

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
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ» (Б1.О.13)

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
2025

1. Цели и задачи дисциплины

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование систем и процессов» (Б1.О.31) (далее – дисциплина) составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по направлению подготовки 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог» (далее - ФГОС ВО), утвержденного «27» марта 2018 г., приказ Минобрнауки России № 215, с учетом профессионального образовательного стандарта 17.055. Профессиональный образовательный стандарт «Специалист по организации и производству технического обслуживания и ремонта железнодорожного подвижного состава» утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 19 апреля 2021 года №252Н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации, регистрационный №1099) и профессиональных стандартов:

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 компьютерного моделирования механических систем в программных комплексах УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ и ANSYS с последующим анализом получаемых результатов.

Таблица 2.1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с установленными в программе специалитета индикаторами достижения компетенций

| Индикаторы достижения компетенций | Результаты обучения по дисциплине (модулю) |
|---|---|
| ОПК-1: Способен решать инженерные задачи в профессиональной деятельности с использованием методов естественных наук, математического анализа и моделирования | |
| ОПК-1.1.2 Знает основы математического анализа и моделирования | Обучающийся <i>знает</i> : основные понятия, классификацию, требования, условия проведения моделирования, физико-математические основы для разработки математических моделей явлений, процессов и объектов при решении инженерных задач, виды и возможности программных комплексов, используемых при моделировании железнодорожных экипажей и анализе их поведения. |
| ОПК-1.2.1 Умеет решать инженерные задачи в профессиональной деятельности с использованием методов естественных наук | Обучающийся <i>умеет</i> : решать задачи по оценке прочности, надежности, долговечности, динамических качеств рельсовых экипажей, грамотно применять различные методы при математическом моделировании систем и процессов |
| ОПК-1.3.1 Владеет методами математического анализа и моделирования в объеме, достаточном для решения инженерных задач в профессиональной деятельности | Обучающийся <i>владеет</i> : необходимым объемом умений, навыков, подходов и методов математического анализа и моделирования, владеет принципами составления и решения математических моделей как в теоретическом аспекте, так и в практическом - с применением современных программных комплексов. |

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 по специализациям: «Пассажирские вагоны», «Грузовые вагоны», «Технология производства и ремонта

подвижного состава», «Электрический транспорт железных дорог», «Высокоскоростной наземный транспорт» и «Локомотивы»:

Таблица 4.1.

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестр | |
|--|-------------|---------|-------|
| | | 5 | 6 |
| Контактная работа (по видам учебных занятий) | 74 | 32 | 42 |
| В том числе: | | | |
| – 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) | 3, 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 по специализациям: «Пассажирские вагоны», «Грузовые вагоны», «Электрический транспорт железных дорог» и «Локомотивы»:

Таблица 4.2

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестр |
|--|-------------|---------|
| | | 3 |
| Контактная работа (по видам учебных занятий) | 24 | 24 |
| В том числе: | | |
| – лекции (Л) | 12 | 12 |
| – лабораторные работы (ЛР) | 12 | 12 |
| Самостоятельная работа (СРС) (всего) | 143 | 143 |
| Контроль | 13 | 13 |
| Форма контроля (промежуточной аттестации) | 3, Э | 3, Э |
| Общая трудоемкость: час / з.е. | 180/5 | 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:

Таблица 5.1.

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела | Индикаторы достижения компетенций |
|----------|---|---|--|
| 1. | Введение. Моделирование как научный прием. | <p>Лекция 1. Предмет дисциплины «Математическое моделирование систем и процессов». Цель, задачи и содержание дисциплины. Основные понятия.</p> <p>Лекция 2. Области применения моделирования. Классификация моделей. Требования, предъявляемые к моделям.</p> <p>Самостоятельная работа. 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> <p>ОПК-1.1.2</p> |
| 2. | Формы математических моделей и методы их решения. | <p>Лекция 3. Математические модели в форме систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Область применения СЛАУ в инженерных задачах. Точные методы решения СЛАУ.</p> <p>Лекция 4. Приближенные методы решения СЛАУ. Примеры решения СЛАУ методом Якоби и Зейделя.</p> <p>Лекция 5 (4 часа). Математические модели в форме нелинейных алгебраических уравнений. Особенности численных методов решения. Этапы численного решения нелинейного уравнения.</p> <p>Лекция 6 (4 часа). Математические модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений. Примеры формирования моделей. Численные методы решения задачи Коши. Метод Рунге — Кутты.</p> <p>Лекция 7. Математические модели в форме интегральных уравнений.</p> <p>Лекция 8 (6 часов). 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>Лабораторная работа 1 (4 часа). Моделирование математического маятника в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p>Лабораторная работа 2 (4 часа). Моделирование системы «Груз на пружине» в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p>Лабораторная работа 3 (4 часа). Моделирование системы «Груз на плоскости» в программном комплексе</p> | <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.1.2</p> <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.1.2</p> <p>ОПК-1.1.2</p> <p>ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1</p> |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела | Индикаторы достижения компетенций |
|----------|---------------------------------------|---|--|
| | | «Универсальный механизм». Лабораторная работа 4 (4 часа). Моделирование движения одиночной колесной пары в программном комплексе «Универсальный механизм». Самостоятельная работа. Основные вероятностные характеристики случайного процесса. Передаточная функция в форме изображений Лапласа. Примеры формирования модели в пространстве состояний для исследования процессов механической системы. Импульсная переходная функция. | ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1 ОПК-1.1.2, ОПК-1.3.1 |
| 3. | Эмпирические модели. | Лекция 9. Построение эмпирических моделей на основе аппроксимации данных. Лекция 10 (4 часа). Решение задачи интерполяции при построении эмпирических моделей. Самостоятельная работа. Использование методов аппроксимации данных и интерполяции при решении инженерных задач в железнодорожной отрасли. Применение программного пакета Mathcad. | ОПК-1.1.2 ОПК-1.2.1 ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.1 |
| 4. | Численное интегрирование. | Лекция 11 (8 часов). Основные понятия. Обзор классических методов численного интегрирования. Метод статистических испытаний. Самостоятельная работа. Решение интегралов различными способами. | ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.1 ОПК-1.3.1 |
| 5. | Метод конечных элементов (МКЭ). | Лекция 12 (4 часа). История создания и использования МКЭ. Сущность метода. Обзор современных программ конечно-элементного анализа. Применение МКЭ в процессе проектирования подвижного состава. Лекция 13. Математическое моделирование в системах автоматизированного проектирования. Лабораторная работа 5 (4 часа). Моделирование балки в программном комплексе «ANSYS». Лабораторная работа 6 (4 часа). Моделирование фермы в программном комплексе «ANSYS». Лабораторная работа 7 (6 часов). Моделирование кронштейна в программном комплексе «ANSYS». Самостоятельная работа. Виды конечных элементов в программном комплексе ANSYS и области их применения. Примеры решения задач на прочность конструкции. | ОПК-1.1.2 ОПК-1.1.2 ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1 ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1 ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1 ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1 |

Для заочной формы обучения:

Таблица 5.2.

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела | Индикаторы достижения компетенций |
|----------|---|--|--|
| 1. | Введение. Моделирование как научный прием. | <p>Лекция 1. Предмет дисциплины «Математическое моделирование систем и процессов». Цель, задачи и содержание дисциплины. Основные понятия.</p> <p>Самостоятельная работа. 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>Лекция 2. Математические модели в форме систем линейных и нелинейных уравнений. Область применения и методы решения.</p> <p>Лекция 3. Математические модели в форме обыкновенных дифференциальных и интегральных уравнений.</p> <p>Лабораторная работа 1. Моделирование математического маятника в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p>Лабораторная работа 2 (4 часа). Моделирование системы «Груз на пружине» в программном комплексе «Универсальный механизм».</p> <p>Самостоятельная работа. 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 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».</p> | <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1</p> <p>ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1</p> |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела | Индикаторы достижения компетенций |
|----------|---------------------------------------|---|--|
| 3. | Эмпирические модели. | Лекция 4. Построение эмпирических моделей на основе аппроксимации данных. Самостоятельная работа. Решение задачи интерполяции при построении эмпирических моделей. Использование методов аппроксимации данных и интерполяция при решении инженерных задач в железнодорожной отрасли. Применение программного пакета Mathcad. | ОПК-1.1.2 ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.1 |
| 4. | Численное интегрирование. | Лекция 5. Основные понятия численного интегрирования. Обзор классических методов численного интегрирования. Самостоятельная работа. Решение интегралов различными способами. | ОПК-1.1.2, ОПК-1.2.1 ОПК-1.3.1 |
| 5. | Метод конечных элементов (МКЭ). | Лекция 6. Сущность метода конечных элементов. Обзор современных программ конечно-элементного анализа. Применение МКЭ в процессе проектирования подвижного состава. Лабораторная работа 3. Моделирование балки в программном комплексе «ANSYS». Лабораторная работа 4 (4 часа). Моделирование фермы в программном комплексе «ANSYS». Самостоятельная работа. Виды конечных элементов в программном комплексе ANSYS и области их применения. Примеры решения задач на прочность конструкции. | ОПК-1.1.2 ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1 ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1 ОПК-1.2.1, ОПК-1.3.1 |

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

Для очной формы обучения:

Таблица 5.3.

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Л | ЛР | СРС | Всего |
|---|---|----|----|-----|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 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 |
| | Итого | 44 | 30 | 66 | 140 |
| Контроль | | | | | 40 |
| Всего (общая трудоемкость, час.) | | | | | 180 |

Для заочной формы обучения:

Таблица 5.4.

| № 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 |
| | Итого | 12 | 12 | 143 | 167 |
| Контроль | | | | | 13 |
| Всего (общая трудоемкость, час.) | | | | | 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 программы специалитета по дисциплине

8.1. Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой специалитета, 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.

9 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 [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.