

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

Кафедра сельского строительства и обустройства территорий

Е. В. Афанасенко, И. Д. Гуц

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

*Методические указания по выполнению
виртуальных лабораторных работ на ПК
для студентов, обучающихся по специальностям
1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство,
1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий,
1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства,
1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных
и водохозяйственных работ*

**Горки
БГСХА
2019**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра сельского строительства и обустройства территорий

Е. В. Афанасенко, И. Д. Гуц

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

*Методические указания по выполнению
виртуальных лабораторных работ на ПК
для студентов, обучающихся по специальностям
1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство,
1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий,
1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства,
1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных
и водохозяйственных работ*

Горки
БГСХА
2019

УДК 621.22.011:531.7(072)

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета.
Протокол № 9/18 от 24 мая 2018 г.*

Авторы:
кандидат технических наук, доцент *Е. В. Афанасенко*;
ассистент *И. Д. Гуц*

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент *М. В. Нестеров*;
кандидат сельскохозяйственных наук *В. М. Лукашевич*.

Механика материалов : методические указания по выполнению виртуальных лабораторных работ на ПК / Е. В. Афанасенко, И. Д. Гуц. – Горки : БГСХА, 2019. – 33 с.

Приведены указания по выполнению комплекса виртуальных лабораторных работ по основным разделам курса механики материалов и отдельные положения теории. Изложена последовательность выполнения каждой лабораторной работы и обработки экспериментальных данных, приведены контрольные вопросы по основным темам курса «Механика материалов».

Для студентов, обучающихся по специальностям 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство, 1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий, 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ.

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2019

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы являются неотъемлемой частью курса «Механика материалов». Профессор С. П. Тимошенко, впервые внедривший лабораторные работы в учебную программу курса в 1908 году в Киевском политехническом институте, писал: «...Совокупность аналитических методов, служащих для определения внутренних усилий, и тех приемов, которыми пользуются при экспериментальном исследовании прочности строительных материалов, составляет предмет науки "Механика материалов"».

В соответствии с образовательными стандартами высшего образования первой ступени по специальностям 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство, 1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий, 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства и 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ учебной программой по дисциплине «Механика материалов» предусматривается проведение цикла лабораторных работ, в ходе которых решаются две принципиально разные проблемы. С одной стороны, проводится экспериментальная проверка справедливости допущений и гипотез, применяемых в теоретических выкладках при выводе окончательных формул. С другой стороны, расчет конструкций или их отдельных элементов не может быть произведен без знания важнейших механических характеристик материала: предельно допустимых напряжений и упругих постоянных материала (модулей упругости E и G , коэффициента Пуассона и др.), которые определяются опытным путем. Таким образом, основными задачами лабораторного практикума являются: исследование механических свойств и определение механических характеристик материалов, опытная проверка теоретических выводов и законов, а также изучение современных экспериментальных методов исследования напряженного и деформированного состояний материала и обработки экспериментальных данных.

В настоящих методических указаниях приведено описание обучающего программного комплекса виртуальных лабораторных работ по пяти разделам курса механики материалов и краткая теория. Каждый раздел записан в отдельном файле в каталоге **COLUMBUS 2007** либо **COLUMBUS 10**.

Этот каталог разработан профессором кафедры сопротивления материалов и строительной механики Российского государственного открытого технического университета путей сообщения Л. Ю. Кузьминым и инженером этой же кафедры А. Л. Кузьминым.

Методические указания по выполнению виртуальных лабораторных работ на ПК и рабочий журнал по оформлению лабораторных работ составлены с таким расчетом, чтобы студенты могли самостоятельно подготовиться к выполнению лабораторных работ и ознакомиться с порядком их оформления и обработки экспериментальных данных. При этом предполагается, что студент еще слабо знает предмет, вследствие чего в каждой лабораторной работе дано теоретическое обоснование проводимого эксперимента. Описание выполнения виртуальных лабораторных работ дано, по возможности, подробно и в большинстве случаев сопровождается пояснениями методики обработки полученных из опыта данных.

В конце каждой лабораторной работы приведены вопросы для самопроверки, позволяющие студентам проверить свои знания как в процессе подготовки к выполнению лабораторных работ, так и перед сдачей зачета или экзамена по изучаемой дисциплине.

Создание такого комплекса обусловлено несколькими причинами: – во-первых, существующие в большинстве вузов испытательные машины сильно изношены и часто не поддаются регулировке;

– во-вторых, в некоторых филиалах вузов отсутствует реальная техническая испытательная база;

– в-третьих, совместное проведение реальных испытаний одного образца для всей группы и индивидуальных виртуальных испытаний для каждого студента открывает новые методические возможности при изучении дисциплины «Механика материалов».

В данной версии программного комплекса используется база данных, содержащая свойства материалов, полученные в результате реальных испытаний образцов. Предусмотрена также возможность расширения этой информации.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И УКАЗАТЕЛЬ ФАЙЛОВ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

Раздел I. Растяжение и сжатие

1. Растяжение металлического образца с построением диаграммы – файл 1.exe.
2. Сжатие металлического образца с построением диаграммы – файл 2.exe.
3. Испытание деревянных образцов на сжатие – файл 2.exe.
4. Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона – файл 9.exe.

Раздел II. Кручение валов

5. Испытание валов на кручение с определением модуля упругости при сдвиге – файл 3.exe.

Раздел III. Изгиб балок

6. Испытание стальной балки на поперечный изгиб – файл 4.exe.

Раздел IV. Устойчивость

7. Исследование явления потери устойчивости при сжатии стержня большой гибкости – файл 6.exe.

Раздел V. Ударная вязкость

8. Определение ударной вязкости металлического образца – файл 7.exe.

Общий порядок работы на ПК

1. Для доступа к программному комплексу необходимо иметь флеш-ключ, который вставляется в USB-порт компьютера администратора. После появления окна активации ключа необходимо завершить сеанс администратора, чтобы появилась возможность запуска лабораторных

работ на других компьютерах рабочего места. Затем необходимо наладить удаленный доступ к рабочему столу на компьютерах рабочего места (на рабочем столе имеется соответствующий ярлык), в результате получаем доступ к рабочему столу администратора. Для запуска программы лабораторной работы нужно щелкнуть мышью на соответствующий работе ярлык.

2. При выполнении каждой лабораторной работы верхняя строка экрана содержит главное меню лабораторной работы.

При щелчке мышью по клавишам главного меню открываются следующие подменю:

Эксперимент	Управление стендом	Настройки	Студент	Вид	Помощь
-------------	--------------------	-----------	---------	-----	--------

3. Вторая и последняя строка экрана содержат соответственно панель инструментов и строку состояния, изображением которых можно управлять с помощью подменю ВИД:

Показать панель инструментов.

Показать строку состояния.

4. Подменю ЭКСПЕРИМЕНТ:

В режимах записи и печати открываются соответствующие стандартные диалоговые окна.

Новый эксперимент	Ctrl + N
Записать файл результатов	Ctrl + S
Записать результаты в файл Excel	
Предпросмотр печати	
Печать результатов	Ctrl + P
Выход	

5. Подменю УПРАВЛЕНИЕ СТЕНДОМ:

Остановить
Нагрузить
Разгрузить
Выбрать материал образца

6. Подменю СТУДЕНТ:

Фамилия	
Имя	
Отчество	
Учебное заведение	
Группа	
Шифр	

Для каждой строки подменю пунктов 4 и 5 и названия подменю СТУДЕНТ на панели инструментов предусмотрена соответствующая клавиша.

7. На панели инструментов имеется клавиша **I**, при нажатии на которую на экран выводятся изображение и физические параметры стента, использованного в данной лабораторной работе.

8. Нажатие левой клавиши мыши на диаграмме приводит к увеличению масштаба по оси деформации в 2 раза. Нажатие правой клавиши мыши на диаграмме приводит к уменьшению масштаба по оси деформации в два раза.

Раздел I. РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ

Лабораторная работа 1. РАСТЯЖЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА С ПОСТРОЕНИЕМ ДИАГРАММЫ

Цель работы: получение диаграмм растяжения стальных образцов, изучение механических свойств и получение механических характеристик стали по диаграммам растяжения. Рекомендуется провести испытание двух-трех образцов из разных марок стали (малоуглеродистой, жаропрочной и легированной) и сравнить соответствующие диаграммы.

Испытания проводятся с помощью разрывной машины Р-50 с максимальным усилием 490 кН (50 тс), вызывающей растяжение образца увеличением расстояния между захватами машины. Машина снабжена самописцем – устройством, которое автоматически вычерчивает диаграмму растяжения, представляющую собой зависимость между увеличением нагрузки и удлинением образца. Стандартный образец для испытания на растяжение принимается цилиндрическим с расчетной дли-

ной $L = 10D$ (длинный образец) или $L = 5D$ (короткий образец). В данном случае используется длинный образец, у которого длина цилиндрической части больше расчетной длины и равна $L + D$. Концы образца изготовлены большего диаметра, чтобы предохранить образец от разрушения в зажимах машины, где возникает сложное напряженное состояние.

Последовательность выполнения работы

1. Управление движением траверсы разрывной машины без образца

1.1. Нажав однократно на клавишу «Голубая стрелка вверх» на панели инструментов, с помощью электромотора перемещаем траверсу вверх. Для остановки траверсы следует нажать на *красную* клавишу.

1.2. Нажав однократно на клавишу «Голубая стрелка вниз» на панели инструментов, с помощью электромотора перемещаем траверсу вниз. Для остановки нажимаем на *красную* клавишу.

Работа электромотора сопровождается соответствующим звуком.

1.3. Для автоматической установки траверсы в исходное положение нужно в диалоговом окне **Настройка**, которое открывается нажатием на кнопку **I**, установить галочку.

2. Установка образца

2.1. Открывается диалоговое окно **Настройка**. В этом окне можно изменять следующие характеристики:

2.1.1. диаметр образца d ;

2.1.2. рабочую длину образца L .

По умолчанию $L = 0,2$ м, $d = 0,02$ м;

2.1.3. Скорость выполнения испытания (нагружения образца), на которую влияют следующие параметры:

2.1.3.1. Скорость деформирования образца (0,001-0,02 м/мин) – параметр, определяющий скорость изменения изображения на экране.

2.1.3.2. Количество точек (2–20 шт.) графика в наиболее узкой, имеющей ненулевую ширину, зоне деформации – определяет четкость прорисовки диаграммы.

2.1.3.3. Количество точек графика для сохранения в файле результатов испытания и для вывода на печать (10–10000).

2.1.3.4. Файл настройки по умолчанию. Эта опция описана в разделе меню «Помощь».

2.2. Выбор материала образца из базы данных. На панели инструментов нажимаем на кнопку с изображением образца серого цвета. Подробности в разделе меню «Помощь» – «Управление стендом» – «Выбрать материал образца».

ВНИМАНИЕ! Материалы образцов для испытаний в базе данных подразделены на классы и группы. Группа, в которой есть рабочие данные о выбираемом материале, отмечена знаком «+». По ходу выполнения лабораторной работы материал образца для проведения испытаний следует выбирать только из отмеченных знаком «+» групп.

2.3. Установка образца в захватах разрывной машины. На панели инструментов нажимаем на кнопку с изображением образца красного цвета. При этом в захватах появляется образец серого цвета – можно начинать испытания.

3. Режим испытания на растяжение

Рекомендуется проводить эксперимент в два этапа.

3.1. Деформирование образца в пределах упругого участка диаграммы. Открывается диалоговое окно **Настройка** (см. п. 2.1) и устанавливаются следующие показатели:

- а) скорость деформирования образца – 0,001 м/мин (см. п. 2.1.3.1);
- б) количество точек графика – 20 шт. (см. п. 2.1.3.2).

На панели инструментов нажимаем на кнопку «Запустить гидронасос» и курсор сразу же следует установить в готовность «Остановить гидронасос» (т. е. поставить над этой кнопкой панели инструментов).

После нажатия кнопки «Остановить гидронасос» деформирование останавливается на упругом участке диаграммы и можно разгрузить образец до исчезновения напряжений, нажав на панели инструментов кнопку «Разгрузка» – «Черная стрелка вниз». При этом демонстрируется свойство упругости материала образца.

3.2. Деформирование образца в упругопластической зоне диаграммы. Открывается диалоговое окно **Настройка** (см. п. 2.1) и устанавливаются:

- а) скорость деформирования образца – 0,005 м/мин (см. п. 2.1.3.1);

б) количество точек графика – 3 шт. (см. п. 2.1.3.2).

При этом в любой момент можно разгрузить образец и увидеть остаточную деформацию.

Затем снова нагружается испытуемый образец – диаграмма растяжения пойдет по линии разгрузки вверх (гистерезисная петля при этом на экране не показывается). Здесь следует напомнить студентам о явлении наклепа.

Далее испытуемый образец доводится до разрушения. Следует отметить, что место разрушения по оси стержня заранее неизвестно.

Рекомендуется начинать испытания следующего образца, закрыв файл соответствующей лабораторной работы и войдя в программу вновь.

4. Запись результатов испытания на растяжение

Снять с диаграммы координаты характерных точек. Для этого нужно подвести указатель мыши на экране к соответствующей точке диаграммы и записать на бланк рабочего журнала значение силы и абсолютной деформации, которые фиксируются рядом с диаграммой.

Имеется возможность изменить масштаб изображения диаграммы с целью более детального осмотра определенных участков (например, площадки текучести). Для этого нужно установить указатель мыши в пределах диаграммы и нажать на левую клавишу. При этом диаграмма растягивается по оси абсцисс, и можно более точно определить координаты точек предела пропорциональности и конца площадки текучести.

5. Обработка результатов испытаний

Построить диаграммы растяжения образцов в осях «*напряжение – относительная деформация*» и определить опасные напряжения.

6. Последовательный пример выполнения

После появления окна лабораторной работы нажимаем кнопку **Insert** на клавиатуре, появляется окно выбора материала для испытания, выбираем вкладку «Стали», далее «Сталь конструкционная повышенной обрабатываемости» – «Ст3» и нажимаем кнопку **Выбрать**. Образец в установке сменит цвет с красного на серый. Для запуска установки

нажимаем **Enter** и наблюдаем за разрушением образца с параллельным построением диаграммы растяжения. После разрушения образца оста- навливаем установку нажатием клавиши **Space**. Далее необходимо за- писать данные характерных точек диаграммы растяжения. Всего необ- ходимо записать 8 значений: 4 значения силы и соответствующие силам линейные деформации образца. Для этого воспользуемся мышью: под- водим курсор к характерным точкам, как показано на рисунке 1, для увеличения масштаба используем левую кнопку мыши, для уменьше- ния – правую. Каждая точка диаграммы характеризует свою область: упругая деформация, текучесть, упрочнение и разрыв. Значение $F_{\text{пл}}$ снимается на стыке областей упругой деформации и текучести, F_{T} – текучести и упрочнения, $F_{\text{вр}}$ – упрочнения и разрыва, $F_{\text{р}}$ – конечная точка графика. При наведении курсора на точку диаграммы, в окне результа- тов (нижняя правая часть экрана) показываются, соответствующие этой точке, значения силы F (P) и линейной деформации ΔL (ΔL).

После получения данных с диаграммы растяжения образца необхо- димо обработать данные, заполнить соответствующие таблицы значе- ний в журнале лабораторных работ и построить две диаграммы в мас- штабе.

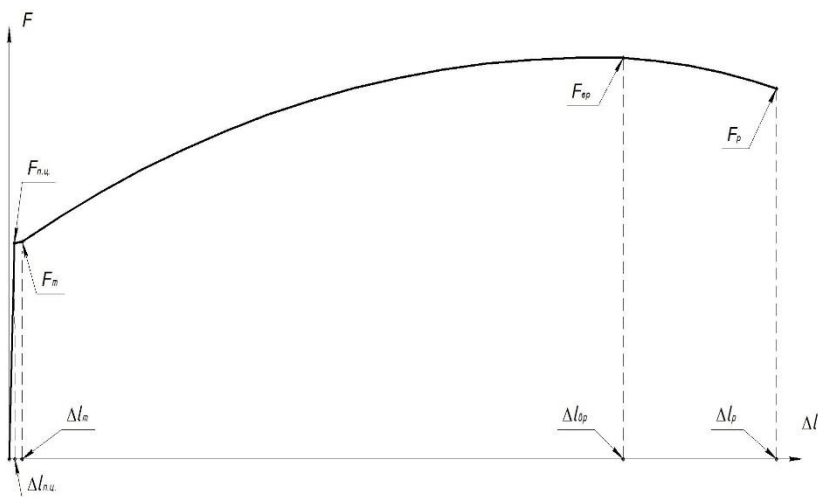


Рис. 1. Диаграмма растяжения стального образца

Контрольные вопросы

1. Какие механические свойства материалов можно определить по диаграмме растяжения?
2. На какой испытательной машине выполнялась работа?
3. Что называется пределом текучести, прочности, упругости, пропорциональности?
4. Сколько участков обычно выделяют на диаграмме растяжения пластичной стали?
5. Для какого участка диаграммы справедлив закон Гука?

Лабораторная работа 2. СЖАТИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА С ПОСТРОЕНИЕМ ДИАГРАММЫ

Явление простого (равномерного) сжатия можно получить только у сравнительно коротких образцов; в случае длинных стержней одновременно со сжатием может возникнуть другое явление – так называемый продольный изгиб, который легко можно наблюдать, если попытаться сжать тонкую линейку в продольном направлении.

Оказывается, что явление чистого сжатия происходит в образце, длина которого не превышает пятикратной величины его меньшего поперечного размера. С другой стороны, так как при сжатии происходит увеличение поперечных размеров тела, то при очень малой высоте образца большое влияние на результат опыта оказывает трение, развивающееся по поверхностям давления пресса. Для того чтобы правильно судить о качестве различных материалов, существуют правила выполнения испытаний и установлены стандартные размеры образцов (см. табл. 1).

Цель работы: исследование свойств основных конструкционных материалов – стали и чугуна при сжатии.

Характер разрушения при сжатии образцов из хрупких и пластичных конструкционных материалов различен.

Таблица 1. Нормальные размеры образцов для испытания на сжатие

Наименование материала	Размеры
Сталь (цилиндр)	$h=d=2 \text{ см}$
Чугун (цилиндр)	$h=d=2 \text{ см}$
Естественные камни	$7 \times 7 \times 7 \text{ см}^3$
Цементные камни (раствор)	$7 \times 7 \times 7 \text{ см}^3$
Бетон (куб)	$20 \times 20 \times 20 - 30 \times 30 \times 30 \text{ см}^3$
Кирпич (кирпич, распиленный пополам)	$12 \times 12 \text{ см}^2$

Диаграмма чугуна вначале прямолинейная. На этом участке диаграммы форма и размеры образца изменяются незначительно. При приближении к максимальной нагрузке диаграмма становится более пологой и образец принимает слегка бочкообразную форму. Когда нагрузка достигает наибольшего значения, на поверхности образца появляются трещины под углом, близким к 45° к его продольной оси – наступает разрушение, которое происходит в основном от сдвигов материала образца по площадкам с наибольшими касательными напряжениями. Большинство хрупких материалов (бетон, камень) разрушается при сжатии так же, как чугун, и имеет подобную диаграмму.

Пластичный материал, например низкоуглеродистая сталь, постепенно сжимается в прессе все нарастающей нагрузкой до тех пор, пока не будет приостановлен опыт; образец при этом при отсутствии внешних повреждений может быть спрессован в весьма тонкую пластинку. Условимся прекращать испытания образцов из пластичных конструкционных материалов на центральное сжатие при нагрузках, соответствующих уменьшению высоты образца на одну треть по сравнению с первоначальной высотой.

Первоначальный участок диаграммы сжатия стали – прямолинейный с тем же углом наклона, что и при растяжении. Это свидетельствует о том, что модуль упругости у стали при растяжении и сжатии можно принимать одинаковым. Значения предела пропорциональности и предела текучести стали при растяжении и сжатии практически одинаковы.

Последовательность выполнения работы

1. Управление движением верхнего стола прессы

Управление осуществляется так же, как при испытаниях на растяжение.

2. Установка образца

2.1. Открывается диалоговое окно **Настройка**. Кроме настроек, описанных в пунктах 2.1.1 – 2.1.3, при растяжении, в случае сжатия нужно еще выбрать тип деформации из нескольких вариантов:

- пластический;
- хрупкий;
- дерево вдоль волокон;
- дерево поперек волокон;
- камень.

2.2. Выбор материала образца из базы данных. Аналогично с лабораторной работой по испытанию образцов на растяжение.

2.3. Установка образца между нижним и верхним столами прессы выполняется аналогично установке при проведении испытаний на растяжение – появляется образец в виде цилиндра в увеличенном виде.

3. Режим испытания образца на сжатие

В диалоговом окне панели инструментов **Настройка** по умолчанию устанавливаются размеры образцов в зависимости от выбора строки «тип деформации». При желании их можно изменить.

Но обязательно нужно установить следующие параметры:

Для стали:

- а) скорость деформирования образца – 0,002 м/мин (см. п. 2.1.3.1);
- б) количество точек графика – 3 шт. (см. п. 2.1.3.2);

Для чугуна:

Рекомендуется начинать испытания следующего образца, закрыв файл соответствующей лабораторной работы и войдя в программу вновь.

- а) скорость деформирования образца – 0,003 м/мин (см. п. 2.1.3.1);
- б) количество точек графика – 2 шт. (см. п. 2.1.3.2).

4. Запись результатов испытаний образцов на сжатие

Снять с диаграммы сжатия координаты характерных точек. Для этого нужно подвести указатель мыши на экране к соответствующей точке диаграммы и записать на бланк рабочего журнала для выполнения виртуальных лабораторных работ значение силы и абсолютной деформации, которые фиксируются рядом с диаграммой. При необходимости можно с помощью подменю «ЭКСПЕРИМЕНТ» вывести на принтер диаграмму, построенную самописцем, и бланк обработки полученных данных.

5. Обработка результатов испытаний образцов

Построить диаграммы сжатия в координатных осях «*напряжение – относительная деформация*» на бланке рабочего журнала для выполнения виртуальных лабораторных работ.

6. Последовательный пример выполнения

Ход выполнения работы сходен с выполнением лабораторной работы № 1. После появления окна лабораторной работы нажимаем кнопку **Insert** на клавиатуре, появляется окно выбора материала для испытания, выбираем вкладку «Стали», далее «конструкционная углеродистая качественная» – «Сталь20» и нажимаем кнопку **Выбрать**. Образец в установке сменит цвет с красного на серый. Для запуска установки нажимаем на кнопку **Enter** и наблюдаем за разрушением образца с параллельным построением диаграммы сжатия. После разрушения образца останавливаем установку нажатием клавиши **Space**. Далее необходимо записать данные характерных точек диаграммы сжатия. Всего необходимо записать 6 значений: 3 значения силы и соответствующие силам линейные деформации образца. Для этого воспользуемся мышкой: подводим курсор к характерным точкам, как в лабораторной работе № 1. Значение $F_{\text{пл}}$ снимается на стыке областей упругой деформации и текучести, F_{T} – текучести и упрочнения, F_{p} – конечная точка графика. При наведении курсора на точку диаграммы, в окне результатов (нижняя правая часть экрана) показываются, соответствующие этой точке, значения силы $F(P)$ и линейной деформации ΔL (ΔL).

После получения данных с диаграммы сжатия образца необходимо обработать данные, заполнить соответствующие таблицы значений в журнале лабораторных работ и построить две диаграммы в масштабе.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под условным пределом текучести хрупкопластичного материала на сжатие?
2. Что понимается под условным пределом прочности пластичного материала на сжатие?
3. Какие материалы относятся к анизотропным и изотропным?
4. Охарактеризуйте особенности деформации сжатия пластичных и хрупких материалов.
5. Дайте определение абсолютной и относительной поперечной деформации.
6. Дайте определение абсолютной и относительной продольной деформации.
7. На какой лабораторной установке проводится работа?

Лабораторная работа 3. ИСПЫТАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ ОБРАЗЦОВ НА СЖАТИЕ

Цель работы: исследование свойств дерева при сжатии.

Форма и параметры диаграммы сжатия при проведении испытаний деревянных образцов существенно зависят от расположения продольных волокон к направлению сжатия. Это характерно для анизотропных материалов.

При сжатии вдоль волокон на первоначальном участке древесина работает упруго с прямолинейной диаграммой. Разрушение образца происходит в результате потери местной устойчивости стенок ряда волокон древесины, проявляющейся в образовании характерной складки.

При сжатии образца поперек волокон до небольшой нагрузки, соответствующей пределу пропорциональности, между нагрузкой и деформацией существует линейная зависимость. Затем деформации быстро увеличиваются, а нагрузка растет незначительно. В результате образец спрессовывается – уплотняется. Разрушающая нагрузка определяется условно – аналогично испытанию образцов из пластичных конструкционных материалов на центральное сжатие, т.е. при нагрузках, соответствующих уменьшению высоты образца на одну треть (на 30 %) по сравнению с первоначальной высотой.

Сопротивление деревянных образцов (предел прочности) сжатию вдоль волокон обычно в 8...10 раз больше предела прочности на сжатие образцов из древесины поперек волокон.

Последовательность выполнения работы

1. Управление движением верхнего стола пресса

Выполняется аналогично, как и при проведении испытаний металлических образцов на растяжение.

2. Установка образца

2.1. Открывается диалоговое окно **Настройка**.

Кроме настроек, описанных в пунктах 2.1.1 – 2.1.3. при испытаниях металлических образцов на растяжение, в случае выполнения испытаний на сжатие необходимо еще выбрать тип деформации из двух вариантов:

сжатие деревянных образцов вдоль волокон;

сжатие деревянных образцов поперек волокон.

2.2. Выбор материала образцов из базы данных. Выполняется аналогично с лабораторной работой по испытанию металлических образцов на растяжение.

2.3. Установка образца между нижним и верхним столами пресса.

Выполняется аналогично с проведением испытаний образцов на растяжение – на экране монитора появляется деревянный образец в виде параллелепипеда в увеличенном виде.

3. Режим испытания образца на сжатие

В окне панели инструментов **Настройка** по умолчанию устанавливаются размеры образцов в зависимости от строки «тип деформации». При необходимости их можно изменить.

Но при этом обязательно нужно установить следующие параметры: для дерева вдоль волокон:

а) скорость деформирования образца – 0,001 м/мин (см. п. 2.1.3.1);

б) количество точек графика – 7 шт. (см. п. 2.1.3.2).

для дерева поперек волокон:

а) скорость деформирования образца – 0,001 м/мин (см. п. 2.1.3.1);

б) количество точек графика – 2 (см. п. 2.1.3.2).

4. Запись результатов испытаний образцов на сжатие

Снять с диаграммы координаты характерных точек. Для этого нужно подвести указатель мыши на экране монитора к соответствующей точке и записать на бланк рабочего журнала для выполнения виртуальных лабораторных работ значение силы и абсолютной деформации, которые фиксируются рядом с диаграммой. При необходимости можно с помощью подменю «ЭКСПЕРИМЕНТ» вывести на принтер диаграмму, построенную самописцем и бланк обработки полученных данных.

5. Обработка результатов испытаний образцов

Построить диаграмму в осях «напряжение – относительная деформация» на бланке рабочего журнала для выполнения виртуальных лабораторных работ.

6. Последовательный пример выполнения

Ход выполнения работы сходен с выполнением лабораторной работы № 1. После появления окна лабораторной работы заходим во вкладку «Настройки» – «Настройки эксперимента», далее выбираем необходимый тип деформации, так как нам нужно провести опыт для двух случаев – «Дерево вдоль волокон» и «Дерево поперек волокон», то после выполнения опыта с одним типом следует нажать на кнопку «Новый эксперимент» на панели инструментов (белый лист) и провести эксперимент повторно для второго типа деформации. После выбора типа деформации нажимаем кнопку **Insert** на клавиатуре, появляется окно выбора материала для испытания, выбираем вкладку «Дерево», далее в зависимости от выбранного типа деформации «вдоль/поперек волокон» – «Ель» и нажимаем на кнопку **Выбрать**. На экране появится образец деревянного кубика. Для запуска установки нажимаем **Enter** и наблюдаем за разрушением образца с параллельным построением диаграммы сжатия. После разрушения образца останавливаем установку нажатием клавиши **Space**. Далее необходимо записать данные характерных точек

диаграммы сжатия. Всего необходимо записать 4 значения для каждого из типов деформации: 2 значения силы и соответствующие силам линейные деформации образца. Значение $F_{\text{пл}}$ снимается на стыке областей текучести и упрочнения, F_p – конечная точка графика. При наведении курсора на точку диаграммы в окне результатов (нижняя правая часть экрана) показываются соответствующие этой точке значения силы F (P) и линейной деформации ΔL (ΔL).

После получения данных с диаграммы сжатия образца необходимо обработать данные, заполнить соответствующие таблицы значений в журнале лабораторных работ и построить четыре диаграммы в масштабе.

Контрольные вопросы

1. Как зависят прочностные характеристики деревянного образца на сжатие от направления продольных волокон?
2. Зависят ли деформационные характеристики деревянного образца на сжатие от направления продольных волокон?
3. К каким материалам относятся деревянные образцы – к анизотропным или изотропным?
4. По какой формуле определяется модуль упругости древесины?
5. Как определяется условный предел прочности древесины при сжатии поперек волокон?

Лабораторная работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА

Цель работы: экспериментальное определение величины модуля упругости и коэффициента Пуассона стали при растяжении.

Испытания проводятся с помощью разрывной машины Р-5 с максимальным усилием 49 кН (5 тс), вызывающей растяжение образца увеличением расстояния между захватами машины. Испытывается стальная полоса с проушинами для захватов в виде серег. Расчетный участок, подвергаемый центральному растяжению, имеет длину 0,23 м. Поперечное сечение полосы представлено прямоугольником со сторонами 0,006 x 0,03 м. На двух противоположных широких гранях полосы

наклеивают по паре тензодатчиков с базой $S = 0,02$ м. С помощью тензодатчиков можно экспериментально определить абсолютную деформацию участка S материала.

С помощью специальных приборов – *тензометров* – определяется абсолютное удлинение отрезка ΔS и вычисляется средняя на длине базы относительная деформация $\varepsilon = \Delta S / S$. Чем меньше база, тем ближе средняя величина относительной деформации к истинной. В данной работе применяются электрические тензометры – *датчики омического сопротивления*, представляющие собой константановую проволоку (сплав меди с никелем) диаметром 0,02 мм, наклеенную на бумагу в виде петель с двумя выводами, служащими для подключения к измерительной схеме. Сверху наклеивается защитная бумага. Датчики приклеиваются к балке карбинольным клеем. Сопротивление такого датчика составляет 150 Ом. Применение проволочных датчиков для измерения деформаций основано на полученной из опыта зависимости между отношением приращения сопротивления ΔR к омическому сопротивлению R и относительной деформацией. Для датчика с константановой проволокой эта зависимость имеет вид:

$$\frac{\Delta R}{R} = 2,1\varepsilon$$

При деформации материала под действием приложенной нагрузки изменяется длина витков проволоки и, следовательно, ее диаметр, что, в свою очередь, ведет к изменению омического сопротивления.

Из этой формулы ясно, что для измерения малых сопротивлений ΔR требуются схемы высокой чувствительности, в данном случае – мостик сопротивлений. Ток в ветви гальванометра появляется только тогда, когда изменяется сопротивление в рабочем датчике.

Величины абсолютных деформаций баз тензодатчиков, увеличенные в 10^5 раз, показываются в окне цифрового индикатора деформаций. Размерность в метрах. Имеется возможность последовательного просмотра показаний каждого тензодатчика.

Нагрузка F для полосы создается по следующей схеме: поднимается давление масла в гидросистеме, которое контролируется манометром; давление запускает гидромотор, который через редуктор вращает винт, обеспечивающий поступательное движение захвата.

Усилие на приводном винте машины F определяется по формуле

$$F = 2\pi \cdot \frac{p \cdot q \cdot u}{R \cdot \operatorname{tg}\alpha}$$

где p – давление, Па;

q – объемная постоянная гидромотора, $\frac{\text{м}^3}{\text{рад}}$;

u – передаточное число редуктора;

R – радиус винта, м;

α – угол подъема винтовой линии винта.

Для значений по умолчанию при $P = 1$ МПа $F = 5,7$ кН.

Имеется возможность в режиме **Настройка** установить контроль непосредственно за величиной силы – в этом случае расчет силы F выполняется по умолчанию.

В процессе выполнения лабораторной работы определяются линейные деформации базы тензодатчиков вдоль и поперек оси полосы (стержня).

Последовательность выполнения работы

1. Нагружение и запись экспериментальных данных

1. Нажимаем на кнопку «Запустить гидронасос» – в динамиках включается характерный звук.

2. Курсор устанавливается на кнопку «голубая стрелка вниз» (кнопка «↓» на клавиатуре) – включается режим «Нагрузить».

3. Курсор перемещается на красную кнопку «Остановить насос» (**Space** на клавиатуре), на которую нужно нажать, когда на динамометре стрелка достигнет отметки 4 кН (2-ой малый штрих на динамометре).

4. Последовательное нажатие на кнопку «№» дает возможность записи отсчетов из окна индикатора в журнал испытаний показаний тензодатчиков (T_1, T_2, T_3, T_4), увеличенных в 10^5 раз. Для того чтобы рассчитать ΔT_i нужно отнять от T_i при большей нагрузке, значение T_i при меньшей нагрузке (например: $\Delta T_1^{4,8\text{кН}} = T_1^{8\text{кН}} - T_1^{4\text{кН}}$). Таблица приводится в рабочей тетради для выполнения виртуальных лабораторных работ.

5. Проводим опыт еще 4 раза, последовательно выполняя пункты 2, 3 и 4, доводя силу F до 8, 12, 16 и 20 кН.

6. Обрабатываем результаты испытаний.

2. Обработка результатов испытаний образца

1. В таблице рабочего журнала вычисляются разности показаний индикатора по каждому тензометру на каждом шаге нагрузки и вычисляются четыре средних показания для интервала изменения нагрузки 4 кН: $\Delta T_1^{cp}, \Delta T_2^{cp}, \Delta T_3^{cp}, \Delta T_4^{cp}$.

2. Вычисляются средние абсолютные деформации базы вдоль и поперек оси стержня-полосы по формулам:

$$\Delta S_{\text{прод}} = \frac{\Delta T_1^{cp} + \Delta T_3^{cp}}{2} \cdot 10^{-5}; \quad \Delta S_{\text{попер}} = \frac{\Delta T_2^{cp} + \Delta T_4^{cp}}{2} \cdot 10^{-5};$$

3. Вычисляются продольная и поперечная относительные деформации, делением на базу $S = 0,02$ м:

$$\varepsilon_{\text{прод}} = \frac{\Delta S_{\text{прод}}}{0,02}; \quad \varepsilon_{\text{попер}} = \frac{\Delta S_{\text{попер}}}{0,02};$$

4. Вычисляется коэффициент Пуассона

$$\mu = \frac{|\varepsilon_{\text{попер}}|}{\varepsilon_{\text{прод}}}$$

5. Вычисляется площадь поперечного сечения стержня-полосы

$$A = b \cdot h.$$

6. Вычисляется нормальное напряжение в точках поперечного сечения

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

7. Вычисляется модуль упругости

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{\text{прод}}}$$

Контрольные вопросы

1. На какой лабораторной установке проводится работа?
2. На каком участке диаграммы можно определить модуль упругости?
3. Какие приборы используются при определении модуля упругости?

4. Почему при определении модуля упругости нагрузка не должна превышать определенной величины?
5. По какой формуле определяется модуль упругости?
6. Что такое коэффициент Пуассона? Назовите пределы изменения его значений.

Раздел II. КРУЧЕНИЕ ВАЛОВ

Лабораторная работа 5. ИСПЫТАНИЕ ВАЛОВ НА КРУЧЕНИЕ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ СДВИГЕ

Цель работы: испытание валов на кручение с определением модуля упругости при сдвиге.

Для испытания стержня круглого сечения применяют установку, показанную на фотографии (при нажатии кнопки **I** на панели инструментов). Вал жестко закреплен одним торцом от всех перемещений, а на другом конце снабжен подшипником, не препятствующим повороту опорного сечения относительно продольной оси. При этом перемещение в направлении, перпендикулярном оси (изгибные), исключены постановкой опоры под подшипником. В двух сечениях, отстоящих друг от друга на расстоянии ℓ , равном одной трети длины оси вала, к нему приварены две рамки, между которыми на расстоянии R от оси устанавливается индикатор часового типа. К подвижному торцу приварен рычаг с нагрузочной тарелкой. При приложении нагрузки к рычагу создается момент, который вызывает кручение вала. При этом сечения вала поворачиваются относительно продольной оси на величину, пропорциональную расстоянию от этого сечения до заделки. Поэтому концы рамок, прикрепленные к разным сечениям, получают разные перемещения вдоль оси индикатора. Величину этой разности Δh можно вычислить с помощью отсчета по шкале индикатора T :

$$\Delta h = T \cdot k,$$

где $k = 0,00001$ м – цена деления шкалы индикатора.

Учитывая малость всех перемещений по сравнению с длиной вала, можно считать, что Δh направлена перпендикулярно радиусу R – расстоянию от оси вала до оси индикатора. Это дает возможность выразить взаимный угол поворота двух сечений относительно продольной оси через величину T , полученную экспериментально,

$$\phi \approx \operatorname{tg}\phi = \Delta h/R = T \cdot k/R.$$

Таким образом, при нагружении тарелки конкретным грузом F создается крутящий момент $M = F \cdot L$, который вызывает поворот ϕ одного сечения по отношению к другому, находящемуся на расстоянии ℓ от первого.

Результаты этого эксперимента можно использовать для определения величины модуля упругости материала вала при сдвиге G . Теоретически величина угла закручивания участка вала длиной ℓ равна

$$\phi = \frac{M \cdot \ell}{G \cdot J_p}.$$

Отсюда

$$G = \frac{M \cdot \ell}{\phi \cdot J_p}$$

Последовательность выполнения работы

1. Выбор материала вала – используя раздел меню «Настройки» - «Настройка эксперимента» – выбрать материал (по умолчанию: сталь).
2. Используя кнопку «НАГРУЗИТЬ» панели инструментов (кнопка «↓» на клавиатуре), положить груз F массой 1 кг (0,01 кН) на нагружаемую тарелку.
3. Снять отсчет h по шкале индикатора и число записать в таблицу рабочего журнала для лабораторных работ.
4. Повторить нагружение еще 4 раза, каждый раз добавляя новый груз и записывая показания h .
5. Последовательно снять грузы, используя кнопку «РАЗГРУЗИТЬ» панели инструментов, и убедиться, что материал при данном нагружении находится в стадии упругости.
6. Обработать полученные экспериментальные данные и вычислить модуль упругости при сдвиге G .

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы лабораторной установки для испытания материалов на кручение.
2. Какие напряжения возникают в испытываемом образце?
3. Что представляют собой эпюры крутящих моментов и как они строятся?
4. В каких элементах конструкций встречается деформация кручения?
5. Почему разрушение испытываемого образца происходит под углом к продольной оси?

Раздел III. ИЗГИБ БАЛОК

Лабораторная работа 6. ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

Цель работы: определение величины нормальных напряжений в пяти точках по высоте сечения двутавровой изгибаемой балки и сравнение экспериментально полученной эпюры напряжений с теоретической; определение величин прогиба середины и угла поворота опорного сечения балки и сравнение их с теоретическими.

Экспериментальное определение напряжений у поверхности тела основано на методе тензометрии. Метод тензометрии состоит в измерении малых деформаций в отдельных точках конструкции и последующем переходе от них к напряжениям с использованием закона Гука. Для замера относительного удлинения на поверхности тела намечается отрезок, длина которого до деформации S называется *базой*. С помощью специальных приборов – *тензометров* – определяется абсолютное удлинение отрезка ΔS и вычисляется средняя на длине базы относительная деформация $\epsilon = \Delta S/S$. Чем меньше база, тем ближе средняя величина относительной деформации к истинной.

В данной работе применяются электрические тензометры – *датчики омического сопротивления*, представляющие собой константановую проволоку (сплав меди с никелем) диаметром 0,02 мм, наклеенную на бумагу в виде петель с двумя выводами, служащими для подключения к измерительной схеме. Сверху наклеивается защитная бумага. Датчики приклеиваются к балке карбинольным клеем. База датчика принимается

$S = 20$ мм. Сопротивление такого датчика составляет 150 Ом. Применение проволочных датчиков к измерению деформаций основано на полученной из опыта зависимости между отношением приращения сопротивления ΔR к омическому сопротивлению R и относительной деформацией. Для датчика с константановой проволокой эта зависимость имеет вид:

$$\frac{\Delta R}{R} = 2,1\varepsilon$$

Из этой формулы ясно, что для измерения малых сопротивлений ΔR требуются схемы высокой чувствительности, в данном случае – мостик сопротивлений. Ток в ветви гальванометра появляется только, когда изменяется сопротивление в рабочем датчике.

При чистом изгибе балок у ненагруженных поверхностей имеет место линейное напряженное состояние. При этом напряжения связаны с относительными деформациями законом Гука при растяжении-сжатии

$$\sigma = E \cdot \varepsilon.$$

Таким образом, зная экспериментально установленную величину относительной деформации, можно вычислить напряжение по тому же направлению.

При поперечном изгибе на самом деле имеет место плоское напряженное состояние, но при выводе формулы для нормального напряжения поперечным обжатием пренебрегают и считают напряженное состояние линейным. Это обстоятельство станет причиной отличия теоретической и экспериментальной эпюр напряжений.

Тензодатчики наклеены в пяти точках поперечного сечения на разной высоте от нейтральной оси:

$$y_1 = h/2; y_2 = h/4; y_3 = 0; y_4 = -h/4; y_5 = -h/2.$$

Величины абсолютных деформаций баз тензодатчиков, увеличенные в 10^5 раз, показываются в окне цифрового индикатора деформаций. Размерность в метрах. Имеется возможность последовательного просмотра показаний каждого тензодатчика.

Под серединой балки установлен индикатор часового типа № 1 для измерения прогиба, а под консолью на расстоянии 0,1 м от оси опоры – индикатор № 2 для определения угла поворота опорного сечения.

Нагружение производится с помощью гидравлического домкрата и контролируется манометром, показывающим давление масла в гидросистеме.

Последовательность выполнения работы

1. Нужные настройки эксперимента выставлены по умолчанию.
2. Запустить гидронасос, нажав на кнопку **Enter**.
3. Нажатием клавиши «↓» на клавиатуре довести стрелку динамометра до отметки 20 кН и остановить насос нажатием клавиши **Space**.
4. Щелкая мышью по кнопке «№» на панели инструментов (для переключения каналов), последовательно соединить электрический мост с клеммами соответствующих тензодатчиков № 1 – 5 и записать числовые значения в окне измерителя деформаций в графы $T_1 \div T_5$ таблицы на бланке журнала для лабораторных работ.
5. Снять отсчеты по шкалам индикаторов часового типа № 1, 2 и записать их в графы T_{y1}, T_{y2} той же таблицы. Значение для T_{y1} снимается по правому желтому индикатору часового типа (U_2), а для T_{y2} – по левому желтому индикатору (U_1).
6. Провести опыт еще 3 раза, последовательно увеличивая нагрузку по шкале динамометра до 40, 60 и 80 кН, записывая значения из пунктов 4, 5.
7. Обработать полученные экспериментальные данные, построить эпюры нормальных напряжений по высоте сечения балки по данным опыта и по теории. Сравнить прогиб в середине пролета и угол поворота опорного сечения по данным опыта и по теории.

Контрольные вопросы

1. Какие внутренние усилия и напряжения возникают в поперечных сечениях стержня при поперечном изгибе?
2. Какие внутренние усилия и напряжения возникают в поперечных сечениях балки при чистом изгибе?
3. Приведите правила знаков при определении внутренних силовых факторов в балке при поперечном изгибе.
4. Как производится разбивка балки на участки?
5. Что представляют собой эпюры внутренних силовых факторов при изгибе?
6. Приведите классификацию балок по длине в зависимости от соотношения действующих в ней нормальных и касательных напряжений.

7. Как связаны между собой выражения внутренних силовых факторов на конкретном участке балки при поперечном изгибе?

8. Назовите особенности расчета балок на прочность из хрупких материалов.

9. Запишите формулы для определения нормальных и касательных напряжений при изгибе.

Раздел IV. УСТОЙЧИВОСТЬ

Лабораторная работа 7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ СЖАТИИ СТЕРЖНЯ БОЛЬШОЙ ГИБКОСТИ

Цель работы: изучение продольного изгиба стержня в пределах упругих деформаций, опытное определение величины критической силы и сравнение ее с теоретическим значением, вычисленным по формуле Эйлера.

Теоретически при центральном сжатии в сечении стержня должны появиться нормальные сжимающие напряжения, равномерно распределенные по площади сечения. Это будет иметь место в идеальном случае: ось стержня идеально прямая, сила приложена точно в центре тяжести сечения и направлена по оси, отсутствуют воздействия, направленные поперек оси стержня.

На практике идеального нагружения достичь невозможно – всегда будут иметь место *малые возмущения*, изгибающие стержень с самого начала. Это могут быть малые отклонения оси от идеальной прямой, воздействие температуры, поперечное воздействие ветра или их сочетания, предусмотреть которые заранее невозможно.

Проектировщик должен быть уверен, что состояние сжатия от малых возмущений резко не изменится – оно будет *устойчиво* к этим возмущениям.

Оказывается, что если сжимающая сила меньше определенного значения, называемого критическим, то малые возмущения приводят к малым отклонениям стержня от прямой. И поэтому если возмущения исчезают, то стержень возвращается в исходное сжатое состояние. Если же возмущения не исчезают, то вызванные ими отклонения несущественны. В этом случае обеспечена *устойчивость центрального сжатия*. Но если сжимающая сила достигнет критического значения, то

действие малых возмущений становится существенно заметным. Стержень при этом получает большие отклонения оси от проектной прямой, т. е. становится сжато-изогнутым. В таком состоянии он не возвращается в исходное состояние после исчезновения малых возмущений. Это явление называют *потерей устойчивости центрального сжатия* или *продольным изгибом*.

Для длинных стержней такое состояние наступает при сжимающих напряжениях, меньших предела пропорциональности, т. е. в упругой стадии. Оно опасно для самого стержня, так как он не был рассчитан на действие дополнительного изгибающего момента, но более всего для *конструкции*, в состав которой он входит. Потеря устойчивости даже одного стержня в сооружении может быть причиной разрушения всей конструкции, поскольку в этот момент стержень внезапно выключается из состава конструкции – исчезает одна необходимая связь.

Сказанное выше определяет важность знания величины критической силы $F_{кр}$.

В курсе «Механика материалов» доказывается, что $F_{кр}$ зависит от величины так называемой гибкости

$$\lambda = \frac{\mu \ell}{i_{min}},$$

где μ – коэффициент, учитывающий условия закрепления торцов сжатого стержня (см. табл. 2);

ℓ – длина стержня (расстояние между опорами);

i_{min} – минимальный радиус инерции поперечного сечения относительно оси, перпендикулярной плоскости, в которой рассматривается возможное выпучивание.

Таблица 2. Коэффициент приведения геометрической длины стержня

μ	Условия закрепления концов стержня
1	Шарниры по концам
2	Жесткое защемление одного при свободном другом
0,7	Жесткое защемление одного и шарнир на другом
0,5	Жесткое защемление по концам

Для стержней большой гибкости, когда $\lambda > \lambda_0$, $F_{кр}$ вычисляется по формуле Эйлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot l)^2},$$

где E – модуль упругости материала;

I – главный центральный момент инерции сечения относительно оси, перпендикулярной плоскости изгиба;

λ_0 – предельная гибкость – величина, зависящая от физических свойств материала

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_{\text{пц}}}},$$

$\sigma_{\text{пц}}$ – предел пропорциональности материала стержня.

Для стержней малой гибкости (когда $\lambda \leq \lambda_0$) критическая сила находится по формуле Ясинского – Тетмайера.

В данной лабораторной работе используются стержни большой гибкости. Увеличивая сжимающую силу, отмечают момент начала заметного выпучивания и фиксируют экспериментальное значение критической силы.

Последовательность выполнения работы

1. После появления окна лабораторной работы необходимо выбрать тип закрепления концов стержня, для этого заходим во вкладку «Настройки» – «Настройки эксперимента», далее выбираем необходимый тип закрепления стержня и нажимаем **ОК**. На доске появится образец с выбранным типом закрепления.

2. Запускаем гидронасос нажатием на **Enter**.

3. Для нагружения воспользуемся клавишей «↓» на клавиатуре и наблюдаем за проведением опыта. Параллельно автоматически строится график нагружения. Записываем значение сжимающей силы $F_{\text{кр}}$.

4. Далее необходимо нажать на панели инструментов на кнопку «РАЗГРУЗИТЬ» (красная лампочка), после этого появиться возможность выбора следующего варианта закрепления. Проводим опыт еще для трех типов закрепления.

5. Также необходимо теоретически определить величину критической силы по формуле Эйлера и сравнить с результатом опыта.

6. В данной версии при достижении критической силы увеличение сжимающей нагрузки на графике прекращается – устанавливается безразличное равновесие. Дополнительное нажатие на кнопку «НАГРУЗИТЬ» приводит к потере устойчивости центрального сжатия.

Контрольные вопросы

1. Объясните процесс потери устойчивости сжатого стержня.
2. Что называется критической силой и критическим напряжением при потере устойчивости?
3. Что называется гибкостью и предельной гибкостью стержня?
4. Что представляет собой коэффициент приведенной длины?
5. Как влияют жесткость EI поперечного сечения и длина стержня на величину критической силы?

Раздел V. УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ

Лабораторная работа 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА

Цель работы: определение с помощью маятникового копра величины ударной вязкости стандартного образца по ГОСТ 9454-60 сечением 10x10 мм и длиной пролета 40 мм, имеющего в середине пролета надрез на глубину 2 мм.

Согласно ГОСТ 9454-60 ударная вязкость рассчитывается по формуле:

$$a = \frac{A}{F};$$

где A – работа, затрачиваемая на излом, кН·м;

F – площадь поперечного сечения в плоскости надреза, см².

Маятник копра поднимается на высоту H и фиксируется. В самой низкой точке траектории движения маятника копра устанавливается образец надрезом в сторону движения. Отпущенный затем маятник при падении ломает образец и взлетает на высоту h , меньшую, чем H .

Таким образом,

$$A = P (H - h),$$

где P – вес маятника, который через заданную массу выражается следующим образом:

$P = m g$. Принимаем $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; m – в килограммах; P – в Ньютонах.

Последовательность выполнения работы

1. После появления окна лабораторной работы необходимо выбрать вид образца, для этого заходим во вкладку «Настройки» – «Настройки эксперимента», далее выбираем требуемый вид образца и нажимаем **ОК**. В данной лабораторной работе опыт проводится для пяти различных видов образца.

2. Нажатием стрелки «↑» поднимаем маятник до упора на высоту H . Это положение фиксируется. На циферблате черная стрелка показывает отсчет, который записывается в журнал наблюдений в графе $T_{\text{макс}}$.

3. Устанавливаем образец нажатием клавиши со схемой образца красного цвета или **Insert** на клавиатуре. Появится образец красного цвета, закрепленный в пазах маятникового копера.

4. Нажатием на кнопку **Стрелка вниз** на панели инструментов или на клавишу «↓» на клавиатуре освобождает маятник. Маятник обрушется на образец и разрушает его.

5. В журнал в графе $T_{\text{мин}}$ записывается цифра, на которую указывает красная стрелка.

6. Последовательно изменяя материал образцов, выполняем пункты 1–5.

7. Обрабатываем полученные экспериментальные данные и определяем ударную вязкость a для различных видов материала. При этом следует иметь в виду, что для экономии места на шкале энергии показывается число десятков делений, что и учтено в таблице обработки данных.

Контрольные вопросы

1. Что такое ударная вязкость?
2. На какой испытательной машине выполнялась работа?
3. Как по внешнему виду излома дать качественную оценку материала образца?
4. Почему на испытываемом образце выполняется надрез?
5. Поясните физический смысл динамического коэффициента.
6. В каких случаях имеет место концентрация напряжений?

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Перечень лабораторных работ и указатель файлов лабораторного комплекса.....	5
Лабораторная работа 1. Растяжение металлического образца с построением диаграммы.....	7
Лабораторная работа 2. Сжатие металлического образца с построением диаграммы.....	12
Лабораторная работа 3. Испытание деревянных образцов на сжатие.....	16
Лабораторная работа 4. Определение модуля упругости и коэффициента Пуассона.....	19
Лабораторная работа 5. Испытание валов на кручение с определением модуля упругости при сдвиге.....	23
Лабораторная работа 6. Испытание стальной балки на поперечный изгиб.....	25
Лабораторная работа 7. Исследование явления потери устойчивости при сжатии стержня большой гибкости.....	28
Лабораторная работа 8. Определение ударной вязкости металлического образца.....	31

Учебное издание

Афанасенко Евгений Викторович
Гуц Илья Дмитриевич

МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

Методические указания по выполнению
виртуальных лабораторных работ на ПК

Редактор Н. А. Матасёва
Технический редактор Н. Л. Якубовская
Корректор

Подписано в печать .07.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .
Тираж 60 экз. Заказ.

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.