

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Рабочая программа дисциплины

**Основы аддитивных технологий**

по направлению подготовки

**16.04.01 Техническая физика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Компьютерный инжиниринг высокоэнергетических систем**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2025**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

А.Ю. Крайнов

А.В. Шваб

Л.Л. Миньков

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2025

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе технической физики;

ПК-4 Способен самостоятельно применять знания на практике по проектированию модели сложного изделия, изготавливаемого методами аддитивных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.1 Знать фундаментальные законы природы, основные законы и понятия естественно-научных и инженерных дисциплин.

ИОПК 2.2 Уметь на основе знаний по профильным разделам математических и естественно-научных дисциплин формировать собственные суждения при решении конкретных задач теоретического и прикладного характера.

ИОПК 2.3 Владеть навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач в различных областях технической физики.

ИПК 4.1 Знать физические явления, происходящие в ходе изготовления изделий аддитивными методами.

ИПК 4.2 Уметь осуществлять поиск данных о технологических процессах изготовления изделий аддитивного производства в электронных справочных системах и библиотеках.

ИПК 4.3 Владеть способами применения компьютерного моделирования к процессам аддитивных технологий.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

- Освоить методики оценки основных параметров, регулирующих изготовление изделий и деталей с использованием аддитивных технологий для работы в заданных условиях эксплуатации, для этого необходимо освоить аппарат:

- оценки условия эксплуатации изготавливаемого по аддитивным технологиям изделия или детали;

- подготовки цифрового прототипа изделия или детали с применением принципов параметрического и математического моделирования;

- совершенствования регулирующих параметров цифрового прототипа изделия с целью расширения рамок эксплуатационных условий с использованием подходов топологической и структурной оптимизации.

• Разработать технические изделия и детали ответственных механизмов с использованием аддитивных технологий, для этого необходимо научиться:

- подбирать технологию и оборудование для производства изделия или детали;

- отобрать материалы для производства изделий или деталей, пригодные для аддитивного производства и подходящие по свойствам для конкретных условий эксплуатации;

- использовать специальное технологическое оборудование для изготовления изделий с использованием аддитивных технологий.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Профессиональный модуль «Аддитивные технологии и компьютерное моделирование в технической физике».

#### **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Второй семестр, экзамен

#### **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

#### **6. Язык реализации**

Русский

#### **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 10 ч.

-практические занятия: 18 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

#### **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

##### **Тема 1. Исторические предпосылки появления аддитивных технологий**

Ошибочно сложилось мнение, что развитие аддитивных технологий началось с появления в начале 21 века возможности приобретения 3D-принтеров для повсеместного использования в бытовых и игровых целях. Однако не всем известно, что до массового охвата всё новых сфер деятельности человека, трехмерная печать использовалась в научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности в оборонной промышленности с середины 20 века, а предшественниками аддитивных технологий считаются разработки, датированные 19 веком. О нюансах и этапах развития аддитивных технологий от любительских разработок до промышленных технологий рассказывается в этой теме.

**Тема 2. Терминология и классификация аддитивных технологий, характеристика рынка**

Рассматривается вопрос использования единой терминологии, разрабатываемой в рамках мировых технических стандартов для широкого спектра материалов, изделий, систем и услуг. В популярной научно-технической литературе, интернет-сообществе, разговорной речи профессионалов можно услышать или прочитать совершенно различные термины, касающиеся одного и того же явления в аддитивных средах. Как не потеряться в этом и самому следовать устоявшейся профессиональной терминологии будет рассказано в данной теме.

##### **Тема 3. Технологии и машины для выращивания металлических изделий**

Развитию аддитивных технологий в промышленности способствовало развитие технической возможности трёхмерной печати металлических деталей в качестве коммерческих изделий серийной продукции. Это направление развивается по мере роста перечня строительных материалов, в качестве которых могут выступать порошковые или проволоочные материалы. Однако до сих пор говорить о серьезной конкуренции вычитающим технологиям не приходится, однако, в ряде отраслей внедрение аддитивных технологий наиболее заметной. В данной теме будет рассказано о существующих промышленных технологиях и подходах выращивания металлических изделий, о научных разработках в этой отрасли и перспективах их развития. Будут изучены основные преимущества аддитивной печати металлическим сырьем перед существующими литейными и вычитающими методами, рассказано о походах структурной и топологической оптимизации, реализуемых в моделировании с использованием специализированных программных комплексов.

##### **Тема 4. Аддитивные технологии в литейном производстве**

При создании новой продукции, особенно на этапе ОКР, в опытном производстве, для которого характерны вариантные исследования, необходимость частых изменений конструкции и, как следствие, постоянной коррекции технологической оснастки для изготовления опытных образцов – проблема быстрого изготовления литейных деталей становится ключевой. В теме будет изучен вопрос, как использование аддитивных технологий в литейном производстве позволяет «выращивать» литейные модели и формы, которые невозможно было изготовить традиционными способами, а также значительно сокращает сроки изготовления модельной оснастки.

Переход на моделирование и цифровое описание изделий – CAD и появившиеся вслед за CAD аддитивные технологии произвели кардинальные изменения в литейном производстве, что особенно проявилось в высокотехнологичных отраслях – авиационной и аэрокосмической промышленности, атомной индустрии, медицине и приборостроении, в отраслях, в которых характерным является мелкосерийное, штучное производство.

#### **Тема 5. Аддитивные технологии в порошковой металлургии**

В настоящее время не существует общих требований к металлургическим композициям, применяемым в аддитивных технологиях. Разные компании – производители аддитивных машин предписывают работу с определенным перечнем материалов, обычно поставляемых самой компанией. В разных машинах используются порошки различного фракционного состава. Нет никакой гарантии того, что, купив материал у одного производителя и дополнительное количество у другого, вы получите изделия одинакового качества. Всё это диктует необходимость совершенствования методов по стандартизации материалов для аддитивных технологий. Здесь тоже необходима большая исследовательская работа, поскольку современные методы, применяемые для оценки свойств материалов для традиционных технологий, не могут быть применены к аддитивным технологиям. В данной теме будет рассказано о требованиях, предъявляемых к порошковым материалам в аддитивных технологиях и особенностях их производства.

#### **Тема 6. Освоение технологии 3D-печати изделий из полимерных материалов**

Широкое распространение полимерных материалов во всех отраслях промышленности сказалось и на аддитивных технологиях. Полимерные материалы в виде прутков или отверждаемых смол имеют огромную номенклатуру. По каким параметрам выбирать материал и технологию производства, на какие основные управляющие параметры ориентироваться при трехмерной печати полимерными материалами, какое программное обеспечение использовать при подготовке моделей к печати, будет рассказано в данной теме.

#### **Тема 7. Изучение механического поведения изделий, связанных с особенностями 3D-печати**

Каждая технология, используемая в трехмерной печати, вносит в структуру материала получаемого изделия существенные особенности, влияющие на физико-механические и функциональные свойства материалов. Детали, состоящие из одной марки материала, но полученные по разным технологиям имея один химический состав, могут иметь кардинально различные показатели механических свойств. При этом даже один метод печати может привести к подобному результату из-за изменения управляющих параметров печати, таких как ориентация слоев, плотность заполнения, метод постобработки. В данной теме будут изучены основные параметры, управляющие механическими свойствами различных аддитивных материалов в изделии, при производстве разными методами трехмерной печати, изучены экспериментальные методы оценки механических свойств аддитивных материалов и изделий.

### **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится в виде группового опроса перед каждой лекцией с использованием теста (платформа Menti.com и Mentimeter.com),

формирующего представление об усвоении, как группой, так и отдельными ее участниками пройденного материала. Теоретический материал по вопросам, получившим наименьшее количество правильных ответов, рассматривается в виде обсуждений или просмотре дополнительных видеоматериалов. Фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduor/>.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Экзамен во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из одной частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduor/>.

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «iDO» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=32738>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План практических занятий по дисциплине.

г) Методические указания по проведению лабораторных работ.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

1. Валетов, В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы) : учебное пособие / В. А. Валетов. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. — 58 с.

2. Аддитивные технологии в дизайне и художественной обработке материалов : учебное пособие для СПО / Е. С. Гамов, В. А. Кукушкина, М. И. Чернышова, И. Т. Хечиашвили. — 2-е изд. — Липецк, Саратов : Липецкий государственный технический университет, Профобразование, 2021. — 72 с.

3. А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров, Р. С. Третьяков Лазерные аддитивные технологии в машиностроении / учебное пособие под ред. А. Г. Григорьянца. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана , 2018. 278 с.

4. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники : учебное пособие для вузов / А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. В. Коберник, А. С. Филимонов ; под общей редакцией А. Л. Галиновского. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 115 с.

5. Gibson I. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing / I. Gibson, D. Rossen, B. Stucker. – 2nd ed. – New York^ Springer-Verlag, 2015.

б) дополнительная литература:

1. Осокин Е. Н. Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: курс лекций / Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. – Электрон. дан. (5 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.

2. Hohmann M., Brooks G., Spiegelhauer C. Production methods and applications for high-quality metal powders and sprayformed products. Produktionsmethoden und Anwendungen fur qualitativ hochwertige Metallpulver und spruhkompaktierte Halbzeuge. Stahl und Eisen. – 2005.

3. Boulos M. Plasma power can make better powders. Metal Powder Report. 2004. – Vol. 59. – Issue 5. – P. 16-21.

4. Дорошенко В.А., Чудайкин А.И., Юдин В.А. Модульные производственно-технологические комплексы для мелко- и среднесерийного многономенклатурного производства / Литейное производство. №2, 2012.

5. ГОСТ Р 57556-2017. Материалы для аддитивных технологических процессов. Метод контроля испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2017.

6. ГОСТ Р 57558-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2017.

7. ГОСТ Р 57589-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования. – Москва: Стандартинформ, 2017.

8. ГОСТ Р 57911-2017. Изделия, полученные методом аддитивных технологических процессов. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2017.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной в сети Интернет.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытый онлайн-курс «Технологии цифровой промышленности»  
<https://openedu.ru/course/spbstu/DIGTECH/>

– открытый онлайн-курс «3D-печать для всех и каждого»  
<https://mooc.tsu.ru/ru/?courses=3d>

– открытый онлайн-курс «Аддитивные технологии (3D-печать). Вводный курс.»  
<https://www.coursera.org/learn/additivnye-tekhnologii> (в 2022 году получили возможность пройти регистрацию и скачать видео лекции до закрытия доступа в России)

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

- система создания и проведения on-line тестов и опросов Menti (menti.com и mentimeter.com).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

в) профессиональные базы данных:

– база международных научных изданий - <https://www.sciencedirect.com/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам, с предустановленным программным обеспечением Ansys Workbench и любой САД-системой.

Лаборатории с 3D-принтерами для FDM и SLA-печати с достаточным запасом расходных материалов.

Лаборатория с испытательной машиной с возможностью регистрации перемещений и усилий, с захватами для растяжения плоских образцов, сжатия и изгиба призматических образцов.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

### **15. Информация о разработчиках**

Козулин Александр Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры механики деформируемого твердого тела ФТФ ТГУ