



УТВЕРЖДАЮ
Генеральным директором
Д.Н. Васильевым
« » 2026 г.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ**

«SLM-интенсив: комплексная подготовка. М13-56»

(форма обучения – очная, 56 часов,
итоговая аттестация в форме зачета)

Авторы программы:

Борейшо Анатолий Сергеевич, доктор технических наук, профессор

Научный руководитель;

Савин Андрей Валерьевич доктор технических наук,

Главный научный сотрудник;

Джгмадзе Гванца Тенгизовна, кандидат технических наук,

инженер 1 категории

Петрова Юлия Юрьевна, инженер 1 категории

Эксперт, проводивший техническую экспертизу программы:

Ченцова Е.В., директор департамента управления качеством



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
Д.Н. Васильев
«___» _____ 2026 г.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН

дополнительной профессиональной программы повышения квалификации
«SLM-интенсив: комплексная подготовка. М13-56»

Цель: формировать у слушателей систему знаний и компетенций в области аддитивных производственных технологий, а также дополнить теоретические знания и практические навыки для обеспечения качества и производительности при производстве изделий методами аддитивных технологий.

Категория слушателей: инженерно-технические работники промышленных и научно-производственных предприятий, имеющие среднее профессиональное и высшее образование.

Форма обучения: очная, с отрывом от производства.

Календарный учебный график:

общий объем программы в часах – 56 часов.

Из них:

аудиторных часов - 56;

обучение в дистанционном режиме – 0;

Режим занятий:

часов в день – 6-8;

дней в неделю – 5;

Общая продолжительность реализации программы – 10 дней.

№	№ п/п	Наименование модулей	Всего часов	В том числе			Формы контроля
				Лекции	Практические занятия		
					Аудиторный практикум	Лабораторный практикум	
1	М1	Введение в аддитивные технологии	2	2	0	0	
	М2	Введение в технологию селективного лазерного сплавления (SLM)	5	4	1	0	
	М3	Особенности технологии SLM в аспекте ее производственной эффективности (Выбор технологии изготовления. Критерии выбора технологии SLM в промышленности)	1	1	0	0	
	М4	Особенности	10	0,5	0	9,5	ИПЗ

№	№ п/п	Наименование модулей	Всего часов	В том числе			Формы контроля
				Лекции	Практические занятия		
					Аудиторный практикум	Лабораторный практикум	
		конструирования (проектирования) изделий для SLM-производства					
	M5	Технологическая подготовка процесса SLM-печати	8	2	4	2	ИПЗ
	M6	Математическое моделирование SLM-процесса	8	4	4	0	
	M7	Основы экономики SLM-производства	2	0,5	1,5	0	
Итого блок 1:			36	14	10,5	11,5	
2	M8	Вопросы безопасности и экологии при работе с SLM-установками (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	2	1,75	0,25	0	
	M9	Описание и работа установок SLM (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	3	0,5	1	1,5	
	M10	Организация работы SLM-производства (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	2	1,5	0,5	0	
	M11	Практика печати на аддитивном SLM-оборудовании (полный комплекс)	6	1,5	4,5	0	Контроль ная работа
	M12	Методы контроля качества изготовленных изделий с помощью SLM-технологии	2	0,75	1,25	0	
	M13	Реверс-инжиниринг и ре-инжиниринг	3	1,5	1,5	0	
Итого блок 2:			18	7,5	9	1,5	
Итоговая аттестация:			2		2		
Итого:			56	21,5	21,5	13	

Главный научный сотрудник
АО «Лазерные системы», д.т.н.

 / А.В. Савин

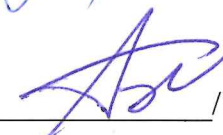
Инженер 1 категории
АО «Лазерные системы», к.т.н.

 / Г.Т. Джгамадзе

Инженер 1 категории
АО «Лазерные системы»

 / Ю.Ю. Петрова

Научный руководитель
АО «Лазерные системы», д.т.н., профессор

 / А.С. Борейшо

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН
дополнительной профессиональной программы повышения квалификации
«SLM-интенсив: комплексная подготовка. М13-56»

№ модуля	№ п/п	Наименование модулей (разделов, дисциплин)	Всего часов	В том числе			Формы контроля
				Лекции	Аудиторный практикум	Лабораторный практикум	
1	1.	Введение в аддитивные технологии	2	2	0	0	
	1.1.	Вводная + Sheet Lamination (LOM)	0,5	0,5	0	0	
	1.2.	Binder Jetting (BJ)	0,25	0,25	0	0	
	1.3.	Material Jetting (MJ, NPJ, DOD)	0,25	0,25	0	0	
	1.4.	Vat Photopolymerization (DLP, SLA, CDLP)	0,25	0,25	0	0	
	1.5.	Material Extrusion (FDM)	0,25	0,25	0	0	
	1.6.	Direct Energy Deposition (LENS, EBAM)	0,25	0,25	0	0	
	1.7.	Power Bed Fusion (MJF, SLS, SLM, EBM)	0,25	0,25	0	0	
1	2.	Введение в технологию селективного лазерного сплавления (SLM)	5	4	1	0	
	2.1.	Общие принципы функционирования SLM-установок. Преимущество и недостатки SLM-технологии относительно других технологий. Область применения SLM-технологии.	0,5	0,5	0	0	
	2.2.	Геометрические возможности и ограничения при изготовлении деталей аддитивными способами. Генеративный дизайн и оптимизация конструкции (включая топологическую оптимизацию, оптимизацию формы и параметрическую оптимизацию). Примеры	1	1	0	0	
	2.3.	Порядок технологической подготовки процесса SLM-печати	1	0	1	0	
	2.4.	Материалы, применяемые в SLM-производстве (характеристики металлических порошков, механические свойства получаемых образцов). Технологические параметры SLM-процесса (режимы сплавления и стратегия	0,5	0,5	0	0	

№ модуля	№ п/п	Наименование модулей (разделов, дисциплин)	Всего часов	В том числе			Формы контроля
				Лекции	Аудиторный практикум	Лабораторный практикум	
		сканирования). Поддерживающие структуры.					
	2.5.	Физические процессы SLM-технологии: процессы в ванне плавления, макропроцессы (брызги, продувка, деформации).	0,5	0,5	0	0	
	2.6.	Методы контроля качества изготавливаемых деталей во время печати	0,5	0,5	0	0	
	2.7.	Постобработка изготовленных деталей. Контроль качества изделий после изготовления	0,5	0,5	0	0	
	2.8.	Общие вопросы безопасности при работе с SLM-установками	0,5	0,5	0	0	
1	3.	Особенности технологии SLM в аспекте ее производственной эффективности (Выбор технологии изготовления. Критерии выбора SLM- технологии в промышленности)	1	1	0	0	
	3.1.	Понятие «Аддитивной» детали. Целесообразность изготовления изделий аддитивным методом. Особенности деталей SLM-производства. Экономическая составляющая как основной критерий эффективности технологии. Примеры эффективного применения SLM-технологии для решения прикладных задач.	0,5	0,5	0	0	
	3.2.	Производительность SLM-установок (многоканальные системы и оптимизация поддерживающих структур)	0,5	0,5	0	0	
1	4.	Особенности конструирования (проектирования) изделий для аддитивного производства	10	0,5	0	9,5	ИПЗ
	4.1.	Геометрические возможности и ограничения при изготовлении деталей аддитивными способами. Генеративный дизайн и оптимизация конструкции (включая топологическую оптимизацию, оптимизацию формы и параметрическую оптимизацию). Примеры	0,5	0,5	0	0	
	4.2.	Проведение топологической оптимизации (ТО) детали и сборки со статическими расчетами (Компас-3D)	2,5	0	0	2,5	

№ модуля	№ п/п	Наименование модулей (разделов, дисциплин)	Всего часов	В том числе			Формы контроля
				Лекции	Аудиторный практикум	Лабораторный практикум	
	4.3.	Контрольная самостоятельная работа «Топологическая оптимизация детали»	2	0	0	2	
	4.4.	Проведение параметрической оптимизации детали со статическими расчетами	2,5	0	0	2,5	
	4.5.	Построение решетчатых структур	1	0	0	1	
	4.6.	Контрольная самостоятельная работа «Решетчатые структуры»	1	0	0	1	
	4.7.	Генерация файла stl для передачи в установку для аддитивной печати	0,5	0	0	0,5	
	5.	Технологическая подготовка процесса SLM-печати	8	2	4	2	ИПЗ
	5.1.	Способы обработки технологических параметров процесса печати	1	1	0	0	
	5.2.	Технологические рекомендации по изготовлению типовых SLM-конструкций	1	1	0	0	
	5.3.	Проектирования вспомогательных технологических элементов изделия (поддержки, тепловые мосты). Расстановка изделий на столе, определение ориентации.	2	0	0	2	
	5.4.	Проектирование стратегии сканирования и определение технологических режимов	2	0	2	0	
	5.5.	Практические занятия по подготовке проекта печати	2	0	2	0	
1	6.	Математическое моделирование SLM-процесса	8	4	4	0	
	6.1.	Базовые понятия о численном моделировании процессов теплопередачи в материалах со сложной микроструктурой.	0,5	0,5	0	0	
	6.2.	Способы моделирования лазерного излучения	0,5	0,5	0	0	
	6.3.	Методы генерации моделей случайно-неоднородных пористых структур, сформированных частицами порошка	2	1	1	0	
	6.4.	Понятие об уровнях моделирования теплофизических процессов селективного лазерного сплавления и соответствующих инженерных задачах.	1	1	0	0	
	6.5.	Моделирование системы продувки типовой конструкции SLM-установки	2	0	2	0	

№ модуля	№ п/п	Наименование модулей (разделов, дисциплин)	Всего часов	В том числе			Формы контроля
				Лекции	Аудиторный практикум	Лабораторный практикум	
1	6.6.	Моделирование на микро-уровне SLM-процессов	1	1	0	0	
	6.7.	Моделирование на мезоуровне (нагрев пластины лазерным излучением)	1	0	1	0	
	7.	Основы экономики SLM-производства	2	0,5	1,5	0	
	7.1.	Экономическая эффективность SLM-технологии: рост применения SLM-технологии в промышленности, преимущества и недостатки SLM-технологии перед традиционными методами, необходимость экономического обоснования	0,25	0,25	0	0	
	7.2.	Цель и задачи исследования экономически выгодного применения SLM-технологии: анализ структуры затрат в SLM-производстве, сравнение с традиционными методами, разработка модели расчета эффективности	0,25	0,25	0	0	
	7.3.	Особенности методологии расчета экономической эффективности SLM-технологии: основные затраты, формулы для расчета, критерии эффективности	0,25	0	0,25	0	
2	7.4.	Практический кейс: Сравнение SLM и литье / фрезеровка (исходные данные, расчет себестоимости)	1	0	1	0	
	7.5.	Факторы, влияющие на эффективность SLM. Выводы и рекомендации	0,25	0	0,25	0	
	Итого Блок 1		36	14	10,5	11,5	
	8.	Вопросы безопасности и экологии при работе с SLM-установками (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	2	1,75	0,25	0	
	8.1.	Структура требований безопасности. Требования к персоналу, выполняющему работы и обслуживающему SLM-установки	0,5	0,5	0	0	
	8.2.	Требования безопасности при работе с металлическим порошком	0,25	0,25	0	0	
	8.3.	Требования безопасности при работе с SLM-установками и вспомогательным оборудованием	0,25	0,25	0	0	

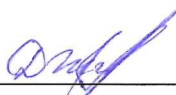
№ модуля	№ п/п	Наименование модулей (разделов, дисциплин)	Всего часов	В том числе			Формы контроля
				Лекции	Аудиторный практикум	Лабораторный практикум	
	8.4.	Общие меры безопасности при выполнении работ: штатной работе, техническом обслуживании, текущем ремонте и при замене составных частей	0,5	0,25	0,25	0	
	8.5.	Требования безопасности при выполнении постобработки, контроля качества изготовленных деталей	0,25	0,25	0	0	
	8.6.	Способы утилизации расходных материалов	0,25	0,25	0	0	
2	9.	Описание и работа SLM-установок (на примере SLM-установок АО «Лазерные системы»)	3	0,5	1	1,5	
	9.1.	Знакомство с оборудованием: устройство и принцип работы SLM-установок	0,25	0,25	0	0	
	9.2.	Программное обеспечение: PrepareModel, LaserStudio	0,5	0	0,5	0	
	9.3.	Техническое обслуживание и ремонт, замена составных частей	0,75	0,25	0,5	0	
	9.4.	Практические занятия (замена составных частей, работа с порошком)	1,5	0	0	1,5	
2	10.	Организация работы SLM-производства (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	2	1,5	0,5	0	
	10.1.	Требования к помещению и SLM-установкам	0,25	0,25	0	0	
	10.2.	Требования к металлическому порошку. Рынок производителей. Методы входного контроля	0,5	0,25	0,25	0	
	10.3.	Требования к вспомогательному оборудованию (входной контроль сырья, постобработка, обеспечение рабочего места)	0,25	0,25	0	0	
	10.4.	Требования к материально-техническому обеспечению рабочего места оператора	0,25	0,25	0	0	
	10.5.	Организация работы непрерывного SLM-производства	0,5	0,25	0,25	0	
	10.6.	Планирование и организация технического обслуживания и текущего ремонта SLM-установок	0,25	0,25	0	0	
2	11.	Практика печати на аддитивном SLM-оборудовании (полный комплекс)	6	1,5	4,5	0	Контрольная работа

№ модуля	№ п/п	Наименование модулей (разделов, дисциплин)	Всего часов	В том числе			Формы контроля
				Лекции	Аудиторный практикум	Лабораторный практикум	
	11.1.	Аппаратная подготовка: металлический порошок, разравнивающий нож, баллоны с инертным газом, подложка.	0,5	0	0,5	0	
	11.2.	Калибровка установки	1,5	0,5	1	0	
	11.3.	Вывод установки на рабочий режим	0,5	0	0,5	0	
	11.4.	Рабочий режим. Действия операторов в штатных и внештатных ситуациях	1	1	0	0	
	11.5.	Постобработка образцов: удаление порошка, снятие с подложки, удаление поддержек, ТО и/или пескоструйная обработка	0,5	0	0,5	0	
	11.6.	Компенсация деформаций: Reditive Compensation	2	0	2	0	
2	12.	Методы контроля качества изготовленных изделий с помощью SLM-технологии	2	0,75	1,25	0	
	12.1.	Контроль остаточной пористости образцов: металлографический анализ, методы неразрушающего контроля	0,75	0,25	0,5	0	
	12.2.	Контроль геометрических размеров: сканирование и др.	0,75	0,25	0,5	0	
	12.3.	Контроль механических свойств: прочность и др.	0,5	0,25	0,25	0	
2	13.	Реверс-инжиниринг и ре-инжиниринг	3	1,5	1,5	0	
	13.1.	Ре-инжиниринг в аддитивном производстве	1	0,5	0,5	0	
	13.2.	Реверс-инжиниринг в аддитивном производстве	1	0,5	0,5	0	
	13.3.	Дополнительное оборудование	1	0,5	0,5	0	
Итого модуль 2:			19	7,5	9	1,5	
Итоговая аттестация:			2		2		Зачет
Итого:			56	21,5	21,5	13	

Главный научный сотрудник
АО «Лазерные системы», д.т.н.

 / А.В. Савин

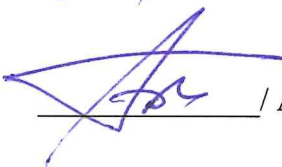
Инженер 1 категории
АО «Лазерные системы», к.т.н.

 / Г.Т. Джгмадзе

Инженер 1 категории
АО «Лазерные системы»

 / Ю.Ю. Петрова

Научный руководитель
АО «Лазерные системы», д.т.н., профессор

 / А.С. Борейшо

Пояснительная записка

к дополнительной профессиональной программе переподготовки
«SLM-интенсив: комплексная подготовка. М13-56»

1. Актуальность и практическая значимость программы. Современное развитие промышленности требует применения высокопроизводительных низко затратных способов получения изделий из легированных сталей и сплавов цветных металлов. Одним из значительных достижений технологического уклада и промышленной революции являются аддитивные технологии (АТ). Их практическое применение в настоящее время находится в стадии роста как количественного – увеличение масштабов деятельности, так и качественного – совершенствование оборудования, материалов и способов формообразования, повышение точности, конструктивной сложности изделий, производительности труда.

В Российской Федерации в 2021 г. разработана и утверждена Стратегия развития аддитивных технологий на период до 2030 г. В ней обозначена цель развития отрасли Аддитивные технологии – «обеспечение роста объема российского рынка аддитивных технологий (аддитивного оборудования и комплектующих, материалов для аддитивной печати, услуг и программного обеспечения). Основными направлениями развития отрасли аддитивных технологий должны стать создание конкурентоспособного аддитивного оборудования и материалов на базе российских технических решений и программного обеспечения, обеспечивающего реализацию национальных проектов, а также доминирование на внутреннем рынке аддитивных технологий с существенным увеличением экспорта аддитивного оборудования и комплектующих»

Таким образом, подготовка и повышение квалификации специалистов для аддитивного производства имеет важное государственное значение.

Практическая значимость программы заключается в том, что в ее рамках будут рассмотрены:

- особенности проектирования изделий для аддитивного производства;
- технологические рекомендации по изготовлению типовых элементов конструкций с применением аддитивных технологий.

А также получены практические навыки:

- топологической оптимизации конструкций;
- печати на аддитивном оборудовании селективного лазерного сплавления (СЛС, SLM - Selective Laser Melting);
- технического обслуживания и текущего ремонта систем SLM-установок (на примере SLM-установок отечественного производства АО «Лазерные системы»).

Освоение современных подходов к проектированию и изготовлению изделий, а также практические навыки эксплуатации системы SLM позволит слушателям быстрее адаптироваться к новым условиям профессиональной деятельности, определяемым приоритетными направлениями государственной политики в области развития аддитивных технологий.

2. Профессиональный стандарт (ПС), как основа разработки ДПП

В основу обучения по данной программе положен профессиональный стандарт:

- Профессиональный стандарт «Специалист по аддитивным технологиям», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 5 октября 2020 г. N 697н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 5 ноября 2020 г., регистрационный N 60744)

Планируемые результаты обучения направлены на выполнение слушателем:

Обобщенных трудовых функций (ОТФ)	Трудовых функций (ТФ)	Трудовых действий (ТД)	На уровне квалификаци и
Обеспечение производства изделий методами аддитивных технологий	Выполнение несложных мероприятий по контролю технологий аддитивного производства	Периодическая проверка качества исходных материалов для аддитивного производства; Периодический контроль мощности источника энергии технологического оборудования в аддитивном производстве; Периодический контроль в аддитивном производстве толщины слоя, наносимого за один проход; Периодический контроль несложных операций последующей обработки изделий аддитивного производства.	4
Производство несложных изделий методами аддитивных технологий	Проектирование модели несложного изделия, изготавливаемого методами аддитивных технологий	Формулировка требований к конструкции несложного изделия аддитивного производства на основе технического задания на его разработку; Проектирование конструкции несложного изделия аддитивного производства; Выбор исходного материала для изготовления несложного изделия методами аддитивных технологий в зависимости от заданных эксплуатационных свойств; Оценка затрат на изготовление несложного изделия выбранным методом аддитивных технологий Прогнозирование экономического эффекта от замены традиционных методов изготовления несложных изделий аддитивными технологиями Определение необходимых средств контроля за процессом формообразования несложного изделия методами аддитивных технологий.	5
	Постановка на производство методами аддитивных технологий несложных изделий	Преобразование файлов на несложные изделия в формат, используемый машиной аддитивного производства; Настройка технологического оборудования аддитивного производства для изготовления несложных изделий; Контроль результатов изготовления несложных изделий на оборудовании аддитивного производства	

	Контроль качества несложных изделий, изготовленных методами аддитивных технологий	Обобщение информации о применяемом оборудовании, технологиях и средствах контроля качества несложных изделий аддитивных производств Проведение выборочных испытаний несложных изделий аддитивных производств в целях уточнения зависимости прочностных свойств от параметров технологических процессов Проведение выборочных исследований несложных изделий аддитивного производства при помощи методов неразрушающего контроля с целью выявления трещин, несплошности, пористости, полей напряжений, скрытых отклонений профиля и размеров Выявление причин, вызывающих дефекты в несложных изделиях аддитивного производства	
--	---	--	--

3. Описание структуры программы

Программа состоит из двух блоков. Логика построения – первый блок знакомит слушателей с базовыми понятиями аддитивных технологий, топологической оптимизацией и математическим моделированием SLM-процессов, во втором модуле слушатели получают практические навыки работы с системой селективного лазерного сплавления на примере SLM-установки АО «Лазерные системы».

В модуль (М1) включены базовые сведения о основных типах аддитивных технологий, их сравнение с классическими технологиями машиностроения

Модуль (М2) содержит основные теоретические сведения об аддитивных технологиях, их сравнение с классическими технологиями машиностроения.

Модуль (М3) содержит ответы на вопросы, связанные с особенностями SLM-технологии в аспекте её производственной эффективности.

Модуль (М4) охватывает круг вопросов, связанных с особенностями конструирования (проектирования) изделий, изготавливаемых с помощью SLM – технологий.

Модуль (М5) содержит основные сведения по технологической подготовке процесса SLM – печати.

Модуль (М6) направлен на изучение особенностей математического моделирования физико-химических процессов SLM – печати.

Модуль (М7) посвящен изучению маркетинговой и экономической составляющей SLM – производства.

Модуль (М8) включает в себя вопросы безопасности и экологии при работе с SLM – установками АО «Лазерные системы».

Модуль (М9) включает в себя описание системы SLM-установок АО «Лазерные системы»: принцип работы, программное обеспечение, монтаж и демонтаж, а также порядок действий при аварийных ситуациях. Теоретические и практические сведения о техническом обслуживании и ремонте на примере систем SLM-установок АО «Лазерные системы».

Модуль (М10) посвящен организационным работам SLM-производства на примере SLM-установок АО «Лазерные системы»: требования к помещениям, материально-техническому обеспечению, обеспечение непрерывного технологического процесса, особенности сырья.

Модуль (M11) посвящен практической отработке навыков создания 3D-модели изделия, подготовки к печати и контроля рабочего режима системы на примере SLM-установок АО «Лазерные системы».

В модуле (M12) описаны методы контроля качества изготовленных изделий.

Модуль (M13) содержит базовую информацию по реверс-инжинирингу и ре-инжинирингу.

4. Цель обучения: формировать у слушателей систему знаний и компетенций в области аддитивных производственных технологий, а также дополнить теоретические знания и практические навыки для обеспечения качества и производительности при производстве изделий методами аддитивных технологий.

5. Категория слушателей: инженерно-технические работники промышленных и научно-производственных предприятий, имеющие среднее профессиональное и высшее образование.

6. Планируемые результаты обучения:

В соответствии с указанными профессиональными стандартами слушатель данной ДПП готовится к решению следующих задач профессиональной деятельности и должен обладать следующими профессиональными компетенциями (обязательные результаты обучения):

№	Раздел ДПП	Задачи профессиональной деятельности (ЗПД)*	Профессиональные компетенции (ПК), подлежащие развитию
M1	Введение в аддитивные технологии	Формирование предъявляемых требований к конструкции и исходным материалам несложного изделия для наиболее распространенных типов аддитивного производства.	ПК 1.1 Способность применять естественнонаучные и общинженерные знания в профессиональной деятельности
M2	Введение в технологию селективного лазерного сплавления (SLM)	Формирование предъявляемых требований к конструкции и исходным материалам несложного изделия селективного лазерного сплавления (SLM).	
M3	Особенности технологии SLM в аспекте ее производственной эффективности (Выбор технологии изготовления. Критерии выбора технологии SLM в промышленности)	Проведение анализа технологической целесообразности SLM-технологии в аспекте ее производственной эффективности и интеграции SLM-технологии в производственные цепочки. Оценка применимости технологии для решения прикладных задач для отрасли	ПК 2.1 Способность к сбору и комплексному анализу полученной информации для принятия эффективных решений, направленных положительных экономических эффект
M4	Особенности конструирования (проектирования) изделий для SLM-производства	Выявление сходных технических решений и проектирование и конструирования конструкции несложного изделия аддитивного производства средствами топологической оптимизации	ПК 3.1 Способность применять современные программные методы расчетов и проектирования изделий для аддитивного производства. ПК 3.2 Создавать и корректировать средствами компьютерного проектирования цифровые трехмерные модели изделий

№	Раздел ДПП	Задачи профессиональной деятельности (ЗПД)*	Профессиональные компетенции (ПК), подлежащие развитию
M5	Технологическая подготовка процесса SLM-печати	Отработка технологических параметров процесса SLM-печати, оценка необходимости вспомогательных технологических элементов, определение параметров компоновки и ориентации изделий во время SLM-печати, проектирование стратегии сканирования. Контроль аддитивного производства	ПК 4.1 Организовывать и вести технологический процесс на установках для аддитивного производства
M6	Математическое моделирование процесса SLM-печати	Применение численного моделирования SLM-процессов теплопередачи в материалах со сложной и пористой микроструктурой, лазерного излучения, системы продувки, SLM-процессов на микроуровне и мезоуровне	ПК 5.1 Способность к самостоятельному построению алгоритмов и их анализу, с последующей передачей результата проведенных физико-математических и прикладных исследований в виде конкретных рекомендаций, выраженной в терминах предметной области явления ПК 5.2 Способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении прикладных и инженерно-технических задач
M7	Обоснование экономической эффективности SLM-печати	Расчёт себестоимости SLM-детали, обоснование окупаемости внедрения SLM-технологии для конкретного производства. Подготовка инвестиционных отчетов и участие в переговорах с заказчиками. Адаптация расчетов под отраслевые стандарты.	ПК 6.1 Способность анализировать и интерпретировать финансовую, бухгалтерскую и иную информацию для принятия управленческих решений с учетом особенностей применения на производстве SLM-технологии
M8	Вопросы безопасности и экологии при работе с установками SLM (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	Проведение технического обслуживания оборудования аддитивного производства	ПК 7.1 Способность диагностировать неисправности установок для аддитивного производства
M9	Описание и работа установок SLM (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	Техническая диагностика и настройка оборудования для аддитивного производства	ПК 8.1 Способность участвовать в монтаже, наладке и настройке систем аддитивного производства
M10	Организация работы SLM-производства (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	Настройка технологического оборудования аддитивного производства для изготовления изделий методом SLM. Организация бесперебойных производственных процессов	ПК 9.1 Контролировать правильность функционирования установки, регулировать её элементы, корректировать программируемые параметры. Контроль логистических процессов производства
M11	Практика печати на аддитивном оборудовании SLM (полный комплекс)	Аппаратная подготовка оборудования и расходных материалов. Калибровка SLM-оборудования. Запуск рабочего режима, сопровождение и контроль. Оценка и постобработка образцов.	ПК 10.1 Способность подбирать параметры аддитивного технологического процесса и разрабатывать оптимальные режимы производства изделий на основе технического задания (компьютерной/цифровой модели)

№	Раздел ДПП	Задачи профессиональной деятельности (ЗПД)*	Профессиональные компетенции (ПК), подлежащие развитию
M12	Методы контроля качества изготовленных изделий	Периодический контроль аддитивного производства, контроль результатов изготовления изделий на оборудовании аддитивного производства. Контроль результатов изготовления несложных изделий на оборудовании аддитивного производства	ПК 11.1 Способность контроля и диагностики SLM-процесса. Способность применения методов исследования образцов после постобработки.
M13	Реверс-инжиниринг и ре-инжиниринг	Проведение 3D-сканирования для получения точной геометрии деталей, декомпозиция сложных узлов с целью адаптации их конструкции под SLM-печать. Восстановление и оптимизация CAD-моделей с учетом SLM-технологии изготовления. Адаптация традиционных конструкций под SLM: перепроектирование деталей с устранением ограничений классических технологий изготовления. Интеграция гибридных технологий	ПК12.1 Способность подбирать методы и параметры сканирования, обрабатывать данные сканирования. Умение работать со специализированным программным обеспечением по обработке облака точек.

7. Оценка планируемых результатов обучения

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ для проведения итоговой аттестации

Итоговая аттестация по программе дополнительного профессионального образования «**SLM-интенсив: комплексная подготовка. М13-56**» с целью подтверждения полученных знаний осуществляется в форме зачета по результатам проведенных практических и контрольных работ.

Модуль 4. Особенности конструирования (проектирования) изделий для аддитивного производства

1. Практическая работа «Создание модели для печати SLM-методом»

Выполнение индивидуального практического задания.

2. Контрольная самостоятельная работа «Топологическая оптимизация детали»

Выполнение индивидуального практического задания.

3. Контрольная работа по материалам раздела «Решетчатые структуры»

Ответы на вопросы по материалам раздела.

Модуль 9. Описание и работа установок SLM (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)

1. Практическая работа по материалам раздела «Техническое обслуживание и ремонт систем SLM-установок АО «Лазерные системы»

Задание: замена составных частей системы SLM-установки АО «Лазерные системы», работа с порошком.

Модуль 11. Практика печати на аддитивном оборудовании SLM (полный комплекс)

1. Практическая работа №1 «Подготовка к процессу печати»

Задание: подготовка системы SLM-установки АО «Лазерные системы» и материалов.

2. Практическая работа №2 «Рабочий режим системы SLM-установки АО «Лазерные системы»

Задание: вывод на рабочий режим, рабочий режим, контроль рабочего режима, корректирующие действия при отклонениях, заключительные операции процесса печати, отключение системы SLM-установки АО «Лазерные системы».

3. Практическая работа № 3 «Контроль качества изготовленного изделия»

Задание: проведение контроля качества изготовленного изделия.

4. Контрольная работа по материалам раздела «Практика печати на аддитивном SLM-оборудовании»

Ответы на вопросы по материалам раздела.

Критерии и показатели оценки

Критерии оценки	Показатели оценки
«Зачтено»	Задания выполнены полностью, качественно, самостоятельно, в отведенное время на 80%-100%
«Не зачтено»	Задания выполнены не полностью, не самостоятельно, менее 80%

8. Организационно-педагогические условия реализации программы

8.1. Образовательный процесс осуществляет научными сотрудниками и профильными специалистами сферой профессиональной деятельности которых является преподавание и работа в области аддитивных технологий и методическое обеспечение образовательной деятельности в компании «Лазерные системы».

8.2. Требования к квалификации указанных должностей определены в соответствующих нормативно-правовых документах.

8.3. Требования к материально-техническим условиям. Кабинеты, оборудованные мебелью и техническим обеспечением для теоретических и практических занятий, а именно: компьютерный класс с проектором и специальным оборудованием для проведения топологической оптимизации изделий. Производственный участок с системой SLM-установок АО «Лазерные системы»

8.4. Требования к информационному и учебно-методическому обеспечению образовательных программ:

Основная литература:

1. Основы производства и обработки металлов: конспект лекций / А.И. Булгакова, И.Л. Константинов, Т.Р. Гильманшина и др. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
2. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
3. Brandt, M. Laser Additive Manufacturing – Materials, Design, Technologies, and Applications / M. Brandt. – Woodhead Publishing, 2016. – 498 pp

Дополнительная литература:

1. Сотов А.В. Исследование пространственного расположения детали при её формообразовании на точностные и физико-механические характеристики: метод. указ. / сост. А.В. Сотов, А.В. Агаповичев, В.Г. Смелов, Р.Р. Кяримов. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. - 38 с.
2. Разработка технологии изготовления деталей селективным лазерным сплавлением с использованием математического моделирования в САЕ системах: методические указания / А. В. Сотов, В. Г. Смелов, А. В. Агаповичев. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. - 40 с.
3. Борейшо А.С., Ивакин С.В. Лазеры: устройство и действие: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 304 с.
4. Laser powder bed fusion additive manufacturing of metals; physics, computational, and materials challenges / W. E. King, A. T. Anderson, R. M. Ferencz, N. E. Hodge, C. Kamath, S. A. Khairallah, and A. M. Rubenchik // Applied Physics Reviews 2 – 2015;
5. Review of selective laser melting: Materials and applications / C.Y. Yap, C.K. Chua, Z.L. Dong, Z. H. Liu, D. Q. Zhang, L. E. Loh, S. L. Sing // Applied Physics Reviews 2. – 2015, T. 2. – №4.
6. Research of post-processing approaches for parts obtained by the method of selective laser melting / A. A. Voznesenskaya, D. A. Kochuev, R. V. Chkalov, A. V. Kireev, V. V. Morozov //Journal of Physics: Conference Series, – 2020.

Состав УМК:

Нормативные акты и методические рекомендации:

-Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской

Федерации»;

-Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 01.07.2013 № 499 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам»;

-Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 15.11.2013 № 1244 «О внесении изменений в Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 01.07.2013 N 499»;

- Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации 5 октября 2020 г. N 697н «Об утверждении профессионального стандарта " Специалист по аддитивным технологиям " (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 5 ноября 2020 г., регистрационный N 60744);

-Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 22.12.2015 № 1506 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 15.02.09 Аддитивные технологии» (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 19 января 2016 г., регистрационный N 40631);

- Постановление Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 21.08.1998 N 37 "Об утверждении Квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и других служащих» (в редакции Приказ Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 27.03.2018 N 197 "О внесении изменений в квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих»);

- Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 11 января 2011 г. № 1н «Об утверждении Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих, раздел "Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов высшего профессионального и дополнительного профессионального образования» (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 23 марта 2011 г. № 20237).

Электронные ресурсы:

1. Компания АО «Лазерные системы» - <https://www.lsystems.ru/>
2. Технологии аддитивного производства: сайт. – URL: <https://kristina-ryumina-45m2.squarespace.com/knowledge/blog/additive-manufacturing-technologies> (дата обращения: 06.08.2025). – Текст: электронный.
3. Компания SLM Solution: сайт. – URL: Your Partner in Selective Laser Melting | SLM Solutions (slm-solutions.com) (дата обращения: 06.08.2025). – Текст: электронный.
4. Металлические порошки SLM Solutions: сайт. – URL: SLM-Powder (stankom.com) (дата обращения: 04.08.2025). – Текст: электронный.
5. ЭБС издательства ЛАНЬ - <http://e.lanbook.com>

8.5. Общие требования к организации образовательного процесса.

Практико-ориентированный характер программы предполагает использование образовательных технологий, позволяющих слушателям стать активными участниками образовательной деятельности: интерактивные лекции и аудиторные практикумы, групповые и индивидуальные консультации. В период обучения слушателями будут получены теоретические и практические навыки, которые они смогут использовать в профессиональной деятельности.

Рабочая программа учебных разделов

Планируемые результаты обучения по разделам

Задача профессиональной деятельности	Предъявляемые требования к конструкции и исходным материалам несложного изделия для наиболее распространенных типов аддитивного производства. Предъявляемые требования к конструкции и исходным материалам несложного изделия селективного лазерного сплавления (SLM).		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 1.1. Способность применять естественнонаучные и инженерные знания в профессиональной деятельности	Формулирования критериев для определения применения типа аддитивных технологий	Формулирования критериев для определения применения типа аддитивных технологий	Формулирования критериев для определения применения типа аддитивных технологий
Задача профессиональной деятельности	Проведение анализа технологической целесообразности SLM-технологии в аспекте ее производственной эффективности. Интеграция SLM-технологии в производственные цепочки. Оценка применимости технологии для решения прикладных задач для отрасли		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 2.1 Способность к сбору и комплексному анализу полученной информации для принятия эффективных решений, направленных на положительный экономический эффект	Методы сбора информации, профессиональные базы данных; Аналитические подходы;	Определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений Обрабатывать данные, принимать решения, оптимизировать процессы аддитивного производства Представлять результаты проекта, предлагать варианты их использования и/или совершенствования	Работы с источниками информации, организация структурированных баз данных, применения аналитических методов принятия обоснованных решений
Задача профессиональной деятельности	Выявление сходных технических решений и проектирование и конструирования конструкции несложного изделия аддитивного производства средствами топологической оптимизации		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 3.1. Способность применять современные программные методы расчетов и проектирования изделий для аддитивного производства.	Современное ПО для проектирования 3-D моделей	Применять топологическую оптимизацию для проектирования изделий аддитивного производства	Проектирования изделий, с применением топологической оптимизации
ПК 3.2 Создавать и корректировать средствами компьютерного проектирования цифровые трехмерные модели изделий	Алгоритмы и технические ограничения для проведения топологической оптимизации	Моделировать необходимые объекты, предназначенные для последующего производства в компьютерных программах, опираясь на чертежи или технические задания	Непосредственного моделирования по чертежам и техническим заданиям в программах компьютерного моделирования
Задача профессиональной деятельности	Отработка технологических параметров процесса SLM-печати, оценка необходимости вспомогательных технологических элементов, определение параметров компоновки и ориентации изделий во время SLM-печати,		

	проектирование стратегии сканирования. Контроль аддитивного производства		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 4.1 Организовывать и вести технологический процесс на установках для аддитивного производства	Назначение и область применения существующих типов аддитивных установок и используемые в них материалы; Технические параметры, характеристики и особенности различных видов аддитивных установок; Классификацию, основные виды, маркировку, область применения и способы обработки конструкционных материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве	Выбирать технологию послойного синтеза в соответствии с решаемой производственной задачей, технологиями последующей обработки деталей и/или технологий дальнейшего использования синтезированных объектов; Выбирать материал для послойного синтеза и оптимальные параметры процесса в соответствии с решаемой производственной задачей, технологиями последующей обработки деталей и/или технологий дальнейшего использования синтезированных объектов; Использовать в профессиональной деятельности Программные продукты автоматизированного проектирования технологических процессов	Руководства на уровне технологического звена подготовкой аддитивных установок к запуску, подготовкой и рекуперацией рабочих материалов
Задача профессиональной деятельности	Применение численного моделирования SLM-процессов теплопередачи в материалах со сложной и пористой микроструктурой, лазерного излучения, системы продувки, SLM-процессов на микроуровне и мезоуровне		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 5.1 Способность к самостоятельному построению алгоритмов и их анализу, с последующей передачей результата проведенных физико-математических и прикладных исследований в виде конкретных рекомендаций, выраженной в терминах предметной области явления	Теоретические основы построения алгоритмов, основы теории теплопередачи, особенности SLM- технологии	Разрабатывать алгоритмы, проводить прикладные исследования и анализировать полученные результаты с последующим формированием рекомендаций	Прогнозирования результатов и формирование рекомендаций к организации SLM- процессов посредством проведения аналитического анализв
ПК 5.2 Способность использовать методы математического и алгоритмического моделирования при решении прикладных и инженерно-технических задач	Численные расчётные модели, математические методы моделирования	Разрабатывать алгоритмы и применять численные модели для описания SLM- процессов	Прогнозирования результатов SLM- процессов за счет применения численных расчетов

Задача профессиональной деятельности	Расчёт себестоимости SLM-детали, обоснование окупаемости внедрения SLM-технологии для конкретного производства. Подготовка инвестиционных отчетов и участие в переговорах с заказчиками. Адаптация расчетов под отраслевые стандарты		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 6.1 Способность анализировать и интерпретировать финансовую, бухгалтерскую и иную информацию для принятия управленческих решений с учетом особенностей применения на производстве SLM-технологии	Основы теории финансового учета и основы экономики предприятия	Анализировать финансовые данные, прогнозировать и планировать	Расчета ключевых метрик и оптимизации ресурсов
Задача профессиональной деятельности	Проведение технического обслуживания оборудования аддитивного производства		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 7.1 Способность диагностировать неисправности установок для аддитивного производства	Физические принципы работы, конструкцию, технические характеристики, правила технического обслуживания установок для аддитивного производства	Определять и проводить анализ опасных и вредных факторов в сфере профессиональной деятельности; Оценивать состояние техники безопасности на производственном объекте; Проводить анализ неисправностей; подбирать технологическое оборудование для ремонта и эксплуатации аддитивных установок и вспомогательных электромеханических, электротехнических, электронных и оптических устройств и систем, определять оптимальные варианты его использования	Выявления и устранения неисправностей установок для аддитивного производства;
Задача профессиональной деятельности	Техническая диагностика и настройка оборудования для аддитивного производства		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 8.1 Способность участвовать в монтаже, наладке и настройке систем аддитивного производства	Устройство и принцип работы систем аддитивного производства; Необходимые действия при аварийных ситуациях	Выполнять несложные операции по монтажу и настройке ПО систем аддитивного производства	Монтажа и настройки ПО систем аддитивного производства
Задача профессиональной деятельности	Настройка технологического оборудования аддитивного производства для изготовления изделий методом SLM. Организация бесперебойных производственных процессов		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 9.1. Контролировать правильность функционирования установки, регулировать её элементы, корректировать	Требования качества в соответствии с действующими стандартами; Технические регламенты;	Определять оптимальные методы контроля качества;	Контроля и регулировки рабочих параметров аддитивных установок;

программируемые параметры. Контроль логистических процессов производства	Общие принципы изготовления типовых элементов конструкции	Регулировать функционирование установки; Корректировать программируемые параметры установки	Контроль работы подающих и дозаторных систем, сопровождения (контроля) рабочего цикла аддитивной установки
Задача профессиональной деятельности	Аппаратная подготовка оборудования и расходных материалов. Калибровка SLM-оборудования. Запуск рабочего режима, сопровождение и контроль. Оценка и постобработка образцов.		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 10.1 Способность подбирать параметры аддитивного технологического процесса и разрабатывать оптимальные режимы производства изделий на основе технического задания (компьютерной/цифровой модели)	Классификацию, основные виды, маркировку, область применения и способы обработки конструктивных материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве; Требования качества в соответствии с действующими стандартами	Проектировать операции технологического процесса производства продукции отрасли; Эффективно использовать материалы и оборудование	Руководства на уровне технологического звена по подготовке аддитивных установок к запуску, подготовки и рекуперации рабочих материалов
Задача профессиональной деятельности	Периодический контроль аддитивного производства, контроль результатов изготовления изделий на оборудовании аддитивного производства. Контроль результатов изготовления несложных изделий на оборудовании аддитивного производства		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК 11.1 Способность контроля и диагностики SLM-процесса. Способность применения методов исследования образцов после постобработки	Особенности SLM-оборудования и SLM-процесса. Методы диагностирования и контроля качества	Диагностировать SLM-оборудование Исследовать качество образцов полученных SLM-методом	Руководства на уровне контролирующего звена по состоянию SLM-оборудования и качеству образцов полученных SLM-методом
Задача профессиональной деятельности	Проведение 3D-сканирования для получения точной геометрии деталей, декомпозиция сложных узлов с целью адаптации их конструкции под SLM-печать. Восстановление и оптимизация CAD-моделей с учетом SLM-технологии изготовления. Адаптация традиционных конструкций под SLM: перепроектирование деталей с устранением ограничений классических технологий изготовления. Интеграция гибридных технологий		
Профессиональные компетенции (ПК)	Слушатель должен знать (З)	Слушатель должен уметь (У)	Слушатель должен приобрести опыт (О)
ПК12.1 Способность подбирать методы и параметры сканирования и обрабатывать данные с посредством специализированного программного обеспечения по обработке облака точек.	Типы методов сканирования. Устройство и принцип работы систем сканирования	Определять критерии к 3D-модели и выбирать метод сканирования	Получения цифровой модели объекта требуемого качества

Описание образовательного процесса по данной рабочей программе

№ п/п	Тема занятия (раздела)	Количество часов	Формы организации и учебных занятий	Основные элементы содержания
М1	Введение в аддитивные технологии	2	Лекция – 2ч.	Лекция: Термины, определения, классификация аддитивных технологий. Принцип действия и область применения (Sheet Lamination (LOM), Binder Jetting (BJ), Material Jetting (MJ, NPJ, DOD), Vat Photopolymerization (DLP, SLA, CDLP), Material Extrusion (FDM), Direct Energy Deposition (LENS, EBAM), Power Bed Fusion (MJF, SLS, SLM, EBM))
М2	Введение в технологию селективного лазерного сплавления (SLM)	5	Лекция – 4ч. АПр – 1ч	Лекция: Термины и определения. Общие принципы функционирования установок селективного лазерного сплавления (SLM) Сравнение SLM-технологии с классическими технологиями машиностроения АПр: Порядок технологической подготовки процесса SLM-печати
М3	Особенности технологии SLM в аспекте ее производственной эффективности (Выбор технологии изготовления. Критерии выбора технологии SLM в промышленности)	1	Лекция – 1ч.	Лекция: Понятие «Аддитивной» детали. Особенности деталей, подходящих для аддитивного производства. Производительность SLM-установок (на примере SLM-установок АО «Лазерные системы»)
М4	Особенности конструирования (проектирования) изделий для SLM-производства	10	Лекция – 0,5ч. ЛПр – 9,5ч.	Лекция: Теория о геометрии, генеративном дизайне и оптимизации конструкций SLM-производства ЛПр: Проведение топологической оптимизации детали, сборки. Проведение параметрической оптимизации. Построение решетчатых структур. Формирование stl файлов. Контрольная самостоятельная работа
М5	Технологическая подготовка процесса SLM-печати	8	Лекция – 2ч. АПр – 4ч. ЛПр – 2ч.	Лекция: Описание этапов SLM-процесса. Изучение типовых конструкций и вспомогательных технологических элементов. Описание технологии СЛС. Примеры характерных деталей. Свойства материалов (порошков): текучесть, механические свойства, химический состав, дисперсионный состав. Технологические параметры процесса СЛС. Характеристики и качество полученных деталей. АПр: Проектирование технологических режимов SLM-процесса. Практическое задание «Подготовка проекта печати» ЛПр: Разработка вспомогательных технологических элементов изделия. Моделирование компоновки положения изделий в объеме печати SLM-установки

№ п/п	Тема занятия (раздела)	Количество часов	Формы организации и учебных занятий	Основные элементы содержания
М6	Математическое моделирование процесса SLM-печати	8	Лекция – 4ч. АПр – 4ч.	Лекция: Базовые понятия о численном моделировании, особенности и уровни моделирования тепловых физических процессов, особенности моделирования процессов работы SLM-установок. Понятия моделирования микро- и мезоуровней SLM-процессов АПр: Разработка математической модели формирования пористых структур с математическим описанием физических процессов SLM-печати. Моделирования микро- и мезоуровней SLM-процессов. Разработка модели системы продувки установки SLM
М7	Обоснование экономической эффективности SLM-печати	2	Лекция – 0,5ч. АПр – 1,5ч.	Лекция: Основы теории финансового учета, экономики предприятия и маркетинговых исследований с учетом особенностей применения SLM-технологии АПр: Расчета экономической эффективности на примере сравнения SLM и литье / фрезеровка. Маркетинговое исследование эффективности применения SLM-технологии в космической отрасли
М8	Вопросы безопасности и экологии при работе с SLM-установками (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	2	Лекция – 1,75ч АПр – 0,25ч.	Лекция: Требования к персоналу, выполняющему работы и обслуживающему Системы SLM-установок АО «Лазерные системы». Общие меры безопасности при выполнении работ. Требования лазерной безопасности. Требования безопасности при работе с металлопорошковыми композициями. Требования безопасности при замене составных частей и техническом обслуживании на примере SLM-установки АО «Лазерные системы». Техническое обслуживание и текущий ремонт. АПр: Практическое изучение работы на примере SLM-установок АО «Лазерные системы»
М9	Описание и работа установок SLM (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	3	Лекция – 0,5ч. АПр – 1ч. ЛПр – 1,5ч.	Лекция: Устройство и принцип работы, программное обеспечение и интерфейс программного обеспечения, монтаж и демонтаж оборудования, использование по назначению системы селективного лазерного сплавления на примере SLM-установки АО «Лазерные системы» АПр: Знакомство с программным обеспечением: : PrepareModel, LaserStudio ЛПр: Замена составных частей, работа с порошком на примере SLM-установок АО «Лазерные системы»
М10	Организация работы SLM-производства (на примере SLM-установки АО «Лазерные системы»)	2	Лекция – 1,5ч. АПр – 0,5ч.	Лекция: Требования к помещению, вспомогательному оборудованию, материально-техническому обеспечению рабочего места и сырью АПр: Демонстрация процедуры входного контроля металлического порошка. Расчет задачи оптимизации ресурсов (обеспечение непрерывного сканирования)

№ п/п	Тема занятия (раздела)	Количество часов	Формы организации учебных занятий	Основные элементы содержания
M11	Практика печати на аддитивном SLM-оборудовании (полный комплекс)	6	Лекция – 1,5ч. АПр – 4,5ч.	Лекция: Техника безопасности при подготовке процесса печати. Аппаратная подготовка: - Проверка соответствия качества материала. - Принципы протоколирования. - Проверка соответствия материалов заданным параметрам (порошок, нож, газ, ростовая подложка и т.д.). - Проверка количества расходных материалов. - Проверка готовности установки к работе. - Проведение подготовительных операций (выставить подложку, протереть окно ввода излучения, проверить фильтры, загрузка ПО, выбор проекта). Вывод установки на рабочий режим: - Контроль рабочего режима. - Действия оператора в штатных ситуациях. - Действия оператора в нештатных ситуациях. - Критерии отключения модели. - Корректирующие действия при отклонениях. - Заключительные операции (остывание, извлечение, выгрузка порошка, очистка). Калибровка систем установки: - Методы контроля качества изготовленных изделий - Геометрические параметры. - Прочность на разрыв. - Усталостная прочность. Особенности свойств полученных изделий, способы постобработки (механическая, термическая, химическая, электрохимическая, плазмохимическая). Способы отделения детали от подложки и термообработка. Постобработка Способы удаления поддержек Вспомогательные способы контроля качества технологического процесса АПр: Практические работы - «Создание модели для печати SLM-методом», «Подготовка к процессу печати», «Рабочий режим Систем на примере SLM-установки АО «Лазерные системы» Демонстрация контроля качества изготовленных изделий - Геометрические параметры. - Прочность на разрыв. - Усталостная прочность. Практическая отработка методик постобработки (механическая, термическая, химическая, электрохимическая, плазмохимическая).
M12	Методы контроля качества изготовленных изделий с помощью SLM-технологии	2	Лекция – 0,75ч. АПр – 1,25ч.	Лекция: Теоретические основы методов контроля качества изготовленных деталей. Виды контроля геометрических и механических параметров изделий АПр: Практическая работа - «Контроль качества изготовленного изделия»

№ п/п	Тема занятия (раздела)	Количество часов	Формы организации и учебных занятий	Основные элементы содержания
М13	Реверс-инжиниринг и ре-инжиниринг	3	Лекция – 1,5ч. АПр – 1,5ч.	Лекция: Базовые понятия о реверс-инжиниринге и ре-инжиниринге. Виды методов сканирования, устройствах и принципах работы. Формат цифровых моделей и критериях точности АПр: Практическая работа - «Формирование цифровой модели объекта и изготовление образца с помощью SLM-технологии. Сравнение»

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
для проведения промежуточного контроля в форме зачета

В ходе реализации ДПП повышения квалификации с целью промежуточного контроля знаний проводится промежуточная аттестация слушателей по учебной программе в форме зачета путем выполнения практических и контрольных работ.

Промежуточная аттестация в форме зачета осуществляется за счет учебного времени.

Критерии оценки	Показатели оценки
«Зачтено»	Полностью, качественно, самостоятельно, в отведенное время на 80%-100%
«Не зачтено»	Не полностью, не самостоятельно, менее 80%

Главный научный сотрудник
АО «Лазерные системы», д.т.н.

 / А.В. Савин

Инженер 1 категории
АО «Лазерные системы», к.т.н.

 / Г.Т. Джгамадзе

Инженер 1 категории
АО «Лазерные системы»

 / Ю.Ю. Петрова

Научный руководитель
АО «Лазерные системы», д.т.н., профессор

 / А.С. Борейшо