

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Горных машин и электромеханических систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №10 от 27 февраля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ТЕХНОЛОГИИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Специальность: 21.05.04 Горное дело

Горные машины и оборудование

Квалификация: Горный инженер (специалист)

Форма обучения: заочная

Документ подписан простой электронной подписью
Составитель программы: Стрелков Алексей Борисович
Дата подписания: 16.06.2025

Документ подписан простой электронной подписью
Утвердил и согласовал: Храмовских Виталий Александрович
Дата подписания: 17.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Технологии аддитивного производства» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ДК-1 Способность осуществлять деятельность, находящуюся за пределами основной профессиональной сферы	ДК-1.3

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ДК-1.3	Осваивает дополнительные виды деятельности и решает профессиональные задачи в сфере аддитивного производства	Знать технологии аддитивного производства и область их применения; методы контроля деталей полученных с использованием аддитивных технологий; особенности аддитивных технологий по сравнению с традиционными Уметь учитывать особенности и возможности аддитивных технологий; разрабатывать управляющие программы для 3d принтеров и роботизированных комплексов; выполнять расчеты на прочность оптимизированных и спроектированных изделий; выбирать параметры режима аддитивной технологии изготовления несложного изделия Владеть навыками компьютерного моделирования; навыками топологической оптимизации изделий

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Технологии аддитивного производства» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Инженерная и компьютерная графика», «Материаловедение», «Метрология, стандартизация и сертификация в горном деле», «Детали машин и механизмов», «Технологии машиностроения», «Технологии обработки металлов»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Производственная практика : преддипломная практика», «Производственная практика: производственно-технологическая практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоёмкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Учебный год № 4	Учебный год № 5
Общая трудоёмкость дисциплины	108	36	72
Аудиторные занятия, в том числе:	14	2	12
лекции	6	2	4
лабораторные работы	0	0	0
практические/семинарские занятия	8	0	8
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	90	34	56
Трудоёмкость промежуточной аттестации	4	0	4
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	, Зачет		Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Учебный год № 4

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Введение и описание основных принципов аддитивного производства	1	2					1, 2	18	Устный опрос
2	Развитие технологий аддитивного производства	2						2	16	Устный опрос
	Промежуточная аттестация									
	Всего		2						34	

Учебный год № 5

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	Процессы направленного энерговклада	3	2			4	2	1	16	Устный опрос
4	Плавление порошков в сформированном слое	4	2			3	2	1	24	Устный опрос
5	Проектирование изделий для аддитивного производства	5				1, 2	4	1	16	Устный опрос
	Промежуточная аттестация								4	Зачет
	Всего		4				8		60	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Учебный год № 4

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение и описание основных принципов аддитивного производства	Что такое аддитивное производство и где оно используется. Общее представление процесса аддитивного производства. Преимущества аддитивного производства. Различие между аддитивным производством и обработкой на станках с ЧПУ. Этапы аддитивного производства.
2	Развитие технологий аддитивного производства	Технологии компьютерного моделирования и проектирования. Классификация технологий аддитивного производства. Технологии аддитивного производства. Гибридные системы. Трансформация быстрого прототипирования в прямое цифровое производство.

Учебный год № 5

№	Тема	Краткое содержание
3	Процессы направленного энерговклада	Введение. Описание процесса направленного энерговклада. Печать на основе селективного лазерного спекания (послойного спекания порошка). Печать на основе электродугового выращивания (WAAM, 3DMP). Машины и оборудование для выращивания металлических изделий. Параметры процесса. Материалы и микроструктура. Преимущество и недостаткиDED
4	Плавление порошков в сформированном слое	Материалы. Механизмы спекания порошков. Параметры технологического процесса. Работа с порошками. Лазерное спекание. Электронно-лучевое плавление. Преимущества и недостатки
5	Проектирование изделий для аддитивного производства	Возможности аддитивного производства. Инструменты САПР для аддитивного производства. Методы синтеза. Бионический дизайн. Постобработка. Методы контроля деталей полученных с использованием аддитивных

	технологий
--	------------

4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

4.4 Перечень практических занятий

Учебный год № 5

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Компьютерное моделирование изделий в среде Simcenter 3D	2
2	Топологическая оптимизация существующих деталей	2
3	Подготовка к печати на 3D принтере с использованием технологии селективного лазерного спекания в системе NX	2
4	Применение СААМ систем при подготовке производства	2

4.5 Самостоятельная работа

Учебный год № 4

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Подготовка к зачёту	8
2	Проработка разделов теоретического материала	26

Учебный год № 5

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Проработка разделов теоретического материала	56

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: мастер-класс

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Стрелков А.Б. Технологии аддитивного производства : электронный ресурс. – 2024. URL: <https://el.istu.edu/course/view.php?id=6289>. Дата публикации 25.03.2024

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Стрелков А.Б. Технологии аддитивного производства : электронный ресурс. – 2024. URL: <https://el.istu.edu/course/view.php?id=6289>. Дата публикации 25.03.2024

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 учебный год 4 | Устный опрос

Описание процедуры.

Студенты получают по одному вопросу на заданную тему, подготовиться к ответу, на который должны в течение 15 минут.

Тема: Введение и описание основных принципов аддитивного производства

- 1) Что такое аддитивное производство?
- 2) В каком формате должна быть сохранена модель для печати?
- 3) К чему приводит чрезмерное спекание порошка при печати на SLS-принтере?
- 4)) Какие основные принципы лежат в основе аддитивного производства?
- 5) Какие технологии аддитивного производства наиболее распространены?
- 6) Какие преимущества аддитивного производства перед традиционными методами производства?

Критерии оценивания.

Ответы на устный опрос оцениваются «зачтено» или «незачтено». Оценка «зачтено» ставится, если студент раскрыл вопрос в полном объёме, логично и последовательно, привёл примеры (если есть такая возможность). Оценка «незачтено» ставится в случае, если студент не смог раскрыть поставленный вопрос. Студенту даётся возможность передачи по расписанию консультаций преподавателя.

6.1.2 учебный год 5 | Устный опрос

Описание процедуры.

Студенты получают по одному вопросу на заданную тему, подготовиться к ответу, на который должны в течение 15 минут.

Тема «Процессы направленного энерговклада» (DED – Directed energy depositin)

1. Назовите преимущества и недостатки технологии направленного энерговклада
2. Назовите способы подачи материала в технологии DED
3. Какие системы направленного энерговклада вы знаете?
4. В чем преимущество технологии использования проволоки при аддитивном производстве по сравнению с послойным спеканием порошка.
5. Назовите основные параметры процесса направленного энерговклада.
6. Почему скорость наплавки считается ключевым параметром, требующим контроля при обработке DED?
7. Назовите три характеристики, по которым процессы DED аналогичны экструзионным процессам, и три характеристики, по которым они отличаются.

Тема "Плавление порошков в сформированном слое"

1. В чем заключается сущность метода плавления порошков на подложке?
2. Какие механизмы спекания порошков вы знаете?
3. Какие материалы можно использовать в технологии плавлении порошков в сформированном слое?
4. Назовите основные параметры технологического процесса плавления порошков на подложке.

5. Какие способы подачи порошка Вы знаете?
6. Назовите преимущества и недостатки процесса плавления материала на подложке.
7. Что представляет из себя твердофазное спекание порошков?

Тема «Проектирование изделий для аддитивного производства»

1. Назовите уникальные возможности аддитивного производства.
2. Какими правилами должен руководствоваться конструктор при проектировании деталей для аддитивного производства?
3. В чем преимущество использования ячеистых (решетчатых) структур в изделии?
4. Назовите существующие проблемы в САПР, замедляющие применение аддитивных производств.
5. Какие методы оптимизации, применительно к аддитивным технологиям, Вы знаете.
6. Назовите три способа, на которые ориентируются сегодня конструктора и которые противоречат принципам проектирования для аддитивного производства.
7. Что включает в себя постобработка?
8. Какие проблемы возникают при программировании последующей механической обработки с использованием файлов STL и AMF.
9. Какие методы улучшения физико-механических свойств деталей полученных с применением аддитивных технологий Вы можете назвать?
10. Какие качества сочетают в себе изделия спроектированные с использованием бионического подхода.
11. Какое программное обеспечение для бионического проектирования Вы знаете?

Критерии оценивания.

Ответы на устный опрос оцениваются «зачтено» или «незачтено». Оценка «зачтено» ставится, если студент раскрыл вопрос в полном объёме, логично и последовательно, привёл примеры (если есть такая возможность). Оценка «незачтено» ставится в случае, если студент не смог раскрыть поставленный вопрос. Студенту даётся возможность передачи по расписанию консультаций преподавателя.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ДК-1.3	Знает терминологию, общие понятия, определения, область применения различных видов аддитивных технологий, основные принципы разработки управляющих программ в СААМ системах; выполняет процедуры, связанные с подготовкой аддитивного производства. Отвечает на вопросы самостоятельно, приводя свои примеры.	Устное собеседование по теоретическим вопросам

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Учебный год 5, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Процедура зачёта осуществляется на основе СТО 015-2018 «Система менеджмента качества. Учебно-методическая деятельность. Контроль успеваемости студентов». Зачёт проводится только при наличии ведомости и надлежащим образом оформленной зачётной книжки.

Критерии оценки ответа студента на зачёте, а также форма его проведения доводятся преподавателем до сведения студентов до начала зачёта.

Во время проведения зачётов студенты могут пользоваться рабочими программами дисциплины, а также с разрешения преподавателя, проводящего зачёт, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Ответ на теоретические вопросы проводится в устном виде, в перечень включаются вопросы из различных разделов курса, позволяющие проверить и оценить теоретические знания студентов. Минимальное время, предоставляемое студенту на подготовку к ответу на зачёте, должно составлять 45 минут. По истечении этого времени студент обязан быть готовым к ответам.

На практической части студенту необходимо представить на защиту презентацию (не более 7 слайдов) проекта о подготовке к производству детали, выданной в начале 7-го семестра в виде СРС. В презентации должны быть представлены пункты по этапам аддитивного производства и последующей постобработки:

- проектирование детали в среде CAD;
- топологическая оптимизация;
- адаптация полученной модели к производству
- анализ и проверка в CAE пакете;
- подготовка производства (программа+ модель с поддерживающими элементами в рабочей области);
- операции получения модели;
- анализ маршрута разработанной технологии и классической лезвийной.

Нарушения студентом дисциплины на зачёте пресекаются экзаменатором вплоть до удаления с зачёта.

Присутствие на зачётах посторонних лиц без разрешения ректора, проректора по учебной работе или заведующего кафедрой не допускается, кроме лиц, осуществляющих проверку.

Если студент явился на зачёт и отказался от ответа, то студенту проставляется в ведомость «Не зачтено».

Пример задания:

Примеры вопросов для зачёта

1. Назовите основной принцип технологии аддитивного производства.
2. Перечислите этапы аддитивного производства.
3. Приведите различия между аддитивным производством и классическими методами обработки резанием.

4. Дайте классификацию технологий аддитивного производства.
5. Технологии фотополимеризации в ванне.
6. Технология послойного сплавления порошка.
7. Технология экструзии материала
8. Технология распыления исходного материала
9. Технологии прямого подвода энергии.
10. Какие технологии аддитивного производства с использованием металлов Вы знаете.
11. Назовите ключевые этапы в развитии аддитивных технологий.
12. Какие виды порошков используются в настоящее время в аддитивном производстве?
13. Что такое капельная технология печати? Где она используется?
14. Назовите преимущества и недостатки технологии направленного энерговклада
15. Назовите способы подачи материала в технологии DED.
16. Какие системы направленного энерговклада вы знаете?
17. В чем преимущество технологии использования проволоки при аддитивном производстве по сравнению с послойным спеканием порошка.
18. Почему скорость наплавки считается ключевым параметром, требующим контроля при обработке DED?
19. В чем заключается сущность метода плавления порошков на подложке?
20. Какие механизмы спекания порошков вы знаете?
21. Какие материалы можно использовать в технологии плавлении порошков в сформированном слое?
22. Назовите основные параметры технологического процесса плавления порошков на подложке.
23. Назовите преимущества и недостатки процесса плавления материала на подложке.
24. Расскажите основной принцип действия экструзионных систем.
25. Назовите типы экструзионных машин.
26. Какие материалы используются для FDM.
27. Назовите ограничения FDM.
28. Назовите уникальные возможности аддитивного производства.
29. Какими правилами должен руководствоваться конструктор при проектировании деталей для аддитивного производства?
30. В чем преимущество использования ячеистых (решетчатых) структур в изделии?
31. Назовите существующие проблемы в САПР, замедляющие применение аддитивных производств.
32. Какие методы оптимизации, применительно к аддитивным технологиям, Вы знаете.
33. Какие методы улучшения физико-механических свойств деталей полученных с применением аддитивных технологий Вы можете назвать?
34. Какие качества сочетают в себе изделия, спроектированные с использованием бионического подхода.
35. Какое программное обеспечение для бионического проектирования Вы знаете?
36. Что такое конвергентное тело?

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Оценки «зачтено» заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного и нормативного материала, умеющий свободно выполнять	Оценка «незачтено» выставляется обучающимся, обнаружившим пробелы в знаниях основного учебного материала, допускающим принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных

<p>задания, предусмотренные программой, демонстрирующий систематический характер знаний по дисциплине и способный к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности</p>	<p>программой заданий. Такой оценки заслуживают ответы, носящие несистематизированный, отрывочный, поверхностный характер, когда обучающийся не понимает существа излагаемых им вопросов</p>
--	--

7 Основная учебная литература

1. Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств : учебное пособие / Е. В. Преображенская, Т. Н. Боровик, Н. С. Баранова. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021 — Часть 1 — 2021. — 173 с.
2. Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств : учебное пособие / Е. В. Преображенская, В. В. Зуев, А. А. Мышечкин. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021 — Часть 2 — 2021. — 164 с.
3. Горунов, А. И. Аддитивные технологии и материалы : учебное пособие / А. И. Горунов. — Казань : КНИТУ-КАИ, 2019. — 56 с.
4. Кравченко, Е. Г. Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / Е. Г. Кравченко, А. С. Верещагина, В. Ю. Верещагин. — Комсомольск-на-Амуре : КНАГУ, 2018. — 140 с.
5. Кулик, В. И. Аддитивные технологии в производстве изделий авиационной и ракетно-космической техники : учебное пособие / В. И. Кулик, А. С. Нилов. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. — 160 с.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Симонян, Л. М. Современные методы и технологии специальной электротехнологии и аддитивного производства: теория и технология спецэлектротехнологии : учебное пособие / Л. М. Симонян, А. Е. Семин, А. И. Кочетов. — Москва : МИСИС, 2017. — 182 с.
2. Трофимов, А. В. Компьютерные технологии в машиностроении. Аддитивные технологии : учебное пособие / А. В. Трофимов. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2019. — 72 с.
3. Данилов Ю. В. Практическое использование NX : учебное пособие / Ю. В. Данилов, И. А. Артамонов, 2011. - 331.
4. NX для конструктора-машиностроителя : учебное пособие / П. С. Гончаров [и др.], 2010. - 498.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>
3. https://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/
4. <https://openedu.ru/course/ITMOUniversity/FUSENG2/>
5. <https://www.coursera.org/learn/additivnye-tekhnologii>
6. <https://umnpro.com/at/>
7. <https://additiv-tech.ru>
8. <https://www.hubs.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Siemens NX 1899 Academic CAD+CAM (учебная)_обновление 2019 _50 р.м.

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Компьютер Core i7-11700,16Gb DDR4 3200,500GB,SSD,1TbHDD,мон 23.8",клав-мышь - 14 штук (Д-105б)