

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ)**

УТВЕРЖДАЮ

Ректор МФТИ

д-р физ.-мат. наук, профессор

Д.В. Ливанов

2023 г.



**Дополнительная общеобразовательная
программа**

дополнительного образования

«Теоретическая механика для инженеров и исследователей»

Москва 2023

1. Общая характеристика программы

1.1. Целью реализации дополнительной общеобразовательной программы «Теоретическая механика для инженеров и исследователей» является изучение основных законов и принципов теоретической механики, их применение для решения задач в различных областях науки и техники.

1.2. Категории слушателей, на обучение которых рассчитана программа дополнительного образования (далее – программа): программа предназначена для студентов, владеющих аппаратом аналитической геометрии и линейной алгебры в объеме программы первого курса технического вуза.

1.3. Нормативный срок освоения программы – 108 академических часов.

1.4. Форма обучения – очно-заочная с применением дистанционных образовательных технологий.

Программа может быть реализована в сетевой форме.

1.5. Режим обучения: 15 недель (7 часов в неделю).

2. Планируемые результаты обучения

В результате освоения программы слушатель должен:
знать:

- основные понятия и теоремы механики и вытекающие из них методы изучения движения механических систем

уметь:

- корректно формулировать задачи в терминах теоретической механики;
- разрабатывать механико-математические модели, адекватно отражающие основные свойства рассматриваемых явлений;
- применять полученные знания для решения соответствующих конкретных задач.

3. Структура программы

Программа предусматривает изучение следующих тем (модулей):

1. Кинематика точки
2. Способы задания ориентации твердого тела
3. Пространственное движение твердого тела
4. Плоскопараллельное движение
5. Сложное движение точки и твердого тела
6. Движение твердого тела с неподвижной точкой (кватернионное изложение)
7. Экзаменационная работа
8. Основные понятия динамики.

9. Основные теоремы динамики в инерциальных и неинерциальных системах отсчёта.
10. Движение твёрдого тела с неподвижной точкой по инерции.
11. Движение тяжёлого твёрдого тела с неподвижной точкой.
12. Динамика точки в центральном поле.
13. Динамика систем переменного состава.
14. Теория импульсивных движений.

Структура программы представлена в таблице 1.

Таблица 1

№	Тема (модуль)	Кол- во часов	В том числе	
			Аудит. занятия	Самост. работа
1	Кинематика точки	8,2	3,2	5
2	Способы задания ориентации тела	8	3	5
3	Пространственное движение твердого тела	7,8	2,8	5
4	Плоскопараллельное движение	7,1	2,1	5
5	Сложное движение точки и твердого тела	7,4	2,4	5
6	Движение твердого тела с неподвижной точкой (кватернионное изложение) Понятие кватерниона	8,1	3,1	5
7	Контрольная работа: Кинематика	4		4
8	Основные определения и динамические характеристики механических систем	9,1	4,1	5
9	Основные теоремы динамики	9,2	3,5	5,7
10	Динамические уравнения Эйлера	7,7	2,5	5,2
11	Движение динамически симметричного тела с неподвижной точкой в поле тяжести	8,2	2,8	5,4
12	Задача о движении точки в центральном поле. Элементы небесной механики	8,3	2,9	5,4
13	Теория удара	6,5	1,7	4,8
14	Движение систем переменного состава (дополнительный раздел)	6,4	1,6	4,8
	Итоговая аттестация	2	1	1
Итого		108	36,7	71,3

4. Содержание программы

4.1. Учебно-тематический план программы

Таблица 2

Тема (модуль)	Тема урока	Кол-во часов	
		Аудит. занятия	Самост. работа
1. Кинематика точки	Скорость и ускорение точки	0,4	
	Естественный трехгранник Френе	0,9	
	Криволинейные системы координат	1,9	
	Тест 1		4
	Дополнительные материалы		1
2. Способы задания ориентации тела	Твердое тело. Неподвижная и связанная с телом системы координат	0,7	
	Задание ориентации твердого тела с помощью матрицы направляющих косинусов	0,6	
	Ортогональные матрицы поворота и их свойства. Теорема Эйлера о конечном повороте	0,9	
	Углы конечного вращения: углы Эйлера и "самолетные" углы	0,8	
	Тест 2		4
	Дополнительные материалы		1
3. Пространственное движение твердого тела	Угловая скорость. Формула Эйлера о распределении скоростей точек твердого тела	0,9	
	Угловое ускорение. Формула Ривальса о распределении ускорений точек твердого тела	0,8	
	Кинематический винт	0,6	
	Уравнения Пуассона	0,5	
	Тест 3		4
	Дополнительные материалы		1
4. Плоскопараллельное движение	Распределение скоростей и ускорений в плоскопараллельном движении	0,6	
	Угловая скорость как изменение углов поворота	0,4	
	Мгновенный центр скоростей	0,5	
	Мгновенный центр ускорений	0,6	
	Тест 4		4
	Дополнительные материалы		1
5. Сложное движение точки	Сложение скоростей	0,6	
	Сложение ускорений	0,7	
	Сложение угловых скоростей	0,7	

и твердого тела	Сложение угловых ускорений	0,4	
	Тест 5		4
	Дополнительные материалы		1
6. Движение твердого тела с неподвижной точкой (кватернионное изложение) Понятие кватерниона	Понятие кватерниона	0,9	
	Кватернионный способ задания поворота тела	0,8	
	Сложение поворотов в кватернионном описании	0,7	
	Уравнения Пуассона в кватернионном описании	0,7	
	Тест 6		4
	Дополнительные материалы		1
7. Контрольная работа: Кинематика	Тест 7		4
8. Основные определения и динамические характеристики механических систем	Динамика материальной точки	0,6	
	Потенциальные силы	0,4	
	Способы вычисления основных динамических характеристик системы	1,2	
	Тензор инерции	0,6	
	Свойства тензора инерции	0,8	
	Кинетический момент и кинетическая энергия твердого тела с неподвижной точкой	0,5	
	Тест 8		4
	Дополнительные материалы		1
9. Основные теоремы динамики	Основные теоремы динамики	1,3	0,2
	Основные теоремы динамики в неинерциальных системах отсчета	0,8	0,2
	Эквивалентные системы сил	0,8	0,2
	Общее уравнение динамики	0,6	0,1
	Тест 9		4
	Дополнительные материалы		1
10. Динамические уравнения Эйлера	Динамические уравнения Эйлера	0,6	0,1
	Случай Эйлера	0,5	
	Регулярная прецессия в случае Эйлера	0,4	
	Геометрическая интерпретация Пуансо	0,4	
	Геометрическая интерпретация Мак- Куллага	0,6	0,1
	Тест 10		4
	Дополнительные материалы		1
11. Движение	Вынужденная регулярная прецессия динамически симметричного тела	1,1	0,1

динамически симметричного тела с неподвижной точкой в поле тяжести	Случай Лагранжа	0,4	0,1
	Качественный анализ движения волчка Лагранжа	0,7	0,1
	Качественная теория гироскопа	0,6	0,1
	Тест 11		4
	Дополнительные материалы		1
12. Задача о движении точки в центральном поле. Элементы небесной механики	Центральное поле. Формулы Бине	0,8	0,1
	Движение точки в ньютоновском поле всемирного тяготения. Законы Кеплера	0,7	0,1
	Задача двух тел	0,8	0,1
	Движение твёрдого тела в центральном ньютоновском гравитационном поле	0,6	0,1
	Тест 12		4
	Дополнительные материалы		1
13. Теория удара	Понятие удара	0,6	
	Гипотеза Ньютона	0,4	
	Движение твердого тела при ударе	0,4	
	Теорема Карно	0,3	
	Тест 13		4
	Дополнительные материалы		0,8
14. Движение систем переменного состава (дополнительный раздел)	Основные понятия и теоремы	0,5	
	Динамика точки переменного состава	0,6	
	Уравнение движения тела переменного состава	0,5	
	Тест 14		4
	Дополнительные материалы		0,8
Итоговая аттестация	Итоговая контрольная работа	1	1

4.2. Учебная программа по модулям

Таблица 3

№ п/п	Наименование темы (модуля)	Содержание обучения, наименование и тематика практических занятий (семинаров), самостоятельной работы, используемых образовательных технологий
1	Кинематика точки	<u>Скорость и ускорение точки</u> <u>Лекции</u> Скорость и ускорение точки в декартовой системе координат <u>Практические занятия</u> Вычисление скорости и ускорения точки, движущейся по заданной траектории <u>Естественный трехгранник Френе</u> <u>Лекции</u> Естественный трехгранник Френе

		Практические занятия Построение ортов естественного трехгранника по известным векторам скорости и ускорения Пример вычисления радиуса кривизны траектории <u>Криволинейные системы координат</u> Лекции Криволинейные системы координат. Локальный базис Практические занятия Пример построения локального базиса цилиндрической системы координат Лекции Разложение вектора скорости по базису криволинейной системы координат Практические занятия Разложение вектора скорости по локальному базису цилиндрической системы координат Задача преследования Лекции Проекция ускорения на орты локального базиса криволинейной системы координат Практические занятия Вычисление проекций ускорения на орты локального базиса цилиндрической системы координат Задача о траектории Меркурия, вычисление ускорения в полярных координатах Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
2	Способы задания ориентации тела	<u>Твердое тело. Неподвижная и связанная с телом системы координат</u> Лекции Твердое тело. Матрица направляющих косинусов Практические занятия Матрица направляющих косинусов О точности акселерометра <u>Задание ориентации твердого тела с помощью матрицы направляющих косинусов</u> Лекции Матрица поворота. Активная и пассивная точка зрения Практические занятия Матрица поворота. Поворот с пассивной и активной точек зрения <u>Ортогональные матрицы поворота и их свойства. Теорема Эйлера о конечном повороте</u> Лекции Свойства ортогональных матриц. Теорема Эйлера о конечном

		повороте. Сложение поворотов Практические занятия Демонстрация некоммутативности поворотов Сложение поворотов с пассивной точки зрения. Ось и угол конечного поворота Сложение поворотов с активной точки зрения. Ось и угол конечного поворота <u>Углы конечного вращения: углы Эйлера и “самолетные” углы</u> Лекции Углы Эйлера. Самолетные углы Практические занятия Демонстрация углов Эйлера Задача об ориентации конуса в углах Эйлера Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
3	Пространственное движение твердого тела	<u>Угловая скорость. Формула Эйлера о распределении скоростей точек твердого тела</u> Лекции Угловая скорость твердого тела. Распределение скоростей точек твердого тела Практические занятия Задача о точке, движущейся по окружности Задача об угловой скорости конического колеса <u>Угловое ускорение. Формула Ривальса о распределении ускорений точек твердого тела</u> Лекции Следствия из формулы Эйлера. Формула Ривальса Практические занятия Задача об угловом ускорении конического колеса <u>Кинематический винт</u> Лекции Кинематический винт Практические занятия Задача о нахождении кинематического винта <u>Уравнения Пуассона</u> Лекции Кинематические уравнения для матриц направляющих косинусов и углов Эйлера Практические занятия Задача о решении кинематических уравнений Эйлера Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.

4	Плоскопараллельное движение	<u>Распределение скоростей и ускорений в плоскопараллельном движении</u> Лекции Плоскопараллельное движение Практические занятия Задача о распределении ускорений в плоскопараллельном движении <u>Угловая скорость как изменение углов поворота</u> Лекции Определение угловой скорости через изменение угла конечного поворота Практические занятия Задача о нахождении скоростей в плоском движении из геометрических соображений <u>Мгновенный центр скоростей</u> Лекции Мгновенный центр скоростей Практические занятия Задача о нахождении мгновенного центра скоростей Задача о пластине <u>Мгновенный центр ускорений</u> Лекции Мгновенный центр ускорений Практические занятия Задача о нахождении центра ускорений Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
5	Сложное движение точки и твердого тела	<u>Сложение скоростей</u> Лекции Переносное и относительное движения. Теорема о сложении скоростей Практические занятия Сложение скоростей при сложном движении <u>Сложение ускорений</u> Лекции Теорема Кориолиса о сложении ускорений Практические занятия Сложение ускорений в сложном движении <u>Сложение угловых скоростей</u> Лекции Сложение вращений Практические занятия Угловая скорость в сложном движении. Метод остановки <u>Сложение угловых ускорений</u> Лекции Угловое ускорение в сложном движении точки

		Практические занятия Иллюстрация формулы для расчета углового ускорения в случае сложного движения Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
6	Движение твердого тела с неподвижной точкой (кватернионное изложение) Понятие кватерниона	<u>Понятие кватерниона</u> Лекции Кватернионы. Основные определения Практические занятия Кватернионные уравнения. Алгебраическое решение Кватернионные уравнения. Тригонометрическая форма записи <u>Кватернионный способ задания поворота тела</u> Лекции Присоединенное отображение. Кватернионы и преобразование поворота Практические занятия Поворот пространства. Активная точка зрения Поворот пространства. Пассивная точка зрения <u>Сложение поворотов в кватернионном описании</u> Лекции Сложение поворотов в кватернионном описании Практические занятия Задача об ориентации конуса в кватернионном описании <u>Уравнения Пуассона в кватернионном описании</u> Лекции Кинематические уравнения для кватерниона ориентации Практические занятия Уравнения Пуассона Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
7	Контрольная работа: Кинематика	Самостоятельная работа тестирование – контрольная работа, решение задач.
8	Основные определения и динамические характеристики механических систем	<u>Динамика материальной точки</u> Лекции Динамика материальной точки. Задачи динамики. Главный вектор и главный момент системы сил Практические занятия Задача о точечной массе на горизонтальном кольце <u>Потенциальные силы</u> Лекции Работа силы. Потенциальные силы Практические занятия

		Потенциальность силы, приложенной к двойному маятнику <u>Способы вычисления основных динамических характеристик системы</u> Лекции Количество движения, кинетический момент, кинетическая энергия. Способы вычисления основных динамических характеристик системы. Теорема Кёнига Практические занятия Вычисление основных динамических характеристик для системы двух точек Вычисление основных динамических характеристик катящегося диска Вычисление основных динамических характеристик катушки с нитками <u>Тензор инерции</u> Лекции Тензор инерции Практические занятия Вычисление компонентов тензора инерции однородного цилиндра <u>Свойства тензора инерции</u> Лекции Свойства тензора инерции. Теорема о переносе тензора инерции. Эллипсоид инерции Практические занятия Перенос тензора инерции на однородном цилиндре Построение главных осей инерции для произвольной точки равностороннего треугольника <u>Кинетический момент и кинетическая энергия твердого тела с неподвижной точкой</u> Лекции Кинетический момент и кинетическая энергия твердого тела с неподвижной точкой Практические занятия Вычисление кинетической энергии и кинетического момента диска во вращающейся рамке Вычисление кинетической энергии маятника с вращающимся диском Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
9	Основные теоремы динамики	<u>Основные теоремы динамики</u> Лекции Основные теоремы динамики (изменение количества движения, момента количества движения) Практические занятия

		Задача о шарике на цилиндре Задача о точке, перемещающейся вдоль вращающегося стержня Задача о проскальзывающем конусе <u>Основные теоремы динамики в неинерциальных системах отсчета</u> Лекции Основные теоремы динамики в неинерциальных системах отсчёта Практические занятия Задача о точке на расширяющейся сфере Задача о цилиндре на подвижной доске <u>Эквивалентные системы сил</u> Лекции Эквивалентные системы сил. Понятие равнодействующей. Динамический винт Практические занятия Задача о равнодействующей системы переносных сил инерции для стержня, вращающегося вокруг вертикальной оси Задача о приведении к равнодействующей плоской системы переносных и кориолисовых сил инерции <u>Общее уравнение динамики</u> Лекции Общее уравнение динамики. Принцип Даламбера-Лагранжа Практические занятия Задача о цилиндрах и блоках Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
10	Динамические уравнения Эйлера	<u>Динамические уравнения Эйлера</u> Лекции Динамические уравнения Эйлера Практические занятия Задача о нахождении динамических реакций Задача о первых интегралах динамических уравнений <u>Случай Эйлера</u> Лекции Случай Эйлера. Общее решение. Перманентные вращения Практические занятия Задача о движении с постоянной угловой скоростью <u>Регулярная прецессия в случае Эйлера</u> Лекции Регулярная прецессия в случае Эйлера Практические занятия Задача о космическом аппарате и метеорите

		<u>Геометрическая интерпретация Пуансо</u> Лекции Геометрическая интерпретация Пуансо Практические занятия Задача о движении Пуансо в поле сил <u>Геометрическая интерпретация Мак-Куллага</u> Лекции Геометрическая Интерпретация Мак-Куллага Практические занятия Задача об эффекте Джанибекова Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
11	Движение динамически симметричного тела с неподвижной точкой в поле тяжести	<u>Вынужденная регулярная прецессия динамически симметричного тела</u> Лекции Уравнение динамически симметричного твёрдого тела в наблюдаемых переменных Практические занятия Задача о физическом маятнике Лекции Вынужденная регулярная прецессия динамически симметричного твердого тела. Основное уравнение гироскопии Практические занятия Задача о качении диска по конусу <u>Случай Лагранжа</u> Лекции Случай Лагранжа. Первые интегралы. Общее решение Практические занятия Задача о движении волчка Лагранжа с постоянным углом нутации <u>Качественный анализ движения волчка Лагранжа</u> Лекции Качественный анализ движения волчка Лагранжа Практические занятия Задача о максимальном и минимальном значениях угла нутации <u>Качественная теория гироскопа</u> Лекции Качественная теория гироскопа Практические занятия Задача о гироскопе на корабле Задача об артиллерийском снаряде Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование –

		контрольная работа, решение задач.
12	Задача о движении точки в центральном поле. Элементы небесной механики	<u>Центральное поле. Формулы Бине</u> Лекции Решение задачи о движении точки в центральном поле. Формулы Бине Практические занятия Задача о векторе Лапласа Лекции Решение уравнения Бине. Уравнение плоской розетки Практические занятия Задача о движении по окружности <u>Движение точки в ньютоновском поле всемирного тяготения. Законы Кеплера</u> Лекции Движение точки в ньютоновском поле всемирного тяготения. Уравнение орбиты. Параметры орбиты. Законы Кеплера Практические занятия Задача об импульсном переходе. Эллипс Гомана Задача о стрельбе с полюса по экватору <u>Задача двух тел</u> Лекции Задача двух тел. Кеплеровские элементы орбиты. Ограниченная задача трёх тел Практические занятия Задача о нахождении точек либрации <u>Движение твёрдого тела в центральном ньютоновском гравитационном поле</u> Лекции Движение твёрдого тела в центральном ньютоновском гравитационном поле. Гравитационный момент Практические занятия Задача о равнодействующей Самостоятельная работа Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
13	Теория удара	<u>Понятие удара</u> Лекции Понятие удара. Мгновенные силы и ударные импульсы. Основные теоремы теории удара Практические занятия Задача о разорвавшемся снаряде Задача о вращающихся шкивах Задача об ударе закрепленного стержня <u>Гипотеза Ньютона</u> Лекции Гипотеза Ньютона. Коэффициент восстановления скорости Практические занятия

		Задача о столкновении шарика и покоящегося стержня <u><i>Движение твердого тела при ударе</i></u> <i>Лекции</i> Движение твердого тела при ударе. Твердое тело с неподвижной точкой. Центр удара <i>Практические занятия</i> Задача о бильярдном шаре Задача о вращающемся параллелепипеде <u><i>Теорема Карно</i></u> <i>Лекции</i> Теорема Карно <i>Практические занятия</i> Задача о неупругом ударе двух шаров <i>Самостоятельная работа</i> Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
14	Движение систем переменного состава (дополнительный раздел)	<u><i>Основные понятия и теоремы</i></u> <i>Лекции</i> Основные понятия и теоремы <i>Практические занятия</i> Задача об эскалаторе <u><i>Динамика точки переменного состава</i></u> <i>Лекции</i> Динамика точки переменного состава. Уравнение Мещерского <i>Практические занятия</i> Задача об обменных силах Задача о ракете в поле тяжести <u><i>Уравнение движения тела переменного состава</i></u> <i>Лекции</i> Уравнение движения тела переменного состава <i>Практические занятия</i> Задача об искусственной гравитации на космической станции <i>Самостоятельная работа</i> Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование – контрольная работа, решение задач.
	Итоговая аттестация	<i>Практическое занятие:</i> итоговое тестирование по материалам лекций <i>Самостоятельная работа:</i> подготовка к итоговому тестированию

Примеры заданий для организации самостоятельной работы слушателей

Домашняя задача 1. Точка движется по дуге эллипса $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$. Вектор ускорения точки во все время движения направлен параллельно оси Oy . Найдите модуль ускорения точки в тот момент, когда ее ордината равна $\frac{b}{3}$ ($b > 0$), если в начальный момент $x(0) = 0$, $y(0) = b$, $v(0) = v_0$.

В ответе используйте обозначения: a , b , v_0 .

Пример ответа: $2 \cdot a \cdot b \cdot v_0^2$

Домашняя задача 2. Электрон в постоянном магнитном поле движется по винтовой линии в соответствии с уравнениями: $x = a \cos \omega t$, $y = a \sin \omega t$, $z = bt$, где a и b - некоторые положительные константы.

Найдите тангенциальное ускорение электрона.

Найдите нормальное ускорение электрона.

Найдите радиус кривизны траектории электрона.

В ответе используйте обозначения: a , b , ω

Пример ответа: $a^2 + b^2 \omega^2$

Домашняя задача 3. Найдите матрицу поворота вокруг оси Oy на угол α и умножьте ее на вектор $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$. Запишите полученный вектор в ответ.

Вектор представьте в виде разложения по ортонормированному базису, используя при этом обозначения e_x , e_y , e_z . Угол обозначьте как α .

Пример ответа: $-\cos(\alpha) \cdot e_x + 1 \cdot e_y + \sin(\alpha) \cdot e_z$

Домашняя задача 4. Модель самолета вращают на поворотном стенде. Сначала самолет поворачивают вокруг оси Oy на угол $\psi = -\pi/2$, затем вокруг оси Oz на угол $\varphi = \pi$, причем $Oxyz$ - лабораторная (неподвижная) система координат.

Найдите матрицу результирующего поворота самолета. В ответе запишите след матрицы.

Пример ответа (след единичной матрицы): 3.

Найдите ось и угол результирующего поворота самолета. Вектор, задающий направление оси, укажите таким образом, чтобы его модуль был равен единице, а первая ненулевая координата была положительной. Угол укажите в радианах, таким образом, чтобы ответ принадлежал полуинтервалу $[0, 2\pi)$.

Координаты вектора умножьте на орты, обозначаемые как e_x , e_y , e_z . К полученному результату прибавьте угол, обозначаемый как $x \cdot \pi$, где x - некоторое число от 0 до 2.

Пример ответа: $0 \cdot e_x + 1/3 \cdot e_y + \sqrt{3} \cdot e_z + 1.5 \cdot \pi$

4.3. Список рекомендуемой литературы

1. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. – 3-е изд. – М.: Физматлит, 2001.
2. Журавлёв В.Ф. Основы теоретической механики. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2001; 3-е изд. – М.: Физматлит, 2008.
3. Маркеев А.П. Теоретическая механика. – Москва – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Механика. М.: Наука, 2016.
5. Гольдштейн Г. Классическая механика. М.: Физматлит, 2017.
6. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 2015.
7. Берковский Б. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 2018.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет":

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтех
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <https://ru.wikipedia.org> – электронная энциклопедия Wikipedia.
4. <https://apps.openedu.ru/> - Платформа Открытого образования.

5. Материально-технические условия реализации программы

Таблица 4

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Аудитория с доступом в Интернет	Аудиторные занятия	Компьютер, Visual Studio, проектор, видеочамера, доступ в Интернет
Аудитория с доступом в Интернет	Самостоятельная работа	Персональные компьютеры/ноутбуки, Visual Studio, доступ в Интернет
Система дистанционного обучения	Экзамен	Слушателю необходим компьютер, наличие доступа в сеть интернет.

6. Оценка качества освоения программ

Оценка качества освоения программы осуществляется в процессе промежуточной аттестации.

Формы и методы промежуточного контроля представлены в таблице 5.

Таблица 5

Наименование модулей	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Кинематика точки	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, домашние задачи, тестирование
Способы задания ориентации тела	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, домашние задачи, тестирование
Пространственное движение твердого тела	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, домашние задачи, тестирование
Плоскопараллельное движение	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, домашние задачи, тестирование
Сложное движение точки и твердого тела	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, домашние задачи, тестирование
Движение твердого тела с неподвижной точкой (кватернионное изложение) Понятие кватерниона	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, домашние задачи, тестирование
Контрольная работа: Кинематика	Установленное количество выполненных заданий	Тестирование
Основные определения и динамические характеристики механических систем	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование
Основные теоремы динамики	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование
Динамические уравнения Эйлера	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование

Движение динамически симметричного тела с неподвижной точкой в поле тяжести	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование
Задача о движении точки в центральном поле. Элементы небесной механики	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование
Теория удара	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование
Движение систем переменного состава (дополнительный раздел)	Установленное количество выполненных заданий	Самостоятельное выполнение заданий, тестирование
Итоговая аттестация	Обобщение знаний по темам курса. Применение полученных знаний.	Тестирование

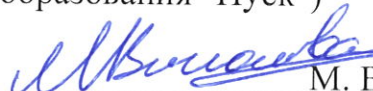
7. Составители программы

Зубцова Жанна Исхаковна, к.ф.-м.н., ведущий специалист Отдела сопровождения образовательных программ (Центр «Пуск»).

Согласовано
Ведущий специалист ОСОП

 Ж. И. Зубцова
« » 2023 г.

Согласовано
Руководитель проектов (Центр дополнительного, дополнительного профессионального и онлайн-образования "Пуск")

 М. В. Выголова
« » 2023 г.