

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и  
дизайна»  
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.12** Моделирование и цифровые двойники

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++b090303-1\_23-14.plx

Кафедра:  Информационно-измерительных технологий и систем управления

Направление подготовки:  
(специальность) 09.03.03 Прикладная информатика

Профиль подготовки:  
(специализация) Искусственный интеллект в информационных системах

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся			Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
	Лекции	Практ. занятия	Лаб. занятия				
6	УП	34		75,75	0,25	4	Зачет, Курсовая работа
	РПД	34		75,75	0,25	4	
7	УП	17	17	57	36	4	Экзамен
	РПД	17	17	57	36	4	
Итого	УП	51	17	132,75	36,25	8	
	РПД	51	17	132,75	36,25	8	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, утверждённым приказом Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 922

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент

Ремизова И.В.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой информационно-измерительных технологий и систем управления

Сидельников В.И.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сидельников В.И.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** сформировать компетенции обучающихся в области изучения современных технологий проектирования производств, построении и использовании математических моделей различных процессов; в разработке цифровых двойников отдельных элементов и процессов, а также обеспечении их интеграции.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Изучить методологию построения моделей технологических процессов как объектов управления.
- Приобрести навыки построения моделей технологических процессов различной физической природы.
- Уметь собирать и анализировать исходные данные для разработки цифрового двойника;
- Освоить современные программные средства для моделирования объектов и систем управления технологическими процессами, разработке цифровых двойников производственных и технологических объектов..

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Интегрированные системы проектирования и управления

Информационные системы и технологии

Проектирование информационных систем

Операционные системы, сети и телекоммуникации

Облачные технологии в СУБД

Теория автоматического управления

Нейросетевые технологии

Физика

Математика

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>ПК-6: Способен разрабатывать техническое задание на систему</b>
<b>Знать:</b> методы моделирования и понятие цифровой двойник.
<b>Уметь:</b> использовать стандарты оформления технических заданий на систему.
<b>Владеть:</b> навыками разбиения системы на отдельные части; навыками идентификации объекта управления.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа			СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)	Лаб. (часы)			
Раздел 1. Введение в теорию математического моделирования	6						Л
Тема 1. Основные понятия. Теория подобия. Системный подход при построении моделей. Обзор программных средств моделирования. Лабораторная работа 1. Изучение возможностей пакета Matlab (Simulink) для моделирования объектов и систем технологических процессов.		8		10	18	ИЛ	
Тема 2. Классификация математических моделей технологических процессов, как объектов управления. Особенности использования программных средств для исследования различных классов моделей. Лабораторная работа 2. Моделирование систем управления технологическими параметрами различной структуры.		9		10	18		
Раздел 2. Построение динамических моделей технологических процессов							
Тема 3. Линейные динамические в форме пространства состояния. Основные понятия. Переход от передаточной функции к уравнениям в форме пространства состояния.		8			21,75		
Тема 4. Модель смесительного бака для регулирования уровня и температуры. Лабораторная работа 3. Исследование модели смесительного бака.		9		14	18		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34		34	75,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет, Курсовая работа)		0,25					
Раздел 3. Концепция и классификация цифрового двойника	7						Л

Тема 5. Определения и классификация цифровых двойников Определение ЦД и эволюция составляющих технологи; Инжиниринговые инструменты для создания ЦД; ЦД и оптимизация изделия; Технологии сбора и обработки данных для создания ЦД; Технологии математического моделирования и цифровых теней; ЦД как интеграция этапов жизненного цикла изделия; Объединение ЦД в комплексных объектах и их взаимодействие; Типы ЦД и их классификация. Лабораторная работа 4. AnyLogic разработка цифрового двойника производственного процесса.	4	5	15	ГД	
Тема 6. Примеры использования цифровых двойников ЦД в транспортном машиностроении и на транспорте; ЦД в нефтегазовой отрасли; ЦД в энергетике; ЦД в сельском хозяйстве.	3	10	14		
Раздел 4. Этапы, методы создания и анализ цифровых двойников					
Тема 7. Этапы создания цифровых двойников Этапы создания цифровых двойников. Сбор информации для разработки ЦД. Программное обеспечение создания ЦД. Системный инжиниринг. Лабораторная работа 5. Галактика – разработка цифрового двойника участка производства.	5	12	14		Л
Тема 8. Анализ цифрового двойника Методы оценки адекватности элементов ЦД. Метод оценки ЦД. Программное обеспечение создания ЦД.	5	7	14		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	17	17	17	57	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5		33,5	
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		121,75		166,25	

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта):** Построении и исследовании математической модели технологического процесса , как объекта управления.

При выполнении курсовой работы решаются следующие задачи. В соответствии с заданием и исходными данными, полученными на практике:

- разрабатывается схема и составляется описание технологического процесса;
- формулируются задачи исследования процесса на базе математической модели;
- разрабатывается математическая модель;
- формулируются требования к средствам отображения информации , разрабатывается интерфейс и

программа;

- проводятся необходимые исследования на модели.

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** Моделирование технологического, как объекта управления технологическими параметрами. Конкретный вид процесса и параметры задаются в индивидуальном задании.

**4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):**

Курсовая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Задание.
3. Содержание.
4. Описание и схему технологического процесса.
5. Разработку математической модели.
6. Листинги программы.
7. Экраны интерфейса.
8. Результаты исследования процесса по математической модели.
9. Выводы.
10. Список литературы.

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

**5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения**

**5.1.1 Показатели оценивания**

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-6	1. Излагает базовые принципы построения и работы основных математических моделей. 2. Пользуется терминологией, литературой и программным обеспечением для формирования задания на создание модели объекта, цифрового двойника. 3. Демонстрирует умение формулировать математические задачи; оценивать эффективность математической модели.	1. Вопросы устного собеседования. 2. Практико-ориентированные задания 3. Курсовая работа

**5.1.2 Система и критерии оценивания**

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Вопросы экзаменационного билета раскрыты полностью, студент в состоянии осуществить пояснения и уточнения по заданным преподавателем дополнительным вопросам. владеет терминологией.	Курсовая работа должна быть выполнена своевременно и без ошибок. Студент должен быть в состоянии внести предложенные преподавателем дополнения при разработке модели и моделировании. Вопросы экзаменационного билета раскрыты полностью, студент в состоянии осуществить пояснения и уточнения по заданным преподавателем дополнительным вопросам.
4 (хорошо)	Вопросы экзаменационного билета раскрыты не в полной мере, студент не в состоянии осуществить пояснения и уточнения по всем дополнительным вопросам. Отвечает на все дополнительные вопросы после небольшой помощи преподавателя и задаваемых им наводящих вопросов, владеет терминологией.	Курсовая работа содержит ошибки, которые студент смог исправить при помощи преподавателя. Студент не в состоянии внести предложенные преподавателем дополнения.
3 (удовлетворительно)	Вопросы экзаменационного билета раскрыты не в полной мере, студент в состоянии осуществить пояснения и уточнения по большей части заданных преподавателем вопросов. Отвечает не менее чем на половину вопросов, для ответа требуется значительная помощь преподавателя, владеет большей частью терминологии.	Курсовая работа выполнена небрежно. но основные идеи просматриваются.

2 (неудовлетворительно)	Вопросы экзаменационного билета не раскрыты, студент не в состоянии осуществить пояснения и уточнения по большей части заданных преподавателем дополнительных вопросов. Отвечает менее чем на половину вопросов, не ориентируется в материале, путает темы терминологию.	Курсовая работа не выполнена или выполнена не полностью. Работа выполнена с ошибками, которые студент не в состоянии исправить.
Зачтено	Студент показывает знание фактического материала по программе, в том числе: знание обязательной литературы, современных публикаций по программе курса. Работы выполнены и защищены в срок.	
Не зачтено	Отсутствие знания пройденного материала, плохое знание обязательной литературы. Работы не выполнены и не защищены в срок.	

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 6	
1	Получите уравнение в форме пространства состояния по заданной передаточной функции.
2	Что такое фазовые переменные и фазовая траектория?
3	Приведите структуру линейной математической модели системы в форме пространства состояния.
4	Особенности построения многомерной математической модели.
5	Приведите основные физические законы, применяемые при построении математических моделей.
6	Дайте определение передаточной функции и перечислите основные ее характеристики.
7	Перечислите основные этапы построения математической модели технологического процесса
8	С какой целью осуществляется процедура линеаризации модели?
9	Приведите примеры управляющих и возмущающих переменных в системе управления отдельным технологическим процессом.
10	Что такое технологический регламент?
11	Что такое технологический процесс?
12	Что включается в математическую модель?
Семестр 7	
13	Определение ЦД и эволюция составляющих технологи
14	Инжиниринговые инструменты для создания ЦД
15	ЦД и оптимизация изделия
16	Технологии сбора и обработки данных для создания ЦД
17	Технологии математического моделирования и цифровых теней
18	ЦД как интеграция этапов жизненного цикла изделия
19	Объединение ЦД в комплексных объектах и их взаимодействие
20	Типы ЦД и их классификация
21	ЦД в транспортном машиностроении и на транспорте
22	ЦД в нефтегазовой отрасли
23	ЦД в энергетике
24	ЦД в сельском хозяйстве
25	Этапы создания цифровых двойников
26	Сбор информации для разработки ЦД
27	Программное обеспечение создания ЦД
28	Системный инжиниринг
29	Методы оценки адекватности элементов ЦД
30	Метод оценки ЦД

## 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

## 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Рассмотрите в качестве объекта управления емкость с жидкостью, в которой требуется поддерживать уровень. На входе и выходе установлены регулирующие клапаны.

Перечислите параметры технологического процесса, необходимые для построения модели. Получите математическую модель объекта и приведите структурную схему математической модели.

2. Рассмотрите в качестве объекта управления двигатель постоянного тока с независимым возбуждением. Возьмите в качестве переменной управления - напряжение цепи якоря, в качестве возмущения - момент сопротивления, приведенный к валу двигателя и в качестве регулируемой переменной число оборотов.

Получите математическую модель и приведите структурную схему.

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  + Письменная  + Компьютерное тестирование  Иная

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Не разрешается пользоваться конспектами и любыми гаджетами. Допускается использование отчетов по лабораторным работам. Время на подготовку до 30 мин.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Пенский, О. Г.	Математические модели цифровых двойников	Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет	2019	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/118930.html">https://www.iprbooks.hop.ru/118930.html</a>
Вайл, Питер, Ворнер, Стефани, Окунькова, И.	Цифровая трансформация бизнеса: Изменение бизнес-модели для организации нового поколения	Москва: Альпина Паблишер	2019	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/82656.html">https://www.iprbooks.hop.ru/82656.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Самойлова, Е. М., Мусатов, В. Ю.	Цифровая трансформация проектирования и управления автоматизированных и автоматических производств	Саратов: Ай Пи Ар Медиа	2019	<a href="https://www.iprbooks.hop.ru/86705.html">https://www.iprbooks.hop.ru/86705.html</a>
Е.В. Хардигов	Теория автоматического управления [Текст]: учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2015	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafavtpriviel/5.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafavtpriviel/5.pdf</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем



Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>

Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>

Электронно-библиотечная система «Айбукс» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibooks.ru/>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

PTC Mathcad 15

3DScan

### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду