

## Рабочая программа дисциплины

**1. Название дисциплины:** Аддитивные технологии

**2. Уровень высшего образования** – магистратура

**3. Направление подготовки:** 03.04.02 Физика (магистратура)

**4. Аннотация:**

Курс «Аддитивные технологии» охватывает широкий спектр современных методов 3D-печати. 3D-печать – это мощный инструмент, который широко применяется в современной физике и технике. Начиная с изучения базовой концепции устройства 3D-печати, предмет курса переходит к вычислительным методам, моделированию и моделированию, а затем к сложному описанию отдельных методов печати. В вычислительной части курса обсуждается основное программное обеспечение для 3D-печати и приводятся примеры моделирования 3D-объектов. Студенты знакомятся с механизмом создания, обработки и создания 3D-объектов. В каждой теме, посвященной очередному методу 3D-печати указаны наиболее распространенные области применения, плюсы и минусы, перечислены доступные материалы, а также обсуждаются особенности проектирования, присущие выбранному методу.

Цель курса «Аддитивные технологии» - дать студенту представление о современных методах 3D-печати, их преимуществах и недостатках, а также об основных областях применения. Знание основ 3D-печати дает студенту ценный инструмент в исследовательской карьере для ускорения существующих процессов и решения ранее неразрешимых задач.

**5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):**

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 2 часа коллоквиумов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**6. Формируемые компетенции и входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:**

НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области аддитивных технологий.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области аддитивных технологий.

## ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные этапы создания трехмерных объектов методами аддитивного производства, способы предварительной оптимизации трехмерных объектов, основные ошибки, возникающие в ходе подготовки трехмерной модели, а также методы их устранения, существующие алгоритмы построения объектов, основные технологии трехмерной печати и физические принципы, лежащие в их основе.
- **УМЕТЬ:** делать выбор наиболее подходящего метода трехмерной печати, исходя из физических принципов и ограничений метода, пользоваться программным обеспечением для предварительной проверки трехмерной модели и исправления ошибок, располагать модель и строить поддерживающие структуры в соответствии с используемыми методами печати, подбирать параметры и алгоритмы печати в зависимости от используемого материала и вида объекта.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками анализа поставленной задачи изготовления заданного трехмерного объекта, выявления проблемных мест при последующем изготовлении объекта методами аддитивного производства, выбора наиболее подходящих методов трехмерной печати в соответствии, выбора наиболее подходящих параметров, материалов и алгоритмов печати, исправления ошибок триангуляции в ходе подготовки модели к процессу печати, печати на коммерчески доступных трехмерных принтерах класса FDM и SLA/DLPc. Для освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые в рамках дисциплин общей физики «Оптика», «Электромагнетизм» и теоретической физики «Электродинамика», а также дисциплины «Дифференциальные уравнения». Желательно предварительное освоение материала вариативной части программы бакалавриата: дисциплин профиля «Теория волн» и «Нелинейные волны и нелинейная оптика».

## 7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе						
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
<b>1. Аддитивное производство. Основные особенности и отличия от традиционных методов.</b> §1.1 Определение аддитивных технологий производства §1.2 История 3D-печати §1.3 Области применения 3D-печати		1			1	2 часа Знакомство с обзорами по теме методы 3D-печати [1-4].		2
<b>2. Классификация технологий 3D печати.</b> §2.1 Экструзионные методы печати §2.2 Струйные методы печати		1			2	1 час Знакомство с основными этапами компьютерной обработки [1-4].		6

(Material/Binder Jetting) §2.3 Печать методом фотополимеризации §2.4 Печать путем послойного спекания порошка (Powder Bed) §2.5 Печать методом прямого подвода энергии (DED)						5 часов Подготовка к коллоквиуму		
<b>3. Программное обеспечение. Создание и подготовка 3D-модели объекта.</b> §3.1 Компьютерное проектирование: твердотельное моделирование, моделирование поверхности, скалптинг. §3.2 3D-сканирование и фотограмметрия §3.3 Лечение STL-файлов §3.4 Слайсинг §3.5 Моделирование в 3D-печати	1	4	1 час коллоквиума по теме «Аддитивное производство: основные особенности и этапы фабрикации»	3	1 час Повторение лекционного материала по теме «Программное обеспечение. Создание и подготовка 3D-модели объекта».			1
<b>4. Экструзионные методы 3D-печати.</b> §4.1 Метод нанесения расплава (FDM) §4.2 Советы по проектированию в FDM §4.3 Электроспиннинг (EHD/MEW)	2	4		6	1 час Повторение лекционного материала по теме «Экструзионные методы 3D-печати».			1
<b>5. Порошковые методы 3D-печати.</b> §5.1 Селективное лазерное спекание §5.2 Советы по проектированию в SLS §5.3 SLS и SLM/DMLS §5.4 Советы по проектированию в SLM / DMLS §5.5 Постобработка §5.6 Сплавление электронным пучком (EBM)	2	4		6	1 час Повторение лекционного материала по теме «Порошковые методы 3D-печати».			1

§5.7 Советы по проектированию в EBM §5.8 Многоструйная печать (MJF)								
<b>6. Струйные методы 3D-печати.</b> §6.1 Струйная печать §6.2 Советы по проектированию в струйной печати §6.3 3D-печать DOD и NPJ §6.5 3D-печать связующим (BJ) §6.6 Советы по проектированию в BJ		2			4	1 час Повторение лекционного материала по теме «Струйные методы 3D-печати».		1
<b>7. 3D-печать биологических объектов.</b> §7.1 Скаффолды §7.2 Биопечать на основе капель §7.3 Печать с использованием био-чернил §7.4 Экструзионная биопечать		3			3	1 час Повторение лекционного материала по теме «3D-печать биологических объектов».		1
<b>8. Мультистадийная и непрерывная 3D-печать методом фотополимеризации.</b> §8.1 Стереолитография (SLA) и проекционная печать (DLP) §8.2 Постобработка в SLA и DLP §8.3 Советы по проектированию в SLA / DLP §8.4 Печать с использованием непрерывного жидкого интерфейса и другие методы быстрой печати методом стереолитографии §8.5 Двухфотонная лазерная литография (2PP)		2	4		6	1 час Повторение лекционного материала по теме «Мультистадийная и непрерывная 3D-печать методом фотополимеризации».		1
<b>9. Литографические и гибридные методы 3D-печати.</b> §9.1 Электрохимическая 3D-печать §9.2 EFAB: рабочий процесс		1			1	1 час Повторение лекционного материала по теме «Литографические и гибридные методы 3D-		1

						печати».		
<b>10. Электроосаждение ионов в жидкости.</b> §10.1 3D-печать на основе ACM (Fluid-FM) §10.2 3D-печать на основе сканирующего ионно-проводящего микроскопа (SICM)		1			1	1 час Повторение лекционного материала по теме «Электроосаждение ионов в жидкости».		1
<b>11. Осаждение с помощью сфокусированного электронного или ионного пучка (FEBID).</b> §11.1 FEBID / FIBID: установка и описание процесса §11.2 Cryo-FEBID 3.3.6 Микроструктура и технологии очистки		1			1	5 часов Подготовка к коллоквиуму		5
<b>12. 3D-печать методами прямого и обратного лазерного переноса.</b>		1		1 час коллоквиума по теме «Методы аддитивных технологий»	1	15 часов Подготовка к промежуточной аттестации (зачету).		15
<b>Итого</b>		18	16	2	36			36

\* Текущий контроль успеваемости в рамках занятий семинарского типа реализуется в форме обсуждения.

#### 8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

- 8.1 Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.
- 8.2 Электронные презентации основных тем дисциплины доступные через сайт [www.quantum.msu.ru](http://www.quantum.msu.ru).

#### 9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Типовые контрольные вопросы и темы для обсуждения:

1. Описание установки
2. Принцип работы технологии 3D-печати
3. Разрешение и скорость печати
4. Доступные материалы печати
5. Геометрические ограничения методов печати
6. Коммерческие и «научные» методы 3D-печати

Тестовые задания по курсу «Additive Manufacturing Technologies: from Macro- to Nanoscale»

Тип задания	Текст вопроса	Варианты ответов		Правильные ответы
Множественный выбор	Что из перечисленного НЕ является особенностью технологии 3D-печати?	Возможность кастомизировать дизайн		2,5
		Увеличение числа отходов		
		Возможность оперативно вносить изменения в процессе производства		
		Упрощение логистики		
		Высокая стоимость производства малых партий		
Одиночный выбор	Какие методы 3D-печати наиболее широко распространены?	Экструзионные		1
		Струйные		
		Послойные порошковые		
		Путем прямого подведения энергии		
Сопоставление	Соедините следующие методы 3D-печати с соответствующей группой методов.	DOD	Фотополимеризация	1-2, 2-4, 3-1, 4-3
		SLS	Струйная 3D-печать	
		DLP	Прямое подведение энергии	
		EBAM	Послойная	

		порошковая печать	
Множественный выбор	За счет чего происходит отверждение печатного материала в струйной 3D-печати?	Охлаждение Нагрев Ультрафиолетовая засветка	1,3
Одиночный выбор	Какая особенность НЕ является общей для струйного экструзионного метода печати?	Послойное построение Однородная структура итогового изделия Ограниченный выбор материала	2
Одиночный выбор	Выберите правильный механизм процесса фотополимеризации?	Полимер застывает ввиду локального охлаждения Полимер застывает под воздействием плазмы Полимер застывает под воздействием света	3
Короткий ответ	Что означает буква «С» в процессе CDLP?		Непрерывный
Одиночный выбор	Какой тип стереолитографии дешевле?	Снизу вверх. Сверху вниз.	1
Одиночный выбор	В чем причина высокой точности метода SLA?	Длина полимерных цепочек Малый размер лазерного пятна Повышенная точность перемещений лазерного луча	2



Одиночный выбор	Какой метод 3D-печати дает возможность печатать не только на плоской поверхности?	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1106 113 1512 156">MJ</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 156 1512 199">SLA</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 199 1512 242">SLS</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 242 1512 285">EBAM</td></tr> </table>	MJ	SLA	SLS	EBAM	4		
MJ									
SLA									
SLS									
EBAM									
Множественный выбор	Какие методы 3D-печати позволяют печатать металлы?	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1106 325 1512 368">FDM</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 368 1512 411">MJ</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 411 1512 454">BJ</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 454 1512 497">SLA</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 497 1512 541">SLM</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 541 1512 584">SLS</td></tr> </table>	FDM	MJ	BJ	SLA	SLM	SLS	1,3,5,6
FDM									
MJ									
BJ									
SLA									
SLM									
SLS									
Множественный выбор	Что из нижеперечисленного НЕ является частью компьютерного проектирования?	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1106 592 1512 683">Твердотельное моделирование</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 683 1512 774">Поверхностное моделирование</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 774 1512 865">3D-сканирование</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 865 1512 956">Фотограмметрия</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 956 1512 1046">Скалптинг</td></tr> </table>	Твердотельное моделирование	Поверхностное моделирование	3D-сканирование	Фотограмметрия	Скалптинг	3,4	
Твердотельное моделирование									
Поверхностное моделирование									
3D-сканирование									
Фотограмметрия									
Скалптинг									
Короткий ответ	Назовите термин, который обозначает вычислительную процедуру представления 3D-модели в виде массива 2D-слоев.		Слайсинг						
Множественный выбор	Какие физические аспекты процедуры 3D-печати НЕ могут быть смоделированы?	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1106 1198 1512 1289">Температурное распределение</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 1289 1512 1362">Деформации</td></tr> </table>	Температурное распределение	Деформации	4				
Температурное распределение									
Деформации									

		<p>Ошибка при перемещении печатающей головки</p> <p>Химические взаимодействия внутри напечатанного объекта</p> <p>Постобработка</p>	
Множественный выбор	Какие материалы используются при печати методом FDM?	<p>Металлы</p> <p>Керамика</p> <p>Термополимеры</p> <p>Органика</p>	1, 2, 3, 4
Одиночный выбор	Механическая прочность в направлении вне слоя 3D напечатанной детали по сравнению с направлением внутри слоя:	<p>Выше</p> <p>Ниже</p>	2
Одиночный выбор	Назовите основное отличие SLM и DMLS?	<p>SLM использует лазер для сплавления материала, в то время как DMLS – для нагрева.</p> <p>В SLM спекают металлы, в то время как в DMLS – керамику.</p> <p>SLM method is used to fuse metal powders whilst DMLS method is used to fuse powders of metal alloys.</p>	3

Одиночный выбор	Какой источник энергии НЕ используется для печати в порошковых аддитивных технологиях?	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1106 113 1534 156">Лазер</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 156 1534 199">Дуговой разряд</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 199 1534 242">Электронный пучок</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 242 1534 285">Источник тепла</td></tr> </table>	Лазер	Дуговой разряд	Электронный пучок	Источник тепла	2	
Лазер								
Дуговой разряд								
Электронный пучок								
Источник тепла								
Одиночный выбор	В чем отличие струйной от экструзионной печати?	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1106 368 1534 632">При экструзионной печати материал выдавливается из сопла, как паста, в то время как при струйной печати материал осаждается отдельными каплями.</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 632 1534 799">В отличие от экструзионной печати, струйная позволяет печатать металлами.</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 799 1534 1015">В отличие от экструзионной печати в струйной печати материал осаждается в жидкую среду.</td></tr> </table>	При экструзионной печати материал выдавливается из сопла, как паста, в то время как при струйной печати материал осаждается отдельными каплями.	В отличие от экструзионной печати, струйная позволяет печатать металлами.	В отличие от экструзионной печати в струйной печати материал осаждается в жидкую среду.	1		
При экструзионной печати материал выдавливается из сопла, как паста, в то время как при струйной печати материал осаждается отдельными каплями.								
В отличие от экструзионной печати, струйная позволяет печатать металлами.								
В отличие от экструзионной печати в струйной печати материал осаждается в жидкую среду.								
Одиночный выбор	Какой из этих методов струйной обработки материала способен производить детали наибольшего размера?	<table border="1"> <tr><td data-bbox="1106 1015 1534 1058">MJ</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 1058 1534 1101">NPJ</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 1101 1534 1144">DOD</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 1144 1534 1187">BJ</td></tr> <tr><td data-bbox="1106 1187 1534 1235">END</td></tr> </table>	MJ	NPJ	DOD	BJ	END	4
MJ								
NPJ								
DOD								
BJ								
END								
Короткий ответ	Назовите биосовместимую полимерную		Скаффолд					

	структуру, обычно используемую для тканевой и клеточной инженерии.		
Множественный выбор	В чем преимущество экструзионной биопечати перед струйной?	Выше разрешение	2,3,5
		Выше скорость печати	
		Широкий спектр доступных материалов	
		Ниже стоимость	
		Возможность печати пористых материалов	
Множественный выбор	Назовите отличия SLA от DLP.	SLA сканирует слой лазером, в то время как DLP засвечивает весь слой за раз.	1,3
		SLA использует при печати фотополимер, в то время как DLP может печатать еще и порошками.	
		В отличие от SLA, на деталях, выполненных методом DLP, наблюдаются вертикальные линии вокселей.	
Одиночный выбор	Какова роль жертвенного слоя в методе электрохимической печати?	Построение маски.	1
		Увеличение адгезии	
		Постройка финальной детали.	

Одиночный выбор	Какое разрешение у FluidFM?	100 мкм	3
		5 мкм	
		0.5 мкм	
		50 нм	
Множественный выбор	Каким параметром отличаются FluidFM и SICM?	Разрешением	2,5
		Механизмом обратной связи	
		Скоростью печати	
		Расстоянием от печатающей головки до субстрата	
Одиночный выбор	Какой из перечисленных методов обладает наилучшим разрешением?	SLA	3
		FluidFM	
		FEBID	
		SICM	
Множественный выбор	Какие материалы обычно осаждаются с помощью FEBID/FIBID?	Металлы	1,2
		Полупроводники	
		Изоляторы	

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области аддитивных технологий.

**ВЛАДЕТЬ:** навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области аддитивных технологий.

**ВЛАДЕТЬ:** навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области аддитивных технологий.

**УМЕТЬ:** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач при помощи аддитивных технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.

**УМЕТЬ:** осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области аддитивных технологий.

**УМЕТЬ:** организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с использованием аддитивных технологий.

**ЗНАТЬ:** методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области аддитивных технологий.

**ЗНАТЬ:** способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области аддитивных технологий.

**ЗНАТЬ:** методы организации и планирования исследований, включая способы решения задач с использованием аддитивных технологий.

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> профессиональными знаниями для анализа и	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в

синтеза физической информации в области аддитивных технологий.		информации в области аддитивных технологий	физической информации в области аддитивных технологий	физической информации в области аддитивных технологий	области аддитивных технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области аддитивных технологий.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области аддитивных технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области аддитивных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области аддитивных технологий	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области аддитивных технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области аддитивных технологий.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области аддитивных технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области аддитивных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области аддитивных технологий	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области аддитивных технологий

<p><i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач при помощи аддитивных технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач с помощью аддитивных технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач с помощью аддитивных технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач с помощью аддитивных технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач с помощью аддитивных технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области аддитивных технологий.</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области аддитивных технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области аддитивных технологий</p>



<p><i>УМЕТЬ:</i> организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с использованием аддитивных технологий.</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с использованием аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с использованием аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с использованием аддитивных технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с использованием аддитивных технологий</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области аддитивных технологий.</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области аддитивных технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области аддитивных технологий</p>

<p><i>ЗНАТЬ:</i> способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области аддитивных технологий.</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области аддитивных технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области аддитивных технологий</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> методы организации и планирования исследований, включая способы решения задач с использованием аддитивных технологий.</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований, включая способы решения задач с использованием аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований, включая способы решения задач с использованием аддитивных технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов организации и планирования исследований, включая способы решения задач с использованием аддитивных технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований, включая способы решения задач с использованием аддитивных технологий</p>

## 10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная литература

1. М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш, «АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ», Пособие для инженеров / ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», Москва 2015.

2. А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов, «Технологии и материалы 3D-печати», учеб. пособие / Урал. гос. лесотехн. ун-т, Екатеринбург 2017.
3. Amit Bandyopadhyay, Susmita Bose, «Additive Manufacturing» / CRC Press, 2015
4. T.S. Srivatsan, T.S. Sudarshan, «Additive Manufacturing: Innovations, Advances, and Applications» / CRC Press, 2016

#### Дополнительная литература

5. Chee Kai Chua, Kah Fai Leong, 3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications (пятое издание, 2016) // World Scientific Publishing Company Pte Limited
6. Lydia Cline, 3D Printing with Autodesk 123D, Tinkercad, and MakerBot, (2015) // McGraw-Hill Education
7. М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш, Аддитивные технологии в машиностроении (2015) // М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»
8. Chee Kai Chua and Wai Yee Yeong, Bioprinting: Principles and Applications (2014) // World Scientific Publishing Company Pte Limited
9. Chee Kai Chua, Murukeshan Vadakke Matham, Young-Jin Kim, Lasers in 3D Printing and Manufacturing (2016) // World Scientific Publishing Company Pte Limited

#### **11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:**

- <https://www.3dhubs.com/knowledge-base>
- <http://reprap.org/>

#### **12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий (лекций и семинаров) и регулярная самостоятельная работа в течение семестра. Для большей части тем курса имеются электронные презентации, выложенные на сайте кафедры. Рекомендуется перед лекцией скачать соответствующую презентацию и иметь ее на интерактивном занятии на ноутбуке или планшете в режиме off-line или в распечатанном виде, используя как основу конспекта для собственных пометок и комментариев.

#### **13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):**

При реализации учебной работы в рамках дисциплины «Аддитивные технологии» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций и семинарских занятий. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

#### **14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика». Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном, и учебной доской.