

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Оценочные материалы по дисциплине

**Механика деформируемого твердого тела и методы вычислений**

по направлению подготовки / специальности

**15.03.06 Мехатроника и робототехника**

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:  
**Промышленная и специальная робототехника**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

Е.И. Борзенко

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2024

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-8 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач

ПК-1 Способность составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники

ПК-2 Способность разрабатывать программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования

ПК-3 Способность проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов с целью исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-8.1 Знает методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации

РООПК-8.2 Умеет решать задачи обработки данных с помощью современных средств автоматизации

РОПК 1.1 Знает основные законы, описывающие функционирование проектируемых объектов.

РОПК 1.2 Умеет использовать стандартные пакеты прикладных программ для выполнения математического моделирования.

РОПК 2.1 Знает алгоритмические языки программирования

РОПК 2.2 Умеет разрабатывать программное обеспечение для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования.

РОПК 3.1 Знает основы математического моделирования мехатронных и робототехнических систем.

РОПК 3.2 Умеет использовать стандартные пакеты прикладных программ для выполнения математического моделирования.

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

– защита лабораторных работ.

*Пример лабораторных заданий,*

**Лабораторная работа №1 (РООПК-8.1, РООПК-8.2, РОПК 1.1).** Проведение экспериментальных работ по определению значений характеристик прочности конструкционных материалов при растяжении плоских образцов из пластичных металлов или сплавов и статистическая обработка экспериментальных данных.

Для проведения эксперимента используется лабораторный испытательный стенд, оснащённый нагружающим устройством, датчиками измерения усилий, перемещений, с возможностью записи диаграмм деформирования. Экспериментальные работы по определению значений характеристик прочности конструкционных материалов при растяжении плоских образцов из пластичных металлов или сплавов проводятся под присмотром преподавателя или лаборанта.

В итоге лабораторной работы необходимо составить отчет, содержащий следующие данные:

- описание экспериментальных работ, настройки оборудования и параметров эксперимента (тип и размеры образцов, тип испытуемого материала, скорость деформации и тд.);

- диаграммы деформирования в условных координатах «напряжение–деформация»;

- описание результатов эксперимент и статистической обработки величин с интервалами достоверности (модуль упругости, условный предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение).

**Лабораторная работа №2 (РОПК-8.1, РОПК-8.2, РОПК 1.2).** Обработка экспериментальных данных с целью их использования при создании физико-математической модели описания механического поведения материала в образце.

Полученные в предыдущей лабораторной работе экспериментальные данные используются при проведении данной лабораторной работы. Студенту, используя специализированные компьютерные программы для обработки научных данных, необходимо перевести диаграммы деформирования из условных координат «напряжение–деформация» в истинные. Из полученных диаграмм необходимо получить числовые данные для описания упругопластического поведения исследуемого материала моделями на основе билинейной и полилинейной аппроксимации.

В итоге лабораторной работы необходимо составить отчет, содержащий следующие данные:

- алгоритм получения диаграмм деформирования в истинных координатах и определения ключевых параметров билинейной и полилинейной аппроксимации упругопластического течения материала при растяжении;

- выходные данные обработки в виде количественных значений для билинейной и полилинейной аппроксимации упругопластического течения (модуль упругости, условный предел текучести, коэффициент деформационного упрочнения, таблица значений для полилинейной модели).

**Лабораторная работа №3 (РОПК 1.1, РОПК 3.1, РОПК 3.2).** Создание физико-математической модели для определения средствами моделирования напряженно-деформированного состояния плоского образца в форме двухсторонней лопатки при одноосном растяжении в упругопластической постановке.

В данной лабораторной работе студент должен показать способности использования экспериментальных данных, полученных в предыдущих лабораторных работах, при моделировании упругопластического поведения материала и навыки анализа полученных результатов. Для этого необходимо построить цифровую геометрическую модель используемого образца, не важно какими средствами. Если построение модели проходило в сторонних программах необходимо организовать экспорт в программу Ansys Mechanical. Используя экспериментальные данные, подготовленные на прошлом этапе выполнения работы необходимо задать свойства материала в линейной, билинейной и мультилинейной постановке. Получить численные диаграммы деформирования для трех случаев и совместить на одной координатной плоскости с данными эксперимента. Оценить погрешность решения и сделать выводы по поводу использования тех или иных определяющих уравнения при оценке НДС в упругопластической области деформирования.

В итоге лабораторной работы необходимо составить отчет, содержащий следующие данные:

- описание алгоритма создания физико-математических моделей, описывающих упругопластическое поведение материала, включающего описание используемой математической модели с граничными условиями, геометрической модели, сеточной расчетной модели, численного метода решения;

– результаты численного моделирования, включающие изображения полей напряжений, деформаций, перемещений, графики зависимостей напряжений от деформации;

– анализ результатов со сравнениями диаграмм деформирования, полученных численно, двумя моделями упруго-пластического течения и экспериментально; оценка сходимости численного решения и погрешности расчета.

**Лабораторная работа №4 (РОПК 2.1, РОПК 2.2).** Создание автоматизированного алгоритма определения напряженно-деформированного состояния в материале образцов средствами языка программирования Ansys APDL.

В данной лабораторной работе студенту необходимо создать автоматизированный алгоритм определения напряженно-деформированного состояния в материале образцов средствами языка программирования Ansys APDL.

В итоге лабораторной работы необходимо составить отчет, содержащий следующие данные:

– программный код на внутреннем языке программирования APDL, при выполнении которого достаточным условием является получение результатов в пакетном режиме, аналогичных результатам предыдущей лабораторной работы, без вмешательства в алгоритм выполнения пользователя через интерактивный интерфейс программы.

Входные данные для каждого задания получить у преподавателя.

Критерии оценивания:

Обучающийся должен сдать лабораторные работы, соответствующие оценкам «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания во время представления отчетов по лабораторным практикумам:

Форма контроля	Критерии оценивания			
	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.
экзамен	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.

Успешно выполненные лабораторные работы являются критерием допуска обучающегося до итогового контроля.

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Зачет проводится в письменной форме по билетам, содержащим три теоретических вопроса из перечня. Продолжительность зачета 1 час.

Перечень теоретических вопросов:

1. Предмет и метод механики сплошных сред (МСС) и механики деформируемого твердого тела (МДТТ), как раздела МСС.
2. Подходы Эйлера к описанию процессов движения и деформирования сплошных сред.
3. Подходы Лагранжа к описанию процессов движения и деформирования сплошных сред.
4. Переменные Эйлера в задачах МДТТ.
5. Переменные Лагранжа в задачах МДТТ.
6. Метод координат в тензорном исчислении.
7. Базисные векторы в тензорном исчислении.
8. Частное и общее определение тензора.
9. Ковариантные, контравариантные и смешанные компоненты тензора.
10. Фундаментальный метрический тензор.
11. Тензорная алгебра.
12. Скалярные инварианты тензора.
13. Тензорная поверхность, главные оси, главные компоненты тензоров 2-го ранга.
14. Основы тензорного анализа.
15. Ковариантная производная, ковариантное дифференцирование.
16. Тензор деформаций, его выражение через компоненты вектора перемещений.
17. Тензор деформаций Грина.
18. Тензор деформаций Альманси.
19. Тензор деформаций Коши.
20. Тензор скоростей деформаций.
21. Условие совместности деформаций.
22. Динамические уравнения МДТТ.
23. Закон сохранения моментов количества движения, симметрия тензора напряжений.
24. Закон сохранения энергии, теорема живых сил, выражение для работы напряжений.
25. Понятие идеальных сред без диссипации.
26. Идеальная жидкость и газ, полная система уравнений, описывающая течение идеальной жидкости и газа.
27. Баротропные среды.
28. Идеальная упругая среда.
29. Система уравнений, описывающая деформацию упругой идеальной среды.
30. Реальная вязкая жидкость с диссипацией.
31. Уравнения Навье-Стокса.
32. Полная система уравнений МДТТ.
33. Постановка задачи деформирования упругой пластической среды.
34. Понятие уравнения состояния и определяющих уравнений. Модель линейного упругого тела. Идеальная пластичность.
35. Понятие уравнения состояния и определяющих уравнений. Идеальная пластичность.
36. Понятие об деформационно-упрочняющихся средах. Поверхность текучести.
37. Понятие об деформационно-упрочняющихся средах. Постулат Друкера.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания во представления время ответов на зачете (представлено в общем виде для форм экзамен и зачет):

Форма контроля	Критерии оценивания			
	Отлично / зачтено	Хорошо / зачтено	Удовл. / зачтено	Неуд. / Незачтено
Экзамен/зачет	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.

#### 4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

##### Тест

Тесты для проверки остаточных знаний размещены в Электронном учебном курсе по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела и методы вычислений» в электронном университете «iDO» – <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=24737>.

Тест содержит 100 вопросов по курсу, обучающемуся предлагается ответить на 20 из них, подобранных системой случайным образом. Обучающемуся дается две попытки, результатом засчитывается последняя попытка. На выполнение попытки теста отводится 40 минут.

Критерии оценивания: тест считается пройденным, если обучающий ответил правильно как минимум на 85 % из предложенных вопросов.

##### Информация о разработчиках

Козулин Александр Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра Механики деформируемого твердого тела физико-технического факультета НИ ТГУ, доцент.