

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

Основы аддитивных технологий

по направлению подготовки

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Направленность (профиль) подготовки:
Промышленная и специальная робототехника

Форма обучения

Очная

Квалификация

Инженер, инженер-разработчик

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Е.И. Борзенко

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных и общеинженерных дисциплин, применять методы математического моделирования, теоретических и экспериментальных исследований

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

ОПК-5 Способен учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

РООПК-2.1 Знает методику выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и методику привлечения физико-математического аппарата и современные компьютерных технологий для их решения

РООПК-2.2 Умеет выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

РООПК-5.1 Знает методику учета современных тенденций развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности

РООПК-5.2 Умеет учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

- эссе;
- отчеты по практическим работам.

Тема 1. Контроль освоения учебного материала (РООПК-5.1, РООПК-5.2) Темы 1 осуществляется через самостоятельное написание эссе по предложенным проблематикам.

Требования к написанию эссе:

- эссе должно быть полностью уникальным;
- при написании эссе нельзя превышать требуемый объем 2-3 страницы печатного текста в word (Times New Roman, 12 пт.);
- эссе должна четко прослеживаться позиция автора;
- при написании эссе нужно избегать сложных терминов и формулировок.
- мысли и тезисы автора должны подкрепляться примерами и аргументами.

Проблематики эссе на выбор обучающегося:

1. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий из металлов, преимущества их использования перед альтернативными методами серийного производства.

2. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий из керамик, преимущества их использования перед альтернативными методами серийного производства.

3. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий полимерных материалов, преимущества их использования перед альтернативными методами серийного производства.

4. Преимущества использования аддитивных технологий в литейном производстве и порошковой металлургии.

5. Преимущества использования аддитивных технологий в порошковой металлургии.

6. Разновидности металлической 3D-печати.

7. Классификация аддитивных технологий по типу и структуре полимерного сырья, термопласты и композиты на их основе, реактопласты, фотополимерные смолы, терморезистивные и многокомпонентные компаунды.

8. Классификация аддитивных технологий по типу и структуре полимерного сырья, реактопласты, фотополимерные смолы, терморезистивные и многокомпонентные компаунды.

9. Ограничения, возможности и материалы, используемые при печати керамических и стеклоподобных материалов, требования к сырью.

10. При каких условиях возможно получить экономический эффект при переходе от традиционных технологий литья под давлением к аддитивным технологиям селективного лазерного плавления?

Работа оценивается на «отлично» в случае соблюдения всех пяти требований к написанию эссе, оценки «хорошо» и «удовлетворительно» – не удовлетворяет одному и двум требованиям соответственно, «неудовлетворительно» – нет ответа на три и более требования и присутствуют грубые ошибки повествования. При написании эссе допустимо прибегать к помощи искусственного интеллекта – в этом случае нужно указать название использованного инструмента.

Тема 2. Контроль освоения учебного материала (РООПК-1.1, РООПК-1.2) отчет по практической работе к Теме 2.

Задание к практической работе по Теме 2 заключается в следующем. Средствами изученных компьютерных технологий необходимо получить цифровые модели детали или объекта в соответствующем формате, пригодном для последующего применения в специализированных программах слайсерах для печати на 3D-принтере. Получение детали производится из данных томографии, поверхностного сканирования, фотографии путем виртуального восстановления. Исходные данные выдает преподаватель или лаборант. В качестве примера выступают исходные данные компьютерной томографии в формате DICOM или набор растровых срезов, фотографии объекта, данные поверхностного 3D-сканирования.

Отчетом является созданная цифровая модель детали или объекта. Оценка модели производится путем использования внутренних программных средств. Деталь должна быть в фасетированном виде, качество фасет должно удовлетворять требованиям:

- критериям программы (автоматическая проверка, критерий да/нет);
- отсутствие артефактов сканирования (определяется оценщиком визуально);
- соответствие требуемым размерам (определяется программно).

Работа оценивается на оценку «отлично» в случае соблюдения всех трех требований к конечной цифровой модели, «хорошо» и «удовлетворительно» – не удовлетворяет одному и двум требованиям соответственно, «неудовлетворительно» – нет ответа на два требования и присутствуют грубые ошибки повествования.

Тема 3. Контроль освоения учебного материала (РООПК-2.1, РООПК-2.2) в виде отчета по практической работе к Теме 3.

Задание к практической работе по Теме 3 заключается в следующем. Цифровую модель изделия или объекта, подготовленную в виде фасетированного тела на

предыдущих практических занятиях, необходимо подготовить к инженерному анализу методом конечных элементов, провести оценку напряженно-деформированного состояния в условиях приближенных к эксплуатационным, провести топологическую оптимизацию по предложенным критериям. Исходные данные и шаблон отчета выдает преподаватель или лаборант.

По результатам работы подготовить отчет содержащий:

- описание сеточной расчетной модели;
- постановку и результаты задачи оценки НДС (напряженно-деформированного состояния) детали методом конечных элементов;
- постановку и результаты задачи топологической оптимизации исследуемой детали;
- к отчету прилагается прототип распечатанной на 3D-принтере детали, описание алгоритма настройки и работы принтера, описание результатов печати.

Работа оценивается на «отлично» в случае удовлетворения всех четырех требований к отчету, «хорошо» и «удовлетворительно» – не удовлетворяет одному и двум требованиям соответственно, «неудовлетворительно» – нет ответа на три и более требования, присутствуют грубые ошибки повествования.

Пример задания. Имеется цифровая модель трех-опорного кронштейна в фасетированном виде, подготовленная для 3D-печати. Цифровая модель является поверхностной, в свою очередь поверхности разбиты на фасеты (треугольники), плотность треугольников и их размеры зависят от степени требуемой детализации формы изделия. Модель в таком виде пригодна для печати, но не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к моделям, используемым в прикладных программах инженерного анализа. В конечном итоге средствами изученных компьютерных технологий нужно привести модель кронштейна к твердотельному виду, пригодному к использованию в инженерном анализе методом конечных элементов.

Получение конечно-элементной модели из твердотельной является критерием правильности выполнения первого этапа практической работы.

На втором этапе проводится анализ НДС детали при некоторых условиях нагружения, таких как, действие номинальной нагрузки на одну из опор (силовые ГУ), две другие опоры закреплены неподвижно (кинематические ГУ). В результате получены значения конечных напряжений, деформаций, перемещений. В отчете привести соответствующие результаты.

На третьем этапе производится топологическая оптимизация детали исходя из установленных критериев. Например, критерий равнопрочности при требовании снижения массы детали на 30 %. При введении данных требований в установки программы топологической оптимизации, производится автоматический расчет и вычитание материала из ее наименее нагруженных участков и прибавление в концентраторах для достижения критериальных требований. В конечном итоге программа предлагает результат в виде новой сложной формы детали, которую можно изготовить только средствами аддитивных технологий. Получение обновленной формы кронштейна после топологической оптимизации считается выполнением требований к этапу практической работы.

Тема 4. Контроль освоения учебного материала (РООПК-2.1, РООПК-2.2) в виде отчета по практической работе к Теме 4.

Задание к практической работе по Теме 4 заключается в следующем. На основе результатов оценки НДС и топологической оптимизации детали предыдущей практической работы обучающемуся необходимо предложить материал и технологию для аддитивного производства разрабатываемой детали, удовлетворяющим требуемым критериям. Критерий выбора материала и шаблон отчета предоставляется преподавателем или лаборантом.

Конечный отчет должен содержать:

- описание критерия и алгоритма выбора материала для детали, конкретная марка выбранного материала;
- обоснование выбранной технологии аддитивного производства детали;
- эскизная документация этапов производства, включающих: участок создания цифровой модели для изготовления, участок печати, участок постобработки, – с описанием оборудования и расходных компонентов.

Работа оценивается на «отлично» в случае удовлетворения всех трех требований к отчету, «хорошо» и «удовлетворительно» – не удовлетворяет одному и двум требованиям соответственно, «неудовлетворительно» – нет ответа на три и более требования, присутствуют грубые ошибки повествования.

Пример задания. Основываясь на оценке НДС трех-опорного кронштейна обновленной формы после топологической оптимизации при заданных условиях нагружения необходимо подобрать материал и технологию аддитивного производства. Критерием выбора материала выступает требование минимальной массы детали при значениях коэффициента запаса прочности не ниже 1.5, минимизации затрат на изготовление и наибольшей доступности технологии.

Практические работы проводятся в режиме мастер-класса. Преподаватель выполняет задание в аудитории за отдельным рабочим местом. Алгоритм проведения работы и действия транслируются в реальном времени в аудитории через мультимедийный проектор на экран. Обучающиеся синхронно с преподавателем выполняют свои задания, повторяя алгоритм действий. Задания у преподавателя и обучающихся однотипны, отличаются лишь некоторые входные параметры, такие как размеры детали, свойства материалов, значения нагрузок и т.д. Отчеты составляются обучающимися самостоятельно. Работа на 3D-принтере проводится под присмотром лаборанта с фиксацией параметров печати и основных моментов работы.

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

По результатам текущего контроля, если студент имеет за выполненные практические задания по всем четырем темам оценки «хорошо» и «отлично», освоение учебного материала считается выполненным и проставляется зачет.

Если студент имеет оценки «удовлетворительно» и «неудовлетворительно», проходит промежуточную аттестацию, которая включает в себя теоретический вопрос и одну практическую работу.

Список теоретических вопросов (РООПК-1.1, РООПК-2.1, РООПК-5.1), ответ на вопрос дается в развернутой форме:

1. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий из металлов.
2. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий керамик.
3. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий полимерных материалов.
4. Использование аддитивных технологий в литейном производстве.
5. Использование аддитивных технологий в порошковой металлургии.
6. Разновидности металлической печати.
7. Классификация аддитивных технологий по типу и структуре полимерного сырья, термопласты и композиты на их основе.

8. Классификация аддитивных технологий по типу и структуре полимерного сырья, реактопласты, фотополимерные смолы, терморезистивные и многокомпонентные компаунды.

9. Ограничения, возможности и материалы, используемые при печати керамических и стеклоподобных материалов, требования к сырью.

10. Компьютерные технологии для получения цифровых моделей, пригодных для 3D-печати с использованием подходов обратного инжиниринга, основанные на методах томографии.

11. Компьютерные технологии для получения цифровых моделей, пригодных для 3D-печати с использованием подходов обратного инжиниринга сканирования поверхности.

12. Методы реверсивного инжиниринга и контроля геометрии, оцифровки и виртуального восстановления изделий.

13. Классификация методов оцифровки структуры трёхмерных объектов по физическому воздействию и типу получаемых данных.

14. Томографические методы и оборудование для сканирования внутренней структуры объектов.

15. Численные методы в задачах аддитивного производства.

16. Значение оценки прочности на стадии проектирования для получения оптимальных параметров аддитивных изделий сложной.

17. Значение топологической оптимизации на стадии проектирования для получения оптимальных параметров аддитивных изделий по заданным критериям.

18. Подходы инженерного анализа на основе численных методов, используемые на стадии проектирования аддитивных изделий.

19. Влияние особенностей структуры на механическое поведение аддитивных изделий, связанных с технологиями 3D-печати различными методами.

20. Основные критерии выбора конструкционных материалов для производства изделий с использованием аддитивных технологий.

Практическая работа (РООПК-1.2, РООПК-2.2, РООПК-5.2), оценивается конечный результат.

Практическая работа выполняется в аудитории при преподавателе. Задание на практическую работу составляется из одного из заданий текущего контроля, с которым не справился студент ранее – это может быть:

– создание цифровой модели аддитивной детали, пригодной для печати по данным томографии, поверхностного сканирования или фотографии;

– подготовка цифровой модели аддитивной детали к проведению инженерного анализа методом конечных элементов;

– проведение инженерного анализа по определению напряженно-деформированного состояния детали в заданных условиях нагружения;

– проведение топологической оптимизации аддитивной детали в некоторых условиях нагружения по заданному критерию оптимальности;

– выбор материала и аддитивной технологии производства детали по данным инженерного анализа.

Результаты за ответ на теоретический вопрос и практическое задание определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если дан правильный и развернутый ответ на теоретический вопрос и задача решена без ошибок.

Оценка «хорошо» выставляется, если дан правильный, но не развернутый ответ на теоретический вопрос и задача решена с незначительными ошибками.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент не ответил на дополнительные вопросы, задача решалась по верному алгоритму, но решения нет.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, дан не верный ответ на теоретический вопрос и не приступил к решению задачи.

Зачет проставляется по правилу, приведенному в таблице, сочетания с «неудовлетворительно» – незачет.

Теоретический вопрос	Практическое задание	Конечная оценка
хорошо	отлично	зачет
отлично	хорошо	зачет
хорошо	удовлетворительно	зачет
отлично	удовлетворительно	зачет
удовлетворительно	хорошо	зачет
удовлетворительно	отлично	зачет

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

Список теоретических вопросов (РООПК-1.1, РООПК-2.1, РООПК-5.1), ответ на вопрос дается в развернутой форме:

1. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий из металлов.
2. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий керамик.
3. Современные технологии и машины для прямого выращивания серийных изделий полимерных материалов.
4. Использование аддитивных технологий в литейном производстве.
5. Использование аддитивных технологий в порошковой металлургии.
6. Разновидности металлической печати.
7. Классификация аддитивных технологий по типу и структуре полимерного сырья, термопласты и композиты на их основе.
8. Классификация аддитивных технологий по типу и структуре полимерного сырья, реактопласты, фотополимерные смолы, термореактивные и многокомпонентные компаунды.
9. Ограничения, возможности и материалы, используемые при печати керамических и стеклоподобных материалов, требования к сырью.
10. Компьютерные технологии для получения цифровых моделей, пригодных для 3D-печати с использованием подходов обратного инжиниринга, основанные на методах томографии.
11. Компьютерные технологии для получения цифровых моделей, пригодных для 3D-печати с использованием подходов обратного инжиниринга сканирования поверхности.
12. Методы реверсивного инжиниринга и контроля геометрии, оцифровки и виртуального восстановления изделий.
13. Классификация методов оцифровки структуры трёхмерных объектов по физическому воздействию и типу получаемых данных.
14. Томографические методы и оборудование для сканирования внутренней структуры объектов.
15. Численные методы в задачах аддитивного производства.
16. Значение оценки прочности на стадии проектирования для получения оптимальных параметров аддитивных изделий сложной.

17. Значение топологической оптимизации на стадии проектирования для получения оптимальных параметров аддитивных изделий по заданным критериям.

18. Подходы инженерного анализа на основе численных методов, используемые на стадии проектирования аддитивных изделий.

19. Влияние особенностей структуры на механическое поведение аддитивных изделий, связанных с технологиями 3D-печати различными методами.

20. Основные критерии выбора конструкционных материалов для производства изделий с использованием аддитивных технологий.

Тест (РООПК-1.2, РООПК-2.2, РООПК-5.2)

1. Процессы с использованием жидкого фотополимера, который содержится в ванне (SLA, DLP).

- а) стереолитография;
- б) полимеризация;
- в) ламинирование.

2. Обработка проводится путем селективной подачи энергии на поверхность ванны для отверждения полимера (SLA, DLP).

- а) ламинирование;
- б) фотополимеризация;
- в) дезинтеграция;

3. Процесс периодического нанесения слоя материала, который подается в форме листа (LOM).

- а) листование;
- б) ламинирование;
- г) послойное сплавление порошка;

4. Процессы, в которых нанесение материала происходит посредством экструзии через сопло (FDM, MJS, MIM).

- а) экструзия материала;
- б) соплование;
- г) распыление исходного материала.

5. Процессы струйной печати (MJM, DoD, Poly-Jet).

- а) распыление исходного материала;
- б) послойное сплавление порошка;
- в) фотополимеризация

6. Процессы, использующие контейнер с порошком, который селективно нагревается с помощью источника энергии, чаще всего сканирующего лазера или электронного пучка (SLM, DMF, SLM).

- а) распыление исходного материала;
- б) экструзия материала;
- в) послойное сплавление порошка;

7. Процессы, в которых связующее наносится на слой порошка, в итоге образуя слой, соответствующий поперечному сечению (Ink-Jet).

- а) послойное сплавление порошка;
- б) распыление фиксирующего материала;
- в) ламинирование.

Ключи: 1 а), 2 б), 3 б), 4 а), 5 а), 6 в), 7 б).

Критерии оценивания: тест считается пройденным, если обучающий ответил правильно как минимум на половину вопросов. На теоретический вопрос дан правильный, развернутый ответ или содержащий незначительные фактические ошибки.

Информация о разработчиках

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