

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
Цифровые двойники систем и объектов

**Код модуля**  
1161183(1)

**Модуль**  
Цифровые технологии в проектировании и  
эксплуатации турбомашин и турбоустановок

**Екатеринбург**

Оценочные материалы составлены автором(ами):

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия, имя, отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Блинов Виталий Леонидович	кандидат технических наук, доцент	Доцент	турбин и двигателей

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Ю.В. Коновалова

**Авторы:**

- **Блинов Виталий Леонидович, Доцент, турбин и двигателей**

## 1. СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ **Цифровые двойники систем и объектов**

1.	<b>Объем дисциплины в зачетных единицах</b>	3	
2.	<b>Виды аудиторных занятий</b>	Лекции Практические/семинарские занятия	
3.	<b>Промежуточная аттестация</b>	Зачет	
4.	<b>Текущая аттестация</b>	Контрольная работа	1
		Домашняя работа	1

## 2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ИНДИКАТОРЫ) ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ **Цифровые двойники систем и объектов**

Индикатор – это признак / сигнал/ маркер, который показывает, на каком уровне обучающийся должен освоить результаты обучения и их предьявление должно подтвердить факт освоения предметного содержания данной дисциплины, указанного в табл. 1.3 РПМ-РПД.

Таблица 1

<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения (индикаторы)</b>	<b>Контрольно-оценочные средства для оценивания достижения результата обучения по дисциплине</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
ОПК-5 -Способен планировать, организовывать и контролировать работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования и технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности	З-4 - Показать возможности использования цифровых технологий (создание цифровых двойников) для оптимизации работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем У-4 - Использовать при необходимости техники цифрового моделирования при выполнении работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических	Зачет Лекции Практические/семинарские занятия

	процессов и информационных систем	
УК-7 -Способен обрабатывать, анализировать, передавать данные и информацию с использованием цифровых средств для эффективного решения поставленных задач с учетом требований информационной безопасности	<p>З-1 - Сделать обзор угроз информационной безопасности, основных принципов организации безопасной работы в информационных системах и в сети интернет</p> <p>З-3 - Сделать обзор современных цифровых средств и технологий, используемых для обработки, анализа и передачи данных при решении поставленных задач</p> <p>П-1 - Обосновать выбор технических и программных средств защиты персональных данных и данных организации при работе с информационными системами на основе анализа потенциальных и реальных угроз безопасности информации</p> <p>П-2 - Решать поставленные задачи, используя эффективные цифровые средства и средства информационной безопасности</p> <p>У-1 - Определять основные угрозы безопасности при использовании информационных технологий и выбирать оптимальные способы и средства защиты персональных данных и данных организации от мошенников и вредоносного ПО</p> <p>У-2 - Выбирать современные цифровые средства и технологии для обработки, анализа и передачи данных с учетом поставленных задач</p>	<p>Зачет</p> <p>Лекции</p> <p>Практические/семинарские занятия</p>
ПК-2 -Способность разрабатывать программные алгоритмы, физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и	<p>З-2 - Объяснять принципы выбора моделей и расчётных схем системы в зависимости от условий работы и конструктивных особенностей энергоустановок</p> <p>П-3 - Самостоятельно ставить и решать задачи численного</p>	<p>Домашняя работа</p> <p>Зачет</p> <p>Контрольная работа</p> <p>Лекции</p> <p>Практические/семинарские занятия</p>

объектов в сфере конструирования, проектирования, исследования, модернизации объектов газотурбостроения и энергетики и оценивать полученные результаты	моделирования рабочих процессов энергоустановок У-3 - Анализировать результаты численного моделирования рабочих процессов и на их основе предлагать меры по совершенствованию энергоустановок	
ПК-8 -Способен управлять цифровым двойником объектов профессиональной деятельности и внедрять алгоритмы предиктивной аналитики для предотвращения аварийных ситуаций, повышения эффективности работы оборудования	З-3 - Объяснить выбор концепции технологии цифровой двойник и перечислить их виды П-2 - Подготовить техническое задание на проектирование цифрового двойника для всех этапов жизненного цикла П-3 - Иметь практический опыт разработки цифрового двойника элементов и узлов турбоустановок У-2 - Осуществлять выбор математических моделей машинного обучения под конкретные задачи повышения эффективности и предотвращения аварийных ситуаций У-3 - Анализировать, определять и выявлять все взаимосвязи цифровых двойников для составления их структуры	Домашняя работа Зачет Лекции Практические/семинарские занятия

### 3. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ В БАЛЬНО-РЕЙТИНГОВОЙ СИСТЕМЕ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА БРС)

#### 3.1. Процедуры текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

<b>1. Лекции: коэффициент значимости совокупных результатов лекционных занятий – 0.5</b>		
<b>Текущая аттестация на лекциях</b>	<b>Сроки – семестр, учебная неделя</b>	<b>Максимальная оценка в баллах</b>
<i>Работа на лекциях</i>	17	50

<i>домашняя работа</i>	17	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лекциям – 0.5</b>		
Промежуточная аттестация по лекциям – <b>зачет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лекциям – 0.5</b>		
<b>2. Практические/семинарские занятия: коэффициент значимости совокупных результатов практических/семинарских занятий – 0.5</b>		
Текущая аттестация на практических/семинарских занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<i>Работа на практических занятиях</i>	17	50
<i>контрольная работа</i>	17	50
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по практическим/семинарским занятиям– 1</b>		
Промежуточная аттестация по практическим/семинарским занятиям–		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по практическим/семинарским занятиям– не предусмотрено</b>		
<b>3. Лабораторные занятия: коэффициент значимости совокупных результатов лабораторных занятий –не предусмотрено</b>		
Текущая аттестация на лабораторных занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по лабораторным занятиям -не предусмотрено</b>		
Промежуточная аттестация по лабораторным занятиям – <b>нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по лабораторным занятиям – не предусмотрено</b>		
<b>4. Онлайн-занятия: коэффициент значимости совокупных результатов онлайн-занятий –не предусмотрено</b>		
Текущая аттестация на онлайн-занятиях	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<b>Весовой коэффициент значимости результатов текущей аттестации по онлайн-занятиям -не предусмотрено</b>		
Промежуточная аттестация по онлайн-занятиям – <b>нет</b>		
<b>Весовой коэффициент значимости результатов промежуточной аттестации по онлайн-занятиям – не предусмотрено</b>		

### 3.2. Процедуры текущей и промежуточной аттестации курсовой работы/проекта

Текущая аттестация выполнения курсовой работы/проекта	Сроки – семестр, учебная неделя	Максимальная оценка в баллах
<b>Весовой коэффициент текущей аттестации выполнения курсовой работы/проекта– не предусмотрено</b>		
<b>Весовой коэффициент промежуточной аттестации выполнения курсовой работы/проекта– защиты – не предусмотрено</b>		

#### 4. КРИТЕРИИ И УРОВНИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

4.1. В рамках БРС применяются утвержденные на кафедре/институте критерии (признаки) оценивания достижений студентов по дисциплине модуля (табл. 4) в рамках контрольно-оценочных мероприятий на соответствие указанным в табл.1 результатам обучения (индикаторам).

Таблица 4

##### Критерии оценивания учебных достижений обучающихся

Результаты обучения	Критерии оценивания учебных достижений, обучающихся на соответствие результатам обучения/индикаторам
Знания	Студент демонстрирует знания и понимание в области изучения на уровне указанных индикаторов и необходимые для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Умения	Студент может применять свои знания и понимание в контекстах, представленных в оценочных заданиях, демонстрирует освоение умений на уровне указанных индикаторов и необходимых для продолжения обучения и/или выполнения трудовых функций и действий, связанных с профессиональной деятельностью.
Опыт /владение	Студент демонстрирует опыт в области изучения на уровне указанных индикаторов.
Другие результаты	Студент демонстрирует ответственность в освоении результатов обучения на уровне запланированных индикаторов. Студент способен выносить суждения, делать оценки и формулировать выводы в области изучения. Студент может сообщать преподавателю и коллегам своего уровня собственное понимание и умения в области изучения.

4.2 Для оценивания уровня выполнения критериев (уровня достижений обучающихся при проведении контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля) используется универсальная шкала (табл. 5).

Таблица 5

##### Шкала оценивания достижения результатов обучения (индикаторов) по уровням

Характеристика уровней достижения результатов обучения (индикаторов)				
№ п/п	Содержание уровня выполнения критерия оценивания результатов обучения (выполненное оценочное задание)	Шкала оценивания		
		Традиционная характеристика уровня		Качественная характеристика уровня
1.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты в полном объеме, замечаний нет	Отлично (80-100 баллов)	Зачтено	Высокий (В)

2.	Результаты обучения (индикаторы) в целом достигнуты, имеются замечания, которые не требуют обязательного устранения	Хорошо (60-79 баллов)		Средний (С)
3.	Результаты обучения (индикаторы) достигнуты не в полной мере, есть замечания	Удовлетворительно (40-59 баллов)		Пороговый (П)
4.	Освоение результатов обучения не соответствует индикаторам, имеются существенные ошибки и замечания, требуется доработка	Неудовлетворительно (менее 40 баллов)	Не зачтено	Недостаточный (Н)
5.	Результат обучения не достигнут, задание не выполнено	Недостаточно свидетельств для оценивания		Нет результата

## 5. СОДЕРЖАНИЕ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ МОДУЛЯ

### 5.1. Описание аудиторных контрольно-оценочных мероприятий по дисциплине модуля

#### 5.1.1. Лекции

Самостоятельное изучение теоретического материала по темам/разделам лекций в соответствии с содержанием дисциплины (п. 1.2. РПД)

#### 5.1.2. Практические/семинарские занятия

Примерный перечень тем

1. Техническое задание на создание цифрового двойника.
2. Техническое задание на внедрение цифрового двойника.
3. Применение цифровых инструментов при создании цифровых двойников.

Примерные задания

- Разработать техническое задание на создание цифрового двойника.
- Разработать техническое задание на внедрение цифрового двойника.
- Описать постановку задачи при применении машинного обучения и численного моделирования в рамках технологии цифровых двойников.

LMS-платформа – не предусмотрена

### 5.2. Описание внеаудиторных контрольно-оценочных мероприятий и средств текущего контроля по дисциплине модуля

Разноуровневое (дифференцированное) обучение.

#### Базовый

##### 5.2.1. Контрольная работа

Примерный перечень тем

1. Понятие цифровой двойник.



2. Требования к цифровым двойникам.
3. Преимущества применения цифровых двойников.

Примерные задания

Цифровой двойник ГТУ – это:

- 1) Виртуальная модель ГТУ, которая постоянно корректируется по результатам натурных экспериментов или данных с эксплуатации физического объекта и достоверно предсказывает его поведение в течение всего жизненного цикла;
- 2) Физическая модель ГТУ в уменьшенном масштабе, которая достоверно предсказывает поведение своего прототипа на объекте эксплуатации в течение всего жизненного цикла;
- 3) Трехмерная виртуальная модель ГТУ, используемая для демонстрации массогабаритных характеристик реального объекта;
- 4) Цифровой перечень основных параметров работы ГТУ, записанных с реального объекта эксплуатации на различных режимах работы ГТУ для дальнейшего использования в качестве источника информации для выбора режимов работы объекта.

Цифровой двойник ЦБК – это:

- 1) Физическая модель ЦБК в уменьшенном масштабе, которая достоверно предсказывает поведение своего прототипа на объекте эксплуатации в течение всего жизненного цикла;
- 2) Виртуальная модель ЦБК, которая постоянно корректируется по результатам натурных экспериментов или данных с эксплуатации физического объекта и достоверно предсказывает его поведение в течение всего жизненного цикла;
- 3) Цифровая мнемосхема работы ЦБК, используемая эксплуатационным персоналом для отслеживания режимных параметров работы оборудования;
- 4) Цифровой перечень основных параметров работы ЦБК, записанных с реального объекта эксплуатации на различных режимах работы ЦБК для дальнейшего использования в качестве источника информации для выбора режимов работы объекта.

Для газотурбинной техники необходимо осуществлять создание, хранение и взаимосвязь между различной цифровой информацией о двигателе, его узлах, основных и вспомогательных системах на всех этапах жизненного цикла. Для какого в настоящее время оборудования необходимо выполнять это условие:

- 1) Для оборудования, выводимого из эксплуатации;
- 2) Для уже работающего оборудования;
- 3) Для старого оборудования перед модернизацией;
- 4) Для вновь разрабатываемого оборудования.

Почему для ГТУ и ЦБК, уже находящихся в эксплуатации, имеет смысл разрабатывать цифровые двойники только отдельных элементов и систем?:

- 1) Это определяется схемой и условиями эксплуатации ГТУ и ЦБК;
- 2) Полная оцифровка уже работающего (старого) оборудования, особенно с большой наработкой, может быть затруднена из-за отсутствия всех данных (чертежей, результатов испытаний и пр.) и в полной мере не осуществима ввиду трудоемкости работы;
- 3) Данное требование определяется старыми нормативными актами;

4) Это не так. Для развития топливо-энергетической и машиностроительной промышленности необходимым требованием является создания полных цифровых двойников эксплуатируемых ГТУ и ЦБК.

Какие основные задачи должен решать цифровой двойник ГТУ/ЦБК или их элементов и систем с точки зрения эксплуатации (несколько вариантов ответов):

- 1) Прогнозирование режимов работы с учетом фактического технического состояния ГТУ и ЦБК;
- 2) Детальная визуализация узлов и деталей ГТУ и ЦБК;
- 3) Предсказание поломок и аварийных ситуаций;
- 4) Сбор, запись и хранение параметров работы оборудования.

Какое требование не относится к цифровым двойникам ГТУ и ЦБК:

- 1) Цифровой двойник должен быть динамическим и постоянно обновляемым представлением реальных ГТУ и ЦБК, их элементов или процессов;
- 2) Цифровой двойник ГТУ и ЦБК должен содержать данные, полученные на стадии их разработки и изготовления;
- 3) Цифровой двойник должен осуществлять непрерывный сбор, запись и хранение параметров работы ГТУ и ЦБК;
- 4) Цифровой двойник должен анализировать данные во время всего жизненного цикла оборудования.

Какая величина точности между работой виртуальной модели и работой реального объекта считается достаточной?:

- 1) 5%;
- 2) 15%;
- 3) 25%;
- 4) 35%.

LMS-платформа – не предусмотрена

### **5.2.2. Домашняя работа**

Примерный перечень тем

1. Применение цифрового двойника ГТУ для снижения числа стендовых испытаний.
2. Применение цифрового двойника ЦБК / ОК для снижения числа стендовых испытаний.
3. Применение цифрового двойника ГТУ для повышения надежности объекта эксплуатации.
4. Применение цифрового двойника ЦБК / ОК для повышения надежности объекта эксплуатации.
5. Применение цифрового двойника ГТУ для отработки технических решений в виртуальном пространстве.
6. Применение цифрового двойника ЦБК / ОК для отработки технических решений в виртуальном пространстве.
7. Применение цифрового двойника ГТУ для формирования рекомендаций по режимам эксплуатации.

8. Применение цифрового двойника ЦБК / ОК для сокращения сроков ремонтов.
9. Применение цифрового двойника ГТУ для формирования рекомендаций по режимам эксплуатации.

10. Применение цифрового двойника ЦБК / ОК для сокращения сроков ремонтов.

Примерные задания

- Выбрать и дать краткое описание объекта цифрового двойника.
- Расписать задачу, которую возможно решить на основе рассматриваемого цифрового двойника.
  - Описать требуемую глубину проработки цифрового двойника выбранного объекта применительно к решаемой задаче.
  - Рассмотреть инструменты, которые будут использованы при разработке цифрового двойника.
  - Рассмотреть вопросы внедрения и эксплуатации цифрового двойника.

LMS-платформа – не предусмотрена

### **5.3. Описание контрольно-оценочных мероприятий промежуточного контроля по дисциплине модуля**

#### **5.3.1. Зачет**

Список примерных вопросов

1. Понятие цифрового двойника объекта.
2. Образующие технологии: IoT, CAE/CAD/PLM, Big Data, Cloud, VR/AR.
3. Описание цифровых двойников разных компаний.
4. Цифровые двойники турбомашин и турбоустановок в системах транспорта газа.
5. Цифровые двойники турбомашин и турбоустановок в электроэнергетике.
6. Цифровые двойники турбомашин и турбоустановок в энергомашиностроении.
7. Математические модели в рамках цифровых двойников турбомашин и турбоустановок.
8. Применение машинного обучения в рамках цифровых двойников.
9. Применение численных моделей в рамках цифровых двойников.
10. Положительный эффект от применения цифрового двойника.

LMS-платформа – не предусмотрена

### **5.4 Содержание контрольно-оценочных мероприятий по направлениям воспитательной деятельности**

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.