



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИАТЭ

_____ С.О.Гапоненко
« 17 » 03 20 26 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.20.05 Аддитивное производство деталей и узлов ГТУ

Направление подготовки _____ 13.03.03 Энергетическое машиностроение _____

Направленность(и) * _____ Цифровой инжиниринг при проектировании и
(профиль(и)) _____ диагностике газотурбинных установок
(Наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация _____ Бакалавр _____
(Бакалавр / Магистр)

г. Казань, 2026

Программу разработал(и):

| Наименование кафедры | Должность, уч.степень, уч.звание | ФИО разработчика |
|----------------------|----------------------------------|------------------|
| ИГ | ст. преп. | Прец М.А. |
| ИГ | доцент, к.т.н., доцент | Хамитова Д.В. |

| Согласование | Наименование подразделения | Дата | № протокола | Подпись |
|--------------|--------------------------------|------------|-------------|---|
| Одобрена | ИГ | 04.03.2026 | 3 | _____ И.о.зав.каф., к.т.н. Зинуров В.Э. |
| Согласована | ЭМС | 16.03.2026 | 8 | _____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р. |
| Согласована | Учебно-методический совет ИАТЭ | 17.03.2026 | 7 | _____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О. |
| Одобрена | Ученый совет ИАТЭ | 17.03.2026 | 7 | _____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О. |

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

(Цель и задачи освоения дисциплины, соответствующие цели ОП)

Целью освоения дисциплины «Аддитивное производство деталей и узлов ГТУ» является формирование комплекса знаний, умений и навыков в области применения технологий аддитивного производства для обеспечения эффективности процессов проектирования узлов и деталей газотурбинных установок.

Задачами дисциплины являются: формирование практических навыков проектирования деталей ГТУ для аддитивного производства; владение принципами выбора технологии, материалов и постобработки для создания функциональных изделий; умения анализировать влияние параметров печати на свойства жаропрочных сплавов и оценивать технологико-экономическую целесообразность внедрения аддитивных технологий в производственный цикл газотурбинных установок.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора |
|---|---|
| ОПК-5 Способен рассчитывать элементы энергетических машин и установок с учетом свойств конструкционных материалов, динамических и тепловых нагрузок | ОПК-5.1 Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик электротехнических материалов, в соответствии с требуемыми параметрами |

2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. «Введение в инженерную деятельность», «Начертательная геометрия и инженерная графика», «Материаловедение и технология конструкционных материалов», «Цифровое моделирование деталей и узлов ГТУ».

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. «Энергетические установки и двигатели», «Технологии машиностроения», «Разработка конструкций газотурбинных установок», производственная практика (проектная).

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

| Вид учебной работы | Всего ЗЕ | Всего часов | Семестр(ы) | | |
|------------------------------------|----------|-------------|------------|---|-----|
| | | | 4 | 5 | 6 |
| ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ | 4 | 144 | - | - | 144 |
| КОНТАКТНАЯ РАБОТА* | - | 59 | - | - | 59 |
| АУДИТОРНАЯ РАБОТА | 1,2 | 44 | - | - | 44 |
| Лекции | 0,4 | 14 | - | - | 14 |
| Практические (семинарские) занятия | - | - | - | - | - |

| | | | | | |
|---------------------------------------|-----|-----|---|---|-----|
| Лабораторные работы | 0,8 | 30 | - | - | 30 |
| САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ | 2,8 | 100 | - | - | 100 |
| Проработка учебного материала | 1,8 | 64 | - | - | 64 |
| Курсовой проект | - | - | - | - | - |
| Курсовая работа | - | - | - | - | - |
| Подготовка к промежуточной аттестации | 1 | 36 | - | - | 36 |
| Промежуточная аттестация: | | | - | - | Э |
| | | | - | - | - |

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

| Разделы дисциплины | Всего часов | Распределение трудоемкости по видам учебной работы | | | | Формы и вид контроля | Индексы индикаторов формируемых компетенций |
|--------------------|-------------|--|-----------|----------|------------|----------------------|---|
| | | лекции | лаб. раб. | пр. зан. | сам. раб. | | |
| Раздел 1. | 34 | 4 | 10 | | 20 | ТК1 | ОПК-5.1. 3 |
| Раздел 2. | 34 | 4 | 10 | | 20 | ТК1 | ОПК-5.1. 3, ОПК-5.1. У |
| Раздел 3. | 40 | 6 | 10 | | 24 | ТК2 | ОПК-5.1. В |
| Экзамен | 36 | | | | 36 | | ОПК-5.1.3, ОПК-5.1.У, ОПК-5.1.В |
| ИТОГО | 144 | 14 | 30 | | 100 | | |

3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Введение в аддитивное производство

Тема 1.1. Введение в аддитивные технологии. Термины и определения. Техника безопасности

Рассматриваются базовые принципы аддитивных технологий, ключевые термины и определения в данной области, а также основные правила и требования техники безопасности при работе с 3D-оборудованием и материалами.

Тема 1.2. Классификация методов, систем и установок аддитивных технологий

Рассматриваются принципы классификации методов, систем и установок аддитивных технологий по типу используемых материалов, принципу формирования слоя, области применения и технологическим особенностям.

Раздел 2. Методы 3D печати.

Тема 2.1. Основные понятия. Виды и устройство 3D принтеров. Материалы

Рассматриваются основные понятия и классификации в сфере аддитивного производства, включая виды и конструктивные особенности

3D-принтеров, а также типы применяемых материалов, таких как фотополимеры, металлические порошки и пластиковые нити.

Тема 2.2. Основные этапы подготовки 3D модели к печати

Рассматриваются основные этапы подготовки цифровой 3D-модели к аддитивному производству, включая проверку геометрии, генерацию поддержек, слайсинг и др.

Тема 2.3. Особенности методов печати узлов и деталей ГТУ

Рассматриваются ключевые отличия высокотехнологичных методов аддитивного производства от базовых. Анализируется переход от стандартной FDM-печати термопластичными нитями к процессам прямого энергетического воздействия, таким как селективное лазерное плавление (SLM) и электронно-лучевая плавка (EBM). Особое внимание уделяется специфике работы с металлическими порошками, включая требования к защитным средам, контролю термических режимов и обязательной послепечатной термообработке для достижения заданных механических свойств.

Раздел 3. Обратное проектирование

Тема 3.1. Основы метода обратного проектирования

Рассматриваются принципы и методология обратного проектирования (reverse engineering), включая процесс оцифровки физического объекта, обработку данных сканирования и реконструкцию параметрической 3D-модели.

Тема 3.2. 3D сканирование. Виды, устройство и принцип работы

Рассматриваются основные виды 3D-сканеров (лазерные, оптические, структурированного света), их конструктивные особенности и физические принципы работы.

3.4. Тематический план практических занятий

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

3.5. Тематический план лабораторных работ

1. Создание прототипа изделия простых форм аддитивным методом.
2. Создание прототипа технического изделия аддитивным методом.
3. Создание прототипа соединения деталей аддитивным методом.
4. Создание прототипа изделий сложной формы (лопасти турбины).
5. Создание цифрового двойника изделия методом 3D-сканирования.
6. Создание прототипа узла газотурбинной установки аддитивным методом.

3.6. Курсовой проект /курсовая работа

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

| Код компетенции | Код индикатора компетенции | Запланированные результаты обучения по дисциплине | Уровень сформированности индикатора компетенции | | | |
|-----------------|----------------------------|---|--|---|---|---|
| | | | Высокий | Средний | Ниже среднего | Низкий |
| | | | от 85 до 100 | от 70 до 84 | от 55 до 69 | от 0 до 54 |
| | | | Шкала оценивания | | | |
| | | | отлично | хорошо | удовлетворительно | неудовлетворительно |
| | | | зачтено | | не зачтено | |
| ОПК-5 | ОПК-5.1 | знать: | | | | |
| | | области применения, свойства, характеристик и электротехнических материалов, в соответствии с требуемыми параметрами | знает области применения, свойства, характеристики электротехнических материалов в полном объеме | знает области применения, свойства, характеристики электротехнических материалов, допускает незначительные ошибки | знает области применения, свойства, характеристики электротехнических материалов, допускает грубые ошибки | не знает области применения, свойства, характеристики электротехнических материалов |
| | | уметь: | | | | |
| | | выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками | умеет выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками | умеет выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками, допускает незначительные ошибки | умеет выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками, допускает грубые ошибки | не умеет выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками |
| владеть: | | | | | | |
| | | навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов при проектировании и электрооборудования, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов | владеет навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов | владеет навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов, допускает незначительные ошибки | владеет навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов, допускает грубые ошибки | не владеет навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|-----------|--------|--|
| | | | | ые ошибки | ошибки | |
|--|--|--|--|-----------|--------|--|

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Учебно-методическое обеспечение

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

2. Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств : учебное пособие / Е. В. Преображенская, В. В. Зуев, А. А. Мышечкин. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021 — Часть 2 — 2021. — 164 с. — ISBN 978-5-7339-1398-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/182471>.

3. Егорова Р. В. Технология изготовления деталей методом порошковой металлургии и перспективные материалы, применяемые в аддитивных технологиях : учебное пособие / Р. В. Егорова, М. С. Егоров. - Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2020. - 140 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/238001>. - ISBN 978-5-7890-1721-0. - Текст : электронный.

4. Ляпков, А. А. Современные аддитивные технологии : учебное пособие / А. А. Ляпков. — Москва : КноРус, 2026. — 232 с. — ISBN 978-5-406-14911-9. — URL: <https://book.ru/book/959437> (дата обращения: 15.03.2026). — Текст : электронный.

5.1.2.Дополнительная литература

1. Горунов, Андрей Игоревич. Аддитивные технологии и материалы : учебное пособие / А. И. Горунов. - Казань : Издательство КНИТУ-КАИ, 2019. - 56 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/144008>. - ISBN 978-5-7579-2360-4. - Текст : электронный.

2. Ляпков, А. А. Полимерные аддитивные технологии : учебное пособие для вузов / А. А. Ляпков, А. А. Троян. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 120 с. — ISBN 978-5-507-47656-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/402005> (дата обращения: 15.03.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Рысин, А. В. Аддитивные технологии в электроэнергетике : учебное пособие / А. В. Рысин, С. В. Солёный. — Санкт-Петербург : ГУАП, 2023. — 66 с. — ISBN 978-5-8088-1880-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-

библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/461471> (дата обращения: 15.03.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Должиков, В. П. Технологии наукоемких машиностроительных производств : учебное пособие для вузов / В. П. Должиков. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 304 с. — ISBN 978-5-507-51646-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/426278> (дата обращения: 15.03.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5.2. Информационное обеспечение

5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

| № п/п | Наименование электронных и интернет-ресурсов | Ссылка |
|-------|---|---|
| 1. | Электронная библиотечная система «Лань» | http://e.lanbook.com |
| 2. | Электронно-библиотечная система «ibooks.ru» | https://ibooks.ru/ |
| 3. | Электронно-библиотечная система «lib.kgeu.ru» | http://lib.kgeu.ru |

5.2.2. Профессиональные базы данных /Информационно-справочные системы

| № п/п | Наименование профессиональных баз данных | Адрес | Режим доступа |
|-------|---|---|---|
| 1. | Официальный сайт Министерства науки и высшего образования РФ | https://www.minobrnauki.gov.ru/ | https://www.minobrnauki.gov.ru/ |
| 2. | Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации | https://minenergo.gov.ru/opendata | https://minenergo.gov.ru/opendata |
| 3. | Российская национальная библиотека | http://nlr.ru/ | http://nlr.ru/ |
| 4. | Единое окно доступа к образовательным ресурсам | http://window.edu.ru/ | http://window.edu.ru/ |
| 5. | КиберЛенинка | https://cyberleninka.ru/ | https://cyberleninka.ru/ |
| 6. | Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU | http://elibrary.ru | http://elibrary.ru |

5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

| № п/п | Наименование программного обеспечения | Описание | Реквизиты подтверждающих документов |
|-------|--|---|---|
| 1 | Windows 7 Профессиональная (Starter) | Пользовательская операционная система | ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2011.25486 от 28.11.2011 Неискл. право. Бессрочно |
| 2 | Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Edition. 50-99 Node 1 year Educational Renewal License | Антивирусное программное обеспечение | ЗАО "СофтЛайнТрейд" №37/18 от 26.02.2018 Неискл. право. До 26.03.2019 |
| 3 | Adobe Acrobat | Пакет программ | https://get.adobe.com/ru/reader/ |
| 4 | LMS Moodle | Современное программное обеспечение | https://download.moodle.org/releases/latest/ |
| 5 | UltiMaker Cura | Программа-слайсер 3D-моделей с открытым исходным кодом для 3D-принтеров | ultimaker.com>software/ultimaker-cura/ |

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Наименование вида учебной работы | Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории | Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения |
|----------------------------------|---|--|
| Лекции | Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа | Моноблок "Philips", 2 доски аудиторные, экран, подключение к сети "Интернет" |
| Лабораторные работы | Учебная лаборатория для проведения лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, компьютерный класс с выходом в Интернет В-511, В-500 Учебная лаборатория для проведения лабораторных занятий В-507 | 25 посадочных мест, 15 моноблоков Hibertek T22 21.5 1920x1080 (4 USB 2.0, внешний БП, IntelCore i3/клав), 1 проектор-мультимедиа Optoma W320UST, доска интерактивная NewLineTruBoard R3-1000b , моноблок преподавательский "Аппаратно-программный комплекс (тип1) Acer:моноблок, процессор, оперативная память 4 Гб", электронный каталог плакатов ГОСТов, ЕСКД, подключение к сети "Интернет"; 30 посадочных мест, 16 ПК в комплекте: монитор 21.5" PHILIPS 224E5QHSB/00(01) Black-Cherry (AH-IPS, LED, 1920x1080, 5 |

| | | |
|------------------------|--|---|
| | | ms, 178/178, 250 cd/m, 20M:1, +2xHDMI, MHL), моноблок преподавательский "Acer", 2 проектора "ViewSonic" PJD5134, 2 экрана настенный рулонный MWS1:1 Matte, подключение к сети "Интернет", электронный каталог плакатов ГОСТов, ЕСКД 23 рабочих места, 8 3D принтеров Creality Ender 3 Pro, 12 3D принтеров Creality Ender 3, 2 3D принтера Bambu Lab P1S Combo, 3D принтер Picaso 3D Designer X PRO S2, 3D-сканер RangeVision Spectrum, 3D-сканер Shining 3DEinScan SE, 23 индивидуальных наборов инструментов |
| Самостоятельная работа | Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а | Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение |
| | Читальный зал библиотеки | Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение |

7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www//kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность

чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год

| № п/п | № раздела внесения изменений | Дата внесения изменений | Содержание изменений | «Согласовано» Зав. каф.реализующей дисциплину | «Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая |
|----------|---------------------------------|----------------------------|----------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

Приложение к рабочей
программе дисциплины



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине**

Б1.О.20.05 Аддитивное производство деталей и узлов ГТУ

(Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение
(Код и наименование направления подготовки)

Квалификация Бакалавр
(Бакалавр / Магистр)

г. Казань, 2026

Оценочные материалы по дисциплине «Аддитивное производство деталей и узлов ГТУ», предназначены для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

1. Технологическая карта

Семестр 5

| Наименование раздела | Формы и вид контроля | Рейтинговые показатели | | | | | | | |
|--|----------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|
| | | I текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК1 | II текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК2 | III текущий контроль | Дополнительные баллы к ТК3 | Итого | Промежуточная аттестация |
| Раздел 1. «Введение в аддитивное производство» | ТК1 | 15 | 0-15 | | | | | 15-30 | 15-30 |
| Лабораторная работа №1 | | 7 | | | | | | | |
| Лабораторная работа №2 | | 8 | | | | | | | |
| Раздел 2. «Методы 3D-печати» | ТК2 | | | 15 | 0-15 | | | 15-30 | 15-30 |
| Лабораторная работа №3 | | | | 7 | | | | | |
| Лабораторная работа №4 | | | | 8 | | | | | |
| Раздел 3. «Обратное проектирование» | ТК3 | | | | | 25 | 0-15 | 25-40 | 25-40 |
| Лабораторная работа №5 | | | | | | 10 | | | |
| Лабораторная работа №6 | | | | | | 15 | | | |
| Промежуточная аттестация (зачет, экзамен, КП, КР) | ОМ | | | | | | | | 0-45 |
| Задание промежуточной аттестации | | | | | | | | | 0-15 |
| В письменной форме по билетам | | | | | | | | | 0-30 |

2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

| Код компетенции | Код индикатора компетенции | Запланированные результаты обучения по дисциплине | Уровень сформированности индикатора компетенции | | | |
|-----------------|----------------------------|--|--|---|---|---|
| | | | Высокий | Средний | Ниже среднего | Низкий |
| | | | от 85 до 100 | от 70 до 84 | от 55 до 69 | от 0 до 54 |
| | | | Шкала оценивания | | | |
| | | | отлично | хорошо | удовлетворительно | неудовлетворительно |
| | | | зачтено | | не зачтено | |
| ОПК-5 | ОПК-5.2 | знать: | | | | |
| | | области применения, свойства, характеристики электротехнических материалов, в соответствии с требуемыми параметрами | знает области применения, свойства, характеристики электротехнических материалов в полном объеме | знает области применения, характеристики электротехнических материалов, допускает незначительные ошибки | знает области применения, свойства, характеристики электротехнических материалов, допускает грубые ошибки | не знает области применения, свойства, характеристики электротехнических материалов |
| | | уметь: | | | | |
| | | выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками | умеет выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками | умеет выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками, допускает незначительные ошибки | умеет выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками, допускает грубые ошибки | не умеет выбирать электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками |
| | | владеть: | | | | |
| | | навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов | владеет навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов | владеет навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов, допускает незначительные ошибки | владеет навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов, допускает грубые ошибки | не владеет навыками проведения технико-экономического анализа выбора конструкционных материалов, проведения профилактических испытаний конструкционных материалов |

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение практических работ в семестре; глубокое понимание порядка выполнения проектно-конструкторских работ, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое задание);

Оценка **«хорошо»** выставляется за выполнение практических работ в семестре; понимание порядка выполнения проектно-конструкторских работ, ответы на вопросы билета (теоретическое задание);

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение практических работ в семестре и тестовых заданий, ответы на вопросы билета (теоретическое задание);

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение практических работ в семестре.

3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

| Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Описание оценочного средства |
|----------------------------------|--|------------------------------|
| Практическое задание (ПЗ) | Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий | Комплект задач и заданий |

4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ОПК-5.1 Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик электротехнических материалов, в соответствии с требуемыми параметрами

Лабораторная работа №1. Создание прототипа изделия простых форм аддитивным методом

Целью выполнения лабораторной работы является практическое освоение полного цикла создания физического объекта аддитивным методом

Порядок выполнения работы:

1. Создайте 3D-модель простой детали в САД-системе КОМПАС 3D. Проверьте её на ошибки и экспортируйте в формате STL.

2. Импортируйте STL-файл в программу-слайсер Ultimaker Cura. Ориентируйте модель на платформе, задайте параметры печати (толщину слоя, заполнение) и сгенерируйте управляющий G-код.
3. Подготовьте FDM-принтер к работе: откалибруйте стол, заправьте филамент, установите и прогрейте экструдер и платформу до рабочей температуры.
4. Загрузите G-код на принтер, запустите печать. После завершения снимите изделие, проведите визуальный и инструментальный контроль соответствия чертежу.

Лабораторная работа №2. Создание прототипа технического изделия аддитивным методом

Целью выполнения лабораторной работы является освоение практических навыков создания функционального прототипа технического изделия средствами аддитивных технологий. В ходе работы студент учится проектировать, подготавливать к печати и изготавливать модель, содержащую базовые конструктивные элементы: фаски, скругления, проточки, ребра жесткости, отверстия с резьбой, а также оценивать влияние их геометрии и ориентации на платформе на точность воспроизведения и качество печати.

Порядок выполнения работы:

1. Создайте в САД-системе КОМПАС 3D модель технической детали. Обязательно проконтролируйте точность моделирования следующих конструктивных элементов: фасок, скруглений, сквозных и глухих отверстий, ребер жесткости. При моделировании отверстий учтите возможную усадку материала после печати, увеличив их номинальный диаметр на технологический допуск (компенсацию). Экпортируйте модель в формате STL.
2. Подготовьте модель к печати в слайсере Ultimaker Cura. Выберите оптимальную ориентацию детали на платформе для минимизации поддержек и наилучшего качества печати ответственных поверхностей. Задайте технологические параметры, учитывающие печать нависающих элементов (ребер) и мелких деталей. Сгенерируйте G-код.
3. Произведите настройку и калибровку 3D-принтера, убедитесь в соответствии выбранного материала для печати поставленной задаче. Запустите процесс печати.
4. Снимите готовое изделие с платформы, удалите конструкции поддержек. Проведите контроль качества: проверьте штангенциркулем и калибрами фактические размеры отверстий (оценив влияние усадки), толщину ребер, углы фасок. Оцените точность воспроизведения заданной геометрии и сформулируйте выводы о влиянии ориентации модели и технологических допусков на качество печати.

Для текущего контроля ТК2:

Проверяемая компетенция: ОПК-5.1 Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик электротехнических материалов, в соответствии с требуемыми параметрами

Лабораторная работа №3. Создание прототипа соединения деталей аддитивным методом

Целью выполнения лабораторной работы является освоение практических навыков проектирования и изготовления сборной конструкции средствами аддитивных технологий. Студент учится моделировать сопрягаемые детали с различными типами соединений (резьбовым, шлицевым, соединением "шип-паз"), учитывая технологические допуски на усадку материала и зазоры для обеспечения функциональности соединения после печати.

Порядок выполнения работы:

1. Создайте в САД-системе КОМПАС 3D две детали, образующие сборный узел (например, корпус и крышку). Спроектируйте на сопрягаемых поверхностях два различных типа разъемных соединений: например, резьбовое (M10) и шлицевое соединение. При проектировании обязательно предусмотрите технологические зазоры и компенсацию усадки материала, увеличив номинальные размеры пазов и уменьшив размеры шипов.
2. Подготовьте модели к печати в слайсере Ultimaker Cura. Расположите детали на платформе принтера так, чтобы обеспечить наилучшее качество печати ответственных сопрягаемых поверхностей (например, плоскости разъема должны быть параллельны платформе). Задайте режимы печати, обеспечивающие точность размеров (пониженная скорость, включенный вентилятор обдува). Сгенерируйте G-код.
3. Произведите настройку принтера, запустите печать обеих деталей за один цикл построения.
4. Снимите готовые изделия, удалите поддержки. Проведите пробную сборку узла. Оцените функциональность каждого типа соединения: легкость/тугость сборки, наличие люфта, плотность прилегания. Измерьте фактические зазоры и сравните их с расчетными. Сформулируйте выводы о влиянии технологических допусков на собираемость аддитивно произведенных деталей.

Лабораторная работа №4. Создание прототипа изделий сложной формы (лопасти турбины)

Целью выполнения лабораторной работы является освоение практических навыков проектирования, подготовки к печати и изготовления функционального прототипа изделия со сложной пространственной геометрией на примере лопатки турбины. Особое внимание уделяется выбору оптимальной ориентации модели на платформе для минимизации деформаций (коробления), обеспечения механической прочности слоев и сохранения требуемых аэродинамических форм.

Порядок выполнения работы:

- 1.. Создайте или модифицируйте 3D-модель в САД-системе КОМПАС 3D, уделяя внимание точности воспроизведения аэродинамического профиля (спинки и корыта), замкового соединения («ласточкин хвост» или «елочка») и сервбанда.

2. Подготовьте модель к печати в слайсере Ultimaker Cura. Определите и выберите ориентацию модели на платформе. Цель: расположить лопатку так, чтобы минимизировать площадь контакта поддержек с рабочими поверхностями, избежать больших нависающих участков, а также обеспечить прочность слоев в наиболее нагруженных сечениях. Сгенерируйте структуру поддержек. Задайте повышенные требования к качеству печати (минимальная толщина слоя, 100% заполнение для участков замка).
3. Произведите тщательную калибровку 3D-принтера, убедитесь в стабильности температуры платформы и камеры. Запустите печать.
4. Аккуратно снимите готовое изделие с платформы и удалите поддержки. Проведите визуальный контроль сохранения геометрии профиля, отсутствия коробления и расслоений. Сделайте ключевые замеры (хорда, толщина профиля в характерных сечениях, углы установки) с помощью шаблонов, штангенциркуля и угломера. Оцените влияние выбранной ориентации на точность геометрии и качество поверхности, сформулируйте выводы и рекомендации по оптимальному позиционированию подобных деталей.

Для текущего контроля ТКЗ:

Проверяемая компетенция: ОПК-5.1 Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик электротехнических материалов, в соответствии с требуемыми параметрами

Лабораторная работа №5. Создание цифрового двойника изделия методом 3D-сканирования

Целью выполнения лабораторной работы является освоение практических навыков создания цифрового двойника физического объекта с использованием 3D-сканирования и последующей обработки данных. Студент учится проводить полный цикл работ: от планирования процесса сканирования и получения облака точек до обработки скана в специализированном ПО и реконструкции твердотельной параметрической модели, пригодной для инженерного анализа или аддитивного производства.

Порядок выполнения работы:

1. Подготовьте объект для сканирования. Обработайте его матирующим спреем при необходимости и нанесите маркерные точки для лучшего совмещения сканов.
2. Проведите 3D-сканирование объекта с нескольких ракурсов. Добейтесь полного покрытия поверхности облаком точек без критических пропусков. Сохраните проект сканирования.
3. Импортируйте полученное облако точек или полигональную сетку в ПО для обработки 3D-сканов. Проведите очистку сетки от шума и артефактов, заполните дыры и упростите сетку до оптимального качества.
4. Выполните реверс-инжиниринг: используя облако точек в качестве шаблона, постройте основные эскизы и создайте твердотельную параметрическую модель детали, максимально приближенную к исходному объекту. Сравните

полученную САD-модель с оригинальным облаком точек для оценки точности реконструкции. Сформируйте отчет о точности и отклонениях.

Лабораторная работа №6. Создание прототипа узла газотурбинной установки аддитивным методом

Целью выполнения лабораторной работы является освоение комплексного подхода к проектированию и изготовлению прототипа функционального узла ГТУ методами аддитивного производства. Студент учится работать с цифровым макетом сборки, учитывать технологические допуски на усадку для обеспечения посадок, планировать последовательность изготовления и сборки деталей, а также интегрировать в конструкцию элемент, созданный методом реверс-инжиниринга.

Порядок выполнения работы:

1. Сформируйте цифровой макет сборки простого узла ГТУ в САD-системе. Включите в сборку твердотельную модель детали, полученную в результате 3D-сканирования в Лабораторной работе №5, адаптировав её под узел. Определите сопрягаемые размеры и рассчитайте необходимые технологические припуски/зазоры для компенсации усадки материала печати в посадках с натягом и с зазором.
2. Разнесите сборку на отдельные детали. Подготовьте каждую деталь к печати в слайсере, выбрав оптимальную ориентацию для обеспечения прочности и точности критических поверхностей (посадочных отверстий, плоскостей прилегания). Сгенерируйте управляющие программы (G-код) для каждой детали.
3. Настройте 3D-принтер и изготовьте все детали узла по отдельности, используя единый материал для обеспечения одинакового коэффициента усадки. Проведите постобработку: удалите поддержки и зачистите посадочные поверхности.
4. Выполните физическую сборку прототипа узла. Проверьте собираемость, соответствие расчетных зазоров/натягов фактическим. Оцените геометрическую целостность сборки и функциональность соединений. Проанализируйте влияние учтенных допусков на конечный результат и сформулируйте выводы о комплексном применении аддитивных технологий для создания прототипов узлов.

Для промежуточной аттестации:

Вопросы к экзамену по дисциплине «Аддитивное производство деталей и узлов ГТУ»

- 1 Дайте определение понятия «быстрое прототипирование».
- 2 Дайте определение понятия «аддитивное производство».
- 3 Сформулируйте основной принцип технологии «аддитивное производство».
- 4 Перечислите основные области применения изделий, полученных с использованием технологий аддитивного производства.
- 5 Перечислите общие этапы процессов аддитивного производства.

- 6 Укажите особенности подготовки трехмерных моделей для аддитивного производства.
- 7 Перечислите основные параметры, влияющие на представление трехмерной модели в stl - формате
- 8 Укажите общие для всех технологий аддитивного производства характеристики этапов при последующей обработке изделий.
- 9 Укажите основные отличия технологий аддитивного производства от обработки на станках с ЧПУ.
- 10 Приведите примеры конструкций, которые могут быть изготовлены с применением различных аддитивных технологий.
- 11 Перечислите технологии, связанные с технологиями аддитивного производства.
- 12 Перечислите классификационные признаки аддитивных технологий.
- 13 Опишите процесс аддитивного производства на основе применения жидких полимерных композиций.
- 14 Опишите процесс аддитивного производства на основе систем отдельных частиц.
- 15 Опишите процесс аддитивного производства, на основе применения расплавленного материала.
- 16 Опишите процесс аддитивного производства на основе применения твердых листовых материалов.
- 17 Опишите процесс аддитивного производства на основе применения металлов.
- 18 Перечислите гибридные системы, применяемые в аддитивном производстве.
- 19 Какова общая последовательность процесса аддитивного производства?
- 20 Укажите основные этапы аддитивного производства.
- 21 Настройка оборудования для аддитивного производства.
- 22 Процесс построения изделия.
- 23 Постобработка изделия.
- 24 Различия технологий аддитивного производства (фотополимерные, порошки, расплавленные и твердые листовые материалы).
- 25 Особенности использования подложек.
- 26 Влияние плотности энергии на технологические характеристики процесса.
- 27 Особенности технического обслуживания оборудования для различных технологий аддитивного производства.
- 28 Особенности подготовки, обслуживания и хранения материалов при различных технологиях аддитивного производства.
- 29 Удаление опорных элементов.
- 30 Особенности создания элементов фиксации частей конструкции и ребер жесткости.