

Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор Белорусско-Российского
университета

 Ю. В. Машин

« 31 » 08 / 2021 г.

Регистрационный № УД-130302/6.1.0.22.7

ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Направление подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы
Направленность (профиль) Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины
и оборудование
Квалификация Бакалавр

| | Форма обучения |
|---|----------------|
| | Очная |
| Курс | 3 |
| Семестр | 5 |
| Лекции, часы | 16 |
| Лабораторные занятия, часы | 34 |
| Зачёт, семестр | 5 |
| Контактная работа по учебным занятиям, часы | 50 |
| Самостоятельная работа, часы | 22 |
| Всего часов / зачетных единиц | 72 / 2 |

Кафедра-разработчик программы: Транспортные и технологические машины

Составитель: Ю. С. Романович, ст. преп.

Могилев, 2021

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы (уровень бакалавриата) № 915 от 07.08.2020 г., учебным планом рег. № 230302-3 от 30.08.2021 г.


Рассмотрена и рекомендована к утверждению кафедрой «Транспортные и технологические машины» «30» августа 2021 г., протокол № 1.

Зав. кафедрой  И. В. Лесковец

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом Белорусско-Российского университета

«30» августа 2021 г., протокол № 1.

Зам. председателя
Научно-методического совета

 С. А. Сухоцкий

Рецензент:

Начальник отдела механизации, энергетики
и охраны труда РУП «Могилевавтодор

О. В. Борисенко

Ведущий библиотекарь

 Е. Р. Кощицова

Начальник учебно-методического
отдела

 В. А. Кемова

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1 Цель учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является приобретение студентами знаний в области формирования напряженного состояния, деформации тел под воздействием внешних нагрузок и внутренних напряжений, для решения с помощью аналитических и численных методов задач теории упругости.

1.2 Планируемые результаты изучения дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины студент должен

знать:

- основные уравнения теории упругости и положения механики деформируемого тела;
- основные соотношения плоской задачи теории упругости в декартовой и полярной системах координат;
- приближенные (численные и аналитические) методы решения задач.

уметь:

- решать плоские задачи теории упругости различными методами;
- проводить типовые расчеты и определять вид напряженного состояния тела;
- формировать граничные условия для численных методов решения.

владеть:

- аналитическими методами определения напряжений, деформаций и перемещений в балках, пластинах;
- инструментарием приближенных методов при решении основных задач теории упругости.

1.3 Место учебной дисциплины в системе подготовки студента

Дисциплина относится к блоку 1 «Дисциплины (модули)», (обязательная часть блока 1).

Перечень учебных дисциплин, изучаемых ранее, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины:

- математика;
- сопротивление материалов;
- физика (механика).

Перечень учебных дисциплин, которые будут опираться на данную дисциплину:

- расчеты методом конечных элементов;

Кроме того, знания, полученные при изучении дисциплины на аудиторных лекционных и лабораторных занятиях используются при прохождении конструкторской и преддипломной практики, а также при подготовке выпускной квалификационной работы.

1.4 Требования к освоению учебной дисциплины

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечивать формирование следующих компетенций:

| Код формируемой компетенций | Наименование формируемой компетенции |
|-----------------------------|---|
| ОПК-1 | Способен применять естественнонаучные и общепрофессиональные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности |

2 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Вклад дисциплины в формирование результатов обучения выпускника (компетенций) и достижение обобщенных результатов обучения происходит путём освоения содержания обучения и достижения частных результатов обучения, описанных в данном разделе.

2.1 Содержание учебной дисциплины

| Номер тем | Наименование тем | Содержание | Коды формируемых компетенций |
|-----------|--|---|------------------------------|
| 1 | Введение | История становления теории упругости. Постановка задачи. Теории упругости и пластичности. Допущения. Нагрузки и напряжения. Тензор напряжений | ОПК-1 |
| 2 | Главные напряжения | Инварианты тензора напряжений. Шаровой тензор и девиатор напряжений. Интенсивности касательных и нормальных напряжений. Тензор деформаций. Главные деформации. Шаровой тензор и девиатор деформаций. Инварианты тензора деформаций. Интенсивности деформаций сдвига и продольных деформаций | ОПК-1 |
| 3 | Структура основных уравнений теории упругости | Статические уравнения теории упругости. Частный дифференциал напряжений. Парность касательных напряжений. Статические уравнения в матричной форме. Матрица операторов дифференцирования. Уравнения граничных условий. Матрица направляющих косинусов для нормали элементарной поверхности нагруженного тела. Геометрические уравнения теории упругости. Частные дифференциалы перемещений точки тела. Продольные и сдвиговые деформации. Геометрические уравнения в матричной форме. | ОПК-1 |
| 4 | Точные методы решения задач теории упругости | Прямая и обратная задачи теории упругости. Алгоритм решения обратной задачи. Проблема решения прямой задачи. Метод напряжений. Гармонические операторы Гамильтона и Лапласа. Уравнения Мичелла. Метод перемещений. Параметр Ламе. Полуобратный метод Сен-Венана. Применение метода Сен-Венана для решения задачи о кручении стержня с эллиптическим поперечным сечением. Относительный угол закручивания стержня. Коэффициент жёсткости стержня. Принцип Сен-Венана | ОПК-1 |
| 5 | Вариационная формулировка задачи теории упругости | Энергия деформированного тела. Функционал энергии деформированного тела. Потенциальная энергия деформации тела. Энергия внешних сил. Плотность энергии деформации. Потенциал поверхностной нагрузки. Вариационный принцип Лагранжа. Вариации функционала. Экстремум и экстремали функционала. Метод Ритца для решения задачи теории упругости. Обобщённые перемещения. Базисные функции форм деформации тела. Метод Ритца для нелинейно-деформированного тела. Принцип Кастильяно. Дополнительная энергия деформации тела. Общий вариационный принцип | ОПК-1 |
| 6 | Приближенные методы решения задач теории упругости | Классификация приближенных методов. Методы решения краевой задачи в дифференциальной форме. Прямые методы решения краевой задачи. Связь между развитием ЭВМ и приближёнными | ОПК-1 |

| | | | |
|---|-------------------------------------|--|-------|
| | | методами решения задач теории упругости. Метод конечных разностей. Проблемы практического использования метода конечных разностей для решения задач теории упругости | |
| 7 | Понятие о методе конечных элементов | Реализация метода конечных элементов в современных программных комплексах, обеспечивающих работу конструктора. Примеры программного обеспечения и их классификация. Типы решаемых задач с помощью МКЭ. Методы управления качеством конечно-элементной сетки. Алгоритмы оценки качества конечно-элементной сетки, валидация результатов | ОПК-1 |

2.2 Учебно-методическая карта учебной дисциплины

| № недели | Лекции (наименование тем) | Часы | Лабораторные занятия | Часы | Самостоятельная работа, часы | Форма контроля знаний | Баллы (max) |
|----------|---|------|--|------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Модуль 1 | | | | | | | |
| 1 | 1. Введение | 2 | Л.р. 1 – Основные настройки SolidWorks Simulation | 2 | 1 | ЗЛР | 3 |
| 2 | | | Л.р. 2 – Исследование напряженно-деформированного состояния балки при растяжении | 2 | 1 | ЗЛР | 3 |
| 3 | 2. Главные напряжения | 2 | Л.р. 3 – Закон Гука | 2 | 1 | ЗЛР | 3 |
| 4 | | | Л.р. 4 – Эффект Пуассона. Связь напряжений и деформаций | 2 | 1 | ЗЛР | 3 |
| 5 | 3. Структура основных уравнений теории упругости | 2 | Л.р. 5 – Исследование напряженно-деформированного состояния балки при растяжении с изгибом | 2 | 1 | КР ЗЛР | 4 3 |
| 6 | | | Л.р. 6 – Расчет напряженно-деформированного состояния в точке | 2 | 1 | | |
| 7 | 3. Структура основных уравнений теории упругости | 2 | Л.р. 6 – Расчет напряженно-деформированного состояния в точке | 2 | 1 | ЗЛР | 3 |
| 8 | | | Л.р. 7 – Перемещения в балке при растяжении, растяжении с изгибом | 2 | 1,5 | КР ЗЛР ПКУ | 5 3 30 |
| Модуль 2 | | | | | | | |
| 9 | 4. Точные методы решения задач теории упругости | 2 | Л.р. 8 – Относительные деформации в балке. Связь перемещений и деформаций | 2 | 1,5 | ЗЛР | 3 |
| 10 | | | Л.р. 9 – Принцип Сен-Венана | 2 | 1,5 | ЗЛР | 3 |
| 11 | 5. Вариационная формулировка задачи теории упругости | 2 | Л.р. 10 – Концентрация напряжений | 2 | 1,5 | ЗЛР | 3 |
| 12 | | | Л.р. 11 – Кручение круглого стержня. НДС в цилиндрической системе координат | 2 | 1,5 | ЗЛР | 3 |
| 13 | 6. Приближенные методы решения задач теории упругости | 2 | Л.р. 12 – Чистый изгиб | 2 | 1,5 | ЗЛР | 3 |
| 14 | | | Л.р. 13 – Энергия и работа деформации | 2 | 1,5 | ЗЛР | 3 |
| 15 | 7. Понятие о методе конечных элементов | 2 | Л.р. 14 – Исследование плосконапряженного состояния | 2 | 1,5 | ЗЛР | 3 |
| 16 | | | Л.р. 15 – Исследование плоскодеформированного состояния | 2 | 1,5 | ЗЛР | 3 |
| 17 | | | Л.р. 16 – Решение осесимметричных задач | 2 | 1,5 | КР ЗЛР ПКУ ПА (зачет) | 3 3 30 40 |
| | Итого | 16 | | 34 | 22 | | 100 |

Принятые обозначения:

Текущий контроль –

КР – контрольная работа;

ЗЛР – защита лабораторной работы;

ПКУ – промежуточный контроль успеваемости;

ПА – Промежуточная аттестация.

Итоговая оценка определяется как сумма текущего контроля и промежуточной аттестации и соответствует баллам:

Зачет

| | | |
|--------|---------|------------|
| Оценка | Зачтено | Не зачтено |
| Баллы | 51-100 | 0-50 |

3 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При изучении дисциплины используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студентов. Применение форм и методов проведения занятий при изучении различных тем курса представлено в таблице.

| № п/п | Форма проведения занятия | Вид аудиторных занятий | | | Всего часов |
|-------|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| | | Лекции | Практические занятия | Лабораторные занятия | |
| 1 | Мультимедиа | 1 – 7 | | | 16 |
| 2 | С использованием ЭВМ | | | 1 – 16 | 34 |
| | ИТОГО | 16 | | 34 | 50 |

4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

Используемые оценочные средства по учебной дисциплине представлены в таблице и хранятся на кафедре.

| № п/п | Вид оценочных средств | Количество комплектов |
|-------|-------------------------------------|-----------------------|
| 1 | Вопросы к зачету | 1 |
| 2 | Тестовые (контрольные) задания | 1 |
| 3 | Вопросы к защите лабораторных работ | 1 |

5 МЕТОДИКА И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ

5.1 Уровни сформированности компетенций

| № п/п | Уровни сформированности компетенции | Содержательное описание уровня | Результаты обучения |
|-------|---|---|---|
| | ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности | | |
| | ОПК 1.1 Использует основные законы естественнонаучных дисциплин, правила построения технических схем и чертежей; Знает принципиальные особенности моделирования математических, физических и химических процессов, предназначенные для конкретных технических процессов | | |
| 1 | Пороговый уровень | Понимание основных уравнений теории упругости | Знает принципы составления типовых расчетных схем. Понимает методы расчета напряжений и перемещений в элементах конструкции |

| | | | |
|---|---------------------|--|---|
| 2 | Продвинутый уровень | Понимание основ точных методов решения задач теории упругости | Применяет точные методы для решения прямой и обратной задачи теории упругости |
| 3 | Высокий уровень | Понимание основ функционала энергии деформированного тела. Общие понятия о приближенных методах решения краевой задачи и метода конечных элементов | Оценка результатов решения задачи численными методами. Сопоставление результатов, полученных приближенными методами, с аналитическими |

5.2 Методика оценки знаний, умений и навыков студентов

| Результаты обучения | Оценочные средства |
|--|---|
| ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности | |
| Составление типовых расчетных схем. Расчет напряжений и перемещений в элементах конструкции | Вопросы к защите лабораторных работ Тестовые (контрольные) задания Вопросы к зачету |
| Составление расчетных схем. Решение прямой и обратной задачи теории упругости | Вопросы к защите лабораторных работ Тестовые (контрольные) задания Вопросы к зачету |
| Анализ результатов решения задачи численными методами. Сопоставление результатов, полученных приближенными методами, с аналитическими | Вопросы к защите лабораторных работ Тестовые (контрольные) задания Вопросы к зачету |

5.3 Критерии оценки лабораторных работ

Лабораторные работы оцениваются 3 баллами, из которых 1 балл начисляется за выполнение работы и оформление отчета и 2 балла за устные ответы на контрольные вопросы.

5.4 Критерии оценки контрольных работ

Максимальный балл 3, 4 или 5 студент получает в случае правильных ответов на все поставленные вопросы. Минимальная оценка за выполнение контрольной работы составляет 1 балл.

5.5 Критерии оценки зачета

К зачету допускаются студенты, набравшие в течение семестра 36 и более баллов. Зачетное задание состоит из 5 вопросов (задач). За полный правильный ответ (решенную задачу) студент получает 8 баллов. Минимальное количество баллов, необходимых для получения зачета, составляет 15.

6 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Самостоятельная работа студентов (СРС) направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала, развитие практических умений. СРС включает следующие виды самостоятельной работы студентов:

- средства дистанционного сопровождения образовательного процесса в форме групповой рассылки заданий для самостоятельной работы по тематике лабораторных работ;
- решение контрольных работ;

– разработку расчетных схем, анализ напряжений и перемещений в типовых конструкциях.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов приведен в приложении и хранится на кафедре.

Для СРС рекомендуется использовать источники, приведенные в п. 7.

7 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Основная литература

| № п/п | Библиографическое описание | Гриф | Количество экземпляров |
|-------|---|--|------------------------|
| 1 | Чемодуров, В. Т. Основы теории упругости, пластичности и ползучести: учеб. пособие / В. Т. Чемодуров, С. Г. Ажермачев, К. С. Пшеничная-Ажермачева. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 238 с. | Рекомендовано Межрегиональным учебно-методическим советом профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений | znanium.com |

7.2 Дополнительная литература

| № п/п | Библиографическое описание | Гриф | Количество экземпляров |
|-------|--|--|------------------------|
| 1 | Трушин, С. И. Строительная механика: метод конечных элементов: учеб. пособие / С.И. Трушин. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 305 с. | Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для подготовки бакалавров | znanium.com |
| 2 | Кондратова, Е. В. Сопротивление материалов: учеб. пособие / Е. В. Кондратова. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 185 с. | Рекомендовано экспертным советом ЧВВМУ им. П. С. Нахимова в качестве учебного пособия | znanium.com |

7.3 Перечень ресурсов сети Интернет по изучаемой дисциплине

<https://lektsia.com/9x5766.html>

<https://konstruktortestov.ru/test-20152>

<http://www.kokch.kts.ru/me/m8rus/index.htm>

7.4 Перечень наглядных и других пособий, методических рекомендаций по проведению учебных занятий, а также методических материалов к используемым в образовательном процессе техническим средствам

7.4.1 Методические рекомендации

1 Основы теории упругости. Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов направления подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» очной формы обучения / Составитель Ю. С. Романович. – Могилев: БРУ. – 2020. – 48 с.

7.4.2 Информационные технологии

Презентации в формате PowerPoint:

Тема 1 – Введение.

Тема 2 – Главные напряжения.

Тема 3 – Структура основных уравнений теории упругости.

Тема 4 – Точные методы решения задач теории упругости.

Тема 5 – Вариационная формулировка задачи теории упругости.

Тема 6 – Приближенные методы решения задач теории упругости.

Тема 7 – Понятие о методе конечных элементов.

7.4.3 Перечень программного обеспечения, используемого в образовательном процессе

SolidWorks Simulation (лицензионное)

Apache OpenOffice (свободное)

8 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение дисциплины содержится в паспорте лаборатории «Информатика», рег. номер ПУЛ-4.203-203а/1-20.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

АННОТАЦИЯ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы
Направленность (профиль) Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование
Квалификация Бакалавр

| | Форма обучения |
|---|----------------|
| | Очная |
| Курс | 3 |
| Семестр | 5 |
| Лекции, часы | 16 |
| Лабораторные занятия, часы | 34 |
| Зачёт, семестр | 5 |
| Контактная работа по учебным занятиям, часы | 50 |
| Самостоятельная работа, часы | 22 |
| Всего часов / зачетных единиц | 72 / 2 |

1 Цель учебной дисциплины

Целью учебной дисциплины является приобретение студентами знаний в области формирования напряженного состояния, деформации тел под воздействием внешних нагрузок и внутренних напряжений, для решения с помощью аналитических и численных методов задач теории упругости.

2 Планируемые результаты изучения дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины студент должен

знать:

- основные уравнения теории упругости и положения механики деформируемого тела;
- основные соотношения плоской задачи теории упругости в декартовой и полярной системах координат;
- приближенные (численные и аналитические) методы решения задач.

уметь:

- решать плоские задачи теории упругости различными методами;
- проводить типовые расчеты и определять вид напряженного состояния тела;
- формировать граничные условия для численных методов решения.

владеть:

- аналитическими методами определения напряжений, деформаций и перемещений в балках, пластинах;
- инструментарием приближенных методов при решении основных задач теории упругости.

3 Требования к освоению учебной дисциплины

ОПК-1-Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

4 Образовательные технологии: мультимедиа, с использованием ЭВМ