

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

**Б1.О.13 «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ»**

для специальности

*23.05.03 «Подвижной состав железных дорог»*

по специализациям

*«Пассажирские вагоны»*

*«Грузовые вагоны»*

*«Технология производства и ремонта подвижного состава»*

*«Электрический транспорт железных дорог»*

*«Высокоскоростной наземный транспорт»*

*«Локомотивы»*

Форма обучения – очная, заочная

Санкт-Петербург  
2023

## 1. Цели и задачи дисциплины

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование систем и процессов» (Б1.О.13) (далее – дисциплина) составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог» (далее - ФГОС ВО), утвержденного «27» марта 2018 г., приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 215.

Целью изучения дисциплины «Математическое моделирование систем и процессов» является ознакомление студентов с основами моделирования статических и динамических процессов, возникающих при движении железнодорожных экипажей по рельсовой колее, и программно-техническими средствами анализа математических моделей механических систем, ориентированными на применение САПР, INTERNET – технологий, методов численного интегрирования в целях приобретения студентами знаний, умений и навыков в области конструирования, моделирования и расчета железнодорожных транспортных средств на прочность, надежность, долговечность и динамические качества. В процессе обучения студенты получают практические навыки использования программного комплекса ANSYS и УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ для применения их в профессиональной деятельности при создании и эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта, формирования характера мышления и ценностных ориентаций, при которых эффективная и безопасная организация работы по проектированию и техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава железнодорожного транспорта рассматривается в качестве приоритета.

Для достижения поставленных целей решаются следующие задачи:

- формирование у студентов теоретических знаний о математическом моделировании механических систем и протекающих в них процессов;
- обучение студентов навыкам практической работы с современными программными комплексами типа ANSYS (реализующими МКЭ при расчете и проектировании вагонных конструкций) и УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ (реализующими анализ динамического поведения систем).

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в программе специалитета индикаторами достижения компетенций

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю) является формирование у обучающихся компетенций и/или части компетенций. Сформированность компетенций и/или части компетенций оценивается с помощью индикаторов достижения компетенций.

В рамках изучения дисциплины (модуля) осуществляется практическая подготовка обучающихся к будущей профессиональной деятельности. Результатом обучения по дисциплине является формирования у обучающихся практических навыков.

Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения по дисциплине (модулю)
	<i>ОПК-1: Способен решать инженерные задачи в профессиональной деятельности с использованием методов естественных наук, математического анализа и моделирования</i>
<i>ОПК-1.1.2 Знает методы математического анализа</i>	<i>Обучающийся знает: теоретические, расчетные и экспериментальные методы, используемые при решении инженерных задач в</i>

<b>Индикаторы достижения компетенций</b>	<b>Результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
<i>при решении инженерных задач в профессиональной деятельности</i>	<i>профессиональной деятельности по следующим разделам:</i> – Моделирование как научный прием; – Формы математических моделей и методы их решения; – Эмпирические модели; – Численное интегрирование; – Метод конечных элементов.
<i>ОПК-1.2.2</i> <i>Умеет применять методы математического моделирования при решении инженерных задач в профессиональной деятельности</i>	<i>Обучающийся умеет:</i> <i>решать задачи в области профессиональной деятельности по следующим разделам:</i> – Формы математических моделей и методы их решения; – Эмпирические модели; – Численное интегрирование; – Метод конечных элементов.
<i>ОПК-1.3.1</i> <i>Имеет навык решения инженерных задачи в профессиональной деятельности с использованием математического моделирования</i>	<i>Обучающийся имеет опыт деятельности (имеет навыки):</i> <i>создания моделей в области профессиональной деятельности по следующим разделам:</i> – Формы математических моделей и методы их решения; – Эмпирические модели; – Численное интегрирование; – Метод конечных элементов.
<i>ОПК-4.3.1</i> <i>Имеет навык проектирования и расчета транспортных объектов в соответствии с требованиями нормативных документов</i>	<i>Обучающийся имеет опыт деятельности (имеет навыки):</i> <i>проектирования и расчетов транспортных объектов в соответствии с нормативными документами:</i> – Моделирование как научный прием; – Формы математических моделей и методы их решения; – Эмпирические модели; – Численное интегрирование; – Метод конечных элементов.

### **3. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы**

Дисциплина относится к обязательной части.

### **4. Объем дисциплины и виды учебной работы**

Для очной формы обучения

<b>Вид учебной работы</b>	<b>Всего часов</b>	<b>Модуль</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
Контактная работа (по видам учебных занятий) В том числе:	74	32	42
– лекции (Л)	44	16	28
– лабораторные работы (ЛР)	30	16	14
Самостоятельная работа (СРС) (всего)	66	36	30
Контроль	40	4	36

Форма контроля (промежуточной аттестации)	З, Э	3	Э
Общая трудоемкость: час / з.е.	180/5	72/2	108/3

Примечание: «Форма контроля» – экзамен (Э), зачет (З).

Для заочной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов
Контактная работа (по видам учебных занятий)	24
В том числе:	
– лекции (Л)	12
– лабораторные работы (ЛР)	12
Самостоятельная работа (СРС) (всего)	143
Контроль	13
Форма контроля (промежуточной аттестации)	З, Э
Общая трудоемкость: час / з.е.	180/5

Примечание: «Форма контроля» – экзамен (Э), зачет (З).

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и содержание рассматриваемых вопросов

Для очной формы обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
<b>Модуль 1</b>			
1.	Введение. Моделирование как научный прием.	<b>Лекция 1.</b> Предмет дисциплины «Математическое моделирование систем и процессов». Цель, задачи и содержание дисциплины. Основные понятия. <b>Лекция 2.</b> Области применения моделирования. Классификация моделей. Требования, предъявляемые к моделям. <b>Самостоятельная работа.</b> История развития вычислительной техники в мире. Эволюция применения ЭВМ при решении инженерных задач. Общие вопросы процесса построения модели и технология моделирования.	ОПК-1.1.2  ОПК-1.1.2  ОПК-1.1.2
2.	Формы математических моделей и методы их решения.	<b>Лекция 3.</b> Математические модели в форме систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Область применения СЛАУ в инженерных задачах. Точные методы решения СЛАУ. <b>Лекция 4.</b> Приближенные методы решения СЛАУ. Примеры решения СЛАУ методом Якоби и Зейделя.	ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2  ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
		<p><b>Лекция 5 (4 часа).</b> Математические модели в форме нелинейных алгебраических уравнений. Особенности численных методов решения. Этапы численного решения нелинейного уравнения.</p> <p><b>Лекция 6 (4 часа).</b> Математические модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений. Примеры формирования моделей. Численные методы решения задачи Коши. Метод Рунге — Кутты.</p> <p><b>Лабораторная работа 1 (4 часа).</b> Моделирование математического маятника в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p><b>Лабораторная работа 2 (4 часа).</b> Моделирование системы «Груз на пружине» в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p><b>Лабораторная работа 3 (4 часа).</b> Моделирование системы «Груз на плоскости» в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p><b>Лабораторная работа 4 (4 часа).</b> Моделирование движения одиночной колесной пары в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p><b>Самостоятельная работа.</b> Основные вероятностные характеристики случайного процесса. Передаточная функция в форме изображений Лапласа.</p>	<p>ОПК-1.1.2 ОПК-1.2.2</p> <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2 ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1</p> <p>ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1</p> <p>ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1</p> <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2</p>
<b>Модуль 2</b>			
2.	Формы математических моделей и методы их решения.	<p><b>Лекция 7.</b> Математические модели в форме интегральных уравнений.</p> <p><b>Лекция 8 (6 часов).</b> Детерминированные и стохастические математические модели. Другие виды математических моделей физических систем во временной области (в форме передаточных функций, в пространстве состояний и др.).</p> <p><b>Самостоятельная работа.</b> Примеры формирования модели в пространстве состояний для исследования процессов механической системы. Импульсная переходная функция.</p>	<p>ОПК-1.1.2</p> <p>ОПК-1.1.2</p> <p>ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1</p>
3.	Эмпирические модели.	<b>Лекция 9.</b> Построение эмпирических моделей на основе аппроксимации	ОПК-1.1.2 ОПК-1.3.1

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
		<p>данных. <b>Лекция 10 (4 часа).</b> Решение задачи интерполяции при построении эмпирических моделей. <b>Самостоятельная работа.</b> Использование методов аппроксимации данных и интерполяция при решении инженерных задач в железнодорожной отрасли. Применение программного пакета Mathcad.</p>	<p>ОПК-1.2.2  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1</p>
4.	Численное интегрирование.	<p><b>Лекция 11 (8 часов).</b> Основные понятия. Обзор классических методов численного интегрирования. Метод статистических испытаний. <b>Самостоятельная работа.</b> Решение интегралов различными способами.</p>	<p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2  ОПК-1.2.2</p>
5.	Метод конечных элементов (МКЭ).	<p><b>Лекция 12 (4 часа).</b> История создания и использования МКЭ. Сущность метода. Обзор современных программ конечно-элементного анализа. Применение МКЭ в процессе проектирования подвижного состава. <b>Лекция 13.</b> Математическое моделирование в системах автоматизированного проектирования. <b>Лабораторная работа 5 (4 часа).</b> Моделирование балки в программном комплексе «ANSYS». <b>Лабораторная работа 6.</b> Моделирование фермы в программном комплексе «ANSYS». <b>Лабораторная работа 7.</b> Моделирование кронштейна в программном комплексе «ANSYS». <b>Лабораторная работа 8.</b> Моделирование пластины с отверстием в программном комплексе «ANSYS». <b>Лабораторная работа 9 (4 часа).</b> Моделирование воздушного резервуара в программном комплексе «ANSYS». <b>Самостоятельная работа.</b> Виды конечных элементов в программном комплексе ANSYS и области их применения. Примеры решения задач на прочность конструкции.</p>	<p>ОПК-1.1.2  ОПК-1.3.1  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1</p>

Для заочной формы обучения:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
1.	Введение. Моделирование как научный прием.	<p><b>Лекция 1.</b> Предмет дисциплины «Математическое моделирование систем и процессов». Цель, задачи и содержание дисциплины. Основные понятия.</p> <p><b>Самостоятельная работа.</b> Области применения моделирования. Классификация моделей. Требования, предъявляемые к моделям. История развития вычислительной техники в мире. Эволюция применения ЭВМ при решении инженерных задач. Общие вопросы процесса построения модели и технология моделирования.</p>	<p>ОПК-1.1.2</p> <p>ОПК-1.1.2</p>
2.	Формы математических моделей и методы их решения.	<p><b>Лекция 2.</b> Математические модели в форме систем линейных и нелинейных уравнений. Область применения и методы решения.</p> <p><b>Лекция 3.</b> Математические модели в форме обыкновенных дифференциальных и интегральных уравнений.</p> <p><b>Лабораторная работа 1.</b> Моделирование математического маятника в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p><b>Лабораторная работа 2 (4 часа).</b> Моделирование системы «Груз на пружине» в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p><b>Самостоятельная работа.</b> Примеры формирования моделей. Численные методы решения задачи Коши. Метод Рунге — Кутты. Точные и приближенные методы решения СЛАУ. Примеры решения СЛАУ методом Якоби и Зейделя. Математические модели в форме нелинейных уравнений. Этапы численного решения нелинейного уравнения. Детерминированные и стохастические математические модели. Другие виды математических моделей физических систем во временной области (в форме передаточных функций, в пространстве состояний и др.). Основные вероятностные характеристики случайного процесса. Передаточная функция в форме</p>	<p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2</p> <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2</p> <p>ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1</p> <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2, ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1</p>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Индикаторы достижения компетенций
		<i>изображений Лапласа. Примеры формирования модели в пространстве состояний для исследования процессов механической системы. Импульсная переходная функция. Моделирование системы «Груз на плоскости» в программном комплексе «Универсальный механизм».</i>	
3.	Эмпирические модели.	<b>Лекция 4.</b> Построение эмпирических моделей на основе аппроксимации данных. <b>Самостоятельная работа.</b> Решение задачи интерполяции при построении эмпирических моделей. Использование методов аппроксимации данных и интерполяция при решении инженерных задач в железнодорожной отрасли. Применение программного пакета <i>Mathcad</i> .	ОПК-1.1.2  ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2 ОПК-4.3.1
4.	Численное интегрирование.	<b>Лекция 5.</b> Основные понятия численного интегрирования. Обзор классических методов численного интегрирования. <b>Самостоятельная работа.</b> Решение интегралов различными способами.	ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.2  ОПК-1.2.2
5.	Метод конечных элементов (МКЭ).	<b>Лекция 6.</b> Сущность метода конечных элементов. Обзор современных программ конечно-элементного анализа. Применение МКЭ в процессе проектирования подвижного состава. <b>Лабораторная работа 3.</b> Моделирование балки в программном комплексе «ANSYS». <b>Лабораторная работа 4.</b> Моделирование фермы в программном комплексе «ANSYS». <b>Лабораторная работа 5.</b> Моделирование кронштейна в программном комплексе «ANSYS». <b>Самостоятельная работа.</b> Виды конечных элементов в программном комплексе ANSYS и области их применения. Примеры решения задач на прочность конструкции.	ОПК-1.1.2  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1  ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1  ОПК-1.2.2, ОПК-1.3.1 ОПК-4.3.1

## 5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

Для очной формы обучения:



<b>№ п/п</b>	<b>Наименование раздела дисциплины</b>	<b>Л</b>	<b>ЛР</b>	<b>СРС</b>	<b>Всего</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1.	Введение. Моделирование как научный прием.	4	-	10	14
2.	Формы математических моделей и методы их решения.	20	16	30	66
3.	Эмпирические модели.	6	-	8	14
4.	Численное интегрирование.	8	-	8	16
5.	Метод конечных элементов (МКЭ).	6	14	10	30
	<b>Итого</b>	44	30	66	140
<b>Контроль</b>					40
<b>Всего (общая трудоемкость, час.)</b>					180

Для заочной формы обучения:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ЛР	СРС	Всего
1	2	3	4	5	6
1.	Введение. Моделирование как научный прием.	2	-	20	22
2.	Формы математических моделей и методы их решения.	4	6	63	73
3.	Эмпирические модели.	2	-	25	27
4.	Численное интегрирование.	2	-	15	17
5.	Метод конечных элементов (МКЭ).	2	6	20	28
	<b>Итого</b>	12	12	143	167
<b>Контроль</b>					13
<b>Всего (общая трудоемкость, час.)</b>					180

#### **6. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Оценочные материалы по дисциплине является неотъемлемой частью рабочей программы и представлен отдельным документом, рассмотренным на заседании кафедры и утвержденным заведующим кафедрой.

#### **7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Порядок изучения дисциплины следующий:

1. Освоение разделов дисциплины производится в порядке, приведенном в разделе 5 «Содержание и структура дисциплины». Обучающийся должен освоить все разделы дисциплины, используя методические материалы дисциплины, а также учебно-методическое обеспечение, приведенное в разделе 8 рабочей программы.

2. Для формирования компетенций обучающийся должен представить выполненные задания, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, предусмотренные текущим контролем успеваемости (см. оценочные материалы по дисциплине).

3. По итогам текущего контроля успеваемости по дисциплине, обучающийся должен пройти промежуточную аттестацию (см. оценочные материалы по дисциплине).

#### **8. Описание материально-технического и учебно-методического обеспечения, необходимого для реализации образовательной программы по дисциплине**

8.1. Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой бакалавриата/ специалитета/ магистратуры, укомплектованные специализированной учебной мебелью и оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории: настенным экраном (стационарным или переносным), маркерной доской и (или) меловой доской, мультимедийным проектором (стационарным или переносным).

Все помещения, используемые для проведения учебных занятий и самостоятельной работы, соответствуют действующим санитарным и противопожарным нормам и правилам.

Для проведения лабораторных работ и практических занятий используется компьютерный класс (ауд. 4-219) кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», оборудованный следующей специальной техникой и программами, используемыми в учебном процессе:

- компьютер RAMEC STORM Q8300 и монитор Samsung B2240W, инвентарные №№ 40012422-40012433;
- стол компьютерный угловой, инвентарные №№ 60001125-60001136;
- учебные плакаты;
- программный комплекс «Универсальный механизм», реализующие имитационное моделирование движения рельсовых экипажей по железнодорожному пути.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

8.2. Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства:

- операционная система Windows;
- MS Office;
- Антивирус Касперский.

8.3. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к современным профессиональным базам данных:

При изучении дисциплины профессиональные базы данных не используются;

8.4. Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к информационным справочным системам:

При изучении дисциплины информационно-справочные системы не используются;

8.5. Перечень печатных и электронных изданий, используемых в образовательном процессе:

1 Конструирование и расчёт вагонов: учебник / В.В. Лукин, П.С. Анисимов, В.Н. Котуранов и др.; под ред. П.С. Анисимова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 688 с.

2 Гарг В.К., Дуккипати Р.В. Динамика подвижного состава: Пер. с англ./ Под ред. Панькина Н.А. М.: Транспорт, 1988. – 391 с.

3 Голубева Н. В. Математическое моделирование систем и процессов: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 192 с.

4 Голубева Н. В. Основы математического моделирования систем и процессов: учебное пособие. 2-е изд., с изм.– Омск: ОмГУПС, 2019.– 95 с.

5 В.Ф. Лапшин. Математическое моделирование систем и процессов : курс лекций / Екатеринбург : УрГУПС, 2014. – 65 с.

6 Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера, М., URSS, 2009 г.

7 Маковкин Г.А., Лихачева С.Ю. Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела: учебное пособие. Часть 1. / Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2012. 71 с.

8 Руководство пользователя: Начинаем работать в УМ. URL: <http://www.umlab.ru/pages/index.php?id=3> — Режим доступа: свободный.

8.6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых в образовательном процессе:

1 Личный кабинет обучающегося и электронная информационно-образовательная среда. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sdo.pgups.ru/> (для доступа к полнотекстовым документам требуется авторизация).

2 Электронно-библиотечная система ЛАНЬ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/books> – Загл. с экрана.;

3 Электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://window.edu.ru>, свободный. – Загл. с экрана;

4 Электронно-библиотечная система [ibooks.ru](http://ibooks.ru) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ibooks.ru/> – Загл. с экрана;

5 Google Академия Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scholar.google.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

Разработчик рабочей программы,  
доцент

\_\_\_\_\_ 20 \_\_ г.

\_\_\_\_\_ *А.В. Саидова*