



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

Практикум «Испытание стержней круг- лого поперечного сечения на кручение» (Часть IV)

по дисциплинам

«Соппротивление материа- лов» и «Специальные вопросы сопротивления материа- лов»

Автор
Еремин В.Д.

Ростов-на-Дону, 2026

Аннотация

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения направлений 08.03.01 Строительство, 07.03.01 Архитектура, 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений и т.д.

Автор

Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Строительная механика и теория сооружений»
Еремин В.Д.



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	7
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.....	7
И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА	7
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	10
УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИСПЫТАНИЕ СТЕРЖНЕЙ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА КРУЧЕНИЕ»	12
1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	12
2 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ.....	12
3 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ...13	
4 ОПИСАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ WP 100.....	13
5 ИСПЫТЫВАЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ	18
6 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА НА КРУЧЕНИЕ	19
7 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	21
8 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ.....	26
8.1 Определение собственной /внутренней/ деформации испытательной установки WP 100	26
8.2 Исследование зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра	30
ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	37
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	38
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ	39
Приложение А	41
Приложение Б	55

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа – это один из основных видов работ обучающихся и важный этап их профессиональной подготовки.

Проведение студентами лабораторных работ по сопротивлению материалов ставит своей целью изучение свойств материалов и экспериментальную проверку теоретических выводов сопротивления материалов.

В связи с этим, основными целями лабораторных работ являются расширение и углубление знаний обучающихся, выработка умений и навыков самостоятельно выполнять эксперименты, выработка приемов и навыков в анализе теоретического и практического материала, использования известных закономерностей и статистической обработке экспериментального материала, его аналитического и графического представления, а также обучение логично, правильно, ясно, последовательно и кратко излагать свои мысли в письменном виде.

Обучающиеся при выполнении лабораторной работы должны показать умение работать с литературой, давать сравнительный анализ известных экспериментальных данных по теме лабораторной работы, обрабатывать массив экспериментальных данных и, главное, – правильно интерпретировать полученные результаты.

Лабораторный практикум содержит краткое описание экспериментальной установки и испытываемых образцов, изложен порядок проведения и обработки результатов испытаний, основные теоретические положения и контрольные вопросы, необходимые для проведения и защиты учебно-исследовательской лабораторной

работы «Испытание стержней круглого поперечного сечения на кручение (Часть IV)» по дисциплинам «Сопротивление материалов» и «Специальные вопросы сопротивления материалов».

Настоящий практикум ставит своей задачей ознакомление обучающихся, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального изучения зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте по технике безопасности и противопожарным мероприятиям.

Для получения зачета по выполненной лабораторной работе каждый студент оформляет отчет.

Отчет по лабораторной работе должен быть оформлен согласно Приказу ректора университета № 242 от 16.12.2020 г. «Правила оформления письменных работ обучающихся для технических направлений подготовки».

Проверка отчетов преподавателем, а также защита студентами лабораторных работ производится индивидуально в конце лабораторного занятия по контрольным вопросам к лабораторной работе в форме собеседования.

Перечень контрольных вопросов для защиты лабораторной работы приведен в настоящем практикуме по ее выполнению.

Если студент не успел оформить отчет, либо защитить лабораторную работу, то окончательное

оформление отчета он производит самостоятельно, вне аудиторной работы, и защита производится на консультациях у преподавателя, за которым закреплены данные лабораторные работы, но не позднее, чем за три дня до начала зачетной недели или не позднее 5 рабочих дней до начала промежуточной аттестации по данному предмету.

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения технических направлений подготовки (специальностей), в частности, для студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01 Строительство; 07.03.01 Архитектура; 07.03.02 Реконструкция и реставрация архитектурного наследия; 07.03.04 Градостроительство; 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; 27.03.05 Инноватика, 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.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе выполняется согласно макету, размещенному в Приложении А к настоящему практикуму.

Объем отчета по лабораторной работе обычно не превышает 3-10 страниц. Отчет должен соответствовать рекомендуемому содержанию, быть понятным, кратким, лаконичным, написанным без произвольных сокращений.

Отчет по лабораторной работе в качестве структурных элементов должен включать в себя: титульный лист (Приложение Б), цель работы, рабочее задание, перечень материально-технического обеспечения работы, разделы основной части (журналы испытаний), приложения (при необходимости). В конце отчета приводятся выводы по проделанной работе.

Нельзя приступать к проведению лабораторной работы, не разобравшись предварительно по учебнику или конспекту лекций в теории, связанной с темой работы.

Все расчеты в отчете по лабораторной работе необходимо вести очень четко и аккуратно, с предельной внимательностью, сначала в общем виде, затем в числах.

Расчет на всех его этапах надо сопровождать необходимыми схемами и чертежами, выполненными с обязательным соблюдением масштабов.

Все вычисления достаточно производить с точностью до третьей значащей цифры.

Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен в текстовом редакторе на листах писчей бумаги формата А 4 и оформлен согласно Приказу ректора университета № 242 от 16.12.2020 г. «Правила оформления письменных работ обучающихся для технических направлений подготовки».

Если содержание отчета по лабораторной работе отвечает предъявляемым требованиям, то работа допускается к защите.

При неудовлетворительном выполнении лабораторной работы отчет возвращается обучающемуся на доработку.

Отчет защищается в форме собеседования устным ответом на контрольные вопросы по выбору преподавателя.

Проверка отчетов преподавателем, а также защита студентами лабораторных работ производится индивидуально в конце лабораторного занятия и на консультациях по контрольным вопросам к лабораторной работе в форме собеседования.

Перечень контрольных вопросов для защиты лабораторной работы приведен в настоящем практикуме по ее выполнению.

После проверки отчета по лабораторной работе преподавателем и его защиты отчет сканируется и его оригинал сдается на кафедру.

Требования по форматированию текста отчета:
- шрифт Times New Roman;

- интервал – полуторный;
- поля левое – 3 см., правое – 1,5 см., верхнее и нижнее – 2 см;
- абзацный отступ – 1,25;
- текст должен быть выравнен по ширине.

На все рисунки и таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при этом следует писать слова «рисунок», «таблица» полностью с указанием номера.

Каждый рисунок должен располагаться по центру страницы, иметь подпись (Рисунок 1 – Окно интерфейса).

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Критерий	Показатель	Максимальное количество баллов
Выполнение 5 лабораторных работ	- освоение типовой методики проведения лабораторной работы, с использованием необходимого оборудования, включая подготовку образцов.	1,2
Подготовка отчета по лабораторным работам. Соблюдение требований по оформлению отчета.	- краткое теоретическое описание физических основ используемого метода, включающее этапы проведения испытания образцов; - достоверность полученных данных; - правильность статистической обработки массива экспериментальных данных; - наглядность представления полученных результатов (табличное, графическое, аналитическое); - логичность, обоснованность сделанных в работе выводов; - правильное оформление текста отчета, грамотность и культура изложения;	1,8

	- правильность оформления графического материала с указанием единиц измерения величин.	
Защита 5 лабораторных работ	- правильность и полнота ответов, их обоснованность; - анализ недостатков и достоинств использованного метода исследования.	3,0

Отчет рассматривается как критерий оценки только при выполнении студентом лабораторной работы.

Студент не допускается к защите лабораторной работы без ее выполнения и/или при отсутствии отчета.

Всего в семестре проводятся пять лабораторных работ.

Каждая лабораторная работа оценивается в **1,2** балла, следовательно, в каждом семестре студент может получить максимум **6** баллов за лабораторные работы.

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИСПЫТАНИЕ СТЕРЖНЕЙ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА КРУЧЕНИЕ»

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление обучающихся, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального изучения зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра.

2 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Изучить поведение материалов при испытаниях на кручение.
2. Получить представление о характере деформации испытываемого образца.
3. Изучить вопросы экспериментального определения численных значений деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения.
4. Построить и исследовать график зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра.
5. Приобрести практические навыки по проведению испытаний и обработке полученных результатов проведенного эксперимента.

3 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

Для проведения лабораторной работы «Испытание стержней круглого поперечного сечения на кручение» необходимо:

- Универсальная испытательная машина (УИМ) WP 100.
- 6 цилиндрических образцов, изготовленных из стали.

4 ОПИСАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ WP 100

Лабораторная работа проводится на установке WR 100, предназначенной для проведения экспериментов, связанных с исследованием деформаций стержней круглого поперечного сечения при кручении.

Оборудование может быть использовано как для проведения экспериментов студентами, так и для демонстрации преподавателями на учебных занятиях явления кручения стержней круглого поперечного сечения.

Конструкция установки имеет жесткие магнитные опоры, которые могут быть установлены практически в любое положение, что дает возможность непосредственного наблюдения за ходом экспериментов.

Прибор используется для решения широкого диапазона задач, связанных с изучением темы «Кручение стержней круглого поперечного сечения» в процессе обучения. Установка позволяет исследовать фундаментальные законы упругих деформаций, возникающих при кручении.

Полученные экспериментальные данные могут быть проанализированы как с помощью графиков, так и математически.

Обучающиеся учатся планировать, выполнять и оценивать результаты измерений. По результатам экспериментальных данных у них появляется база для дальнейшего обсуждения причин, приводящих к разрушению испытываемого образца.

Установка обладает большими возможностями, направленными на развитие психомоторики у обучающихся при проведении экспериментов.

У них при этом развивается чувство уверенности при работе с измерительным оборудованием.

Установка представляет машину для проведения испытаний стержней круглого поперечного сечения на кручение. При проведении эксперимента, нагрузка прикладывается к различным стержням, после чего измеряется деформация.

По сравнению с деформацией исследуемого объекта, деформация машины при проведении эксперимента пренебрежительно мала. Однако, в отдельных случаях, собственная (внутренняя) деформация испытательной установки предварительно измеряется и в дальнейшем принимается во внимание.

Настольное устройство состоит из направляющей штанги, на которой установлены две подвижные опоры для проведения экспериментов на кручение.

В экспериментах на кручение зажимы (захваты) на экспериментальном стенде состоят из фиксированных, жестко закрепленных патронов с одной стороны, и вращающихся патронов с другой стороны, с установочного механизма на основе рычага для создания крутящего момента.

Схема расположения оборудования приведена на рисунок 1.

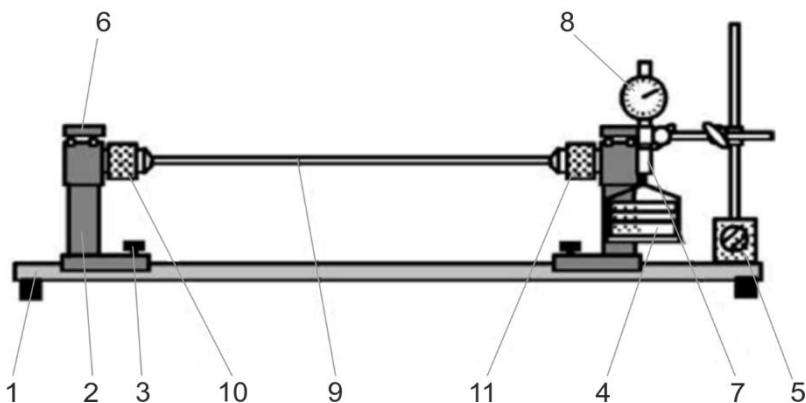


Рисунок 1 - Схема испытательной машины WP 100

На этом рисунке:

- 1 – направляющая балка;
- 2 – подвижные опоры;
- 3 – крепежные винты для опор;
- 4 – прикладываемая нагрузка;
- 5 – магнитный держатель для манометра;
- 6 – прижимная пластина и винт;
- 7 – рычаг для создания крутящего момента;
- 8 – стрелочный индикатор;
- 9 – испытываемый образец;

10 – жестко закрепленный зажим;

11 – вращающийся зажим.

Стрелочный индикатор (8) располагается на расстоянии $s = 57.3$ мм от оси вращения испытываемого стержня (рисунок 2)

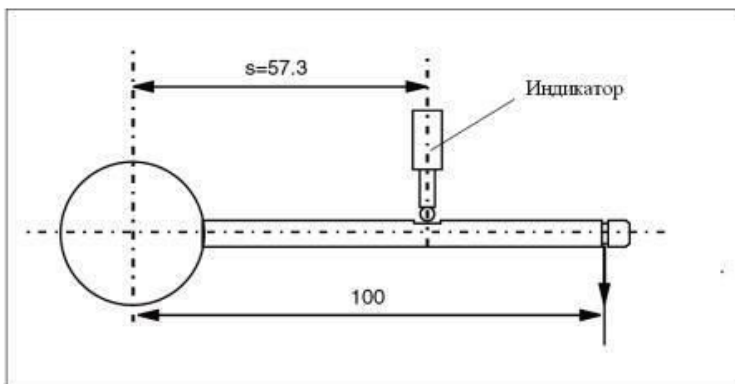
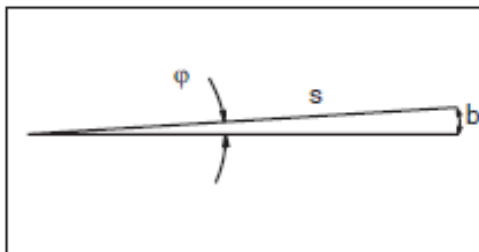


Рисунок 2 - Рычаг для создания крутящего момента

Для небольшого угла φ



формула для определения угла в радианах имеет вид:

$$\varphi = \frac{b}{s}. \quad (1)$$

Для этого угла сектор b может быть очень точно определен по шкале стрелочного индикатора y (рисунок 3)

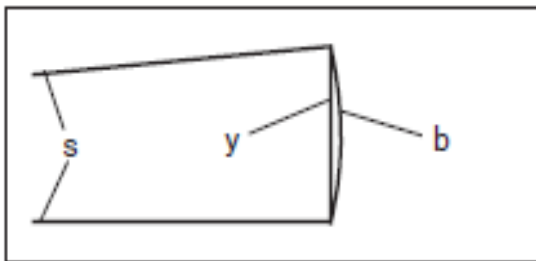


Рисунок 3 - Шкала стрелочного индикатора y

Здесь b – длина дуги;

s – расстояние от стрелочного индикатора до оси вращения испытываемого стержня (рисунок 2).

Следовательно,

$$\varphi = \frac{b}{s} = \frac{y}{s} = \frac{y}{57,3}. \quad (2)$$

Так как

$$2 \cdot \pi \approx 360^\circ,$$

то

$$\frac{1}{57,3} \approx 1^\circ \quad (3)$$

Поэтому **1 мм** шкалы стрелочного индикатора y соответствует углу закручивания стержня **$\varphi = 1$ градус.**

В связи с этим, для более простого перевода радианов в градусы и было выбрано расстояние от стрелочного индикатора до оси вращения испытываемого стержня **$s = 57,3$ мм.**

5 ИСПЫТЫВАЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Для проведения экспериментов на кручение испытываемые образцы стержней, изготовленные из стали, длиной L_0 , круглого поперечного сечения диаметром d (рисунок 4), устанавливаются в испытательную машину:

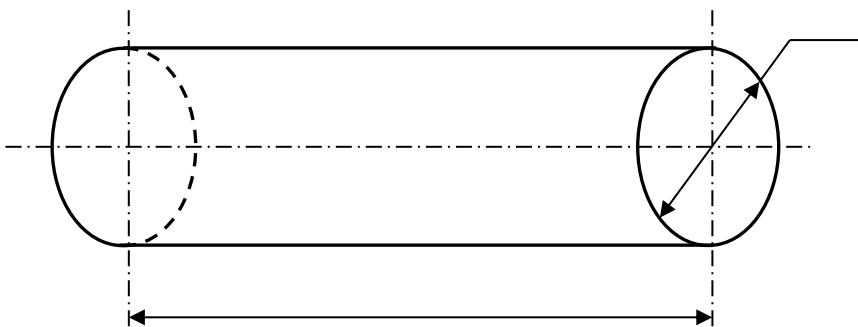


Рисунок 4 - Эскиз испытываемых образцов

Имеется следующий комплект стержней для проведения испытаний на кручение:

Материал стержня	Нормативные размеры сечения d , мм	Нормативная длина стержня L_0 , мм
Сталь /St/	5	60
Сталь /St/	6	60
Сталь /St/	7	60
Сталь /St/	8	60
Сталь /St/	10	60
Сталь /St/	12	60

6 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА НА КРУЧЕНИЕ

Испытывается стержень круглого поперечного сечения диаметром **d**, с расчетной длиной **L**, жестко заземленный одним концом (рисунок 5).

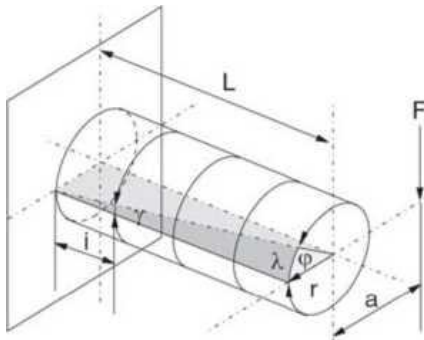


Рисунок 5 - Испытание стержня на кручение

На этом рисунке:

L – расчетная длина испытываемого стержня;

r – радиус поперечного сечения стержня;

λ – сектор;

φ – угол закручивания стержня;

γ – угол сдвига волокна, лежащего на поверхности стержня.

Так как сила **P**, действующая на рычаг, перпендикулярна к оси стержня, то в испытываемом образце возникает крутящий момент:

$$M_{кр} = P \cdot a, \quad (4)$$

где **P** – усилие в ньютонах;

a – длина рычага (**a** = 100 мм).

Данный вид нагрузки является основным для проводимых экспериментов.

Левый патрон испытательной машины

выступает в качестве неподвижного зажима /захвата/, в то время как правый патрон (свободный конец балки) закреплен на шаровом вращающемся подшипнике (вращающийся зажим).

Расчетная длина испытываемого образца L рассчитывается как расстояние между передними плоскостями жестко закрепленного и вращающегося зажимов /захватов/ испытательной установки.

В некоторых экспериментах собственная деформация испытательной установки /кручение патрона или конической оправки/ предельно мала по сравнению с деформацией испытываемого образца.

Однако в большинстве случаев проводимых экспериментов на кручение собственная деформация испытательной установки должна быть предварительно определена и затем приниматься во внимание в дальнейших расчетах.

Деформация рычага настолько мала, что не влияет на результаты измерений.

Момент трения в подшипниках также практически не влияет на результаты измерений.

7 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Определение. Кручением называют такой вид деформации стержня, при котором в его поперечных сечениях возникают только одни крутящие моменты $M_{кр}$, а остальные внутренние усилия (N , Q , $M_{изг}$) равны нулю.

Сечения, которые расположены в плоскостях, перпендикулярных к геометрической оси стержня, называются поперечными сечениями. Размеры поперечного сечения стержня значительно меньше его длины.

Определение. Крутящий момент $M_{кр}$ в любом поперечном сечении стержня численно равен алгебраической сумме внешних моментов, приложенных по одну сторону от сечения.

Правило знаков. Будем считать крутящий момент $M_{кр}$ положительным, если для наблюдателя, смотрящего на сечение, он представляется направленным против часовой стрелки.

При кручении происходит поворот одного поперечного сечения относительно другого на некоторый угол Φ , называемый углом закручивания.

Предположения (гипотезы), положенные в основу теории кручения круглых стержней:

1. Материал стержня подчиняется закону Гука, то есть напряжения в стержне не выходят за предел пропорциональности.
2. Размеры поперечных сечений стержня невелики по сравнению с его длиной.
3. Выполняется гипотеза Бернулли (гипотеза плоских сечений), то есть поперечные сечения стержня,

плоские и нормальные к оси стержня до приложения к нему нагрузки, остаются плоскими и нормальными к его оси и при действии нагрузки.

4. Радиусы поперечных сечений при деформации не искривляются.

5. Прямолинейная ось стержня (ось кручения) до деформации, остается прямолинейной и после деформации, а все поперечные сечения поворачиваются вокруг этой оси по отношению друг к другу на угол закручивания φ .

6. Расстояния между поперечными сечениями стержня в процессе деформации не изменяются, следовательно, продольные волокна не удлиняются и не укорачиваются, то есть длина стержня остается прежней.

Справедливость этих принятых допущений (гипотез) подтверждается тем, что полученные на их основе формулы хорошо согласуются с экспериментальными данными.

На основании принятых допущений кручение круглого стержня можно представить как результат сдвигов, вызванных взаимным поворотом поперечных сечений относительно друг друга.

Вследствие этого в поперечных сечениях стержня при кручении возникают только касательные напряжения, которые определяются по формуле:

$$t = \frac{M_{кр}}{I_\rho} \cdot \rho \quad (5)$$

Эта формула позволяет определять касательные напряжения в любой точке круглого поперечного сечения.

Максимальные касательные напряжения при

кручении, возникающие в крайних точках сечения, определяются по формуле:

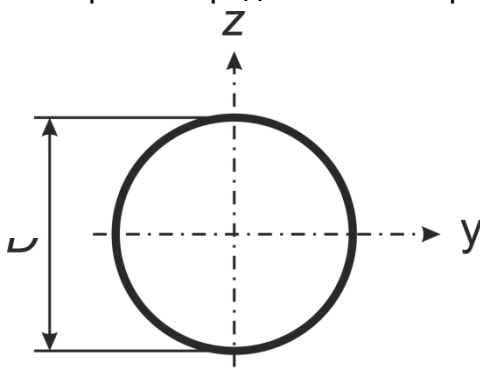
$$t_{\max} = \frac{M_{\text{кр}}}{I_{\rho}} \cdot r = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\rho}} \quad (6)$$

Величина

$$W_{\rho} = \frac{I_{\rho}}{r}$$

называется полярным моментом сопротивления круглого сечения.

Полярный момент инерции и полярный момент сопротивления для сплошного круглого поперечного сечения стержня определяются по формулам:



$$I_{\rho} = \frac{\pi d^4}{32} \quad (7)$$

$$W_{\rho} = \frac{\pi d^3}{16} \quad (8)$$

Угол сдвига волокна, лежащего на поверхности стержня (рисунок 6), определяется равенством:

$$\gamma = \frac{\lambda}{L} \quad (9)$$

Закон Гука при сдвиге имеет вид:

$$t = G \cdot \gamma \quad (10)$$

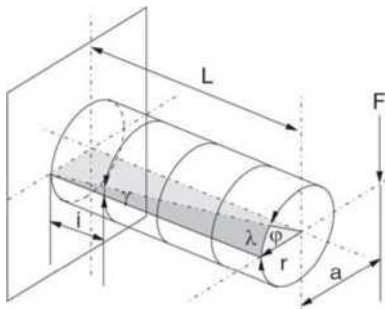


Рисунок 6 - Испытание стержня на кручение

Угол закручивания стержня φ в радианах определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{M_{кр} \cdot L}{G \cdot I_{\rho}} \quad (11)$$

Переход к градусам делается по общеизвестной формуле:

$$\varphi^{\circ} = \varphi \cdot \frac{180^{\circ}}{\pi},$$

следовательно

$$\varphi^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{\pi} \cdot \frac{M_{кр} \cdot L}{G \cdot I_{\rho}} \quad (12)$$

Для оценки жесткости стержня вводится другая величина – относительный угол закручивания. Относительный угол закручивания – это отношение значения угла закручивания φ к расчетной длине образца L :

$$\theta = \frac{M_{кр}}{G \cdot I_{\rho}} \quad (13)$$

В этих формулах (рисунок 5):

t – касательные напряжения при кручении стержня;

$M_{кр}$ – крутящий момент;

I_p – полярный момент инерции поперечного сечения стержня;

W_p – полярный момент сопротивления поперечного сечения стержня;

ρ – координата произвольной точки поперечного сечения стержня;

r – радиус поперечного сечения стержня;

d – диаметр поперечного сечения стержня;

L – расчетная длина испытываемого стержня;

λ – сектор;

γ – угол сдвига волокна, лежащего на поверхности стержня;

φ – угол закручивания стержня;

θ – относительный угол закручивания стержня;

G – модуль упругости второго рода (модуль упругости при сдвиге).

Величину $G \cdot I_p$ называют жесткостью стержня при кручении. Она характеризует сопротивление стержня закручиванию.

На практике для многих материалов первоначально экспериментально определяется модуль упругости первого рода (модуль продольной упругости) E , после чего определяется модуль упругости второго рода (модуль упругости при сдвиге) G .

Между величинами модуля упругости первого рода E и модулем упругости второго рода G для одного и того же материала существует зависимость:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (14)$$

Как видно, численное соотношение между G и E для данного материала зависит от значения

коэффициента Пуассона μ .

Для большинства материалов, в том числе для стали, можно приближенно принимать $G \approx 0,385 E$.

8 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

8.1 Определение собственной /внутренней/ деформации испытательной установки WP 100

Этот предварительный эксперимент отвечает на вопрос о том, оказывает ли влияние величина диаметра испытываемого круглого стержня на собственную /внутреннюю/ деформацию испытательной установки.

Для стержней круглого поперечного сечения, жестко закрепленных одним концом, расчетная схема которых показана на рисунке 7, опытным путем определяем величину его деформации φ (угол закручивания φ).

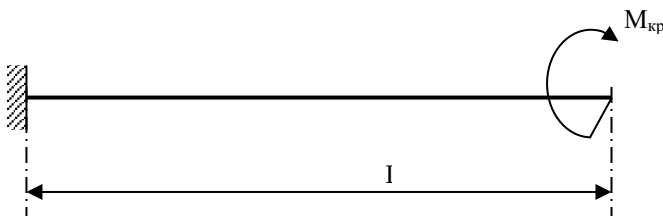


Рисунок 7 - Расчетная схема испытываемого стержня

Исходные данные:

Испытываются на кручение **6** стальных стержней (**St**). Нормативная длина испытываемых стержней **$L_0 = 60\text{мм}$** . Испытываемые стержни имеет круглое поперечное сечение с нормативными диаметрами **$d = 5, 6, 7, 8, 10$ и 12мм** .

К испытываемым стержням прикладывается внешняя нагрузка величиной $m = 1\text{ кг}$, то есть $F = 9,81\text{ Н}$. Следовательно, в испытываемом стержне возникает крутящий момент (4) $M_{\text{кр}} = F \cdot a = 9,81\text{ Н} \cdot 100\text{ мм} = 981\text{ Н} \cdot \text{мм}$ (рисунок 7).

Методика проведения эксперимента:

Определение собственной /внутренней/ деформации испытательной установки производится в следующей последовательности:

1. Измеряем фактические размеры поперечного сечения испытываемых стержней (d) и заносим их в журнал испытаний № 1 (Приложение А, таблица 1).

2. Устанавливаем испытываемый стержень в жестко закрепленный и вращающийся захваты /захваты/ испытательной установки.

3. Жестко закрепленный и вращающийся захваты /захваты/ испытательной установки сводим друг к другу, оставляя между ними зазор $\Delta \approx 1\text{ мм}$.

Данные условия означают проведение испытания на кручение стержня с расчетной длиной $L \approx 0\text{ мм}$ (рисунок 8)

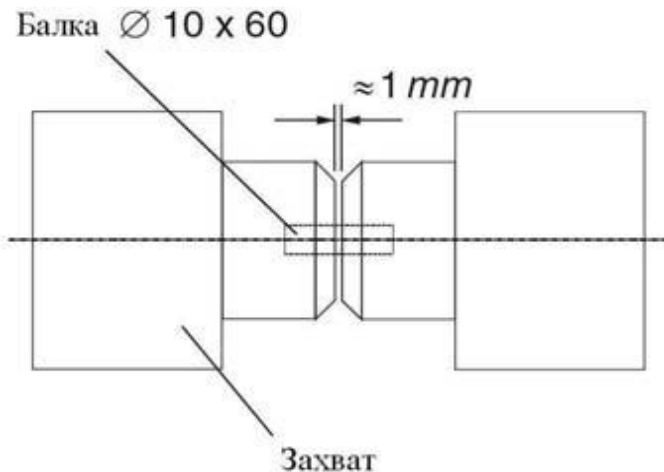


Рисунок 8 - Предварительное испытание стержня на кручение

4. Обнуляем показания стрелочного индикатора.
5. Осторожно нагружаем испытываемый стержень нагрузкой в **1кг**.
6. Снимаем показания стрелочного индикатора y и заносим их в журнал испытаний № 1 (Приложение А, таблица 1).
7. Анализируя полученные в результате данного эксперимента значения стрелочного индикатора y /значения угла закручивания Φ стержня/ для испытываемых стальных образцов, имеющих разные диаметры, можно сделать следующие выводы:
 - собственная /внутренняя/ деформация данной испытательной установки $y_{\text{соб}}$, при внешней нагрузке равной $m = 1\text{кг}$, то есть $M_{\text{кр}} = 981\text{Н}\cdot\text{мм}$, в зависимости от диаметра стального стержня, как показывают эксперименты, приблизительно равна:

Образец	St Ø •5x60	St Ø 6x60	St Ø 7x60	St Ø •8x60	St Ø 10x60	StØ 12x60
Показания индикатора	37	21	14	11	9	8

– следовательно, при проведении экспериментов на кручение круглых стержней различных диаметров необходимо учитывать соответствующую погрешность, связанную с собственной /внутренней/ деформацией данной испытательной установки.

8. По полученным значениям строим график 1 (Приложение А), показывающий зависимость собственной (внутренней) деформации испытываемой установки $y_{\text{соб}}$ от величины диаметра испытываемых стальных стержней, то есть $y_{\text{соб}} \sim d$.

Для этого по оси абсцисс откладываем величину диаметра испытываемых стальных стержней, а по оси ординат – соответствующие показания стрелочного индикатора y (собственная /внутренняя/ деформация испытываемой установки $y_{\text{соб}}$).

Образец графика 1

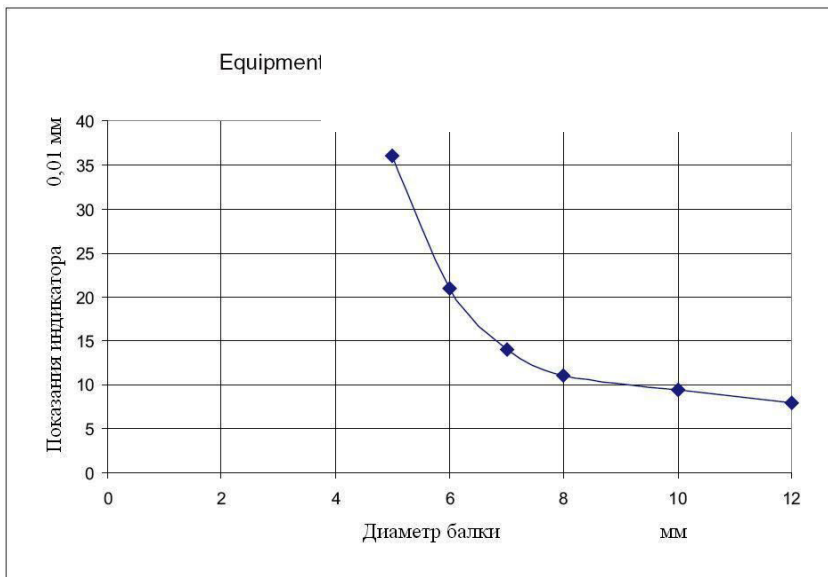


График 1 - Зависимость собственной (внутренней) деформации испытательной установки от величины диаметра стержня

8.2 Исследование зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра

Для стержня круглого поперечного сечения, жестко закрепленного одним концом, расчетная схема которого показана на рисунке 7, опытным путем определяем величину его деформации (угол закручивания φ).

Имеем:

$$\varphi^0 = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{кр} \cdot L}{G \cdot I_\rho}$$

где φ^0 – величина угла закручивания (в градусах);

$M_{кр}$ – величина внешней нагрузки (крутящего момента);

L – расчетная длина испытываемого стержня (расстояние между зажимами /захватами/ испытательной установки);

I_ρ – полярный момент инерции поперечного сечения стержня;

G – модуль упругости второго рода (модуль упругости при сдвиге).

$G \cdot I_\rho$ – жесткость испытываемого стержня при кручении.

Полярный момент инерции круглого поперечного сечения испытываемых образцов определяется по формуле:

$$I_\rho = \frac{\pi d^4}{32},$$

следовательно,

$$\varphi^0 = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{кр} \cdot L}{G \cdot \frac{\pi d^4}{32}}. \quad (15)$$

Таким образом, видим, что деформация (угол закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения зависит от величины его диаметра:

$$\varphi \sim \frac{1}{d^4}$$

следовательно,

$$\sqrt[4]{\varphi} \sim \frac{1}{d}$$

или

$$\sqrt[4]{y'} \sim \frac{1}{d} \quad (16)$$

Исходные данные

Испытываются на кручение **6** стальных стержней (**St**). Нормативная длина испытываемых стержней **L₀ = 340 мм**. Испытываемые стержни имеет круглое поперечное сечение с нормативными диаметрами **d = 5, 6, 7, 8, 10 и 12 мм**.

Внешняя нагрузка массой **m = 1 кг**, то есть **F = 9,81Н**, прикладывается на правом свободном конце испытываемого стержня. Следовательно, в испытываемом стержне возникает крутящий момент (4):

$$M_{кр} = F \cdot a = 9,81Н \cdot 100мм = 981Н \cdot мм \text{ (рисунок 7).}$$

При **d < 10 мм**, зажимные скобки выступают из корпуса захвата, при **d = 10 мм** зажимные скобки почти совпадают с передней поверхности захвата. При **d = 12 мм** скобки утоплены примерно на **5 мм** в захвате.

Расчетная длина испытываемых стержней составляет **L = 290 мм**. Длина **L** замеряется между скобками захватов.

Методика проведения эксперимента:

Исследование зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра производится в следующей последовательности:

1. Измеряем фактический размер поперечного сечения испытываемого стержня (**d**) и заносим его в

журнал испытаний № 2 (Приложение А, таблица 1).

2. Вычисляем полярный моменты инерции I_p круглого поперечного сечения испытываемого образца и заносим полученное значение в журнал испытаний № 2 (Приложение А, таблица 1).

3. Вычисляем жесткость стержня при кручении $G \cdot I_p$ и заносим его значение в журнал испытаний № 2 (Приложение А, таблица 1).

4. Расчетную длину испытываемого стержня, равную $L = 290\text{мм}$, предварительно отмечаем карандашом до проведения эксперимента (рисунок 9).

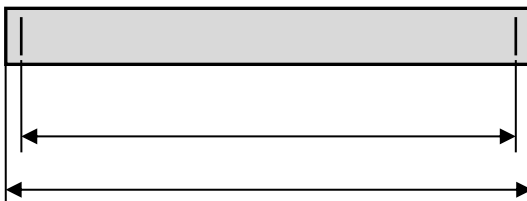


Рисунок 9 - Образец для испытания с метками

5. Устанавливаем испытываемый стержень в зажимы /захваты/ испытательной установки.

6. Жестко закрепленный и вращающийся зажимы /захваты/ испытательной установки устанавливаем на расстоянии **290 мм**. Расчетная длина испытываемого стержня при этом составляет **$L = 290\text{ мм}$** .

7. Обнуляем показания стрелочного индикатора.

8. Последовательно нагружаем испытываемые образцы внешней нагрузкой массой **$m = 1,0\text{ кг}$** .

9. Снимаем показания стрелочного индикатора и заносим их в журнал испытаний № 2 (Приложение А,

таблица 2).

10. Вычисляем величины деформации испытываемого стержня y' с учетом поправок на значение собственной (внутренней) деформации испытательной машины $y_{\text{соб}}$ /журнал испытаний № 1 (Приложение А, таблица 1)/ и заносим полученные значения в журнал испытаний № 2 (Приложение А, таблица 2):

$$y' = y - y_{\text{соб}}$$

11. Вычисляем теоретические значения деформации испытываемого стержня (угла закручивания $\varphi^{\text{теор}}$) и заносим эти значения в журнал испытаний № 2 (Приложение А, таблица 2).

12. Определяем погрешность между опытными и теоретическими значениями деформации испытываемого стержня и заносим эти значения в журнал испытаний № 2 (Приложение А, таблица 2).

Для этого полученное опытным путем значение деформации испытываемого стержня y' (угла закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) сравниваем с соответствующим теоретическим значением ($\varphi^{\text{теор}}$), расхождение между ними не должно превышать 5 %, то есть:

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi^{\text{опыт}} - \varphi^{\text{теор}}}{\varphi^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% \leq 5\%.$$

13. По полученным в эксперименте значениям угла закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$ исследуем зависимость деформации (угла закручивания φ) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра d .

Очевидно, что можно построить график зависимости:

$$\sqrt[4]{y'} \sim \frac{1}{d}$$

Для этого:

– вычисляем обратные значения фактических диаметров испытываемых стержней $\frac{1}{d}$, полученные в экспериментах, и заносим их в журнал испытаний № 2 (Приложение А, таблица 2);

– вычисляем значения $\sqrt[4]{y'}$, полученные в экспериментах, и заносим их в журнал испытаний № 2 (Приложение А, таблица 2);

– по полученным значениям строим график 2 (Приложение А), показывающий зависимость деформации стержня Φ от величины его диаметра:

$$\sqrt[4]{y'} \sim \frac{1}{d}.$$

Для чего по оси абсцисс откладываем обратные значения диаметров испытываемых стержней $\frac{1}{d}$ а по оси ординат – соответствующие значения деформаций $\sqrt[4]{y'}$, испытываемых стержней (y' – показания индикатора с учетом поправки $y_{\text{собр}}$).

Образец графика 2

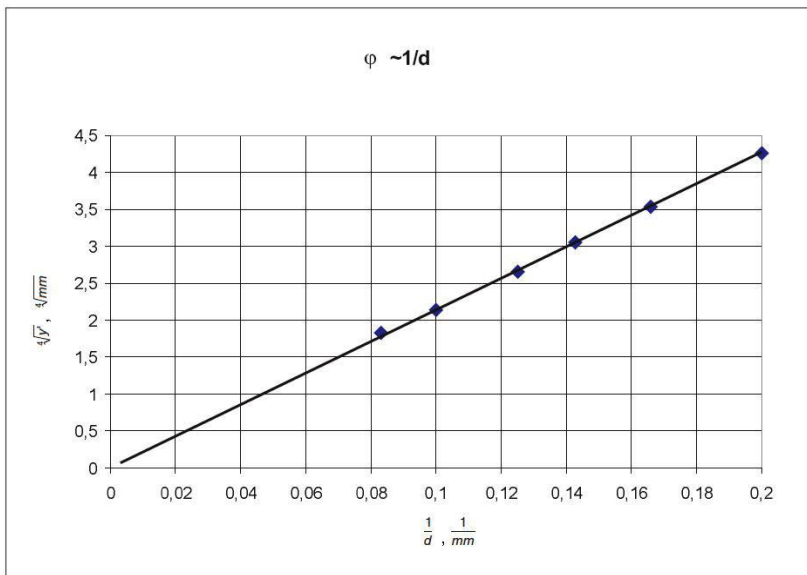


График 2 - Зависимость деформации
(угла закручивания) круглого стержня постоянного
поперечного сечения от величины его диаметра

ИНСТРУКЦИЯ

ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



1. Необходимо внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы.

2. Необходимо точно выполнять все указания преподавателя при проведении лабораторной работы, без его разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.

3. Запрещается устанавливать образец и приводить в действие испытательную установку без разрешения преподавателя.

4. Нагружение испытываемого образца проводить аккуратно, при этом нельзя превышать максимальную допускаемую нагрузку на балку. Грузы не бросать.

5. При перерывах в работе испытательная установка не должна находиться в нагруженном состоянии.

6. Во время проведения лабораторной работы запрещается трогать образец руками.

7. Необходимо находиться от испытательной установки на расстоянии не менее 0,5 м.

8. Запрещается подходить к лабораторным установкам, не связанным с выполнением данной работы.

9. При работе с ПЭВМ возможно воздействие на работающих следующих опасных и вредных производственных факторов:

- электромагнитные излучения видеомониторов (видимые и невидимые, ионизирующие и неионизирующие);
- поражение электрическим током при работе на оборудовании без защитного заземления;
- зрительное утомление, а также неблагоприятное воздействие на зрение мерцаний символов и фона при неустойчивой работе видеомонитора, нечетком изображении на экране.

10. При работающем видеомониторе расстояние от глаз до экрана должно быть 0,6-0,7 м, уровень глаз должен приходиться на центр экрана или $\frac{2}{3}$ его высоты.

11. Необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какое сечение стержня называется поперечным сечением?
3. Какой вид деформации стержня называется кручением?
4. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении стержня при кручении?
5. Чему равен крутящий момент в рассматриваемом сечении стержня?
6. Правило знаков для крутящего момента?

7. Какие деформации получают поперечные сечения стержня при кручении?
8. Что называется углом закручивания φ ?
9. Какие гипотезы положены в основу теории кручения круглых стержней?
10. По какой формуле вычисляются касательные напряжения при кручении?
11. В каких точках поперечного сечения возникают наибольшие касательные напряжения?
12. Какая величина называется полярным моментом инерции?
13. Какая величина называется полярным моментом сопротивления?
14. По какой формуле вычисляется угол закручивания φ ?
15. Что такое относительный угол закручивания θ ?
16. Что называется жесткостью поперечного сечения стержня при кручении?
17. Какая зависимость существует между E , G и μ ?

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Александров А.В. Сопротивление материалов: учебник / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – Москва: Высшая школа, 2011. – 560 с. – Текст: непосредственный.
2. Варданян Г.С. Сопротивление материалов (с основами строительной механики): учебник /

Г.С. Варданян, Н.М. Атаров. – Москва: ИНФРА-М, 2011. 480 с. – Текст: непосредственный.

3. Еремин В.Д. Определение внутренних усилий, напряжений и перемещений. Расчет балок и плоских рам на жесткость: учебное пособие / В.Д. Еремин, А.А. Аваков, А.С. Чепурненко; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – 162 с. – Текст: непосредственный.

4. Еремин В.Д. Специальные вопросы сопротивления материалов: учебное пособие / В.Д. Еремин, С.В. Литвинов, А.И. Притыкин; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2023. – 225 с. – Текст: непосредственный.

5. Еремин В.Д. Специальные вопросы сопротивления материалов в строительстве: учебное пособие / В.Д. Еремин, С.В. Литвинов; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2024. – 106 с. – Текст: непосредственный.

6. Степин П.А. Сопротивление материалов: учебник / П.А. Степин. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. 319 с. – Текст: непосредственный.

7. Копнов В.А. Сопротивление материалов: Руководство для решения задач и выполнения лабораторных и расчетно-графических работ / В.А. Копнов, С.Н. Кривошапко. – Москва: Высшая школа, 2003. 351 с. – Текст: непосредственный.

8. Тимофеев С.И. Сопротивление материалов: учебник / С.И. Тимофеев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2014. 335 с. – Текст: непосредственный.

Приложение А

Образец отчета по лабораторной работе

ОТЧЕТ

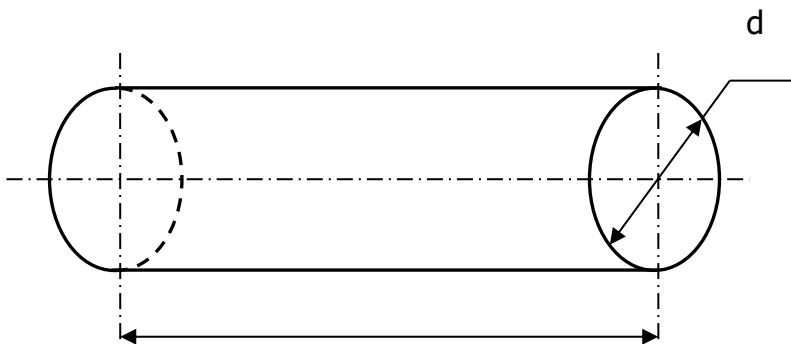
по лабораторной работе № _____

**«Испытание стержней
круглого поперечного сечения на кручение»**

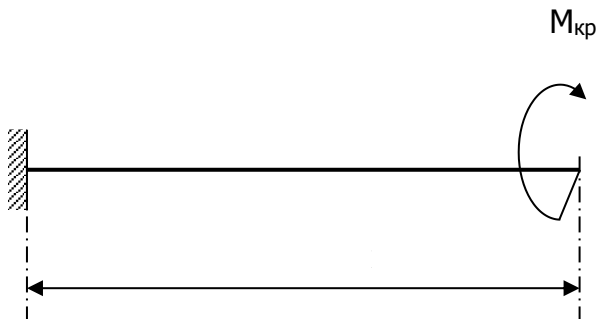
Дата проведения работы _____

1. Наименование машины – испытательная машина
WP 100

2. Эскиз испытываемых образцов:



3. Расчетная схема испытываемого стержня:



ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ №1

Определение собственной /внутренней/ деформации испытательной установки WP 100

1. Характеристика испытываемых стержней:
 - нормативная длина испытываемого стального стержня $L_0 = 60$ мм;
 - расчетная длина испытываемого стального стержня $L \approx 0$ мм;
 - нормативные размеры круглого поперечного сечения стальных стержней $d = 5$ мм, 6 мм, 7 мм, 8 мм, 10 мм, 12 мм.

2. Внешняя нагрузка $m = 1$ кг, то есть $F = 9,81$ Н, следовательно $M_{кр} = 981$ Н·мм.

3. Обработка данных испытаний:

3.1. Измеряем фактические размеры поперечного сечения испытываемых стержней (**d**) и заносим полученные значения в таблицу 1.

3.2. Снимаем показания индикатора **y_{соб}** и заносим полученные значения в таблицу 1.

Таблица 1

Образец	St $\varnothing$ d = мм	St $\varnothing$ d = мм	St $\varnothing$ d = мм	St $\varnothing$ d = мм	St $\varnothing$ d = мм	St $\varnothing$ d = мм
Показания индикатора (y_{соб}),						

3.2. По полученным значениям строим график 1, показывающий зависимость собственной (внутренней) деформации испытываемой установки $y_{\text{соб}}$ от величины диаметра испытываемых стальных стержней, то есть $y_{\text{соб}} \sim d$.

Для этого по оси абсцисс откладываем величину диаметра испытываемых стальных стержней, а по оси ординат – соответствующие показания стрелочного индикатора y (собственная /внутренняя/ деформация испытываемой установки $y_{\text{соб}}$).

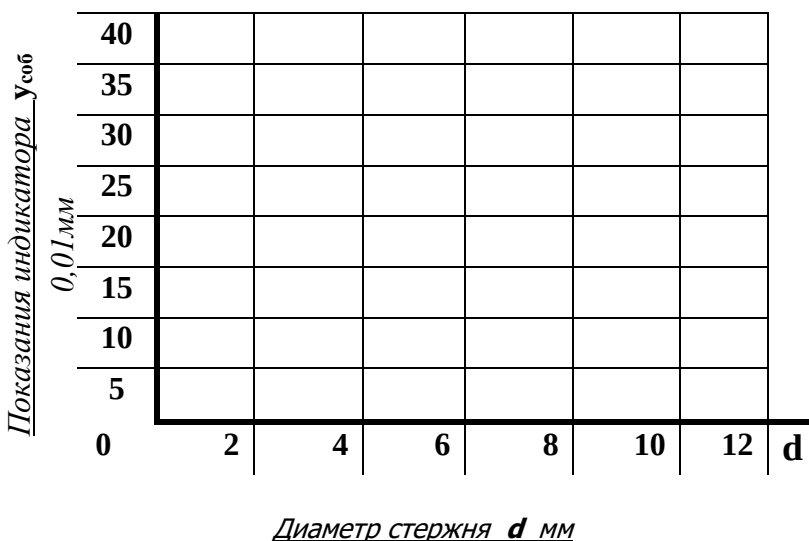


График 1 - Зависимость собственной (внутренней) деформации испытательной установки $y_{\text{соб}}$ от величины диаметра стержня d

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ № 2

Исследование зависимости деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра

1. Характеристика испытываемых стержней:

- нормативная длина испытываемого стального стержня $L_0 = 340\text{мм}$;
- расчетная длина испытываемого стального стержня $L = 290\text{мм}$;
- нормативные размеры круглого поперечного сечения стальных испытываемых стальных стержней $d = 5, 6, 7, 8, 10$ и 12 мм ;
- модуль упругости G для материала стальных испытываемых стержней (St) – 80850 Н/мм^2 .

2. Внешняя нагрузка $m = 1\text{кг}$, то есть $F = 9,81\text{Н}$, следовательно $M_{кр} = 981\text{Н}\cdot\text{мм}$.

3. Обработка данных испытаний

Вычисляем по соответствующим формулам значения полярного момента инерции I_p круглого сечения стержней, жесткость испытываемых стальных стержней при кручении $G \cdot I_p$, деформации (угла закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной машины $y_{\text{соб}}$, теоретическое значение деформации (угла закручивания $\varphi^{\text{теор}}$) испытываемого круглого стального стержня,

погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стального стержня, обратные значения диаметров испытываемых стержней $\frac{1}{d'}$, величины $\sqrt[4]{y'}$ и заносим полученные значения в таблицу 1 и таблицу 2.

Эксперимент № 1 – диаметр испытываемого стержня (**St**) $d_1 =$ _____ мм:

– полярный момент инерции поперечного сечения стержня, в мм⁴:

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} =$$

– фактическая жесткость испытываемого стального стержня при кручении в Н·мм²:

$$G \cdot I_p =$$

– деформация (угол закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной установки ($y_{\text{соб}}$), в мм:

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

– теоретическое значение деформации (угла закручивания $\varphi^{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах:

$$\varphi^{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_p} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня, в %:

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi^{\text{опыт}} - \varphi^{\text{теор}}}{\varphi^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение диаметра испытываемого стержня $\frac{1}{d'}$, в $\frac{1}{\text{мм}}$:

$$\frac{1}{d} =$$

– численное значение величины $\sqrt[4]{y'}$, в $\sqrt[4]{\text{мм}}$:

$$\sqrt[4]{y'} =$$

Эксперимент № 2 – диаметр испытываемого стержня (**St**) $d_2 =$ _____ мм:

– полярный момент инерции поперечного сечения стержня, в мм^4 :

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} =$$

– фактическая жесткость испытываемого стального стержня при кручении в $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$:

$$G \cdot I_p =$$

– деформация (угол закручивания $\varphi^{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной установки ($y_{\text{соб}}$), в мм:

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

– теоретическое значение деформации (угла закручивания $\varphi^{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах:

$$\varphi^{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_p} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня, в %:

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi_{\text{опыт}} - \varphi_{\text{теор}}}{\varphi_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение диаметра испытываемого стержня $\frac{1}{d'}$, в $\frac{1}{\text{мм}}$:

$$\frac{1}{d} =$$

– численное значение величины $\sqrt[4]{y'}$, в $\sqrt[4]{\text{мм}}$:

$$\sqrt[4]{y'} =$$

Эксперимент № 3 – диаметр испытываемого стержня (**St**) $d_3 =$ _____ мм:

– полярный момент инерции поперечного сечения стержня, в мм^4 :

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} =$$

– фактическая жесткость испытываемого стального стержня при кручении в $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$:

$$G \cdot I_p =$$

– деформация (угол закручивания $\varphi_{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной установки ($y_{\text{соб}}$), в мм:

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

– теоретическое значение деформации (угла закручивания $\varphi_{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах:

$$\varphi_{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_p} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого

стержня, в %:

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi_{\text{опыт}} - \varphi_{\text{теор}}}{\varphi_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение диаметра испытываемого

стержня $\frac{1}{d'}$, в $\frac{1}{\text{мм}}$:

$$\frac{1}{d} =$$

– численное значение величины $\sqrt[4]{y'}$, в $\sqrt[4]{\text{мм}}$:

$$\sqrt[4]{y'} =$$

Эксперимент № 4 – диаметр испытываемого стержня (**St**) $d_4 =$ _____ мм:

– полярный момент инерции поперечного сечения стержня, в мм^4 :

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} =$$

– фактическая жесткость испытываемого стального стержня при кручении в $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$:

$$G \cdot I_p =$$

– деформация (угол закручивания $\varphi_{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной установки ($y_{\text{соб}}$), в мм:

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

– теоретическое значение деформации (угла закручивания $\varphi_{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах:

$$\varphi_{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_p} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим

значениями деформации испытываемого круглого стержня, в %:

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi_{\text{опыт}} - \varphi_{\text{теор}}}{\varphi_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение диаметра испытываемого стержня $\frac{1}{d}$, в $\frac{1}{\text{мм}}$:

$$\frac{1}{d} =$$

– численное значение величины $\sqrt[4]{y'}$, в $\sqrt[4]{\text{мм}}$:
 $\sqrt[4]{y'} =$

Эксперимент № 5 – диаметр испытываемого стержня (**St**) $d_5 =$ _____ мм:

– полярный момент инерции поперечного сечения стержня, в мм⁴:

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} =$$

– фактическая жесткость испытываемого стального стержня при кручении в Н·мм²:

$$G \cdot I_p =$$

– деформация (угол закручивания $\varphi_{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной установки ($y_{\text{соб}}$), в мм:

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

– теоретическое значение деформации (угла закручивания $\varphi_{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах:

$$\varphi_{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_p} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня, в %:

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi_{\text{опыт}} - \varphi_{\text{теор}}}{\varphi_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение диаметра испытываемого стержня $\frac{1}{d'}$, в $\frac{1}{\text{мм}}$:

$$\frac{1}{d} =$$

– численное значение величины $\sqrt[4]{y'}$, в $\sqrt[4]{\text{мм}}$:

$$\sqrt[4]{y'} =$$

Эксперимент № 6 – диаметр испытываемого стержня (**St**) $d_6 =$ _____ мм:

– полярный момент инерции поперечного сечения стержня, в мм^4 :

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} =$$

– фактическая жесткость испытываемого стального стержня при кручении в $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$:

$$G \cdot I_p =$$

– деформация (угол закручивания $\varphi_{\text{опыт}}$) испытываемого стержня y' с учетом поправки на значение собственной (внутренней) деформации испытательной установки ($y_{\text{соб}}$), в мм:

$$y' = y - y_{\text{соб}} =$$

– теоретическое значение деформации (угла закручивания $\varphi_{\text{теор}}$) испытываемого круглого стержня, в градусах:

$$\varphi_{\text{теор}} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot L}{G \cdot I_\rho} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями деформации испытываемого круглого стержня, в %:

$$\varepsilon = \left| \frac{\varphi_{\text{опыт}} - \varphi_{\text{теор}}}{\varphi_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение диаметра испытываемого стержня $\frac{1}{d}$, в $\frac{1}{\text{мм}}$:

$$\frac{1}{d} =$$

– численное значение величины $\sqrt[4]{y'}$, в $\sqrt[4]{\text{мм}}$:

$$\sqrt[4]{y'} =$$

Таблица 1

Фактические размеры сечения испытываемого стержня d , в мм	Полярный момент инерции поперечного сечения стержня I_ρ , в мм ⁴	Фактическая жесткость испытываемого стального стержня при кручении G·I_ρ , в Н·мм ²
d ₁ =		
d ₂ =		
d ₃ =		

Сопротивление материалов и
Специальные вопросы сопротивления материалов

$d_4 =$		
$d_5 =$		
$d_6 =$		

Таблица 2

Фак- тиче- ские раз- меры сече- ния испы- тывае- мого стерж- ня d , в мм	Пока- зания стре- лоч- ного инди- ка- тора y , в мм	Пока- зания инди- ка- тора с уче- том по- прав- ки y' (угол закру- чива- ния φ^{опыт}) в мм	Тео- рети- ческое значе- ние де- фор- ма- ции (угла за- кручи- вания (φ^{теор})) ис- пыты- вае- мого стерж- ня, в гра- дусах	По- греш- ность между опыт- ным и теоре- тиче- ским значе- ниями де- фор- мации испы- тывае- мого стерж- ня ε , в %	Об- рат- ное значе- ние диа- метра испы- тывае- мого стерж- ня $\frac{1}{d'}$, в $\frac{1}{мм}$	Чис- лен- ное зна- чение вели- чины $\sqrt[4]{y'}$, в $\sqrt[4]{мм}$
d ₁ =						
d ₂ =						
d ₃ =						
d ₄ =						
d ₅ =						
d ₆ =						

4. По полученным значениям строим график 2, показывающий зависимость деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра $\varphi \sim \frac{1}{d}$:

Для чего по оси абсцисс откладываем обратные значения диаметров испытываемых стержней $\frac{1}{d}$ а по оси ординат – соответствующие значения деформаций $\sqrt[4]{y'}$ испытываемых стержней (y' – показания индикатора с учетом поправки $y_{\text{соб}}$).

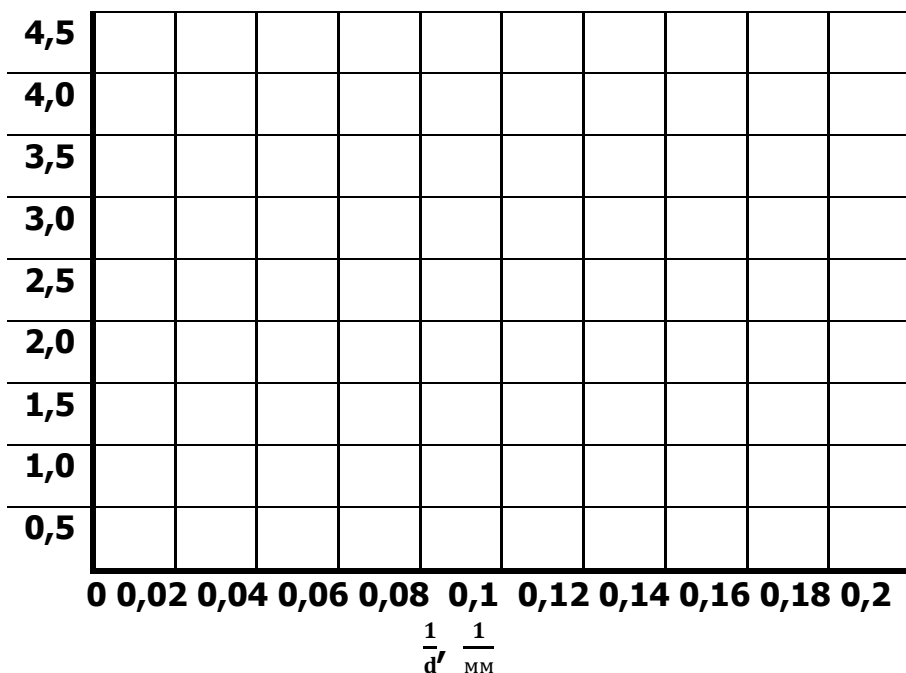


График 2. Зависимость деформации (угла закручивания) круглого стержня постоянного поперечного сечения от величины его диаметра



Приложение Б

Образец оформления титульного листа лабораторной работы

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» (ДГТУ)**

**Кафедра «Строительная механика
и теория сооружений»**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

на тему:

**«Испытание стержней круглого поперечного
сечения на кручение»**

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О.)

Принял _____

(Ф.И.О.)

**Ростов-на-Дону
20_____**