

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.И. Чуприс

« 25 » 06 2018 г.

Регистрационный № УД- 5527/уч.

Пакет ANSYS

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

1-31 03 02 Механика и математическое моделирование

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 03 02-2013 (30.08.2013) и учебного плана G31-136/уч. (30.05.2013).

СОСТАВИТЕЛЬ:

Громыко Олег Владимирович - доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической и прикладной механики
(протокол № 11 от 13 июня 2018).

Учебно-методической комиссией механико-математического факультета
Белорусского государственного университета (протокол № 8 от 19.06.2018).



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов (САПР, или CAE, Computer-Aided Engineering) и МКЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

В дисциплине по выбору «Пакет Ansys» закладываются основы работы с этой программой, на выбор студента дисциплина может включать различные модули для решения различных задач механики сплошной среды. Рассматриваются необходимые инструменты для создания и редактирования конечно-элементных моделей, решения разных типов задач. Дисциплина позволяет освоить базовые теоретические основы и навыки конечно-элементного анализа с «нуля», а также систематизировать имеющиеся знания и улучшить навыки работы с программой. Особое внимание уделено практическим работам, служащим усвоению и развитию конкретных навыков конечно-элементных расчетов. Практические задания универсальны и подходят для любой сферы деятельности. Прежде всего, дисциплина предназначена для специалистов, занимающихся конструированием в области судостроения, строительства, машиностроения, других специалистов, желающих профессионально проводить расчеты прочности, устойчивости и т.п. задач с помощью метода конечных элементов.

В настоящее время средства вычислительной техники, компьютеры и программные комплексы (пакеты программ) стали неотъемлемой частью работы механика-исследователя, математика и механика-прикладника. Решение практически ни одной реальной прикладной задачи всех разделов механики не представляется возможным без использования средств вычислительной техники.

Проблемы и задачи современных фундаментальных и прикладных исследований, инженерных расчетов, связанных с изучением поведения и состояния сложных механических систем и конструкций, невозможно решать без интенсивного использования компьютерных технологий. Причем, последние охватывают различные аспекты решения задач: от формулировки и постановки модельных схем до непосредственных вычислений, интерпретации и анализа результатов расчетов.

Практически все предприятия, научно-исследовательские и проектные организации, конструкторские бюро, связанные с САПР-технологиями, моделированием процессов, описываемых моделями механики сплошных и дискретных сред, прочностными расчетами, испытаниями на устойчивость, долговечность и т.п. всевозможных механических систем и конструкций (машиностроение, судостроение, авиастроение, строительство зданий и сооружений) имеют или разрабатывают автоматизированные компьютерные системы для обеспечения эффективной работы организации.

С развитием науки и техники узкоспециальные знания довольно быстро устаревают. Для решения возникающих принципиально новых актуальных задач научные работники и инженеры обязательно должны обладать, помимо необходимой способности к доучиванию и переучиванию, хорошей подготовкой в области фундаментальных наук и их компьютерных приложений. Это требует постоянного всестороннего совершенствования вузовского образования. Наиболее перспективный путь лежит именно в повышении значимости общенаучных и прикладных дисциплин в учебных планах подготовки будущих научных работников и инженеров, в совершенствовании преподавания таких фундаментальных дисциплин, как физика, математика и механика, их компьютерных приложений.

Дисциплина по выбору «Пакет Ansys» посвящена обучению студентов компьютерному моделированию инженерных конструкций и физических процессов, решению соответствующих задач на основе современных прикладных систем (пакетов) автоматизированного инженерного анализа (CAE). Его изучение предусматривает также ознакомление с аналитическими и численными методами решения задач механики технических систем, положенными в основу прикладных систем автоматизированного инженерного анализа, обучение методам анализа механики технических систем.

Полученные студентами при изучении дисциплины «Пакет Ansys» знания могут быть использованы при выполнении курсовых работ и проектов, дипломном проектировании и в творческой деятельности, решении практических задач механики сплошной среды (МСС) для нужд машиностроения, приборостроения и других отраслей науки и техники.

Как прикладная дисциплина «Пакет Ansys» является приложением таких дисциплин как сопротивление материалов и основы строительной механики, механика сплошной среды, теоретическая механика. Она также служит средством воспитания у будущих специалистов необходимых творческих навыков к построению математических моделей происходящих в природе и технике процессов, к выработке способностей к научным обобщениям и выводам.

В связи с этим, обучение по специальностям «Механика и математическое моделирование», «Математика (научно-производственная деятельность)» в университете обеспечивает подготовку студентов по предметам, которые можно объединить в такие группы, как «математическая», «механическая» и «компьютерная» компоненты».

Фундаментальные и глубокие знания в области численных методов, используемых для решения различных классов задач механики, представляются необходимыми для студентов механиков. Поэтому учебная дисциплина «Пакет Ansys», связанная с практической реализацией дисциплины «Численные методы механики сплошной среды» является одной из основных для современной подготовки студентов механиков.

Дисциплина «Пакет Ansys» тесно связана с дисциплиной «Механика сплошной среды».

Цель дисциплины «Пакет Ansys»: ознакомление студентов, специализирующихся по кафедре теоретической и прикладной механики, с основными методиками, приемами, пакетами программ для компьютерного моделирования и численного решения задач, возникающих в механике сплошной среды, является также повышение уровня профессиональной компетентности в решении проблем механики в различных сферах инженерной, научно-исследовательской и иной трудовой деятельности.

Дисциплина имеет общенаучную и профессиональную направленность, опирается и использует изученные ранее сведения из дисциплин «Компьютерная механика» и «Математические модели механики деформированного твердого тела и основы механики разрушения».

Общенаучная направленность состоит в том, что студенты знакомятся с современными методами и приемами решения задач сопротивления материалов и строительной механики, МСС.

Выпускник должен обладать следующими общепрофессиональными компетенциями:

- способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;
- способностью находить, анализировать, реализовывать программно и использовать на практике математические алгоритмы, в том числе с применением современных вычислительных систем.

Выпускник должен обладать следующими профессиональными компетенциями: производственно-технологическая деятельность: – способностью использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач.

Содержание дисциплины «Пакет Ansys» охватывает круг вопросов, связанных с изучением основных положений построения узлов и механизмов, методов и техники использования средств автоматизации и систем автоматизированного проектирования (САПР).

Задачей дисциплины «Пакет Ansys» является подготовка высококвалифицированных специалистов, способных ставить и решать задачи из различных областей прочности, жесткости, устойчивости и колебаний элементов конструкций.

Учебно-воспитательный процесс при изучении дисциплины «Пакет Ansys» должен быть организован таким образом, чтобы он давал возможность будущему специалисту:

- сформировать установку на творческую профессиональную деятельность;
- развить профессиональное мышление, которое обеспечило бы будущему специалисту возможность свободно оперировать профессиональными знаниями, видеть проблемы и пути их решения в самостоятельной практической деятельности, выбирать оптимальные пути их решения и методы их осуществления;
- воспитывать в себе активную профессиональную позицию, умение вырабатывать и обосновывать свой подход в решении задач.

Образовательная цель: изучение основных методов, используемых при решении уравнений в частных производных МСС.

Развивающая цель: освоение и апробация приемов компьютерного моделирования и численных методов применительно к исследованиям механических процессов в сплошных средах.

Основные задачи:

- а) сформировать у студентов представление о методах численного решения задач механики сплошной среды;
- б) создавать компьютерные 3D модели механических систем в основных CAD/CAE пакетах ;
- в) уметь сводить прочностной расчет сложной системы к расчету частных узлов или же отдельных деталей;
- г) решать задачи и гидро- и газодинамики, акустики, теплопередачи/теплопрочности;
- д) решать задачи кинематики и динамики сложных механизмов
- е) выработать у студентов навыки расчета напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов;
- ж) сформировать у студентов навыки анализа численных результатов решения задач механики сплошной среды.

В результате изучения дисциплины «Компьютерная механика» обучаемый студент должен:

Знать:

- аналитические и численные методы решения задач механики технических систем, положенные в основу прикладных систем автоматизированного инженерного анализа (CAE);
- основы метода конечных элементов (МКЭ) и особенности программной реализации МКЭ для персональных ЭВМ;

- основные принципы компьютерного моделирования инженерных конструкций и физических процессов и этапы решения соответствующих задач;
- современные прикладные системы автоматизированного инженерного анализа для персональных ЭВМ: ANSYS и Ansys Workbench;
- алгоритмы, методы и принципы генерации компьютерных моделей и порядок решения задач и анализа полученных результатов в пакетах компьютерной механики ANSYS/ Ansys Workbench.

Уметь:

- использовать команды APDL (ANSYS Programming Design Language) для генерации конечно-элементных моделей;
- обрабатывать и анализировать результаты серии вычислительных экспериментов;
- составлять расчетные модели деталей, элементов и узлов машин и механизмов;
- разрабатывать компьютерные модели деталей, узлов и физических процессов;
- использовать пакет прикладных систем автоматизированного инженерного анализа ANSYS для решения задач теории упругости, пластичности, кинематики, динамики и прочности технических систем и анализа физических процессов, происходящих в них;
- выполнять расчеты и анализ напряженно-деформированного состояния, теплопрочностной, гидро- и аэродинамический, вибрационный анализ и др. при различных видах нагрузок.

Владеть:

- методами построения расчетных моделей;
- навыками анализа механических процессов, протекающих в сплошных средах.

Учебная дисциплина «Пакет Ansys» строится таким образом, чтобы обучающийся приобретал следующие **компетенции специалиста**:

Академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Разрабатывать практические рекомендации по использованию научных исследований, планировать и проводить экспериментальные исследования, исследовать патентоспособность и показатели технического уровня работ программного обеспечения информационных систем.
- ПК-9. Осуществлять выбор оптимального варианта проведения научно-исследовательских работ.
- ПК-13. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.
- ПК-16. Готовить доклады, материалы к презентациям.
- ПК-22. Работать с научной, технической и патентной литературой.
- ПК-23. Разрабатывать бизнес-планы создания новых информационных технологий.
- ПК-24. Оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемых технологий.
- ПК-25. Разрабатывать новые информационные технологии на основе математического моделирования и оптимизации.
- ПК-26. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций.
- ПК-27. Реализовывать инновационные проекты в профессиональной деятельности.

Учебная дисциплина «Пакет Ansys» относится к циклу специальных дисциплин (дисциплина по выбору) и предназначена для студентов 3 курса (5 и 6 семестры) очной формы получения образования.

В соответствии с учебным планом специальности на изучение дисциплины отводится 312 часов, в том числе 140 часов аудиторных занятий.

Распределение часов по видам занятий:

	Всего	Аудиторных	Лекции	Лабораторные занятия	УСР	Форма текущей аттестации
5 семестр	132	72	36	32	4	зачет
6 семестр	180	68	18	44	6	экзамен

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение в дисциплину «Пакет ANSYS».

Обзор аналитических и численных методов решения задач механики систем. Обзор современных прикладных систем автоматизированного инженерного анализа (CAE) для персональных ЭВМ. Метод конечных элементов (МКЭ). Вариант метода перемещений. Аппроксимация перемещений в пределах элемента полиномами. Матрица жесткости элемента. Вектор узловых сил для элемента. Построение глобальной матрицы жесткости и вектора узловых сил для конструкции. Матричная теория структурного анализа. Обзор матричных методов структурного анализа. Основные уравнения метода перемещений. Физический смысл матрицы жесткости элемента и ее коэффициентов. Пример матрицы жесткости стержневого элемента. Глобальная матрица жесткости. Закрепление конструкций — движение твердого тела. Обзор процедуры решения методом конечных элементов.

Сравнительный анализ программных комплексов для конечно-элементного анализа механики систем на базе ПЭВМ: ANSYS, ANSYS WorkBench, NASTRAN, Patran, Dytran, LS-Dyna, CreoElements - Pro/Engineer (Pro/Mechanica), CATIA, SolidWorks - COSMOS Works (COSMOS/M), Autodesk Inventor (Simulation), Microstation, Unigraphics, I-DEAS; пакетов кинематического и динамического анализа механизмов Adams, VisualNastran, Working Model и др.

Тема 2. Основы конечно-элементного (КЭ) анализа. Интерфейс Ansys / Ansys Workbench.

Идея метода конечных элементов (МКЭ). Возможности МКЭ. Обзор существующих систем КЭ расчетов. Понятие о напряжениях и деформациях, прочности, расчетных схемах. Графический интерфейс пользователя Ansys / Ansys Workbench. Панели инструментов. Интерактивный и командный режимы работы. Использование системы «Помощь». Препроцессор, процессор решения, постпроцессор анализа результатов. Форматы файлов. Единицы измерения.

Тема 3. Инструменты создания и редактирования геометрии. Импорт готовой геометрии.

Работа в препроцессоре: подготовка модели, основные инструменты. Геометрические примитивы. Двухмерное и трехмерное моделирование. Импорт геометрии. Понятие о параметризации модели.

Тема 4. Выбор типа КЭ. Задание свойств материала. Разбивка модели на КЭ.

Работа в препроцессоре (продолжение): типы КЭ и их особенности, библиотеки КЭ. Задание типа КЭ, задание его вещественных констант. Задание

свойств материалов для основных типов реологии. Изменение заданных параметров. Непосредственная генерация модели. Методы и опции разбивки геометрической модели на КЭ.

Тема 5. Задание граничных условий и нагрузок. Решение статических задач. Просмотр и обработка результатов.

Задание различных типов граничных условий и нагрузок. Уравнения связей. Задание опций процессора решения. Решение простых статических задач. Анализ результатов в постпроцессоре. Файловая структура задачи, использование файлов задачи.

Тема 6. Анализ устойчивости и колебаний.

Понятие о модальном анализе и задачах устойчивости конструкций. Задание опций решателя. Решение простых задач устойчивости и колебаний. Анализ результатов.

Тема 7. Задачи теплопередачи. Акустические расчеты.

Особенности теплового и термо-прочностного анализа конструкций. Теплопроводность, конвекция, излучение тепла. Выбор КЭ, задание специфических свойств материала и граничных условий, настройки решателя. Простые стационарные задачи теплопередачи.

Средства акустического анализа. Выбор КЭ, задание специфических свойств материала и граничных условий. Настройки решателя. Простые задачи распространения, поглощения и отражения волн звукового давления в акустической среде.

Тема 8. Нелинейные задачи. Задачи оптимизации. Встроенный язык APDL.

Геометрическая нелинейность конструкции. Нелинейное поведение материала. Особенности задания опций решателя. Решение простых нелинейных задач. Типы контактов, контактные КЭ. Особенности задания опций решателя. Решение простых контактных задач.

Понятие об оптимизационных задачах. Параметризация задач. Возможности и основные команды ANSYS Parametric Design Language (APDL). Решение простых задач оптимизации конструкций.

Тема 9. Моделирование слоистых композитных конструкций.

Особенности моделирования и расчета слоистых композитных конструкций. Специальные типы КЭ, задание их вещественных констант. Анализ результатов.

Тема 10. Особенности программной реализации МКЭ для персональных ЭВМ.

Пакет ANSYS - программа конечно-элементного анализа. Эволюция программ ANSYS. Обзор функциональных возможностей программ.

Снижение стоимости проектирования и производства за счет использования программ ANSYS. Аппаратные средства программ семейства ANSYS. Иллюстративные примеры. Гарантии качества программ ANSYS, NASTRAN.

Тема 11. Решение практических задач конечно-элементного анализа с использованием компьютерных систем ANSYS.

Расчет плоских ферм при статической нагрузке в узлах. Пакетный и интерактивный режимы. Выполнение индивидуального задания.

Плоский изгиб балок. Пакетный и интерактивный режимы. Выполнение индивидуального задания.

Расчет плоских рам при статической нагрузке. Пакетный и интерактивный режимы. Выполнение индивидуального задания.

Расчет прямых стержней при кручении. Пакетный и интерактивный режимы. Выполнение индивидуального задания.

Расчет стержней с криволинейной осью. Пакетный и интерактивный режимы. Выполнение индивидуального задания.

Расчет несимметричных балок переменного сечения и балок на упругом основании. Пакетный и интерактивный режимы. Выполнение индивидуального задания.

Исследование напряженно-деформированного состояния плоского уголкового кронштейна при статическом нагружении. Твердотельное моделирование с применением примитивов, Булевы операции, галтели, неравномерное давление, отображение деформированного состояния и напряжений, листинг реакций опор, анализ погрешности вычисления потенциальной энергии.

Модальный анализ крыла самолета. Кнопочное твердотельное моделирование, использование сплайнов для построения профиля, экструзия с нанесением сетки, решение задачи на собственные значения (модальный анализ), анимация результатов решения.

Затвердевание слитка в форме уголка. Нелинейный нестационарный анализ теплопроводности. Твердотельное моделирование, проводимость, конвективный теплообмен. Фазовый переход, выделение, автоматический выбор шага по времени, нестационарное постпроцессирование.

Ламинарное и турбулентное течение в двумерном расширяющемся канале. Стационарный анализ течения жидкости. Твердотельное моделирование, регулярное разбиение на элементы, создание новой кнопки на инструментальной панели, рестарт вычислений в FLOTRAN.

Модальный анализ сектора конструкции, подверженной циклической симметрии. Специальная техника решения задач модального анализа для конструкций, подверженных циклической симметрии.

Анализ напряженно-деформированного состояния консольной балки с особенностью с применением метода подконструкций. Использование свойства антисимметрии, построение эпюр вдоль заданной кривой.

Проведение статического анализа балочно-оболочечной конструкции. Линейная задача по расчету прочности.

Применение Р-метода для расчета пластинки с отверстием. Твердотельное моделирование. Запрос числовых значений результатов счета, создание копии графического окна.

Расчет конструкций с начальными и температурными деформациями и напряжениями. Пакетный и интерактивный режимы. Выполнение индивидуального задания.

Определение реакций опор составной конструкции.

Примеры построения трехмерных моделей корпусной детали и теплообменника. Исследование НДС корпусной детали и теплообменника.

Тема 12. Программная платформа ANSYS WorkBench.

Программная платформа ANSYS WorkBench как средство для разработки и интеграции линейки программных продуктов ANSYS, прикладных пользовательских и написанных сторонними разработчиками программ инженерного анализа в едином информационном пространстве проекта. Возможности по обмену данными. Требования с точки зрения работы с WEB - технологиями. Использование при расчетах решателей ANSYS. Средства и технологии препроцессинга линейки программных продуктов, принадлежащих ANSYS (ICEM CFD, CFX, ...). Возможности использования современных вычислительных технологий при решении: стандарты программирования - Script, C++; интеграция, управление и обмен данными между программными приложениями внутри единого информационного пространства текущего проекта инженерного анализа. Интеграция и ассоциативная двусторонняя связь с ведущими CAD системами (Solid Edge, SolidWorks, Autodesk Inventor/Mechanical Desktop, Pro/ENGINEER, Unigraphics) на основе их API (программного интерфейса приложения). Использование данных для расчета в формате eXtensible Markup Language (XML). Объектно-ориентированный пользовательский интерфейс. Поддержка написания расчетных сценариев на программном языке (VBScript, JavaScript, HTML и др.). Адаптация - написание пользовательских приложений, используя Workbench SDK. Возможность использования файлов на языке написания макросов APDL.

Объединение всей линейки коммерческих программных продуктов ANSYS в единую расчетную среду ANSYS WorkBench. Особенности компьютерного моделирования и расчетов в ANSYS WorkBench. Практические приемы и примеры моделирования и расчетов.

Тема 13. Типовые виды анализа в пакете ANSYS WorkBench.

Статический структурный анализ. Геометрия. Настройки анализа. Нагрузки и закрепления. Результаты и постобработка. Анализ колебаний. Процедура анализа свободных колебаний. Свободные колебания предварительно напряжённого тела. Тепловой анализ. Геометрия. Тепловые нагрузки. Опции решения. Результаты и постобработка. Линейный анализ устойчивости. Справочная информация о потере устойчивости. Процедура анализа устойчивости. Постобработка результатов. Твердотельное моделирование

плоского кронштейна, трехмерных корпусной детали и теплообменника. Исследование НДС и решение динамических задач МСС в пакете ANSYS WorkBench. 3D модели кронштейна и шкива в Ansys DesignModeler.

Тема 14. Решение практических задач конечно-элементного анализа с использованием компьютерных систем ANSYS WorkBench.

1. 2D структурный анализ.
2. Линейный структурный анализ.
3. Структурный 2D анализ скругленной пластины с отверстиями.
4. Анализ свободных колебаний.
5. Анализ вибраций предварительно напряженной конструкции.
6. Линейный анализ устойчивости.
7. Анализ НДС крышки под давлением.
8. Пример построения балки.
9. Примеры построения шкива.
10. НДС корпусной детали.
11. 3D моделирование кронштейна в Ansys DesignModeler.
12. НДС 3D кронштейна.
13. Исследование колебаний модели крыла самолета.
14. Стационарный тепловой анализ.
15. Обработка результатов.
16. Управление параметрами.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

[illegible]

	ности МКЭ. Обзор существующих систем КЭ расчетов. Понятие о напряжениях и деформациях, прочности, расчетных схемах. Графический интерфейс пользователя Ansys / Ansys Workbench. Панели инструментов. Интерактивный и командный режимы работы. Использование системы «Помощь». Препроцессор, процессор решения, пост-процессор анализа результатов. Форматы файлов. Единицы измерения.									
3	Тема 3. Инструменты создания и редактирования геометрии. Импорт готовой геометрии. Работа в препроцессоре: подготовка модели, основные инструменты. Геометрические примитивы. Двухмерное и трехмерное моделирование. Импорт геометрии. Понятие о параметризации модели.	8	8							Устный опрос.
4	Тема 4. Выбор типа КЭ. Задание свойств материала. Разбивка модели на КЭ. Работа в препроцессоре (продолжение): типы КЭ и их особенности, библиотеки КЭ. Задание типа КЭ, задание его вещественных констант. Задание свойств материалов для основных типов реологии. Изменение заданных параметров. Непосредственная генерация модели. Методы и опции разбивки геометрической модели на КЭ.	2	2							Устный опрос.
5	Тема 5. Задание граничных условий и нагрузок. Решение статических задач. Просмотр и обработка результатов. Задание различных типов граничных условий и нагрузок. Уравнения связей. Задание опций процессора решения. Решение простых статических задач. Анализ результатов в постпроцессоре. Файловая структура задачи, использование файлов задачи.	2	2							Устный опрос.
6	Тема 6. Анализ устойчивости и колебаний. Понятие о модальном анализе и задачах устойчивости конструкций. Задание опций решателя. Решение простых задач устойчивости и колебаний. Анализ результатов.	2	2							Устный опрос.
7	Тема 7. Задачи теплопередачи. Акустические расчеты. Особенности	2	2							Устный опрос.

	теплового и термо-прочностного анализа конструкций. Теплопроводность, конвекция, излучение тепла. Выбор КЭ, задание специфических свойств материала и граничных условий, настройки решателя. Простые стационарные задачи теплопередачи. Средства акустического анализа. Выбор КЭ, задание специфических свойств материала и граничных условий. Настройки решателя. Простые задачи распространения, поглощения и отражения волн звукового давления в акустической среде.	2	2								Устный опрос.
8	Тема 8. Нелинейные задачи. Задачи оптимизации. Встроенный язык APDL. Геометрическая нелинейность конструкций. Нелинейное поведение материала. Особенности задания опций решателя. Решение простых нелинейных задач. Типы контактов, контактные КЭ. Особенности задания опций решателя. Решение простых контактных задач. Понятие об оптимизационных задачах. Параметризация задач. Возможности и основные команды ANSYS Parametric Design Language (APDL). Решение простых задач оптимизации конструкций.	2	2								Устный опрос.
9	Тема 9. Моделирование слоистых композитных конструкций. Особенности моделирования и расчета слоистых композитных конструкций. Специальные типы КЭ, задание их вещественных констант. Анализ результатов.	2	2								Устный опрос.
10	Тема 10. Особенности программной реализации МКЭ для персональных ЭВМ. Пакет ANSYS - программа конечно-элементного анализа. Эволюция программ ANSYS. Обзор функциональных возможностей программ. Снижение стоимости проектирования и производства за счет использования программ ANSYS. Аппаратные средства программ семейства ANSYS. Иллюстративные примеры. Гарантии качества программ ANSYS.	4	4								Устный опрос.
11	Тема 11. Решение практических задач конечно-элементного анализа с использованием компьютерных систем ANSYS. Расчет плоских ферм при статической нагрузке в узлах. Пакетный	36							32	4	Проверка индивидуальных заданий

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. М.А.Журавков, С.А.Гляков, О.В.Громыко, Д.Г.Медведев. Компьютерная механика. Динамический и кинематический анализ механических систем: курс лекций. – Минск: БГУ, 2006. – 375 с.
2. Журавков М.А., Коновалов О.Л., Богдан С.И. Компьютерное моделирование в геомеханике - Мн.: БГУ, 2008.
3. Фёдорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.: ил.
4. Гончаров П.С., Артамонов И. А., Халитов Т.Ф., Денисихин С.В., Сотник Д.Е. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ, Москва: ДМК Пресс, 2012. – 504 с: ил.
5. Елисеев К.В., Зиновьева Т.В. Вычислительный практикум в современных САЕ-системах: Учеб.пособие. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.–112 с.
6. Басов, К.А. ANSYS: Справочник пользователя / К.А. Басов. - М.: Книга по Требованию, 2005. - 640 с
7. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. - М.: Либроком, 2015. - 272 с.
8. Наседкин А.В. Конечно-элементное моделирование на основе ANSYS. Программы решения статических задач сопротивления материалов с вариантами индивидуальных заданий. Ростов-на-Дону, 1998.
9. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. Справочное пособие. Москва: Машиностроение, 2004.
10. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. . Москва, 2002.
11. Журавков М. А. Математическое моделирование деформационных процессов в твердых деформируемых средах. Мн.: БГУ, 2002. 456 с.
12. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. Основы работы в ANSYS 17. - ДМК Пресс 2017. – 210 с.
13. Маликов Р.Ф. Практикум по компьютерному моделированию физических явлений и объектов. Учебное пособие. – Уфа: БашГПУ, 2005. – 291 с.
14. Любимов В.В. Лабораторные работы по курсу «Численные методы расчёта в инженерных задачах с помощью пакета Ansys» Самар. Гос. Техн.ун-т, Сост. В.В. Любимов, Самара, 2014. 16с.

Дополнительная:

1. Александров А.В., Державин Б.П., Лащеников Б.Я. и др. Сборник задач по сопротивлению материалов. М., 1977.
2. Апанович В.Н. Метод внешних конечноэлементных аппроксимаций.- Минск: Вышэйшая школа, 1991.-170с.

3. Сопротивление материалов. Курс лекций / О. В. Громыко, М. А. Журавков, Д. Г. Медведев, А. О. Громыко, А. О. Громыко / Под общ. ред. проф. М. А. Журавкова. - Мн.: БГУ, 2013 – 535 с.
4. Балабух Л.И., Алфутон Н.А., Усюкин В.И. Строительная механика ракет.- М.:Высшая школа, 1984.-391с.
5. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов.-М.:Стройиздат,1982.-448с.
6. Безухов Н.И. Основы теории упругости, ползучести и пластичности. М., 1968.
7. Беляев Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов. Под ред. В.К.Качурина. М., 1972.
8. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
9. Бертяев В.Д. Теоретическая механика на базе MathCAD. Практикум. М.: BHV, 2005 г. 752 с.
10. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. М.: Высш. школа, 1980. 480 с.
11. Бреббия К., Уокер С. Применение метода граничных элементов в технике. – М.: Мир, 1982. – 248 с.
12. Бухгольц Н. Н. Основной курс теоретической механики. Ч. 1,2. М.: Наука, 1966.
13. Вильке В. Г. Теоретическая механика. М.: МГУ, 1991.
14. Галлагер Р. Метод конечных элементов.-М.:Мир, 1984.-428с.
15. Годунов С. К. Решение систем линейных уравнений. Новосибирск: Наука, 1980. 182 с.
16. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. М., 1969.
17. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике.-М.:Мир, 1975.-541с.
18. Зенкевич О., Морган К., Конечные элементы и аппроксимация / Пер. с англ. Б.И. Квасова; Под ред. Н.С.Бахвалова.-М.: Мир, 1986-318с.
19. Каханер Дэвид и др.Численные методы и программное обеспечение.- М.:Мир, 1998.-575с.
20. Коннор Дж., Бреббия К. Метод конечных элементов в механике жидкост.-Л.:Судостроение, 1979.-263с.
21. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в MathCAD. Учебный курс. СПб.: Питер, 2003 г. 448 стр.
22. Метод суперэлементов в расчетах инженерных сооружений/ В.А.Постнов, С.А.Дмитриев, Б.К.Елтышев, А.А Родионов.-Л.:Судостроение,1979.-288с.
23. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. Л., 1962.
24. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов.- М.:Мир,1981.-304с.
25. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов .-М.: Высшая школа, 1985.-340с.
26. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. – М.: Наука, 1981ю- 688 с.

27. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. М., Т.1-3, 1956-1959.
28. Прикладная механика / А. Т. Скойбеда, П. А. Миклашевич, Е. Н. Левковский и др. Под общ. ред. А. Т. Скойбеда. Мн.: Выш. шк., 1977. 522 с.
29. Работнов Ю.Н. Сопротивление материалов. М., 1962.
30. Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр./ Ю.Н. Работнов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 712 с
31. Расчет машиностроительных конструкций на прочность и жесткость/ Н.Н.Шапошников, Н.Д.Тарабасов, В.Б.Петров, В.И.Мяченков.-М.: Машиностроение,1981.-333с.
32. Репченков В. И., Нагорный Ю. Е. Физические основы метода конечных элементов / В. И. Репченков. – Минск: БГУ, 2009. – 91 с
33. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. – М.: Мир, 1986.- 349 с., 320 с.
34. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. – М.: Мир, 1972. – 418 с.
35. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978. 581 с.
36. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов.-М.:Мир, 1979.-392с.
37. Суперэлементный расчет подкрепленных оболочек/ З.И.Бурман, О.М.Аксенов, В.И.Лукашенко, М.Т.Тимофеев.-М.: Машиностроение, 1982. - 256с.
38. Теоретическая механика: Курс лекций / О. Н. Вярвьильская, Н. П. Каретко, Д. Г. Медведев и др.; Под общ. ред. В. П. Савчука. Мн.: БГУ, 2003. 236 с.
39. Теория механизмов и машин / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов и др. Под ред. К. В. Фролова. М.: Высш. шк., 1987. 496 с.
40. Уманский А.А., Афанасьев А.М., Вольмир А.С. и др. Сборник задач по сопротивлению материалов. М., 1973.
41. Усюкин В.И. Строительная механика конструкций космической техники.- М.: Машиностроение, 1988.-392с.
42. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М., 1979.
43. Халфман Р. Динамика. М.: Наука, 1972. 568 с.
44. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование: Механические системы и конструкции. – М.: Мир, 1983. – 478 с.
45. Холл Дж., Уатт Дж. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. – М.: Мир, 1979. – 312 с.

Программное обеспечение

1. Программный комплекс для конечно-элементного анализа систем ANSYS.
2. Программный комплекс для моделирования и анализа систем ANSYS WorkBench.

Вопросы к экзамену

1. Базовые идеи и соотношения метода конечных элементов (МКЭ)
2. Основы метода конечных элементов в механике деформируемого твердого тела (МДТТ)
3. Вариационная формулировка МКЭ в перемещениях
4. Матрица жесткости конечного элемента и модели в целом
5. Разрешающая система линейных алгебраических уравнений в МДТТ в линейной постановке
6. Матричные формулировки МКЭ для различных задач МДТТ (статика, динамика, устойчивость, собственные колебания...)
7. Основные соотношения МДТТ (деформации, напряжения, уравнения равновесия, физические соотношения для материалов)
8. Алгоритм (процедура) решения задач МСС с помощью МКЭ
9. Критерии разрушения хрупких и пластичных материалов
10. Главные площадки и главные напряжения
11. Эквивалентные напряжения. Критерий прочности по Мизесу
12. Этапы расчета по программе ANSYS
13. Построение модели
14. Задание нагрузок и получение решения
15. Просмотр результатов
16. Прочностной анализ конструкций
17. Нелинейный прочностной анализ
18. Природа нелинейностей
19. Нелинейные (с изменяемым статусом) элементы
20. Влияние больших деформаций
21. Моделирование нелинейных свойств материала
22. Решение нелинейных задач
23. Статический анализ
24. Динамический анализ
25. Модальный анализ
26. Динамика переходных процессов
27. Анализ отклика на гармоническое воздействие
28. Спектральный анализ
29. Отклик на случайную вибрацию
30. Определение критических нагрузок
31. ANSYS - программа конечно-элементного анализа
32. Обзор программы ANSYS. Интерфейс пользователя. Графические возможности. Процессоры

33. База данных. Формат файлов
 34. Препроцессорная подготовка. Твердотельное моделирование. Непосредственная генерация модели
 35. Построение сетки. Параметризация модели. Получение решения
 36. Методы решения уравнений
 37. Конструктивные нелинейности
 38. Нелинейности поведения материала
 39. Геометрические нелинейности
 40. Нелинейные элементы
 41. Кинематический анализ
 42. Тепловой анализ
 43. Стационарная теплопроводность
 44. Нестационарный процесс
 45. Фазовые превращения
 46. Термопрочностной анализ
 47. Гидроаэродинамический анализ. Вычислительная гидроаэродинамика. Движение среды в трубопроводах
 48. Акустический анализ
 49. Анализ связанных физических полей
 50. Метод подконструкций. Метод подмоделей
 51. Свойства материалов
 52. Библиотека конечных элементов программы ANSYS. Р-элементы
 53. Постпроцессорная обработка
 54. Постпроцессор общего назначения программы ANSYS
 55. Постпроцессор истории нагружения
 56. Язык параметрического программирования APDL
 57. Параметры. Массив параметров
 58. Ветвление и циклы. Функции повторения и аббревиатуры команд
 59. Макрокоманды. Процедуры пользователя
 60. Одномерные, тонкостенные и объемные модели и элементы. Симметричные модели
 61. Сходимость решений МКЭ и способы ее ускорения
 62. Виды конечно- элементных сеток и основные требования к их построению
 63. Особенности анализа механических систем в пакете ANSYS Workbench
 64. Структура пакета ANSYS Workbench и особенности интерфейса
- Теоретические вопросы сопровождаются решением практических задач.

Методические рекомендации по организации управляемой самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине

На лекционных занятиях по дисциплине «Пакет ANSYS» рекомендуется особое внимание обратить на способность студентов использовать математические модели для расчета и визуализации процессов деформации, колебаний, устойчивости, переноса тепла в задачах механики сплошной среды. При этом необходимо фиксировать внимание на физическом смысле и размерности механических характеристик, которые составляют информационное обеспечение используемых моделей.

На лабораторных занятиях по дисциплине «Пакет ANSYS» рекомендуется особое внимание обратить на способность студентов тестировать численные методы и результаты анализа с помощью эталонных аналитических решений соответствующих задач.

В силу различного уровня готовности студентов к восприятию новых понятий на практических занятиях по дисциплине рекомендуется проводить регулярные при необходимости дополнительные консультации для объяснения и закрепления сложного материала.

Условия для самостоятельной работы студентов, в частности, для развития навыков самоконтроля, способствующих интенсификации учебного процесса, обеспечиваются наличием и полной доступностью электронных (и бумажных) вариантов курсов лекций, учебно-методических пособий и сборников задач по основным разделам дисциплины.

Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

Текущий контроль усвоения знаний (теоретическая часть курса) рекомендуется осуществлять в виде: устный опрос, отчеты по лабораторным работам, проверка индивидуальных заданий.

Для закрепления и проверки знаний и умений студентов (практическая часть курса) рекомендуется решение задач по каждому разделу дисциплины с объяснением новых вводимых понятий, а также устного опроса студентов и контроля выполнения индивидуальных работ и отчетов по лабораторным работам.

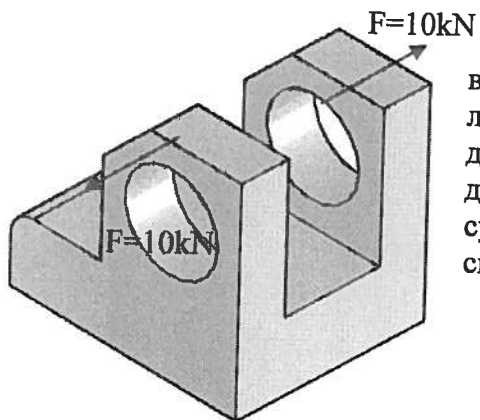
Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе 3-ех документов:

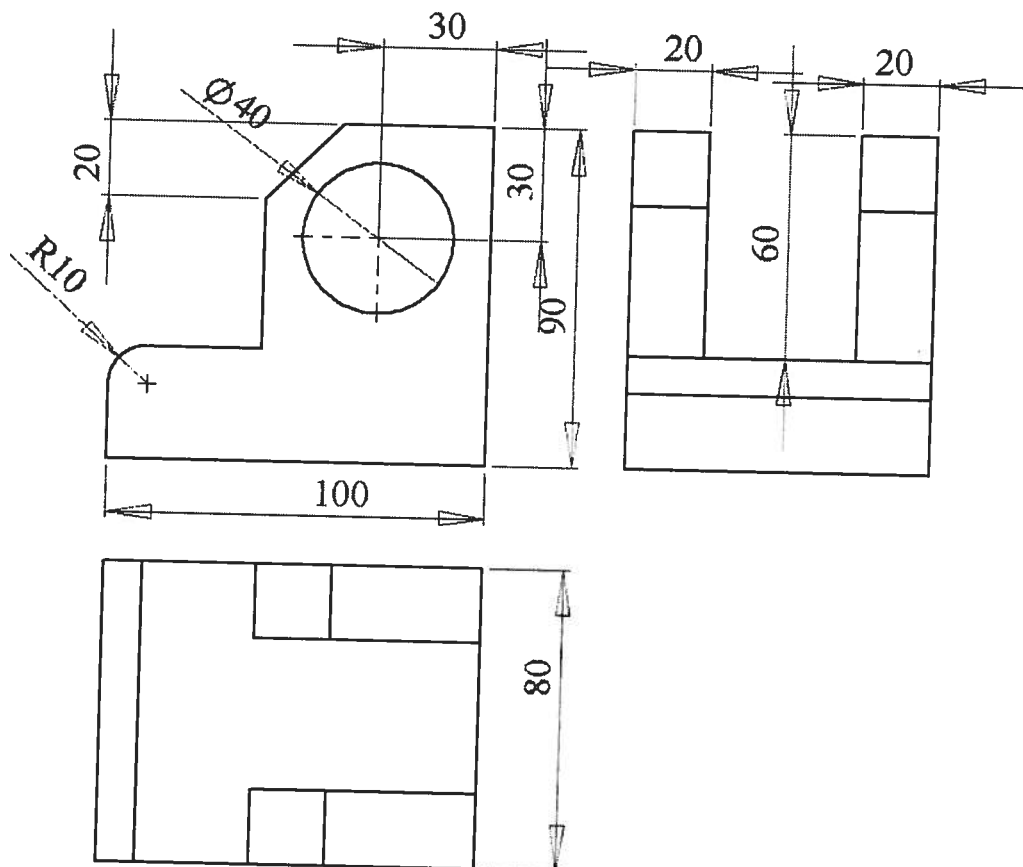
1. Правила проведения аттестации (Постановление №53 от 29.05.2012 г.).
2. Положение о рейтинговой системе БГУ (ред. 2015 г.).
3. Критерии оценки студентов (10 баллов).

Перечень заданий УСР (типовые задания)

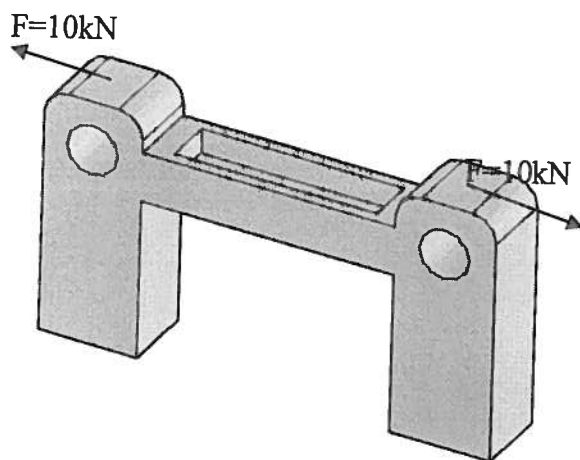
Вариант №1



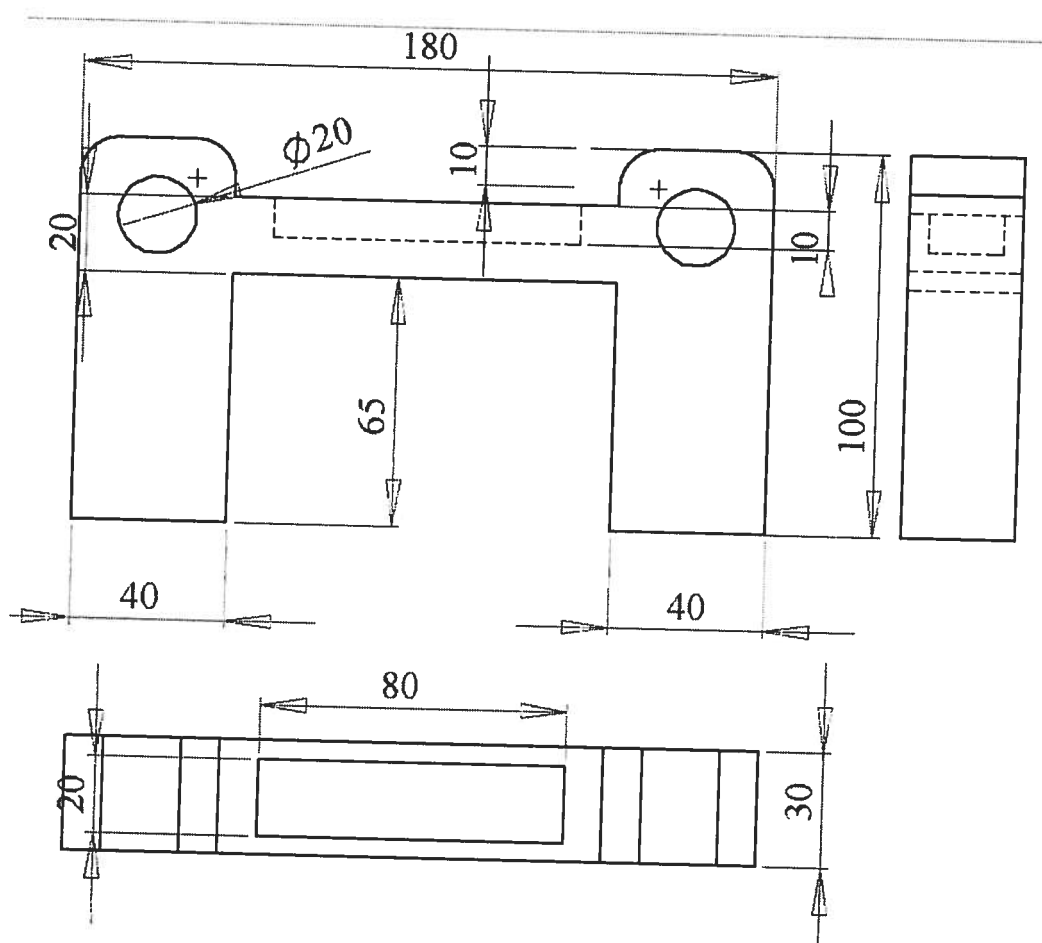
Необходимо построить трехмерную модель детали в Ansys и выполнить конечно-элементный анализ с применением указанных на рисунке нагрузок. Результатом должно быть изображение напряженно-деформированного состояния. Кроме указанных на рисунке сил, необходимо еще закрепить по всем степеням свободы хотя бы один узел.



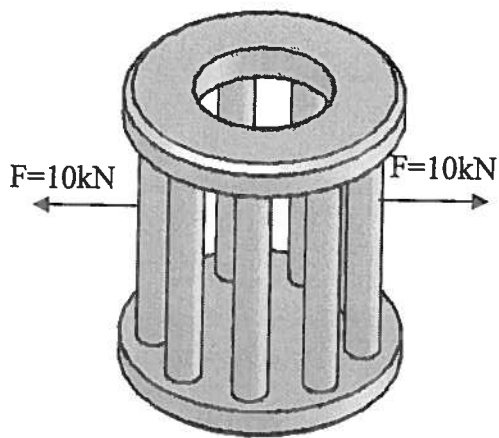
Вариант №2



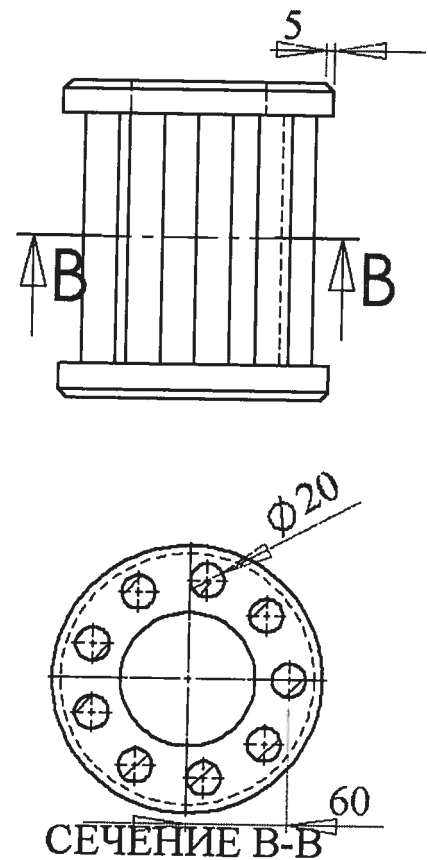
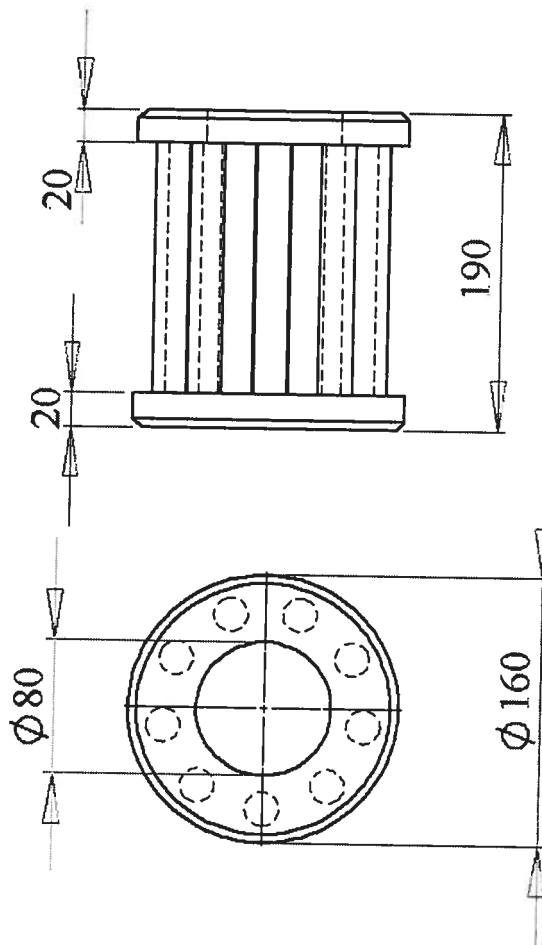
Необходимо построить трехмерную модель детали в Ansys и выполнить конечно-элементный анализ с приложением указанных на рисунке нагрузок. Результатом должно быть изображение напряженно-деформированного состояния. Кроме указанных на рисунке сил, необходимо еще закрепить по всем степеням свободы хотя бы один узел.



Вариант №3



Необходимо построить трехмерную модель детали. Затем выполнить конечно-элементный анализ с применением указанных на рисунке нагрузок. Результатом должно быть изображение напряженно-деформированного состояния. Кроме указанных на рисунке сил, необходимо еще закрепить по всем степеням свободы хотя бы один узел.



ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

[illegible]

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____ / ____ учебный год

№п/ п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической и прикладной механики (протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой
д. физ.-мат. наук, профессор

М.А. Журавков

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
канд. физ.-мат. наук, доцент

Д.Г. Медведев