

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра вычислительной и экспериментальной механики

Авторы-составители: **Семин Михаил Александрович
Терпугов Виктор Николаевич**

Рабочая программа дисциплины

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Код УМК 92363

Утверждено
Протокол №6
от «16» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Компьютерное моделирование систем твердых тел

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в базовую часть Блока « М.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.04.03** Механика и математическое моделирование
направленность Фундаментальная и прикладная механика

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Компьютерное моделирование систем твердых тел** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.04.03 Механика и математическое моделирование (направленность : Фундаментальная и прикладная механика)

ОПК.4 Способен использовать и создавать эффективные программные средства для решения задач механики

Индикаторы

ОПК.4.1 Разрабатывает и совершенствует программные средства для решения задач механики

ОПК.4.2 Использует современные пакеты прикладных программ при решении задач механики

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	01.04.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Фундаментальная и прикладная механика)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	2
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	36
Проведение лекционных занятий	12
Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку	24
Самостоятельная работа (ак.час.)	72
Формы текущего контроля	Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (2 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Компьютерное моделирование физических систем

Наука, научное познание, субъект и объект познания, теория, модель, математическая модель, моделирование, компьютерное моделирование, компьютерная модель, алгоритм, аналитическое моделирование.

Адекватность модели, цели моделирования, верификация, валидация, количественные критерии адекватности модели, параметризация модели и ее проблемы.

Классификация моделей, когнитивные, содержательные и формальные модели.

Основные этапы компьютерного моделирования.

Этапы построения компьютерной модели, CAD/CAE/CAM/PDM/PLM-системы, САПР. Создание геометрии. Прямое и параметрическое моделирование.

Дискретизация геометрии. Расчетная сетка, структурированные и неструктурированные сетки, трансфинитная интерполяция, метод конформных отображений, морфинг, триангуляция Дэлоне, метод октодеревьев, метод вытягивания, метод мощения, типы элементов, качество сетки и критерии ее оценки. Соотношение сторон элемента, асимметрия, индекс сжатия ячейки. Методы повышения качества сеток.

Сеточные функции, сеточные методы, метод конечных разностей, метод взвешенных невязок, метод подобластей, метод коллокаций, метод наименьших квадратов, метод Рунге. Метод конечных элементов и метод конечных объемов – отличия и сходства.

Бессеточные методы. Гидродинамика сглаженных частиц, метод динамики частиц.

Методы на основе давления, методы на основе плотности. Этапы решения гидродинамической задачи.

Основы метода конечных объемов. Методы временной дискретизации, параметры релаксации.

Режимы течения жидкостей и газов. Численные модели турбулентности. Модели, основанные на усреднении по Рейнольдсу (RANS-based). Линейные модели турбулентности, нелинейные модели турбулентности, алгебраические модели напряжений, модели транспорта Рейнольдсовых напряжений, метод крупных вихрей, метод отсоединенных вихрей и прочие гибридные модели, прямое численное моделирование.

Закон Гука, учет температурных и неупругих деформаций. Коэффициент теплового расширения.

Уравнения равновесия, принцип виртуальной работы, вывод уравнения равновесия элемента и системы элементов, используемый в пакете Ansys.

Деформационные и силовые критерии: главные компоненты тензоров напряжений и деформаций, интенсивности напряжений и деформаций, эквивалентные по Мизесу напряжения и деформации.

Критерии перехода материалов в пластическую зону деформирования: Михеса, Треска, Кулона-Мора, Друкера-Прагера, Тсай-Ву. Сравнительный анализ критериев.

Нелинейность материальных свойств в пакете Ansys. Пластичность, текучесть, нелинейная упругость, гиперупругость, вязкоупругость.

Алгоритм расчета пластического деформирования тела в рамках ассоциированного закона течения.

Итоговое контрольное мероприятие

Раздел 1. Введение. Понятие компьютерного моделирования.

Наука, научное познание, субъект и объект познания, теория, модель, математическая модель, моделирование, компьютерное моделирование, компьютерная модель, алгоритм, аналитическое моделирование.

Адекватность модели, цели моделирования, верификация, валидация, количественные критерии адекватности модели, параметризация модели и ее проблемы.

Классификация моделей, когнитивные, содержательные и формальные модели.

Основные этапы компьютерного моделирования.

Понятие компьютерного моделирования.

Вводная лекция. Постановка задачи компьютерного моделирования систем твердых тел. Историческая справка и обзор программных продуктов по моделированию механических систем. Распределение индивидуальных работ.

Нелинейные колебания математического маятника.

Построение математической модели колебаний математического маятника. Рассмотрение линейного и нелинейного уравнений колебания. Численное решение задачи методом конечных разностей. Анализ решения.

Раздел 2. Построение компьютерной модели.

Этапы построения компьютерной модели, CAD/CAE/CAM/PDM/PLM-системы, САПР. Создание геометрии. Прямое и параметрическое моделирование.

Дискретизация геометрии. Расчетная сетка, структурированные и неструктурированные сетки, трансфинитная интерполяция, метод конформных отображений, морфинг, триангуляция Дэлоне, метод октодеревьев, метод вытягивания, метод мощения, типы элементов, качество сетки и критерии ее оценки. Соотношение сторон элемента, асимметрия, индекс сжатия ячейки. Методы повышения качества сеток.

Построение геометрической модели исследуемого объекта.

Этапы построения компьютерной модели, CAD/CAE/CAM/PDM/PLM-системы, САПР. Создание геометрии. Прямое и параметрическое моделирование.

Построение конечно-элементной сетки в исследуемого объекта.

Дискретизация геометрии. Расчетная сетка, структурированные и неструктурированные сетки, трансфинитная интерполяция, метод конформных отображений, морфинг, триангуляция Дэлоне, метод октодеревьев, метод вытягивания, метод мощения, типы элементов, качество сетки и критерии ее оценки. Соотношение сторон элемента, асимметрия, индекс сжатия ячейки. Методы повышения качества сеток.

Раздел 3. Численные схемы. Методы взвешенных невязок

Сеточные функции, сеточные методы, метод конечных разностей, метод взвешенных невязок, метод подобластей, метод коллокаций, метод наименьших квадратов, метод Рунге. Метод конечных элементов и метод конечных объемов – отличия и сходства.

Бессеточные методы. Гидродинамика сглаженных частиц, метод динамики частиц.

Раздел 4. Компьютерные модели в гидроаэродинамике.

Методы на основе давления, методы на основе плотности. Этапы решения гидродинамической задачи. Основы метода конечных объемов. Методы временной дискретизации, параметры релаксации. Режимы течения жидкостей и газов. Численные модели турбулентности. Модели, основанные на усреднении по Рейнольдсу (RANS-based). Линейные модели турбулентности, нелинейные модели турбулентности, алгебраические модели напряжений, модели транспорта Рейнольдсовых напряжений, метод крупных вихрей, метод отсоединенных вихрей и прочие гибридные модели, прямое численное моделирование.

Часть 1: численные методы гидродинамики. Расчет течение жидкости в колене в ANSYS Workbench.

Методы на основе давления, методы на основе плотности. Этапы решения гидродинамической задачи. Основы метода конечных объемов. Методы временной дискретизации, параметры релаксации.

Часть 2: модели турбулентности. Сопряженная гидромеханическая задача в ANSYS

Workbench.

Режимы течения жидкостей и газов. Численные модели турбулентности. Модели, основанные на усреднении по Рейнольдсу (RANS-based). Линейные модели турбулентности, нелинейные модели турбулентности, алгебраические модели напряжений, модели транспорта Рейнольдсовых напряжений, метод крупных вихрей, метод отсоединенных вихрей и прочие гибридные модели, прямое численное моделирование.

Раздел 5. Компьютерные модели в механике твердого деформированного тела.

Закон Гука, учет температурных и неупругих деформаций. Коэффициент теплового расширения. Уравнения равновесия, принцип виртуальной работы, вывод уравнения равновесия элемента и системы элементов, используемый в пакете Ansys.

Деформационные и силовые критерии: главные компоненты тензоров напряжений и деформаций, интенсивности напряжений и деформаций, эквивалентные по Мизесу напряжения и деформации.

Критерии перехода материалов в пластическую зону деформирования: Михеса, Треска, Кулона-Мора, Друкера-Прагера, Тсаи-Ву. Сравнительный анализ критериев.

Нелинейность материальных свойств в пакете Ansys. Пластичность, текучесть, нелинейная упругость, гиперупругость, вязкоупругость.

Алгоритм расчета пластического деформирования тела в рамках ассоциированного закона течения.

Упруго-пластическое деформирование в ANSYS Workbench.

Численное решение задачи о нагружении и последующем разгрузении консольной балки с двутавровым профилем. Исследование остаточных деформаций.

Многопараметрическое моделирование и прямая оптимизация в ANSYS Workbench.

Решение задачи о выборе оптимальной толщины монолитно-бетонной конструкции по критерию выдерживания внешней нагрузки. Метод предельного равновесия конструкций.

Итоговое контрольное мероприятие.

Итоговое контрольное мероприятие

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторные занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. в 2 т. Т. 1. Основные положения и общие методы/К. Флетчер.-Москва:Мир,1991, ISBN 5-03-001881-6.-504
2. Численные методы в математической физике: Учеб. пособие/Под ред. А. А. Самарского, В. И. Дмитриева.- М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996, ISBN 5-87597-022-7.-175.
3. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. в 2 т. Т. 2. Методы расчета различных течений/К. Флетчер.-Москва:Мир,1991, ISBN 5-03-001882-4.-552
4. Метод конечных элементов: учеб. пособие для вузов/П. М. Варвак, И. М. Бузун, А. С. Городецкий ; ред. П. М. Варвак.-Киев:Вища школа,1981.-176.-Библиогр.: с. 175

Дополнительная:

1. Седов, Е. С. Основы работы в системе компьютерной алгебры Mathematica : учебное пособие / Е. С. Седов. — 3-е изд. — Москва, Саратов : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 401 с. — ISBN 978-5-4497-0346-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/89460.html>
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 010500 "Механика"/Л. Г. Лойцянский.-Москва:Дрофа,2003, ISBN 5-7107-6327-6.-840.
3. Качанов Л. М. Основы механики разрушения/Л. М. Качанов.-Москва:Наука,1974.-311.

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://window.edu.ru/	Единое окно доступа к образовательным ресурсам
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://window.edu.ru/	Единое окно доступа к образовательным ресурсам
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://window.edu.ru/	Единое окно доступа к образовательным ресурсам
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ
http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu	Электронные ресурсы для ПГНИУ

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Компьютерное моделирование систем твердых тел** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
 - доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:
- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»;
 - офисный пакет приложений «LibreOffice», Alt Linux;

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной

доской.

Для проведения лабораторных работ требуется компьютерный класс, оснащенный персональными ЭВМ и соответствующим программным обеспечением. Состав оборудования определен в Паспорте компьютерного класса.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Компьютерное моделирование систем твердых тел**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ОПК.4

Способен использовать и создавать эффективные программные средства для решения задач механики

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
ОПК.4.2 Использует современные пакеты прикладных программ при решении задач механики	Понимать место компьютерного моделирования в методологии науки. Уметь оценивать адекватность моделей и выбирать наиболее эффективные подходы к численному решению в рамках возможностей современных пакетов прикладных программ при решении задач механики.	Неудовлетворител Выполнил менее 41% всех теоретических и практических заданий Удовлетворительн Выполнил более 40%, но менее 61% всех теоретических и практических заданий Хорошо Выполнил более 60%, но менее 81% всех теоретических и практических заданий Отлично Выполнил более 80% всех теоретических и практических заданий
ОПК.4.2 Использует современные пакеты прикладных программ при решении задач механики	Знание этапов построения компьютерной модели, подходов к построению геометрии расчетной области и ее дискретизации, умение решить исходную дифференциальную задачу численно в выбранной расчетной области с выбранным способом дискретизации.	Неудовлетворител Выполнил менее 41% всех теоретических и практических заданий Удовлетворительн Выполнил более 40%, но менее 61% всех теоретических и практических заданий Хорошо Выполнил более 60%, но менее 81% всех теоретических и практических заданий Отлично Выполнил более 80% всех теоретических и практических заданий
ОПК.4.1 Разрабатывает и совершенствует программные средства для решения задач механики	Знать и уметь программировать численные методы решения задач механики сплошных сред для одномерных пространственных постановок, проводить анализ полученного решения.	Неудовлетворител Студент не может самостоятельно формулировать численную схему задачи, определять набор базисных функций, получать результирующую систему алгебраических уравнений и решать ее с использованием современных программных средств, пакетов вычислений и компьютерной алгебры. Удовлетворительн Студент может решить результирующую систему алгебраических уравнений с

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p>Удовлетворительн использованием современных программных средств, пакетов вычислений и компьютерной алгебры. Однако есть трудности на этапах формулирования численной схемы задачи, выбора набора базисных функций, получения системы алгебраических уравнений.</p> <p>Хорошо Студент может получить результирующую систему алгебраических уравнений и решить ее с использованием современных программных средств, пакетов вычислений и компьютерной алгебры. Однако нет уверенного формулирования численной схемы задачи, выбора набора базисных функций. Может проанализировать полученный результат.</p> <p>Отлично Студент уверенно формулирует численную схему задачи и определяет набор базисных функций, получает результирующую систему алгебраических уравнений и может решить ее с использованием современных программных средств, пакетов вычислений и компьютерной алгебры. Может проанализировать полученный результат.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ОПК.4.2 Использует современные пакеты прикладных программ при решении задач механики	Раздел 2. Построение компьютерной модели. Защищаемое контрольное мероприятие	Наука, научное познание, субъект и объект познания, теория, модель, математическая модель, моделирование, компьютерное моделирование, компьютерная модель, алгоритм, аналитическое моделирование. Адекватность модели, цели моделирования, верификация, валидация, количественные критерии адекватности модели, параметризация модели и ее проблемы. Классификация моделей, когнитивные, содержательные и формальные модели.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ОПК.4.2 Использует современные пакеты прикладных программ при решении задач механики</p> <p>ОПК.4.1 Разрабатывает и совершенствует программные средства для решения задач механики</p>	<p>Раздел 4. Компьютерные модели в гидроаэродинамике.</p> <p>Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Основные этапы компьютерного моделирования. Этапы построения компьютерной модели, CAD/CAE/CAM/PDM/PLM-системы, САПР. Создание геометрии. Прямое и параметрическое моделирование.</p> <p>Дискретизация геометрии. Расчетная сетка, структурированные и неструктурированные сетки, трансфинитная интерполяция, метод конформных отображений, морфинг, триангуляция Дэлоне, метод октодеревьев, метод вытягивания, метод мощения, типы элементов, качество сетки и критерии ее оценки.</p> <p>Соотношение сторон элемента, асимметрия, индекс сжатия ячейки. Методы повышения качества сеток.</p> <p>Сеточные функции, сеточные методы, метод конечных разностей, метод взвешенных невязок, метод подобластей, метод коллокаций, метод наименьших квадратов, метод Ритца. Метод конечных элементов и метод конечных объемов – отличия и сходства.</p> <p>Бессеточные методы. Гидродинамика сглаженных частиц, метод динамики частиц. Методы на основе давления, методы на основе плотности. Этапы решения гидродинамической задачи. Основы метода конечных объемов. Методы временной дискретизации, параметры релаксации. Режимы течения жидкостей и газов. Численные модели турбулентности. Модели, основанные на усреднении по Рейнольдсу (RANS-based). Линейные модели турбулентности, нелинейные модели турбулентности, алгебраические модели напряжений, модели транспорта Рейнольдсовых напряжений, метод крупных вихрей, метод отсоединенных вихрей и прочие</p>

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
		<p>гибридные модели, прямое численное моделирование. Закон Гука, учет температурных и неупругих деформаций. Коэффициент теплового расширения. Уравнения равновесия, принцип виртуальной работы, вывод уравнения равновесия элемента и системы элементов, используемый в пакете Ansys. Деформационные и силовые критерии: главные компоненты тензоров напряжений и деформаций, интенсивности напряжений и деформаций, эквивалентные по Мизесу напряжения и деформации. Критерии перехода материалов в пластическую зону деформирования: Мизеса, Треска, Кулона-Мора, Друкера-Прагера, Тсаи-Ву. Сравнительный анализ критериев. Нелинейность материальных свойств в пакете Ansys. Пластичность, текучесть, нелинейная упругость, гиперупругость, вязкоупругость. Алгоритм расчета пластического деформирования тела в рамках</p>

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ОПК.4.2 Использует современные пакеты прикладных программ при решении задач механики</p> <p>ОПК.4.1 Разрабатывает и совершенствует программные средства для решения задач механики</p>	<p>Раздел 5. Компьютерные модели в механике твердого деформированного тела.</p> <p>Итоговое контрольное мероприятие</p>	<p>Наука, научное познание, субъект и объект познания, теория, модель, математическая модель, моделирование, компьютерное моделирование, компьютерная модель, алгоритм, аналитическое моделирование.</p> <p>Адекватность модели, цели моделирования, верификация, валидация, количественные критерии адекватности модели, параметризация модели и ее проблемы. Классификация моделей, когнитивные, содержательные и формальные модели. Основные этапы компьютерного моделирования. Этапы построения компьютерной модели, CAD/CAE/CAM/PDM/PLM-системы, САПР. Создание геометрии. Прямое и параметрическое моделирование.</p> <p>Дискретизация геометрии. Расчетная сетка, структурированные и неструктурированные сетки, трансфинитная интерполяция, метод конформных отображений, морфинг, триангуляция Дэлоне, метод октодеревьев, метод вытягивания, метод мощения, типы элементов, качество сетки и критерии ее оценки.</p> <p>Соотношение сторон элемента, асимметрия, индекс сжатия ячейки. Методы повышения качества сеток.</p> <p>Сеточные функции, сеточные методы, метод конечных разностей, метод взвешенных невязок, метод подобластей, метод коллокаций, метод наименьших квадратов, метод Рунге. Метод конечных элементов и метод конечных объемов – отличия и сходства.</p> <p>Бессеточные методы. Гидродинамика сглаженных частиц, метод динамики частиц. Методы на основе давления, методы на основе плотности. Этапы</p>

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
		<p>решения гидродинамической задачи. Основы метода конечных объемов. Методы временной дискретизации, параметры релаксации. Режимы течения жидкостей и газов. Численные модели турбулентности. Модели, основанные на усреднении по Рейнольдсу (RANS-based). Линейные модели турбулентности, нелинейные модели турбулентности, алгебраические модели напряжений, модели транспорта Рейнольдсовых напряжений, метод крупных вихрей, метод отсоединенных вихрей и прочие гибридные модели, прямое численное моделирование. Закон Гука, учет температурных и неупругих деформаций. Коэффициент теплового расширения. Уравнения равновесия, принцип виртуальной работы, вывод уравнения равновесия элемента и системы элементов, используемый в пакете Ansys. Деформационные и силовые критерии: главные компоненты тензоров напряжений и деформаций, интенсивность</p>

Спецификация мероприятий текущего контроля

Раздел 2. Построение компьютерной модели.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **4 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Умение построить математическую модель конкретной физической системы или процесса.	10
Знание базовых понятий по компьютерному моделированию как методу научного познания, его месту в методологии науки и его достоинствах и недостатках.	10
Умение оценить адекватность модели, выбрать обоснованный перечень гипотез при концептуальной и математической постановках задачи.	10

Раздел 4. Компьютерные модели в гидроаэродинамике.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **4 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Постановка задачи по моделированию механических системы. Выбор геометрии и расчетной сетки.	10
Анализ полученного результата, графический вывод зависимостей искомых параметров системы.	10
Решение предложенной задачи в программном комплексе. Проверка точности решения.	10

Раздел 5. Компьютерные модели в механике твердого деформированного тела.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Формулировка и задание физической модели (определяющих соотношений, балансовых уравнений, граничных и начальных условий). Получение численного решения задачи на выбранной и дискретизованной геометрии, проверка решения на независимость от сетки.	15
Знание базовых понятий дисциплины компьютерного моделирования.	10
Умение построить геометрию расчетной области и качественную сетку.	10
Анализ результатов расчета, умение провести оптимизационный расчет конструкции.	5