

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 30.04.2025 14:54:16  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
« 12 » февраля 2025 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЗАДАЧАХ МЕХАНИКИ**

Направление подготовки

**15.04.02 – Технологические машины и оборудование**

Направленность программы магистратуры

**Обеспечение работоспособности машин, конструкций и технических устройств**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **механический**

Кафедра **Механики**

Санкт-Петербург

2025

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины .....	05
4. Содержание дисциплины.....	06
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	06
4.2. Занятия лекционного типа.....	07
4.3. Практические занятия .....	10
4.4. Самостоятельная работа обучающихся .....	14
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	15
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	15
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	15
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины .....	16
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	16
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	17
10.1. Информационные технологии.....	17
10.2. Программное обеспечение.....	17
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	18
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	18
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	18
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	19

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Для освоения образовательной программы магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<b>ОПК-1</b> Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования	<b>ОПК-1.4.</b> Применение типовых задач теории оптимизации в профессиональной деятельности	<b>Знать:</b> основные принципы теории оптимизации; <b>Владеть:</b> навыками применения типовых задач теории оптимизации при решении статических и динамических задач.
<b>ОПК-5</b> Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	<b>ОПК-5.4.</b> Анализ механических воздействий на элементы оборудования <b>ОПК-5.5.</b> Использование численных методов при решении задач механики <b>ОПК-5.6.</b> Выбор оптимальной схемы численного расчета дифференциальных уравнений	<b>Уметь:</b> разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов; <b>Знать:</b> аналитические и численные методы и алгоритмы определения параметров проектируемого технологического оборудования в результате математического моделирования узлов машин и механизмов и оптимизации параметров. <b>Владеть:</b> аналитическими и численными методами и алгоритмами определения параметров проектируемого технологического оборудования в результате математического моделирования узлов машин и механизмов и оптимизации параметров.
<b>ОПК-13</b> Способен разрабатывать и применять современные цифровые программы проектирования технологических машин и оборудования, алгоритмы моделирования их работы и испытания их работоспособности	<b>ОПК-13.1.</b> Составление алгоритмов расчета математических моделей работы технологического оборудования	<b>Знать:</b> современные цифровые программы проектирования технологических машин и оборудования, алгоритмы моделирования их работы и испытания их работоспособности.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Математические методы в задачах механики» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины» образовательной программы магистратуры (для направления подготовки 15.04.02) и изучается во 2 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на общеобразовательные дисциплины по физике, математике.

Компетенции, приобретенные в результате освоения дисциплины, будут использованы магистрантами при подготовке, выполнении и защите квалификационной работы, при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических и организационно-управленческих задач в будущей профессиональной деятельности.

## 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц / академических часов)	<b>4 / 144</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>74</b>
занятия лекционного типа	32
занятия семинарского типа, в т.ч.	-
семинары, практические занятия	32
лабораторные работы	-
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	10
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>70</b>
<b>Формы текущего контроля</b>	отчеты по практическим заданиям
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	<b>зачет</b>

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п./п.	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1	Численное моделирование: задачи, возможности, проблемы	4	-	-	15	ОПК-1	ОПК-1.4
2	Устойчивость и точность численных методов решения задачи Коши для линейных систем	6	-	-	15	ОПК-1	ОПК-1.4
3	Исследование колебательных механических систем методами численного интегрирования уравнений движения	16	18	-	10	ОПК-5	ОПК 5.4, 5.5, 5.6
4	Метод дискретных элементов (DEM) как основа моделирования поведения сыпучих сред при взаимодействии с элементами технологического оборудования	6	14	-	30	ОПК-5, 13	ОПК 5.4, 5.5, 5.6, 13.1
<b>ИТОГО:</b>		<b>32</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>70</b>		

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<b>Численное моделирование: задачи, возможности, проблемы</b> <b>Численное моделирование как инструмент исследования механических систем</b> Этапы моделирования. Источники погрешностей при численном моделировании. Машинные вычисления с конечной точностью. Влияние алгоритма вычислений на процесс накопления ошибок. Проверка результатов численного эксперимента	2	Лекция-беседа
	<b>Ошибки дискретизации.</b> Численное интегрирование обыкновенных дифференциальных уравнений: основные понятия.	2	Лекция-беседа
2	<b>Устойчивость и точность численных методов решения задачи Коши для линейных систем</b> <b>Общая схема построения методов Рунге-Кутты</b>	2	Лекция-беседа
	<b>Анализ устойчивости и точности методов численного интегрирования для линейного уравнения первого порядка</b>	2	Лекция-беседа
	<b>Численное интегрирование систем, близких к консервативным</b>	2	Лекция-беседа
3	<b>Исследование колебательных механических систем методами численного интегрирования уравнений движения</b> <b>Исследование одношаговых методов численного решения задачи Коши</b> Методы численного интегрирования. Семейство методов Рунге Кутты: неявная схема метода Эйлера, метод средней точки. Методы однопараметрического семейства: явная схема метода Эйлера. Выбор шага интегрирования. Устойчивость методов. Рекомендации по применению методов численного интегрирования к решению различных классов задач механики.	2	Лекция-беседа
	<b>Тяжелый симметричный волчок с одной неподвижной точкой</b> Методы интегрирования повышенной точности. Метод Рунге-Кутты четвертой степени точности. Таблица Бутчера. Рекомендации по применению методов численного интегрирования повышенной точности. Влияние демпфирования на устойчивость. Явные и неявные методы. Методы Эйлера-Коши, Гаусса-Лежандра, Лобатто, неявный метод четвертого порядка. Математическая модель волчка как системы с двумя степенями свободы. Уравнения движения, общее решение, траектории центра масс, прецессия и	2	Лекция-беседа

№ раздела дисципли	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	нутация.		
	<p><b>Прохождение линейного осциллятора через резонанс</b>  Постановка задачи. Модель ротора на упругом подвесе, уравнение движения. Решение уравнений движения как сумма частного и вынужденного решений (интеграл Френеля). Прохождение ротора через резонанс: процесс разгона и характерная АЧХ.</p>	2	Лекция-беседа
	<p><b>Исследование динамики электромагнитного возбудителя колебаний</b>  Описание динамической системы с двумя степенями свободы. Уравнение динамики системы: уравнения Лагранжа-Максвелла для электромеханических явлений и уравнения Лагранжа для механических явлений. Анализ решения. Установившееся периодическое решение.</p>	2	Лекция-беседа
	<p><b>Численный анализ спектральных характеристик крутильных колебаний роторных систем с несколькими степенями свободы</b>  Составление расчетной схемы и дифференциальных уравнений движения роторной системы с последовательным соединением инерционных и упругих элементов. Определение частот и форм крутильных колебаний. Вычислительные схемы.</p>	2	Лекция-беседа
	<p><b>Взаимодействие возбудителя колебаний с линейной колебательной системой</b>  Типы возбудителей колебаний. Простейшая электромеханическая система с одной степенью свободы с ограниченным возбуждением. Статическая характеристика электродвигателя. Уравнения движения системы. Преобразование уравнений движения выделением малого параметра. Асимптотический анализ стационарных режимов. Момент сопротивления вращению. Условие устойчивости стационарного режима. Эффект Зоммерфельда: застревание двигателя вблизи резонанса при квазистатическом разгоне и срыв колебаний. Практические приложения.</p>	2	Лекция-беседа
	<p><b>Исследование нелинейных колебательных систем с диссипацией.</b>  <b>Нелинейная система с диссипацией, описываемая уравнением Дуффинга.</b> Исследование уравнений движения методом гармонической линеаризации. Скелетная кривая: виды кривых и их пересечений с резонансными кривыми. Особые точки устойчивых режимов движения на фазовой траектории. Практические приложения: параметрический резонанс (флаттер), шпоночные соединения. Методы борьбы с параметрическим резонансом.</p>	2	Лекция-беседа

№ раздела дисципли	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p><b>Исследование уравнения 2-го порядка с нелинейностью типа Дуффинга и кулоновским трением с помощью метода гармонической линеаризации.</b></p> <p>Уравнение движения колебательной системы с нелинейностью типа Дуффинга и кулоновским трением. Исследование решений уравнения движения. Виды пересечения резонансной и амплитудной кривых.</p>	2	Лекция-беседа
4	<p><b>Метод дискретных элементов (DEM) как основа моделирования поведения сыпучих сред при взаимодействии с элементами технологического оборудования</b></p> <p>Численные основы метода дискретных элементов для моделирования поведения динамики частиц</p>	2	Лекция-беседа
	<p>Расчетные модели взаимодействия частиц (силы, граничные условия), применяемые для расчета поведения сыпучих сред методом дискретных элементов</p>	4	Лекция-беседа

### 4.3. Практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	Исследование колебательных механических систем методами численного интегрирования уравнений движения	18	
3.1	<b>Исследование одношаговых методов численного интегрирования задачи Коши.</b> Описание линейного осциллятора. Задание на проведение вычислительного эксперимента. Влияние величины демпфирования в системе на устойчивость методов численного интегрирования. вынужденных колебаний осциллятора: построение амплитудно-частотной характеристики с помощью численного моделирования. Создание программы для проведения эксперимента и проведение численного моделирования.	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)
3.2	<b>Тяжелый симметричный волчок с одной неподвижной точкой</b> Уравнения движения волчка для режима быстрой и медленной регулярных прецессий, начальные условия. Контроль качества работы методов интегрирования по условию консервативности волчка. Оценка абсолютной ошибки интегрирования. Создание программы для проведения эксперимента и проведение численного моделирования.	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)
3.3	<b>Прохождение линейного осциллятора через резонанс</b> Разгон ротора при прохождении через резонанс: практическое приложение задачи. Особенность решения задачи – наличие неперiodической силы возбуждения. Устойчивость подмагничивании режима колебаний. Создание программы для проведения эксперимента и проведение численного моделирования для разных законов разгона и торможения ротора и изменения амплитуды вынуждающей силы.	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3.4	<p><b>Исследование динамики электромагнитного возбудителя колебаний</b>  Примеры практического применения электромагнитного возбудителя колебаний. Способы оценки времени переходного процесса. Линейный и нелинейный режимы подмагничивания. Создание программы для проведения эксперимента. Подбор и тестирование процедуры численного интегрирования. Сравнение численного и аналитического решений. Исследование численного решения для нелинейной системы при наличии диссипации.</p>	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)
3.5	<p><b>Численный анализ спектральных характеристик крутильных колебаний роторных систем с несколькими степенями свободы</b>  Аналитическое определение частот и форм колебаний системы как отклик на гармоническое возмущение. Ортогональность собственных частот и форм колебаний. Создание программы для проведения эксперимента и проведение численного моделирования. Вычисление частот и собственных форм крутильных колебаний четырех- и восьмимассовой роторной системы. Оценка точности выбранного метода. Анализ зависимости собственных частот и форм колебаний от величин моментов инерции дисков и жесткостей.</p>	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)
3.6	<p><b>Взаимодействие возбудителя колебаний с линейной колебательной системой.</b>  Представление линейной статической характеристики двигателя. Численные методы решения уравнений движения. Создание программы для проведения эксперимента. Получение дорезонансного стационарного режима. Тестирование модели для различных статических характеристик (параметров разгона и торможения ротора электродвигателя). Сравнение численных параметров стационарных режимов с аналитическими решениями. Получение явлений прямого перехода через резонанс и определение условий получения срыва при разгоне и торможении.</p>	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3.7	<p><b>Исследование нелинейных колебательных систем с диссипацией.</b>  <b>Система с кубической нелинейностью.</b>  Составление программы численного интегрирования уравнения Дуффинга. Получение резонансных характеристик вязкого трения и постоянной амплитуды внешнего воздействия. Области неустойчивости на резонансных кривых. Получение резонансных характеристик. Анализ влияния начальных условий на поведение решения. Определение областей неустойчивости. Нахождение островных резонансов. Исследование существенно негармонических режимов движения.</p>	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)
3.8	<p><b>Исследование колебательной системы с нелинейностью типа Дуффинга и кулоновским трением.</b> Составление программы решения уравнения Дуффинга для случая кулоновского трения, жесткой нелинейности. Моделирование островного резонанса. Исследование периодичности решения методом отображений Пуанкаре.</p>	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)
3.9	<p><b>Метод дискретных элементов (DEM) как основа моделирования поведения сыпучих сред при взаимодействии с элементами технологического оборудования</b></p>	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ MatLab)
4	<p><b>Основы работы в программе Rocky DEM</b></p>	14	
4.1	<p><b>Вычислительный эксперимент: моделирование процесса вибрационного перемещения сыпучей среды по лотку вибропитателя</b>  Задание гранулометрических характеристик материала. Параметры вибрации вибропитателя. Определение скоростей виброперемещения сыпучих сред по лотку при различных параметрах вибрации и сравнения с приближенными формулами для расчета параметров виброперемещения сыпучих сред</p>	4	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ Rocky DEM)

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4.2	<p><b>Вычислительный эксперимент: моделирование процесса истечения сыпучего материала из бункера</b></p> <p>Задание гранулометрических характеристик материала. Размеры бункера и его выпускного отверстия. Определение скоростей истечения сыпучих сред из бункера при различных размерах бункера и сравнение с приближенными формулами для расчета параметров истечения материалов из отверстия</p>	4	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ Rocky DEM)
4.3	<p><b>Вычислительный эксперимент: моделирование процесса вибробункеризации материала на вибрирующем лотке.</b></p> <p>Задание гранулометрических характеристик материала. Задание параметров вибрации лотка. Определение высоты подъема материала по стенке лотка при различных параметрах вибрации и сравнение полученных значений с аналитическими расчетами.</p>	2	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ Rocky DEM)
4.4	<p><b>Вычислительный эксперимент: моделирование процесса грохочения сыпучей среды.</b></p> <p>Задание гранулометрических характеристик материала (2 размера частиц). Задание размеров ячеек сита и параметров его вибрации. Расчет эффективности процесса грохочения и его сравнение с рекомендуемыми технологическими показателями по ГОСТ.</p>	4	Выполнение вычислительного эксперимента (пакет программ Rocky DEM)

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Исследование одношаговых методов численного интегрирования задачи Коши	5	Отчет по вычислительному эксперименту
1	Тяжелый симметричный волчок с одной неподвижной точкой	5	Отчет по вычислительному эксперименту
1	Прохождение линейного осциллятора через резонанс	5	Отчет по вычислительному эксперименту
2	Исследование динамики электромагнитного возбудителя колебаний	5	Отчет по вычислительному эксперименту
2	Численный анализ спектральных характеристик крутильных колебаний роторных систем с несколькими степенями свободы	5	Отчет по вычислительному эксперименту
2	Взаимодействие возбудителя колебаний с линейной колебательной системой	5	Отчет по вычислительному эксперименту
3	Исследование нелинейных колебательных систем с диссипацией. Система с кубической нелинейностью	5	Отчет по вычислительному эксперименту
3	Исследование колебательной системы с нелинейностью типа Дуффинга и кулоновским трением	5	Отчет по вычислительному эксперименту
4	Метод дискретных элементов (DEM) как основа моделирования поведения сыпучих сред при взаимодействии с элементами технологического оборудования	5	Отчет по вычислительному эксперименту
4	Вычислительный эксперимент: моделирование процесса вибрационного перемещения сыпучей среды по лотку вибропитателя	5	Отчет по вычислительному эксперименту
4	Вычислительный эксперимент: моделирование процесса истечения сыпучего материала из бункера	6	Отчет по вычислительному эксперименту
4	Вычислительный эксперимент: моделирование процесса вибробункеризации материала на вибрирующей лотке	8	Отчет по вычислительному эксперименту
4	Вычислительный эксперимент: моделирование процесса грохочения сыпучей среды	6	Отчет по вычислительному эксперименту

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <https://media.spbti.ru>

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («зачтено») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в форме выступлений на семинарских занятиях с докладом на выбранную студентами тему как индивидуально, так и в составе малых групп, проверки индивидуальных заданий на практических занятиях.

## **7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины**

### **а) печатные издания:**

1. Пановко Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем : Современные концепции, парадоксы и ошибки / Я. Г. Пановко, И. И. Губанова. – М. : Наука, 1987. – 352 с.
2. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. /Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). —М.: Машиностроение, 1979 — Т. 2. Колебания нелинейных механических систем /Под ред. И. И. Блехмана. 1979. 351 с.
3. Прочность, устойчивость, колебания : справочник : в 3 т. / под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановко. – М. : Машиностроение, 1968.
4. Нелинейные проблемы теории колебаний и теории управления : Вибрационная механика / Ин-т проблем машиноведения РАН ; под ред. В. В. Белецкого, Д. А. Индейцева, А. Л. Фрадкова. – СПб. : Наука, 2009. – 527 с.
5. Мэтьюз Д. Г. Численные методы. Использование MATLAB [Пер. с англ.] / Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк; Под ред. Ю. В. Козаченко. — 3-е изд.. — М. и др. : Вильямс, 2001. — 713 с. ил.; 24. — ISBN 5-8459-0162-6.
6. Тимошенко, С. П. Теория колебаний в инженерном деле / Проф. С. П. Тимошенко ; Пер. англ. инж. Н. А. Шошина. - Москва ; Ленинград : Огиз - Гос. науч.-техн. изд-во, 1931. - 344 с.
7. Скубов, Д. Ю. Основы теории нелинейных колебаний : учебное пособие / Д. Ю. Скубов. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-1470-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211349> (дата обращения: 31.01.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Блехман, И.И. Синхронизация в природе и технике / И. И. Блехман. - 2-е изд., доп. - Москва : URSS : Ленанд, сор. 2015. - 427 с.
9. Блехман, И.И. Вибрационная механика и вибрационная реология : теория и приложения / И. И. Блехман. — Москва : Физматлит, 2018. — 751 с. ISBN 978-5-9221-1750-0
10. Ante Munjiza. The Combined Finite-Discrete Element Method / Wiley. - 2004. ISBN 0-470-84199-0.

### **б) электронные издания:**

1. Моделирование и оптимизация динамических систем: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистров «Прикладная механика» / [М. Г. Захаров, Ю. Г. Исполов, В. А. Полянский [и др.]; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. — Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2010 (Санкт-Петербург, 2020). — <URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/si20-693.pdf> >. — DOI 10.18720/SPBPU/2/si20-693. — Текст: электронный.

2. Турчак, Л. И. Основы численных методов : учебное пособие / Л. И. Турчак, П. В. Плотников. — 2-е изд., перераб.и доп. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 304 с. — ISBN 5-9221-0153-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2351> (дата обращения: 31.01.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

1. Учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.spbti.ru>.
2. ЭБ "Библиотех" СПбГТИ(ТУ) (доступ к сайту библиотеки);
3. Информационно-справочные поисковые системы и БД в сети Интернет; ЭБС «Лань»
4. Научная электронная библиотека периодических изданий eLIBRARY. - [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
5. Информационно-поисковая система Федерального института промышленной собственности - <http://www1.fips.ru/>
6. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ). - <http://www.altshuller.ru>
7. Черный, А.А. Основы изобретательства и научных исследований: Учебное пособие./ А.А.Черный.- Пенза: Изд-во ПГУ, 2010.- 253 с. (<http://window.edu.ru/resource/646/72646>)
8. Кокшарова, Т.Е. Основы научных исследований: Учебно-методическое пособие./ Т.Е.Кокшарова.- Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007.- 111 с. (<http://window.edu.ru/resource/565/48565>)
9. КонсультантПлюс - база законодательных документов по РФ и Санкт-Петербургу. - [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) -
10. База данных рефератов и цитирования Scopus издательства Elsevier. - [www.scopus.com](http://www.scopus.com); WoS издательства Tompson Scientific.
11. Доступ к журналу Nature (Nature Publishing Group). - <http://www.nature.com>
12. Полнотекстовый доступ к журналу Science (The American Association for the Advancement of Science (AAAS)). – <http://www.sciencemag.org>

Интернет-ресурсы для проведения поиска в различных системах, таких как [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

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

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

1. СТО СПбГТИ(ТУ) 039-2013. Магистратура. Общие требования. /СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2013.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013.- 25 с.
2. СТП СПбГТИ 040-02. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования. / СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.07.2002.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2002.- 7 с.
3. СТО СПбГТИ(ТУ) 018-2014. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению / СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.01.2014.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.- 16 с.
4. СТП СПбГТИ 048-2009. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению / СПбГТИ(ТУ).- Введ. с

01.01.2010.- СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.- 6 с.

5. СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Порядок организации и проведения зачётов и экзаменов / СПбГТИ(ТУ).- Введ. с 01.06.2015. - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.- 45 с.

В ходе лекционных занятий магистранту необходимо готовить конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Провести проверку терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Аудиторная часть курса должна сопровождаться интенсивной самостоятельной работой магистрантов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет по всем разделам дисциплины. Планирование времени для изучения дисциплины необходимо осуществлять на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо в рамках внеаудиторной самостоятельной работы регулярно дополнять сведениями из литературных источников, приведенных в разделе 7 настоящей программы. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения следующих разделов учебной дисциплины. Для расширения и углубления знаний по учебной дисциплине необходимо активно использовать информационные ресурсы сети Интернет.

Для работы на практических занятиях необходимы: проработка рабочей программы, уделив особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины, и конспектирование источников, а также изучение конспекта лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам и просмотр рекомендуемой литературы.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

Промежуточная аттестация по дисциплине – в конце первого семестра в виде зачета в устной форме (включает 2 вопроса из различных тем пройденного материала). Результаты зачета включаются в приложение к диплому.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций, видеоматериалов;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение**

Представление лекционного материала:

ОС – не ниже MS Windows XP SP3

Проведение практических занятий (вычислительные эксперименты):

Программный пакет MatLab R2019 (или актуальней); альтернатива: Scilab.

Программное обеспечение для моделирования частиц методом дискретных элементов

Rocky DEM или EDEM Professional (версия 2020- гг.).

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы**

1. Справочно-поисковая система <https://pmi.ru/infosystem/>
2. База данных ГПНТБ СО РАН
3. База ГОСТов <http://gost-load.ru>
4. Российская поисковая система научных публикаций <http://elibrary.ru>
5. Англоязычная поисковая система научных публикаций <http://springer.com>

### **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Реализация программы учебной дисциплины не предполагает наличия специализированного учебного кабинета при условии соответствия учебных кабинетов санитарным нормам, а его оборудования – изложенным ниже требованиям:

1. Учебная аудитория на 10 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа - проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.
5. Комплект презентаций и видеофильмов по дисциплине.

Практические занятия проводятся в учебном кабинете, отвечающем санитарным нормам, а его оборудование – следующим требованиям:

1. Учебная аудитория на 10 и более мест
2. Персональный компьютер.
3. Мультимедиа - проектор (разрешение не хуже 1024×758).
4. Стационарный или переносной проекционный экран.

### **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации  
по дисциплине "Математические методы в задачах механики"**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

<b>Индекс компетенции</b>	<b>Содержание</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ОПК-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования	промежуточный
<b>ОПК-5</b>	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	промежуточный
<b>ОПК-13</b>	Способен разрабатывать и применять современные цифровые программы проектирования технологических машин и оборудования, алгоритмы моделирования их работы и испытания их работоспособности	промежуточный

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	УРОВНИ СФОРМИРОВАННОСТИ (описание выраженности дескрипторов)	
			«не зачтено»	«зачтено»
<b>ОПК-1.4.</b> Применение типовых задач теории оптимизации в профессиональной деятельности	<b>Знает:</b> основные принципы теории оптимизации	Ответы на вопросы №1-25 к зачету	Не знает основные методы численного моделирования и подходы к повышению устойчивости механических систем	Знает основные методы численного моделирования и подходы к повышению устойчивости механических систем
	<b>Владеет:</b> навыками применения типовых задач теории оптимизации при решении статических и динамических задач	Отчеты по вычислительным экспериментам (разделы 3-4 дисциплины)	Не умеет численно подбирать значения упругих, инерционных и диссипативных коэффициентов механических систем при их моделировании	Умеет численно подбирать значения упругих, инерционных и диссипативных коэффициентов механических систем при их моделировании
<b>ОПК-5.4.</b> Анализ механических воздействий на элементы оборудования дифференциальных уравнений	<b>Знает:</b> аналитические и численные методы и алгоритмы определения параметров проектируемого технологического оборудования в результате математического моделирования узлов машин и механизмов и оптимизации параметров.	Отчеты по вычислительным экспериментам (разделы 3-4 дисциплины)	Не умеет составлять программы численного моделирования уравнений движения механических систем и выполнять их отладку	Умеет составлять программы численного моделирования уравнений движения механических систем и выполнять их отладку

<p><b>ОПК-5.5.</b> Использование численных методов при решении задач механики</p>	<p><b>Владеет:</b> аналитическими и численными методами и алгоритмами определения параметров проектируемого технологического оборудования в результате математического моделирования узлов машин и механизмов и оптимизации параметров.</p>	<p>Отчеты по вычислительным экспериментам (разделы 3-4 дисциплины)</p>	<p><b>Не умеет</b> оценивать устойчивость численных методов (явные и неявные схемы) при расчете динамических систем с различной диссипацией и осуществлять подбор этой характеристики</p>	<p><b>Умеет</b> оценивать устойчивость численных методов (явные и неявные схемы) при расчете динамических систем с различной диссипацией и осуществлять подбор этой характеристики</p>
<p><b>ОПК-5.6.</b> Выбор оптимальной схемы численного расчета</p>	<p><b>Умеет:</b> разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов</p>	<p>Отчеты по вычислительным экспериментам (разделы 3-4 дисциплины)</p>	<p>Не способен составить программу моделирования механических систем, отладить программу, сопоставить численные значения переменных реальным коэффициентам для конкретных сред и конструкций, способен выполнить графический вывод данных и по ним выполнить подбор оптимальных параметров конструкции или параметров процесса воздействия на среду; не способен усовершенствовать математическую модель или алгоритм и выполнить цель моделирования</p>	<p>Способен составить программу моделирования механических систем, отладить программу, сопоставить численные значения переменных реальным коэффициентам для конкретных сред и конструкций, способен выполнить графический вывод данных и по ним выполнить подбор оптимальных параметров конструкции или параметров процесса воздействия на среду; способен усовершенствовать математическую модель или алгоритм и выполнить цель моделирования</p>

<b>ОПК-13.1.</b> Составление алгоритмов расчета математических моделей работы технологического оборудования	<b>Знает:</b> современные цифровые программы проектирования технологических машин и оборудования, алгоритмы моделирования их работы и испытания их работоспособности	Отчеты по вычислительным экспериментам (разделы 3-4 дисциплины)	Не умеет составлять программы в программных пакетах MatLab/SciLab и создавать модели в программе моделирования сыпучих сред (Rocky DEM/Edem)	Умеет составлять программы в программных пакетах MatLab/SciLab и создавать модели в программе моделирования сыпучих сред (Rocky DEM/Edem)
--	--	---	--	---

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ (ТУ): промежуточная аттестация проводится в форме **зачета**. Критерии оценивания – **«зачтено»**, **«не зачтено»** приведены в таблице 2.

Оценка «зачтено» выставляется, если студент защитил все отчеты по вычислительным экспериментам (13 шт.) и ответил на вопросы к зачету: ответ студента отличается последовательностью, логикой изложения, учащийся демонстрирует глубину владения представленным материалом, ответы формулируются аргументировано, обосновывается собственная позиция в проблемных ситуациях.

Оценка «не зачтено» ставится, если отсутствует хотя бы один отчет по вычислительным экспериментам, и если ответ студента не передает содержание проблемы, не демонстрирует умение выделять главное, существенное, ответ носит краткий, неглубокий, поверхностный характер.

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### Вопросы для подготовки к зачету:

1. Какие методы наиболее эффективны для расчета режимов движения механических систем без диссипации?
2. Записать уравнения колебаний для электрических и магнитных характеристик электромагнитных возбудителей колебаний
3. Опишите суть эффекта Зоммерфельда.
4. Что характеризует матрица Бутчера при расчете спектральных характеристик системы?
5. В чем заключается эффект срыва для нелинейной колебательной системы при прохождении резонанса?
6. Что такое прецессия и нутация для движения волчка?
7. Какой параметр определяет устойчивость численных методов решения ОДУ?
8. Описать явление параметрического резонанса.
9. Как скорость разгона ротора электродвигателя влияет на амплитуду колебаний при разгоне колебательной системы?
10. Изобразить области устойчивости метода Рунге-Кутты 4-го порядка точности на диаграмме.
11. Какая часть комплексного собственного числа колебательной системы характеризует устойчивость колебаний?
12. Как осуществляется процедура выделения малого параметра при решении уравнений движения?
13. Какие реальные системы описывает уравнение Дуффинга?
14. Поясните суть метода гармонической линеаризации.
15. В каких реальных механических устройствах можно наблюдать явление параметрического резонанса?
16. В чем заключается физическое отличие эффекта Зоммерфельда от эффекта, проявляемого при наличии нелинейности типа Дуффинга?
17. Какой порядок точности у явной и неявной схем метода Эйлера?
18. Какие численные методы более эффективны для решения уравнений движения при рассмотрении эффекта Зоммерфельда?
19. Записать уравнение движения волчка.
20. Пояснить схему интегрирования уравнений движения одномассовой колебательной системы методами Рунге-Кутты.
21. Что такое обратная диссипация и почему она возникает при численном интегрировании уравнений движения механических систем?
22. Может ли внесение в механическую систему небольшого демпфирования устранить появление в ней параметрического резонанса?
23. Как анализировать нелинейные динамические эффекты по резонансной и скелетной кривым при анализе нелинейных систем с диссипацией?
24. Какие бывают три вида резонансных кривых при нелинейных сопротивлениях в механических системах?
25. Какой моделью описываются контакты при столкновении частиц в методе дискретных элементов?

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше.  
Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин.

#### 4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с

требованиями СТП СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачёта.

Шкала оценивания на зачёте – «зачёт», «незачет». При этом «зачёт» соотносится с пороговым уровнем сформированности компетенции.