

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электротехнологические процессы и установки с системами питания и управления

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.11.02.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 2;
Часов (всего) по учебному плану:	72 часа
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	не предусмотрено учебным планом
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 39,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Решение задач	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой	3 семестр - 0,3 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Щербаков А.В.
	Идентификатор	Raf18b6c8-ShcherbakovAV-abf82f1

А.В. Щербаков

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Федин М.А.
	Идентификатор	R3e9797a9-FedinMA-34f385d8

М.А. Федин

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Цырук С.А.
	Идентификатор	Raf2c04da-TsyrukSA-47ef358f

С.А. Цырук

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: состоит в изучении принципов реализации технологий аддитивного производства изделий из различных материалов, особенностях применяемого оборудования и методах управления

Задачи дисциплины

- приобретение знаний в области современного уровня развития технологий аддитивного производства;
- освоение физических принципов реализации процессов формирования изделий из полимерных материалов на основе методов лазерной стереолитографии, послойного наплавления и селективного лазерного спекания;
- освоение физических принципов технологии послойного формирования изделий путем послойного сплавления металлических и керамических порошков;
- изучение принципов технологии направленного энерговклада, использующей в качестве присадочного материала металлический порошок или проволоку;
- приобретение навыков выбора и проектирования элементов технологического оборудования, применяемого для реализации аддитивных процессов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен проводить научные исследования в области электротехнологических процессов и установок с системами питания и управления	ИД-1ПК-1 Демонстрирует понимание физических процессов и закономерностей в электротехнологических установках и системах различных видов	знать: - принципы действия и отличительные особенности современных технологий аддитивного производства изделий из полимерных материалов; - принципы реализации технологии послойного лазерного и электронно-лучевого плавления порошка на подложке.
ПК-2 Способен оптимально выбирать наиболее эффективные из известных и проектировать новые технические решения в области электротехнологических установок и систем	ИД-1ПК-2 Демонстрирует умение выбирать критерии принятия проектных решений	знать: - особенности технологий аддитивного формообразования с подачей присадочной проволоки; - принципы реализации технологий направленного энерговклада для аддитивного производства с подачей порошка.
ПК-2 Способен оптимально выбирать наиболее эффективные из известных и проектировать новые технические решения в области электротехнологических установок и систем	ИД-2ПК-2 Демонстрирует умение проводить оптимальный выбор проектных решений	уметь: - применять полученные знания для выбора элементов оборудования для реализации аддитивных технологий.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электротехнологические процессы и установки с системами питания и управления (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа								СР		
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
							КПР	ГК	ИККП	ТК				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Технологии аддитивного производства изделий из полимерных материалов	8	3	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Технологии аддитивного производства изделий из полимерных материалов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 28-50, 108-121, 131-142, 214-234 [2], стр.6-76
1.1	Технологии аддитивного производства изделий из полимерных материалов	8		4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
2	Аддитивные технологии, основанные на плавлении порошка на подложке (PBF).	12		6	-	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Аддитивные технологии, основанные на плавлении порошка на подложке (PBF)." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.163-213 [3], стр.60-73 [5], 339-356
2.1	Аддитивные технологии, основанные на плавлении порошка на подложке (PBF).	12		6	-	-	-	-	-	-	-	6	-	
3	Технологии направленного энерговклада (DED, DMD) с подачей присадочного материала в виде порошка	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Технологии направленного энерговклада (DED, DMD) с подачей присадочного материала в виде порошка" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.336-348
3.1	Технологии	16		8	-	-	-	-	-	-	-	8	-	

	направленного энерговклада (DED) с подачей присадочного материала в виде порошка												[5], 474-480
4	Технологии аддитивного формообразования с подачей присадочного материала в виде проволоки	16		8	-	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Технологии аддитивного формообразования с подачей присадочного материала в виде проволоки" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр. 21-46, 52-77, [5], 186-197
4.1	Технологии аддитивного формообразования с подачей присадочного материала в виде проволоки	16		8	-	-	-	-	-	-	8	-	
5	Принципы разработки аддитивных технологий и выбора элементов оборудования.	19.7		6	-	-	-	-	-	-	13.7	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "Принципы разработки аддитивных технологий и выбора элементов оборудования.". Студентам необходимо провести расчет параметров технологического процесса аддитивного формообразования. В качестве задания используются следующие упражнения: 1. Расчетным путем подберите параметры электронного пучка, сканирующего слой порошка из стали 316L со скоростью 4 м/с для плавления слоя глубиной 50 мкм и шириной не более 400 мкм. 2. Определите скорость подачи проволоки, необходимую для формирования слоя с поперечным сечением 8 кв. мм при скорости движения источника нагрева 5 мм/с. Проведите оценку мощности источника нагрева (электронного луча, электрической дуги) с учетом термического КПД.
5.1	Принципы разработки аддитивных технологий и выбора элементов оборудования.	19.7		6	-	-	-	-	-	-	13.7	-	<u>Изучение материалов литературных</u>

													<u>источников:</u> [1], стр.122-131 [3], стр.35-47 [4], стр. 47-51, 83-118, 159-193
	Зачет с оценкой	0.3		-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	Всего за семестр	72.0		32	-	-	-	-	-	0.3	39.7	-	
	Итого за семестр	72.0		32	-	-	-	-	-	0.3	39.7		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Технологии аддитивного производства изделий из полимерных материалов

1.1. Технологии аддитивного производства изделий из полимерных материалов

История зарождения аддитивных технологий. Основные понятия и структура процесса аддитивного производства. CAE/CAD/CAM системы в концепции аддитивного производства. STL-модели, системы декомпозиции (слайсеры), CAM-системы и G-коды. Понятие стратегии построения. Поддерживающие и вспомогательные структуры. Этапы возникновения аддитивных технологий производства изделий из полимерных материалов. Технология лазерной стереолитографии (SLA). Технология послойного наплавления (Fused Deposition Modeling, FDM). Технология селективного лазерного спекания полимерных порошков (SLS). Экструзионные системы 3D-печати, применяемые в строительстве, дизайне и других областях. Подходы и методы для формирования изделий из композитных материалов..

2. Аддитивные технологии, основанные на плавлении порошка на подложке (PBF).

2.1. Аддитивные технологии, основанные на плавлении порошка на подложке (PBF).

История возникновения технологий, основанных на плавлении порошка (Powder Bed Fusion, PBF). Технология электронно-лучевого плавления (Electron beam melting, EBM). Особенности процесса и стадии его реализации. Электронная пушка и режимы ее работы. Вакуумная система и система газонапуска. Номенклатура применяемых порошков. Эффект "дымления" из-за зарядки частиц порошка. Свойства формируемых изделий и методы переработки порошка. Технологии послойного селективного лазерного спекания (Selective Laser Sintering, SLS) и селективного лазерного плавления (Selective Laser Melting, SLM). Требования к порошкам и технологии их производства. Характеристики используемых лазеров и сканаторов. Необходимость предварительного подогрева рабочей области. Дефектообразование. Системы подачи и выравнивания слоя порошка. Установки для спекания керамических порошков..

3. Технологии направленного энерговклада (DED, DMD) с подачей присадочного материала в виде порошка

3.1. Технологии направленного энерговклада (DED) с подачей присадочного материала в виде порошка

Возникновение методов направленного энерговклада (Direct Energy deposition, DED) или прямой подачи материала (Direct Material Deposition, DMD). Применение лазера и плазменной струи в качестве источников нагрева. Лазерные DMD-принтеры. Применение твердотельных, газовых и волоконных лазеров. Оптическая головка. Локальная и коаксиальная подача порошков. Особенности систем подачи порошка и защитного газа. Портальные системы и роботизированные манипуляторы. Свойства изделий, формируемых при лазерной наплавке с прямой подачей порошка и влияние параметров процесса на свойства и структуру материала. Методы управления параметрами процесса..

4. Технологии аддитивного формообразования с подачей присадочного материала в виде проволоки

4.1. Технологии аддитивного формообразования с подачей присадочного материала в виде проволоки

История возникновения метода. Применение дугового и плазменно-дугового нагрева, семейство технологий WAAM (Wire-Arc Additive Manufacturing). Наплавка с применением

плавящегося электрода (MIG/MAG), неплавящегося электрода (TIG), СМТ-технология и плазменная наплавка. Применение электронного пучка в качестве источника нагрева (технологии EBFFF, EBAM). Особенности оборудования и характеристики процесса. Технологии лазерной наплавки с подачей присадочной проволоки. Технология прямого электронагрева (Joule printing). Преимущества и недостатки технологии..

5. Принципы разработки аддитивных технологий и выбора элементов оборудования.

5.1. Принципы разработки аддитивных технологий и выбора элементов оборудования.

Критерии для выбора аддитивного процесса. Материал изделия, габариты и точность воспроизведения формы. Алгоритм проектирования технологии. Цепочка CAD-CAM-CNC: переход от стадии построения 3D-модели к генерации G-кода. Использование лазерных сканеров для получения 3D моделей. Требования к системе числового программного управления. Выбор траектории построения. Ошибки и дефекты, возникающие при построении. Структура, механические свойства и деформации, возникающие при многослойной наплавке металлических изделий. Системы управления процессами аддитивного формообразования..

3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
Знать:							
принципы реализации технологии послойного лазерного и электронно-лучевого плавления порошка на подложке	ИД-1 _{ПК-1}		+				Тестирование/Аддитивные технологии плавления и спекания порошка на подложке
принципы действия и отличительные особенности современных технологий аддитивного производства изделий из полимерных материалов	ИД-1 _{ПК-1}	+					Тестирование/Аддитивные технологии производства изделий из полимерных материалов»
принципы реализации технологий направленного энерговклада для аддитивного производства с подачей порошка	ИД-1 _{ПК-2}			+			Тестирование/Порошковые аддитивные технологии направленного энерговклада
особенности технологий аддитивного формообразования с подачей присадочной проволоки	ИД-1 _{ПК-2}				+		Тестирование/Аддитивные технологии с подачей присадочной проволоки
Уметь:							
применять полученные знания для выбора элементов оборудования для реализации аддитивных технологий	ИД-2 _{ПК-2}					+	Решение задач/Расчет параметров технологического процесса аддитивного формообразования.

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Аддитивные технологии плавления и спекания порошка на подложке (Тестирование)
2. Аддитивные технологии производства изделий из полимерных материалов» (Тестирование)
3. Аддитивные технологии с подачей присадочной проволоки (Тестирование)
4. Порошковые аддитивные технологии направленного энерговклада (Тестирование)
5. Расчет параметров технологического процесса аддитивного формообразования. (Решение задач)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачетной составляющих

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Гибсон, Я. Технологии аддитивного производства : [трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство] : пер. с англ. / Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер . – Москва : Техносфера, 2020 . – 648 с. – (Мир станкостроения) . - ISBN 978-5-94836-447-6 .;
2. С. В. Каменев, К. С. Романенко- "Технологии аддитивного производства", Издательство: "Оренбургский государственный университет", Оренбург, 2017 - (145 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481769>;
3. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по инженерно-техническим направлениям / А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. В. Коберник, А. С. Филимонов ; общ. ред. А. Л. Галиновский . – Москва : Юрайт, 2020 . – 115 с. – (Высшее образование) . - ISBN 978-5-534-12043-1 .;
4. Электронно-лучевая технология аддитивного формообразования с подачей присадочной проволоки : монография / А. В. Щербаков, Д. А. Гапонова, А. П. Слива, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – 2-е изд., испр. и перераб . – Москва : Изд-во МЭИ, 2020 . – 196 с. - ISBN 978-5-7046-2336-6 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=11423>;
5. Аддитивные технологии в производстве металлических конструкций : учебник по курсам "Аддитивные технологии в современном производстве" (направление 13.04.03 "Энергетическое машиностроение"); "Аддитивные технологии" (направление 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника"); "Плазменные, электронно-лучевые и лазерные

установки" (направление 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника") и др. / А. В. Щербаков, Д. А. Гапонова, А. П. Слива, [и др.], Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") ; ред. А. Г. Григорьянц, В. К. Драгунов . – Москва : Изд-во МЭИ, 2022 . – 676 с. - Авторы указаны на обороте тит. л. - ISBN 978-5-7046-2493-6 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=11936>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Libre Office.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
13. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http:\\proinfosoft.ru;http://docs.cntd.ru/>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
16. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
17. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
18. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
19. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных	А-206, Учебная аудитория каф.	кресло рабочее, стол преподавателя, стол учебный, стул, мультимедийный проектор,

занятий и текущего контроля	"ЭПЭ"	экран, доска магнитная, оборудование учебное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-206, Учебная аудитория каф. "ЭПЭ"	кресло рабочее, стол преподавателя, стол учебный, стул, мультимедийный проектор, экран, доска магнитная, оборудование учебное, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	А-04, Лаборатория каф. "ЭПЭ"	стол преподавателя, оборудование для экспериментов
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-217, Кабинет сотрудников каф. "ЭПЭ"	кресло рабочее, стеллаж, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Аддитивные технологии

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Аддитивные технологии производства изделий из полимерных материалов»
(Тестирование)
- КМ-2 Аддитивные технологии плавления и спекания порошка на подложке (Тестирование)
- КМ-3 Порошковые аддитивные технологии направленного энерговклада (Тестирование)
- КМ-4 Аддитивные технологии с подачей присадочной проволоки (Тестирование)
- КМ-5 Расчет параметров технологического процесса аддитивного формообразования. (Решение задач)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	6	8	10	14
1	Технологии аддитивного производства изделий из полимерных материалов						
1.1	Технологии аддитивного производства изделий из полимерных материалов		+				
2	Аддитивные технологии, основанные на плавлении порошка на подложке (PBF).						
2.1	Аддитивные технологии, основанные на плавлении порошка на подложке (PBF).			+			
3	Технологии направленного энерговклада (DED, DMD) с подачей присадочного материала в виде порошка						
3.1	Технологии направленного энерговклада (DED) с подачей присадочного материала в виде порошка				+		
4	Технологии аддитивного формообразования с подачей присадочного материала в виде проволоки						
4.1	Технологии аддитивного формообразования с подачей присадочного материала в виде проволоки					+	
5	Принципы разработки аддитивных технологий и выбора элементов оборудования.						
5.1	Принципы разработки аддитивных технологий и выбора элементов оборудования.						+
Вес КМ, %:			10	10	10	20	50