МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ»
(КНИТУ – КАИ)

СОГЛАСОВАНО:
Директор ПИШ КАИ
_____ Шабалин Л.П.
15.10. 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. директора корпоративного института
_____ Никитина Т.С.
16.10. 2024 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Технологии селективного лазерного сплавления»

КАЗАНЬ
- 2024 –

1. Основные характеристики программы

Соответствие профессиональным стандартам	Программа составлена с учетом профстандарта «Специалист по аддитивным технологиям», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 05 октября 2020 № 697н
Категория слушателей	Лица, имеющие и или получающие высшее или среднее профессиональное образование
Срок обучения	72 часа
Форма обучения	очная с применением дистанционных образовательных технологий

Программа дополнительного профессионального образования разработана и реализуется в рамках федерального проекта «Передовые инженерные школы. Комплексная авиационная инженерия».

2. Цель реализации программы:

Целью реализации программы является формирование у обучающихся понимания теоретических и физических основ современных аддитивных технологий для последующего использования этих знаний в авиапромышленной отрасли и при проектировании и изготовлении газотурбинных двигателей.

3. Требования к результатам обучения

Слушатель, освоивший программу, должен:

3.1. Обладать следующими компетенциями:

- способностью к анализу поставленной задачи проектирования типовых систем, приборов, узлов и деталей аддитивных технологий (АТ);
- способностью к определению физических принципов и технических требований, а также разработке функциональных и структурных схем приборов и систем для аддитивных технологий;
- способность к проведению измерений и исследований различных процессов и объектов лазерной техники и аддитивных технологий по заданной методике и последующей обработке результатов;
- способностью к разработке и реализации технологических процессов обработки с применением аддитивных технологий, в том числе с применением робототехнических комплексов.

3.2. Знать:

- устройство и принципы аддитивных технологий и основы взаимодействия лазерного излучения с веществом;
- основные группы и марки материалов, используемые в аддитивных технологиях;
- технологические возможности систем аддитивного производства, параметры, влияющие на точность изготовления изделий;
- общие и частные подходы к изготовлению методами АТ деталей и узлов газотурбинных двигателей;
- общие и частные подходы к проектированию деталей и узлов газотурбинных двигателей, изготовляемых с использованием АТ;
- программное обеспечение для проектирования деталей, изготовляемых с помощью АТ;
- типы ячеистых структур и свойства ячеистых структур в различных направлениях

(прочностные характеристики);

- подходы к модернизации существующих деталей и конструкций с целью снижения массы изделий, но с теми же прочностными характеристиками;
- методы численного моделирование аддитивного процесса с целью верификации управляющих программ;
- перспективные структурно-градиентные порошковые материалы, лазерно-акустические технологии выращивания изделий и электролитно-плазменные технологии обработки их поверхности.

3.3. Уметь:

- проводить настройку аддитивных машин и выбор оптимальных режимов его работы;
- выбирать МПК, подходящие для изготовления изделий требуемого качества и с заданными свойствами;
- эксплуатировать оборудование для селективного лазерного спекания/плавления;
- проектировать детали и узлы газотурбинных двигателей, изготовляемых с использованием АТ;
- применять программное обеспечение для проектирования деталей, изготовляемых с помощью АТ;
- проектировать детали с ячеистой структурой;
- модернизировать существующие детали и конструкции с целью снижения массы изделий, но с сохранением прочностных характеристик;
- использовать численное моделирование аддитивного процесса с целью верификации управляющих программ;
- применять перспективные структурно-градиентные порошковые материалы для АТ;
- применять перспективные технологии постобработки поверхности изделий аддитивного производства;
- применять перспективные лазерно-акустические технологии аддитивного производства.

3.4. Владеть:

- навыками настройки аддитивных машин и выбора режимов работы;
- навыками выбора МПК, подходящих для изготовления изделий требуемого качества и с заданными свойствами;
- навыками эксплуатации оборудования для селективного лазерного спекания/плавления;
- навыками проектирования деталей и узлов газотурбинных двигателей, изготовляемых с использованием АТ;
- навыками применения программного обеспечения для проектирования деталей, изготовляемых с помощью АТ;
- навыками проектирования деталей с ячеистой структурой;
- навыками модернизации существующих деталей и конструкций с целью снижения массы изделий, но с сохранением прочностных характеристик;
- навыками использования численного моделирования аддитивного процесса с целью верификации управляющих программ;
- навыками применения перспективных структурно-градиентных порошковых материалов для АТ;
- навыками применения перспективных технологий постобработки поверхности изделий аддитивного производства;
- навыками применения перспективных лазерно-акустических технологий аддитивного производства.

4. Содержание программы

Календарный учебный график

Образовательный процесс по программе может осуществляться в течение всего календарного года.

Форма обучения	Ауд. часов в день	Общая продолжительность программы (дней, недель, месяцев)
очная	6	2 месяца

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

программы повышения квалификации
«Технологии селективного лазерного сплавления»

№	Наименование разделов, дисциплин и тем	Всего часов	В том числе		Формы контроля
			Лекции	Практические и лабораторные занятия	
1	2	3	4	5	6
1	Введение в аддитивные технологии	20	8	12	тест
2	Практическое применение АТ в авиапромышленной отрасли и двигателестроении	16	10	6	тест
3	Программное обеспечение для аддитивных технологий	20	10	10	тест
4	Перспективные направления в области развития АТ	12	8	4	тест
5	Итоговая аттестация	4	4	0	Зачет
	Итого	72	40	32	

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

программы повышения квалификации
«Технологии селективного лазерного сплавления»

Раздел 1. Введение в аддитивные технологии (20 ч.)

1. Классификация аддитивных технологий (АТ).
2. Материалы, применяемые для АТ (металлические, полимерные, отечественные и зарубежные).
3. Оборудование (отечественное, 3D принтер 3D-Lam mid), применяемое для АТ.
4. Точность изготовления деталей и качество их поверхности в АТ.

Раздел 2. Практическое применение АТ в авиапромышленной отрасли и двигателестроении (16 ч.)

1. Общие и частные подходы к изготовлению методами АТ деталей и узлов газотурбинных двигателей на отечественном оборудовании.
2. Обеспечение качества изготовления заготовок, полученных по аддитивной технологии. Ключевые параметры технологического процесса.

3. Общие и частные подходы к проектированию деталей и узлов газотурбинных двигателей, изготовляемых с использованием АТ.
4. Классические и современные методы контроля геометрических характеристик изготовленных изделий, полученных по аддитивным технологиям.

Раздел 3. Программное обеспечение для аддитивных технологий (20 ч.)

1. Применяемое программное обеспечение для проектирования деталей, изготовляемых с помощью АТ.
2. Особенности проектирования структур и поддержек деталей для АТ. Топологическая оптимизация контракций с целью снижения массовых характеристик готового изделия.
3. Численное моделирование аддитивного процесса с целью верификации управляющих программ.
4. Постобработка численного решения с целью оптимизации процессов печати в современных программных средствах.

Раздел 4. Перспективные направления в области развития АТ (12 ч.)

1. Перспективные структурно-градиентные порошковые материалы для АТ.
2. Перспективные технологии постобработки поверхности изделий аддитивного производства.
3. Перспективные лазерно-акустические технологии аддитивного производства.

Перечень практических и лабораторных занятий

Раздел	Номер темы	Наименование практического или лабораторного занятия	Кол-во часов
1	1	3	4
1	2	Изучение свойств металло-порошковых композиций для аддитивных технологий.	4
	4	Изучение параметров печати на FDM принтере тестовых образцов на точность изготовления, качество поверхности и механические характеристики.	4
	4	Изучение степени шероховатости поверхности образца до и после ее постобработки методом электролитно-плазменной обработки.	4
2	1	3D сканирование объектов для аддитивного производства.	3
	2	Исследование линейной усадки образцов, выращенных методом аддитивного производства.	3
3	2	Топологическая оптимизация существующего изделия (кронштейн, крепление, тяга) с сохранением прочностных и ресурсных характеристик.	4
	2	Бионический дизайн. Проектирование изделия под требуемые прочностные характеристики.	2
	2	Построение ячеистых структур с переменным размером ячеек.	2
	2	Численное моделирование процесса лазерного спекания и лазерной наплавки.	2
4	1	Изучение свойств металло-керамических композитных порошковых материалов для аддитивных технологий.	2
	3	Исследование микроструктуры изделий, выращенных с применением лазерно-акустических технологий.	2

5. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий (адрес)	Вид занятий	Наименование оборудования/программного обеспечения
1	2	3
Аудитория для занятий лекционного типа и промежуточной аттестации, ауд. 321, 8-е уч зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Лекционные занятия	Интерактивная трибуна – 1 шт.; экран настенно-потолочный с электроприводом Lumien Master Control 162x280 см MW – 1 шт.; мультимедийный проектор Panasonic PT-VW431DE с креплением к потолку – 1 шт.; компьютер Algorithm I процессор Intel(R) Core(TM) i5-3470 - 1 шт.; интерактивный дисплей Sharp LL-S201A – 1 шт.; считыватель пластиковых карт Persec PR-P05 – 1шт.; IP видеокамера AXIS 5014 – 1 шт.; маркерная доска - 1 шт
Аудитория для лабораторных работ, практикум по физике лазеров, аудитория для лабораторных работ, консультация и текущего контроля ауд. 313, 8 уч.зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Лабораторное занятие	Спектрометр оптоволоконный ультрафиолетового и видимого диапазона HR2000+ES - 2 шт; Спектрометр оптоволоконный видимого и ближнего инфракрасного диапазона Maya2000PRO - 1 шт; Оптическая скамья с набором держателей оптических элементов - 5 шт; Источник постоянного тока APS5304 - 3 шт; Источник постоянного тока APS 3030 - 1 шт; Источник постоянного тока HY1505D - 1 шт; Компьютер RAY P234 - 5 шт; Гелий-неоновый лазер ГН-5 с источником питания - 1 шт; Гелий-неоновый лазер ЛГН-220 - 1 шт; Рабочее место студента РМС-2 "Интерференция" - 1 шт; Рабочее место студента РМС-6 "Исследование спектров пропускания и поглощения" - 1 шт; Импульсный твердотельный лазер ИТЛ-1001-(У) - 1 шт; Прибор для исследования дисперсии света - 3 шт; Установка для лазерной сварки и наплавки МУЛ-1 1 шт.
Аудитория для лабораторных работ, ауд. 328, 8-е уч зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Лабораторное занятие	Микротвердомер Tukon - 1 шт., Профилограф-Профилометр модель 130 - 2 шт., микроскоп carl zeiss axio observer a1m - 1 шт, микроскоп Carl Zeiss Stemi 2000, Трибометр У1А - 1 шт, Трибометр У1Б - 1 шт.
Аудитория для лабораторных работ, ауд. 314, 8-е уч зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Лабораторное занятие	Оборудование для пробоподготовки Buhler – 2 шт, Полировальный станок Ecomet 300 Pro – 1 шт.; Установка для измерения фракционного состава порошка Master sizer – 1 шт, Просеивающая машина с набором сит Haver EML 200 digital plus – 1 шт.

		Универсальный прибор на основе воронки Холла, реализующий измерение текучести и насыпной плотности (ASTM D1895 Method A) RR/BDA/D1895A – 1 шт.
Аудитория для лабораторных работ, ауд. 308, 8-е уч зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Лабораторное занятие	Рентгено-флуоресцентный спектрометр Шиматзу 2000 – 1 шт
Аудитория для лабораторных работ, ауд. 020, 8-е уч зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Лабораторное занятие	Система лазерной порошковой наплавки INSSTEK-MINI – 1 шт. Система 3D печати 3D-Lam mid– 1 шт
Аудитория для лабораторных работ, ауд. 009, 8-е уч зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Лабораторное занятие	Плазменная установка для синтеза порошков – 1 шт.
Аудитория для лабораторных работ, ауд. 010, 8-е уч зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Лабораторное занятие	Установка для электролитно-плазменной постобработки изделий аддитивного производства – 1 шт.
Аудитория для практических занятий, ауд. 312, 8-е уч зд. 421001, Республика Татарстан, г.Казань, р-н Ново-Савиновский, ул. Четаева, д.18 а	Практические занятия	Мебель, компьютерная техника с возможностью подключения к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КНИТУ-КАИ.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение программе

6.1 Основная и дополнительная учебная литература

1. Материалы и аддитивные технологии. Современные материалы для аддитивных технологий : учебное пособие / А. А. Попович, В. Ш. Суфияров, Н. Г. Разумов [и др.]. — Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2021. — 204 с. — ISBN 978-5-7422-7090-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/192885 (дата обращения: 23.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Григорьянц, А.Г. Лазерная прецизионная микрообработка материалов [Электронный ресурс] : / А.Г. Григорьянц, М.А. Казарян, Н.А. Лябин. М. : Физматлит, 2017. 416 с. URL: https://e.lanbook.com/book/104998 (дата обращения: 15.01.2019). Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Горунов, А. И. Аддитивные технологии и материалы : учебное пособие / А. И. Горунов. — Казань : КНИТУ-КАИ, 2019. — 56 с. — ISBN 978-5-7579-2360-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/144008 (дата обращения: 23.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Аддитивные технологии : учебное пособие / М. В. Терехов, Л. Б. Филиппова, А. А. Мартыненко [и др.]. — Москва : ФЛИНТА, 2018. — 74 с. — ISBN 978-5-9765-4021-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/113475 (дата обращения: 23.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств : учебное пособие / Е. В. Преображенская, Т. Н. Боровик, Н. С. Баранова. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021 — Часть 1 — 2021. — 173 с. — ISBN 978-5-7339-1397-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/182474 (дата обращения: 23.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств : учебное пособие / Е. В. Преображенская, В. В. Зуев, А. А. Мышечкин. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021 — Часть 2 — 2021. — 164 с. — ISBN 978-5-7339-1398-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/182471 (дата обращения: 23.12.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки : Учеб. пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. 664 с.

6.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Научно-техническая библиотека КНИТУ-КАИ [Электронный ресурс] . URL: http://library.kai.ru/ (дата обращения: 15.01.2019). Режим доступа: свободный.

2. Лань : электронно-библиотечная система [Электронный ресурс] . URL: https://e.lanbook.com (дата обращения: 15.01.2019). Режим доступа: для авториз. пользователей.

6.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательных процессов по программе

1. Blackboard Лицензионное ПО

2. Siemens/ NX Academic Bundle Core+CAD, CAM, CAE Teamcenter Unified Academic Renewal Fee Лицензионное ПО

3. ANSYS расширенная версия программного обеспечения от академической до продуктивной Лицензионное ПО

7. Оценка качества освоения программы

Текущий контроль успеваемости проводится в виде тестирования. Слушатель, давший в ходе тестирования более 51% правильных ответов на вопросы, считается успешно прошедшим тестирование.

Окончательная оценка качества освоения программы производится путем проведения итоговой аттестации в виде зачета в письменной форме.

К итоговой аттестации слушатель допускается только после прохождения всех практических, лабораторных занятий и прошедший тестирование по всем разделам программы.

Окончательная оценка качества освоения программы выражается в зачтении или не зачтении. Слушатель считается аттестованным, если имеет оценку «зачтено».

Критерии оценки

«зачтено»	Ставится слушателю, овладевшему элементами компетенций «знать», «уметь» и «владеть», проявившему полное знание программного материала курса повышения квалификации, освоившему основную и дополнительную литературу, овладевшему способностями в понимании, изложении и практическом применении усвоенных знаний.
«не зачтено»	Ставится слушателю, не овладевшему ни одним из элементов компетенций, т.е. обнаружившему существенные пробелы в знании основного программного материала по курсу повышения квалификации, допустившего ошибки при применении теоретических знаний, которые не позволяют приступить к практической деятельности без дополнительной подготовки.

8. Кадровые условия реализации программы

В реализации программы принимают участие профессорско-преподавательский состав, а также квалифицированные специалисты КНИТУ-КАИ.

9. Разработчики и составители программы

Составитель:

Нагулин К.Ю., профессор кафедры лазерных и аддитивных технологий, д.т.н.

Разработчики:

Гильмутдинов А.Х., заведующий кафедрой лазерных и аддитивных технологий, д.ф.-м.н.

Нагулин К.Ю., профессор кафедры лазерных и аддитивных технологий, д.т.н.

Никифоров С.А., ст. преподаватель кафедры лазерных и аддитивных технологий

Терентьев А.С., ст. преподаватель кафедры лазерных и аддитивных технологий

Горунов А.И., доцент кафедры лазерных и аддитивных технологий, д.т.н.