания на изгиб состоит из пяти деталей:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Элемент для нагружения образца (1). - Образец (2). - Две опоры (3) с цилиндрами. - Двутавровая балка (4) с винтом.
	<p>Захват для проведения испытания на изгиб устанавливают между нижней и средней траверсами УИМ.</p>

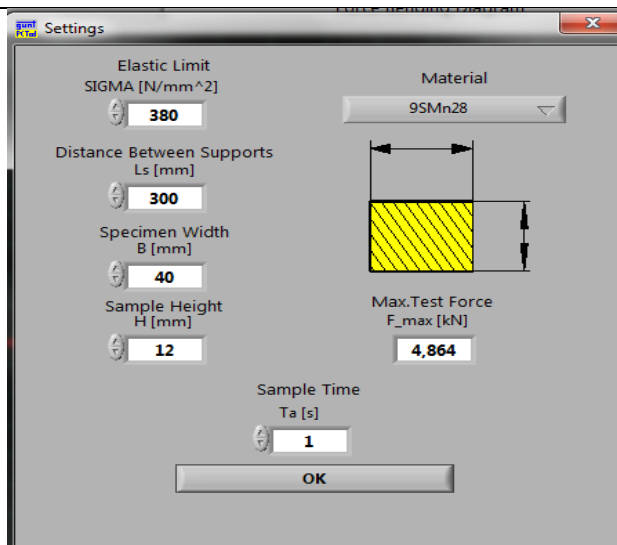
6. Проведение опыта

	<p>Запустите программу WP 300.20 Системы сбора и обработки данных</p> <p>Запустите программное приложение для сбора данных измерений для испытания на изгиб через меню Старт (Start) – Испытание на изгиб (Bending Test)</p>
---	--

	<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.</p> <p>Вы можете также добавить примечания в поле Примечание (comment), где записываются особенности этого эксперимента.</p> <p>Далее, нажмите ОК.</p>
--	---

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



Здесь должно быть отмечено:
 Выбран материал (material) – после нажатия на кнопку (из предложенных, в открывающемся окне)

Предел упругости (Elastic Limit SIGMA) - 380 Н/мм^2 .

Расстояние между опорами (Distance Between Supports) $L = 300 \text{ мм}$.

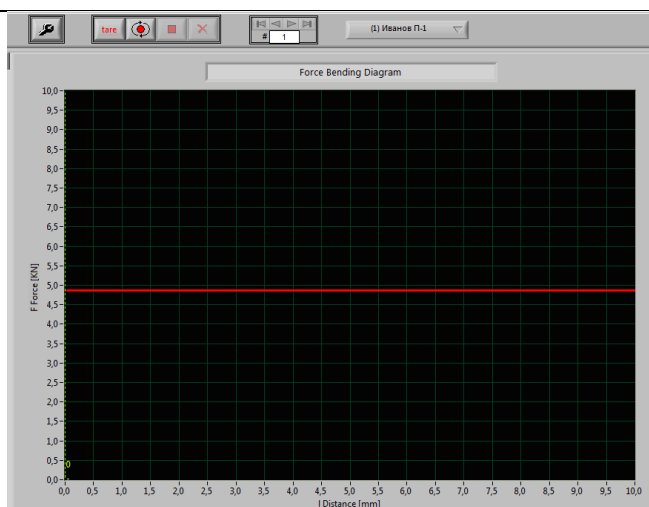
Ширина образца (Specimen Width) $B = 40 \text{ мм}$.

Высота образца (Sample Height) $H = 12 \text{ мм}$.

Время замера (Sample Time) $T_a = 1 \text{ сек}$.

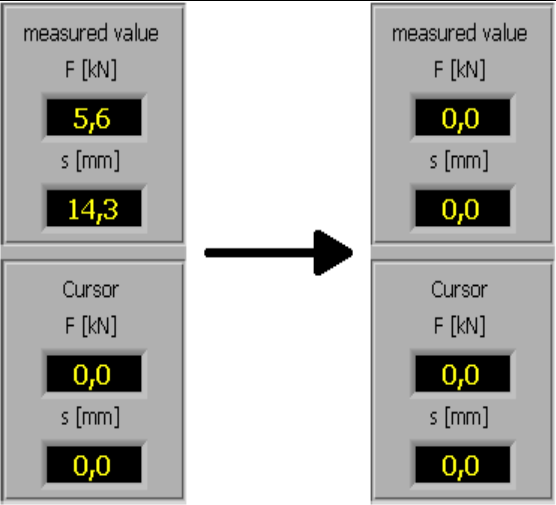

Значение поля F_{max} , кН (Max. Test Force), рассчитывается автоматически.

Далее, нажмите ОК.



Максимально допустимая нагрузка отображается в виде красной полосы на диаграмме зависимости прогиба от нагрузки.

Этот предел не может быть превышен в ходе эксперимента.

	<p>Проект готов. Датчик значений должен быть откалиброван.</p> <p>- Слегка нагрузите образец (не более 0,5 кН), чтобы свести к минимуму влияние потерь.</p> <p>Нажав, далее, кнопку</p>  <p>Обнулите значения всех табло.</p>
---	--

Нажмите на кнопку «старт» в программе

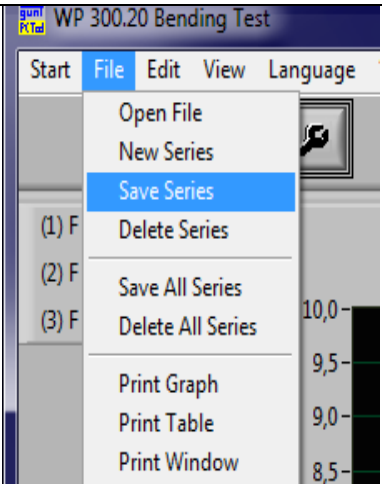


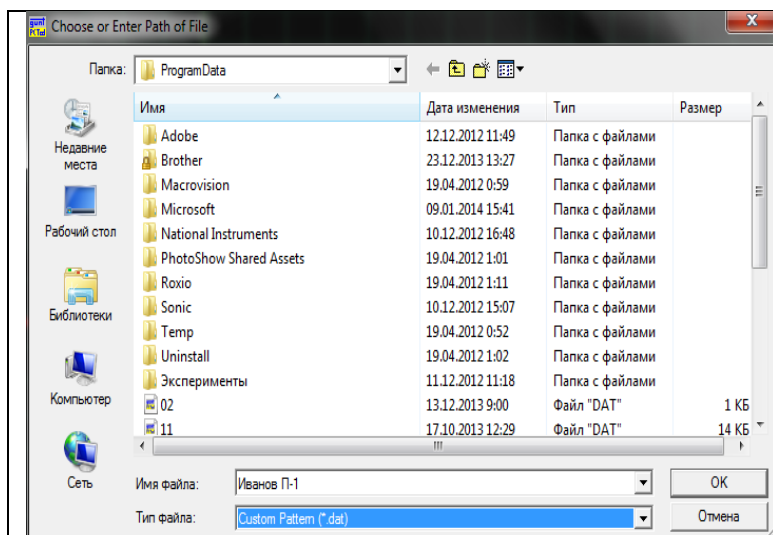
для начала эксперимента.

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

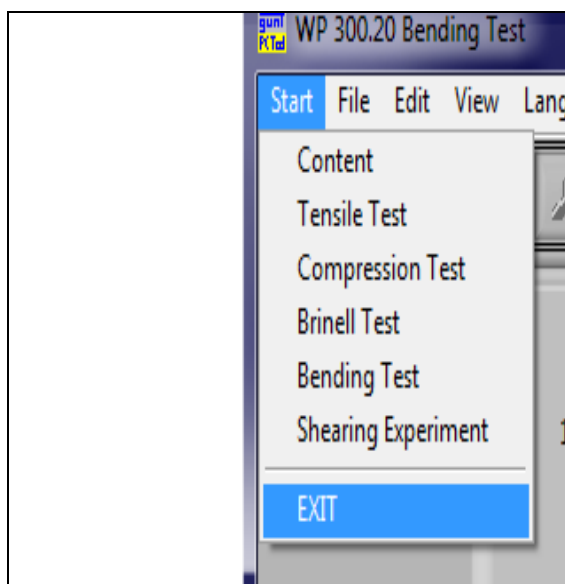


Остановите программу. Сохраните получившийся результат.

	<p>Для сохранения результатов эксперимента, через меню Файл (File) – сохранить серию (save series).</p>
---	---



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.

7. Основные правила техники безопасности

ВНИМАНИЕ!

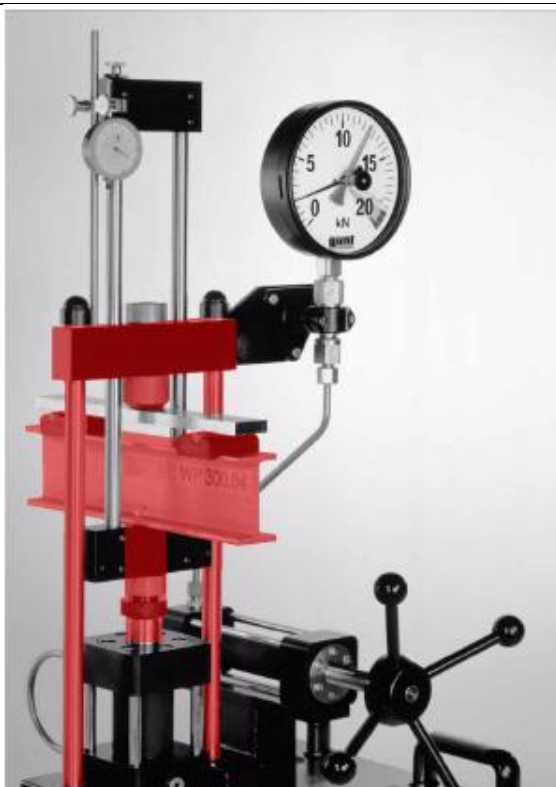
1. Держитесь на достаточном расстоянии от нагруженных частей установки!!! (верхняя перекладина, траверсы и нижняя перекладина).



2. 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.

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

8. Замечания



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 течение 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

$$f_{cor} = f - f_e,$$

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

9. 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?

/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 ²			
Модуль E, Н/мм ² (расчетное значение)			

- Диаграмма зависимости усилия от прогибов:

*/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
по сопротивлению материалов
на тему
«Испытание балки на упругий изгиб
с компьютерной обработкой результатов»**

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О.)

Принял _____

(Ф.И.О.)

**Ростов-на-Дону
2018 год**