

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ухтинский государственный технический университет»
(УГТУ)



М. А. Засовская
(И. О. Фамилия)

23 мая 2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины «**Основы теории линейных и нелинейных колебаний механической системы**»

Кафедра механики

Научная специальность 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Форма обучения: очная

Курс(ы) 2

Год начала подготовки 2024


Рабочая программа по дисциплине «Основы теории линейных и нелинейных колебаний механической системы» разработана в соответствии с приказом Минобрнауки России от 20.10.2021 № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)», учебным планом, одобренным ученым советом университета от 28.02.2024, протокол № 03.

Разработчик:

Профессор кафедры механики, д.т.н.



Н. А. Малинина

Рассмотрено на заседании					
кафедры			совета направления подготовки/специальности		
Дата, номер протокола	ФИО зав. кафедрой	Подпись зав. кафедрой	Дата, номер протокола	ФИО председателя совета	Подпись председателя совета
Протокол от 23.04.2024 № 11	Савич В.Л.				

Согласовано:

Руководитель ОПОП

к.т.н., доцент, зав. кафедрой



В. Л. Савич

**Аннотация рабочей программы по дисциплине
«Основы теории линейных и нелинейных колебаний механической системы»**

Цель преподавания дисциплины

- формирование у аспирантов современного представления об основах механики твердого и деформируемого тела;
- формирование диалектического, научного мировоззрения в понимании весьма широкого круга явления, относящихся к простейшей форме движения материи – к механическому движению;
- заложить основу для развития профессиональных и личностных навыков аспиранта;
- формирование набора базовых знаний (теоретическая подготовка), необходимых для решения инженерных задач в процессе практической деятельности на основе принципа неразрывного единства теоретического и практического обучения.

Задача изучения

–формирование основных представлений о математическом моделировании сплошной среды, в частности, твердого и деформируемого тела, включающую в себя постановку уравнений и их численную реализацию.

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

1.1 Основными целями изучения курса «Основы теории линейных и нелинейных колебаний механической системы» являются:

- формирование у аспирантов современного представления об основах механики твердого и деформируемого тела;
- формирование диалектического, научного мировоззрения в понимании весьма широкого круга явления, относящихся к простейшей форме движения материи – к механическому движению;
- заложить основу для развития профессиональных и личностных навыков аспиранта;
- формирование набора базовых знаний (теоретическая подготовка), необходимых для решения инженерных задач в процессе практической деятельности на основе принципа неразрывного единства теоретического и практического обучения.

1.2. Задача изучения – формирование основных представлений о математическом моделировании сплошной среды, в частности, твердого и деформируемого тела, включающую в себя постановку уравнений и их численную реализацию.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

знать:

- основные разделы механики твердого и деформируемого тела, аналитической механики;
- основные понятия, определения и свойства объектов теории колебаний линейных и нелинейных систем;
- условия существования и характер колебательного процесса в реальных динамических.;
- формулировки и доказательства утверждений, методы их доказательства, возможные сферы их связи и приложения в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания;
- приближенные методы математической физики, вариационные методы.

уметь:

- применять методы теории колебаний линейных и нелинейных систем для исследования конкретных динамических систем, анализировать устойчивость реальных динамических систем по отношению к внешним периодическим нагрузкам;
- формулировать основные уравнения аналитической механики твердого и деформируемого твердого тела; основные уравнения теории колебаний линейных и нелинейных систем, уравнения теории устойчивости; основные уравнения механики сплошных сред.

владеть:

- аппаратом теории колебаний линейных и нелинейных систем, методами доказательства утверждений, навыками применения этого в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания;
- техникой построения объективных конвективных производных векторов и тензоров;
- методикой исследования сложных динамических систем.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

2.1. Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины:

Содержание дисциплины базируется на знаниях, приобретенных в курсе общей математики, теоретической и прикладной механики, термодинамики, механики сплошных сред, математического и функционального анализа, численных методов решения задач математической физики.

2.2. Перечень дисциплин, изучение которых базируется на материале данной дисциплины:

Технологии профессионально-ориентированного обучения, практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности

3. Структура и содержание дисциплины:

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов.

3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Всего часов	Итого контактные часы	В том числе					СР	Контроль	КП, КР, РГР, контр. раб, реферат	Экзамен	Зачет
		Лек	Лаб	Пр	ИЗ	АК					
108	26,5	12	-	12	2	0,5	81,5	-	-	-	+
108	26,5	12	-	12	2	0,5	81,5	-	-	-	+

3.1.1. Объем часов и зачетных единиц по дисциплине

Наименование раздела (модуля) Наименование темы дисциплины	Всего о часов	Аудиторн ые занятия	в том числе			СР
			лекции	Лаборато рные	практиче ские	
Тема 1. Элементы теории матриц. Тензорное исчисление. Уравнения механики сплошных сред.	13,5	4	2	-	2	9,5
Тема 2. Введение в общую теорию устойчивости консервативной системы. Устойчивость движения системы по первому приближению.	22	4	2	-	2	18
Тема 3. Колебания систем с конечным числом степеней свободы. Приближенные методы определения собственных частот систем с конечным числом степеней свободы.	22	4	2	-	2	18
Тема 4. Колебания систем с распределенными параметрами. Продольные и крутильные колебания прямых длинных стержней. Автоколебания. Поперечные колебания стержней.	26	8	4	-	4	18
Тема 5. Элементы нелинейной механики. Колебания нелинейных систем. Некоторые общие методы нелинейной механики.	22	4	2	-	2	18
ИЗ	2	×	×	×	×	×
АК	0,5	×	×	×	×	×
Контроль	-	×	×	×	×	×
ВСЕГО	108	36	12	-	12	81,5

3.1.2. Наименование тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий (по семестрам)

№ темы	Наименование темы	Основное содержание темы	Количество часов
1	2	3	4
1	Элементы теории матриц. Тензорное исчисление. Уравнения движения сплошной среды.	Определения. Обратная матрица. Собственные значения матрицы. Квадратичные формы. Дифференциальные уравнения движения сплошной среды.	2
2	Введение в общую теорию устойчивости консервативной системы. Устойчивость движения системы по первому приближению.	Устойчивость равновесного состояния системы. Функции Ляпунова. Теорема Лагранжа-Дирихле об устойчивости равновесия консервативной системы. Уравнения возмущенного движения. Теорема Ляпунова об устойчивости по первому приближению. Критерий Гурвица.	2
3	Колебания систем с конечным числом степеней свободы. Приближенные методы определения собственных частот систем с конечным числом степеней свободы.	Свободные и вынужденные колебания системы с одной степенью свободы. Случай резонанса и биений. Свободные и вынужденные колебания системы с конечным числом степеней свободы. Динамический гаситель колебаний.	2
4	Колебания систем с распределенными параметрами. Продольные и крутильные колебания прямых длинных стержней. Автоколебания. Поперечные колебания стержней.	Уравнения продольных, крутильных и поперечных колебаний прямых стержней. Краевые и начальные условия.	4
5	Колебания нелинейных систем.	Нелинейные системы. Нелинейные консервативные системы с одной степенью свободы. Периодические движения нелинейных консервативных систем. Формулы прямой линеаризации.	2
Всего			12

3.1.3. Наименование тем (вопросов), выделенных для самостоятельной работы аспирантов

№№ тем	Наименование темы (вопроса)	Основное содержание темы (вопроса)	Объем в часах.	Литература
1	Введение в механику сплошной среды. Введение в тензорное исчисление.	Лагранжева и Эйлера системы координат. Тензоры: деформаций, напряжений, перемещений. Дифференциальные уравнения движения деформируемых тел.	9,5	ОЛ-1; ДЛ-2
2	Введение в общую теорию устойчивости движения. Устойчивость движения по первому приближению.	Каноническая форма уравнений первого приближения. Случай кратных корней характеристического уравнения. Теорема Ляпунова о неустойчивости по первому приближению. Критерий отрицательности вещественных корней характеристического уравнения.	18	ОЛ-1; ОЛ-3, ДЛ-1
3	Малые колебания системы с конечным числом степенями свободы. Приближенные методы определения собственных частот. Явление резонанса в машинах.	Виртуальные перемещения. Обобщенные координаты и силы. Уравнения Лагранжа. Циклические координаты и уравнения Рауса. Принцип Остроградского-Гамильтона. Разложение возмущающей силы в ряд Фурье. Уравнения частот или вековое уравнение. Собственные формы колебаний и их свойства. Метод последовательных приближений формами колебаний. Критические числа оборотов кривых валов. Метод начальных параметров.	18	ОЛ-1; ДЛ-2
4	Колебания стержней	Свободные, продольные и крутильные колебания стержня с линейным сопротивлением. Метод начальных параметров в матричной форме. Поперечные колебания прямых стержней с внутренним неупругим сопротивлением. Метод начальных параметров в матричной форме. Автоколебания	18	ОЛ-1; ДЛ-2
5	Нелинейные колебания стержней с распределенными параметрами	Введение в нелинейную систему. Метод изоклин. Фазовые траектории. Диссипативные системы. Метод Льернара построения фазовых траекторий.	18	ОЛ-1; ОЛ-3, ДЛ-1
		Итого	81, 5	

3.1.4. Практические занятия, их содержание и объем в часах (по семестрам)

Номер темы	Наименование практических занятий (семинаров)	Основное содержание практических занятий (семинаров)	Количество часов
1	2	3	4
1	Элементы теории матриц. Тензорное исчисление. Уравнения движения сплошной среды.	Основные определения теории матриц. Обратная матрица. Матричная запись системы линейных уравнений. Численное решение системы линейных уравнений. Уравнение неразрывности. Тензор напряжений. Уравнение движения сплошной среды в напряжениях. эллипсоид напряжений. Реологическое уравнение.	2
2	Введение в общую теорию устойчивости консервативной системы. Устойчивость движения системы по первому приближению.	Определение устойчивости равновесного состояния системы. Функции Ляпунова. Определение устойчивости движения. Уравнения возмущенного движения. Теорема об устойчивости равновесного состояния консервативной системы. Теорема Ляпунова об устойчивости по первому приближению.	2
3	Колебания систем с конечным числом степеней свободы. Приближенные методы определения собственных частот систем с конечным числом степеней свободы.	Свободные колебания системы с одинаковой степенями свободы. Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы. Явления резонанса и биений.	2
4	Колебания систем с распределенными параметрами. Продольные и крутильные колебания прямых длинных стержней. Автоколебания. Поперечные колебания стержней.	Продольные колебания прямых стержней. Крутильные колебания прямых стержней	4
5	Колебания нелинейных систем	Периодические движения нелинейных систем. Колебания математического маятника с конечной амплитудой.	2
		Всего	12

3.1.5 Лабораторные занятия

Не предусмотрены учебным планом

3.2 Перечень тем курсовых проектов (работ)

Не предусмотрены учебным планом

3.3. Перечень тем РГР

Не предусмотрены учебным планом

3.4. Перечень тем рефератов

Не предусмотрены учебным планом

3.5. Перечень тем контрольных работ

Не предусмотрены учебным планом

3.6 Интерактивные образовательные технологии, используемые при проведении учебных занятий

Вид занятий (лекции, практические, лабораторные)	Тема	Интерактив	Количество часов
Лекция	Затухающие колебания системы с одной степенью свободы.	Дискуссия	2
	ИТОГО		2

4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы, обучающихся по дисциплине, основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

4.1. Основная и дополнительная литература

№№ п-п	Автор и наименование	Вид пособия	Год издания	Кол-во экз. в библиотеке
Основная литература:				
ОЛ-1	Цивильский, В.Л. Теоретическая механика: Учебник / В.Л. Цивильский. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.: 60х90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-905554-48-3	У	2014	http://znaniu.m.com/bookread2.php?book=443436
ОЛ-2	Колебания. Волны. Оптика. Колебания и волны. Ч.1/СаринаМ.П. - Новосиб.: НГТУ, 2013. - 100 с.: ISBN 978-5-7782-2355-4	УП	2013	http://znaniu.m.com/bookread2.php?book=548309

ОЛ-3	Хегай В. К. Динамика: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 170400 (150405) "Машины и оборудование лесного комплекса" / Валерий Константинович Хегай, Александр Сергеевич Попов. - Ухта : Изд-во Ухтинского государственного технического университета, 2010. - 203 с	УП	2010	193 http://lib.ugtu.net/book/1999
дополнительная литература:				
ДЛ-1	Основы теории колебаний механических систем : Учеб. пособие для студентов нефтегазовых вузов, обучающихся по спец. 090800, 170200, 553600 / В.К. Хегай [и др.]. - Ухта : Изд-во УГТУ, 2002. - 108 с.	УП	2002	74 http://lib.ugtu.net/book/186
ДЛ-2	Кирсанов, М.Н. Теоретическая механика. Сборник задач: Учебное пособие / Кирсанов М.Н. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 430 с (электронный ресурс)	УП	2015	http://znaniu.m.com/bookread2.php?book=487544

Примечание:

1. Порядковая нумерация сквозная, двухиндексная (Л-1, Л-2, Л-3 и т.д.);
2. Условные обозначения вида пособия: У – учебник, УП – учебное пособие, Др – монография и другая литература.

4.2. Методические пособия и указания

№№ п-п	Наименование	Год издания (состава)	Кол-во экз.
М-1	Савич, В.Л. Курс лекций по технической механике: Методические указания. Ч. 1 : (Теоретическая механика) / В. Л. Савич. - Ухта : Изд-во УГТУ, 2012. - 43 с.	2012	2 ВЭБС http://lib.ugtu.net/book/5602

5. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

5.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

1. сайт: zachet.ca/termech/termech.php - материалы по теоретической и аналитической механике
2. сайт: lib.ugtu.net
3. сайт: <http://www.teoretmech.ru/> - Теоретическая механика. Электронный учебный курс для студентов очной и заочной форм обучения. Составитель: к.т.н., доцент кафедры теоретической и прикладной механики Каримов Ильдар.
4. сайт: <http://znaniu.com> – учебники и учебные пособия по дисциплинам цикла «механика»

5.2. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Вычислительная техника: ноутбук DellVostro 1015 (ауд. 418 Л); персональные компьютеры 10 шт. (ауд117 Л); проектор NEC NP610S (ауд. 418 Л).

Программное обеспечение, в т.ч.:

- для выполнения технологических расчетов и письменных работ: «MicrosoftOffice 2007», «MicrosoftExcel 2007»;

- для математических и инженерных вычислений: «Matlab», «Mathematica»;
- для компьютерной демонстрации презентаций: «MicrosoftPowerPoint2007»;

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине представлен в приложении.

Целью создания фонда оценочных средств (ФОС) является установление соответствия уровня подготовки обучающихся на этапе обучения требованиям рабочей программы дисциплины, установление факта соответствия (несоответствия) уровня их подготовки требованиям соответствующего ФГОС ВО.

Задачи ФОС:

- контроль и управление процессом приобретения аспирантами необходимых знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций, определенных ФГОС ВО по соответствующему направлению специальности;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс;
- проверка качества формирования компетенций у обучающихся;
- оценка уровня сформированности компетенций аспиранта.

Промежуточный контроль - зачет

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ пп	Наименование учебного помещения	№ уч. ауд.	Перечень основного оборудования	Кол- во
1	2	3	4	5
Специализированные аудитории				
1	Учебная аудитория для лекций и практических занятий	418Л	Учебная мебель, доска, компьютер, экран, проектор, стенды, плакаты.	
2	Компьютерный класс	117Л	Компьютер, учебная мебель, маркерная доска	8 шт.
3	Учебная аудитория для практических занятий	317Л	Учебная мебель, меловая доска	
Кабинеты				
1	Кафедра механики	309 Л	Рабочее место сотрудников (12 ед.), офисная мебель, маркерная доска	
2	Методический кабинет	306Л	Методические материалы: методическая литература, плакаты, задания	

Приложение

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

««Основы теории линейных и нелинейных колебаний механической системы»»

1. Перечень компетенций и этапы их формирования

	Результаты освоения	Этапы формирования (курс/раздел/тема дисциплины)
Знать	<ul style="list-style-type: none"> - основные разделы механики твердого и деформируемого тела, аналитической механики; - основные понятия, определения и свойства объектов теории колебаний линейных и нелинейных систем; - условия существования и характер колебательного процесса в реальных динамических.; - формулировки и доказательства утверждений, методы их доказательства, возможные сферы их связи и приложения в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; - приближенные методы математической физики, вариационные методы. 	<p>Тема 1. Элементы теории матриц. Тензорное исчисление. Уравнения механики сплошных сред.</p> <p>Тема 2. Введение в общую теорию устойчивости консервативной системы. Устойчивость движения системы по первому приближению.</p> <p>Тема 3. Колебания систем с конечным числом степеней свободы. Приближенные методы определения собственных частот систем с конечным числом степеней свободы.</p> <p>Тема 4. Колебания систем с распределенными параметрами. Продольные и крутильные колебания прямых длинных стержней. Автоколебания. Поперечные колебания стержней.</p> <p>Тема 5. Элементы нелинейной механики. Колебания нелинейных систем. Некоторые общие методы нелинейной механики.</p>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> - применять методы теории колебаний линейных и нелинейных систем для исследования конкретных динамических систем, анализировать устойчивость реальных динамических систем по отношению к внешним периодическим нагрузкам; - формулировать основные уравнения аналитической механики твердого и деформируемого твердого тела; основные уравнения теории колебаний линейных и нелинейных систем, уравнения теории устойчивости; основные уравнения механики сплошных сред. 	<p>Тема 1. Элементы теории матриц. Тензорное исчисление. Уравнения механики сплошных сред.</p> <p>Тема 2. Введение в общую теорию устойчивости консервативной системы. Устойчивость движения системы по первому приближению.</p> <p>Тема 3. Колебания систем с конечным числом степеней свободы. Приближенные методы определения собственных частот систем с конечным числом степеней свободы.</p> <p>Тема 4. Колебания систем с распределенными параметрами. Продольные и крутильные колебания прямых длинных стержней. Автоколебания. Поперечные колебания стержней.</p> <p>Тема 5. Элементы нелинейной механики. Колебания нелинейных систем. Некоторые общие методы нелинейной механики.</p>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> - аппаратом теории колебаний линейных и нелинейных систем, методами доказательства утверждений, навыками применения этого в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; - техникой построения объективных конвективных производных векторов и тензоров; - методикой исследования сложных динамических систем. 	<p>Тема 1. Элементы теории матриц. Тензорное исчисление. Уравнения механики сплошных сред.</p> <p>Тема 2. Введение в общую теорию устойчивости консервативной системы. Устойчивость движения системы по первому приближению.</p> <p>Тема 3. Колебания систем с конечным числом степеней свободы. Приближенные методы определения собственных частот систем с конечным числом степеней свободы.</p> <p>Тема 4. Колебания систем с распределенными параметрами. Продольные и крутильные колебания прямых длинных стержней. Автоколебания. Поперечные колебания стержней.</p>

		Тема 5. Элементы нелинейной механики. Колебания нелинейных систем. Некоторые общие методы нелинейной механики.
--	--	--

2. Паспорт фонда оценочных средств

№ п/п	Контролируемые дидактические единицы (разделы, темы) дисциплины	Форма контроля	Наименование оценочного средства
1	Тема 1	собеседование	Вопросы к зачету
2	Тема 2	собеседование	Вопросы к зачету
3	Тема 3	собеседование	Вопросы к зачету
4	Тема 4	собеседование	Вопросы к зачету
5	Тема 5	зачет	Вопросы к зачету

3. Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Показатели сформированности	Шкала оценивания	Критерии оценивания
2	3	4
знать: - основные разделы механики твердого и деформируемого тела, аналитической механики; - основные понятия, определения и свойства объектов теории колебаний линейных и нелинейных систем; - условия существования и характер колебательного процесса в реальных динамических.; - формулировки и доказательства утверждений, методы их доказательства, возможные сферы их связи и приложения в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; - приближенные методы математической физики, вариационные методы.	Пороговый уровень (обязательный)	Знать: расчётные формулы определения потенциальной энергии системы. основные методы решения задач теории колебаний, определения и формулы используемых величин систем с одной и двумя степенями свободы.
	Повышенный уровень (по отношению к пороговому уровню)	Знать: теоретическую основу темы потенциальная энергия системы. основные методы решения задач теории колебаний, определения и формулы используемых величин систем с «n»степенями свободы.
уметь: - применять методы теории колебаний линейных и нелинейных систем для исследования конкретных динамических систем, анализировать устойчивость реальных динамических систем по отношению к внешним периодическим нагрузкам; - формулировать основные уравнения аналитической механики твердого и деформируемого твердого тела; основные уравнения теории колебаний линейных и нелинейных	Пороговый уровень (обязательный)	Уметь: составлять расчётные схемы, пользоваться одним из расчётных программных пакетов. составлять расчётные схемы, составлять и решать дифференциальные уравнения движения.
	Повышенный уровень (по отношению к пороговому уровню)	Уметь: использовать передовые вычислительные программные пакеты. применять разные методы решения, пользоваться одним из вычислительных программных пакетов.

систем, уравнения теории устойчивости; основные уравнения механики сплошных сред.		
Владеть: - аппаратом теории колебаний линейных и нелинейных систем, методами доказательства утверждений, навыками применения этого в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; - техникой построения объективных конвективных производных векторов и тензоров; - методикой исследования сложных динамических систем.	<i>Пороговый уровень (обязательный)</i>	Владеть: знаниями методов решения и задач аналитической механики систем с одной и двумя степенями свободы, методами решения дифференциальных уравнений и их компьютерной обработки. методами решения дифференциальных уравнений и их компьютерной обработки.
	<i>Повышенный уровень (по отношению к пороговому уровню)</i>	Владеть: знаниями методов решения задач аналитической механики с «n» степенями свободы. методами решения дифференциальных уравнений и определения всех характеристик движения по ним, продвинутыми пакетами вычислительных комплексов

4. Задания для текущего контроля и промежуточной аттестации

ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ

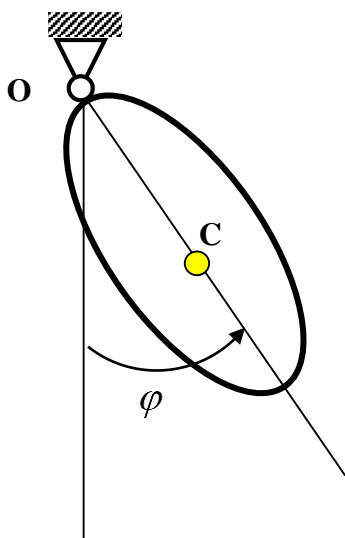
1. Уравнения Лагранжа 2-го рода.
2. Кинетическая энергия системы, выраженная через обобщенные скорости.
3. Потенциальная энергия системы, выраженная через обобщенные координаты.
4. Функция Релея, выраженная через обобщенные скорости.
5. Теорема Лагранжа_Дирихле об устойчивости равновесного состояния консервативной системы.
6. Дифференциальное уравнение свободных колебаний системы с одной степенью свободы.
7. Круговая частота, период и амплитуда свободных колебаний системы с одной степенью свободы.
8. Уравнение свободных колебаний системы с одной степенью свободы.
9. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний системы с одной степенью свободы.
10. Круговая частота и период затухающих колебаний системы с одной степенью свободы.
11. Декремент затухающих колебаний.
12. Уравнение затухающих колебаний системы с одной степенью свободы.
13. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы.
14. Уравнение вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы.
15. Частота, период, фаза вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы.
16. Амплитуда вынужденных колебаний системы.
17. Коэффициент динамичности.
18. Явление резонанса. Уравнение резонанса.
19. Явление биений. Уравнение биений.
20. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы с учетом сил сопротивления.

21. Уравнение вынужденных колебаний системы с одной степенью свободы с учетом сил сопротивления.
22. Дифференциальное уравнение свободных колебаний системы с двумя степенями свободы.
23. Общее решение дифференциальных уравнений свободных колебаний системы с двумя степенями свободы.
24. Коэффициенты распределения. Формы главных колебаний.
25. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний системы с двумя степенями свободы.
26. Уравнение вынужденных колебаний системы с двумя степенями свободы.
27. Динамический гаситель колебаний.
28. Дифференциальные уравнения свободных колебаний системы с S степенями свободы.
29. Общее решение дифференциальных уравнений свободных колебаний системы с S степенями свободы.

Тренировочные задачи и упражнения

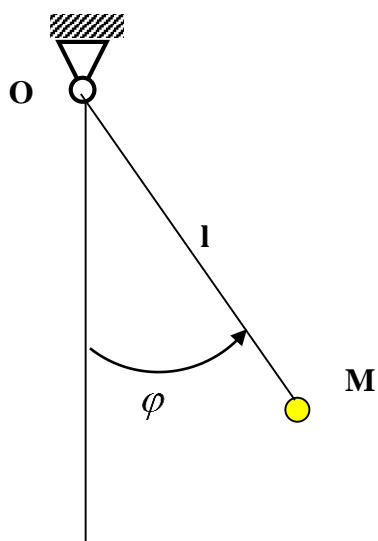
Задание 1.

1.1. Кинетическая энергия физического маятника равна (см. рисунок)



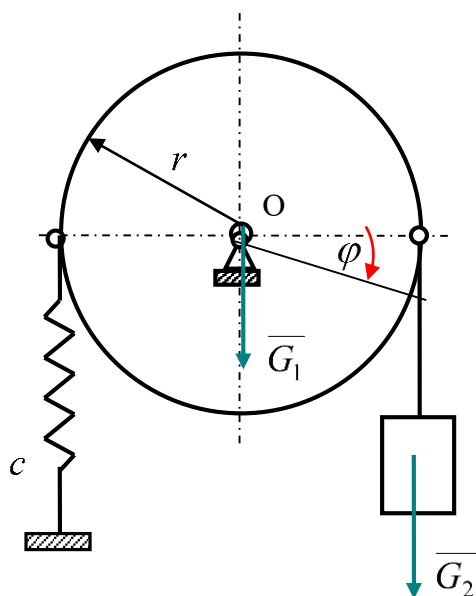
1. $J_0 \frac{v_C^2}{2}$;
2. $J_0 \frac{\dot{\varphi}^2}{2}$;
3. $m \frac{v_C^2}{2}$;
4. $m \frac{\dot{\varphi}^2}{2}$;

1.2. Кинетическая энергия физического математического равна (см. рисунок)



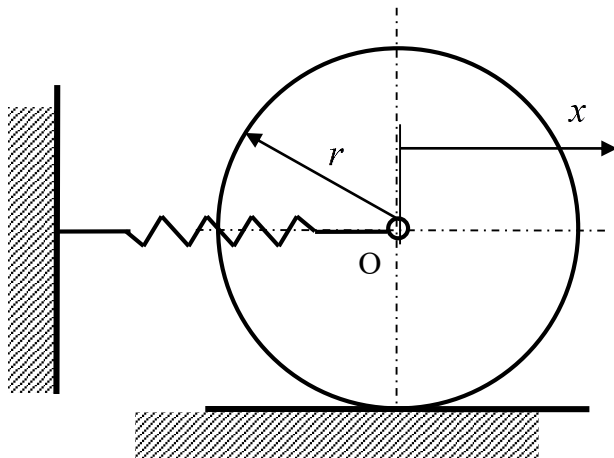
1. $\frac{ml}{2}v$; 2. $\frac{ml^2}{2}v^2$; 3. $ml^2 \cdot \frac{\dot{\varphi}^2}{2}$; 4. $ml \frac{\dot{\varphi}^2}{2}$;

1.3. Кинетическая энергия системы состоящей из круглого диска массой m_1 , груза массой m_2 и невесомой пружины (см. рисунок) равна:



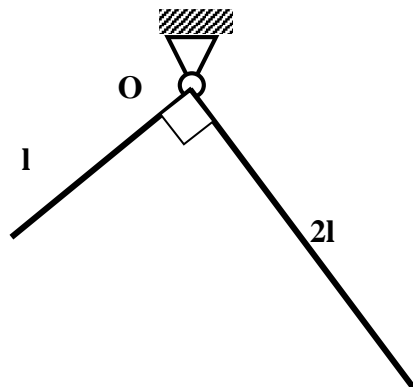
1. $\frac{1}{4}(m_1 + 2m_2)r^2 \dot{\varphi}^2$;
 2. $\frac{1}{2}(m_1 + m_2)r \dot{\varphi}^2$;
 3. $\frac{1}{2}(2m_1 + m_2)r \dot{\varphi}^2$;
 4. $\frac{1}{2}(m_1 + 2m_2) \dot{\varphi}^2$;

1.4. Кинетическая энергия системы состоящей из круглого диска массой m и невесомой пружины (см. рисунок) равна:



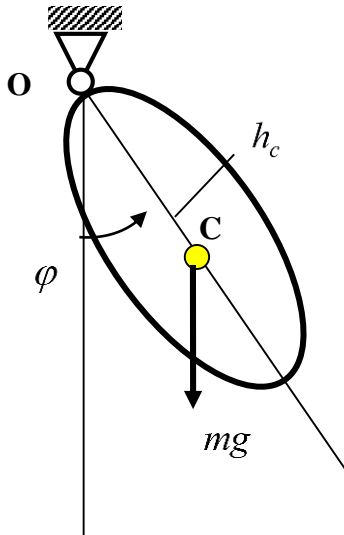
1. $\frac{1}{2} m \dot{x}^2$;
2. $J_0 \frac{\dot{\varphi}^2}{2}$;
3. $\frac{2}{3} J_0 \dot{\varphi}^2$;
4. $\frac{3}{4} m \dot{x}^2$;

1.5. Кинетическая энергия системы состоящей из двух однородных стержней длиной l и $2l$ с углом между ними 90° (см. рисунок) равна:



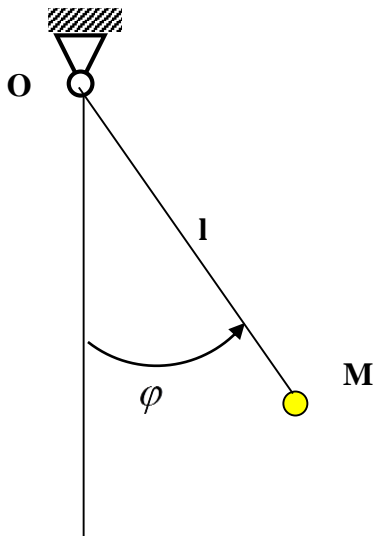
1. $ml^2 \cdot \frac{\dot{\varphi}^2}{2}$;
2. $\frac{2}{3} ml^2 \dot{\varphi}^2$;
3. $\frac{5}{6} ml^2 \dot{\varphi}^2$;
4. $\frac{3}{4} ml^2 \dot{\varphi}^2$;

1.6. Найти потенциальную энергию физического маятника, рассматривая его малые колебания (см. рисунок)



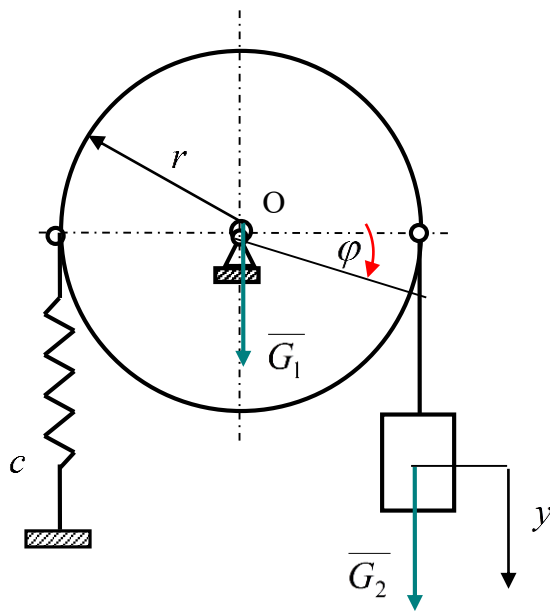
1. mgh_c ; 2. mgh_c^2 ; 3. $\frac{1}{2}mgh_c\varphi^2$; 4. $mh_c\varphi^2$;

1.7. Найти потенциальную энергию математического маятника, рассматривая его малые колебания (см. рисунок)



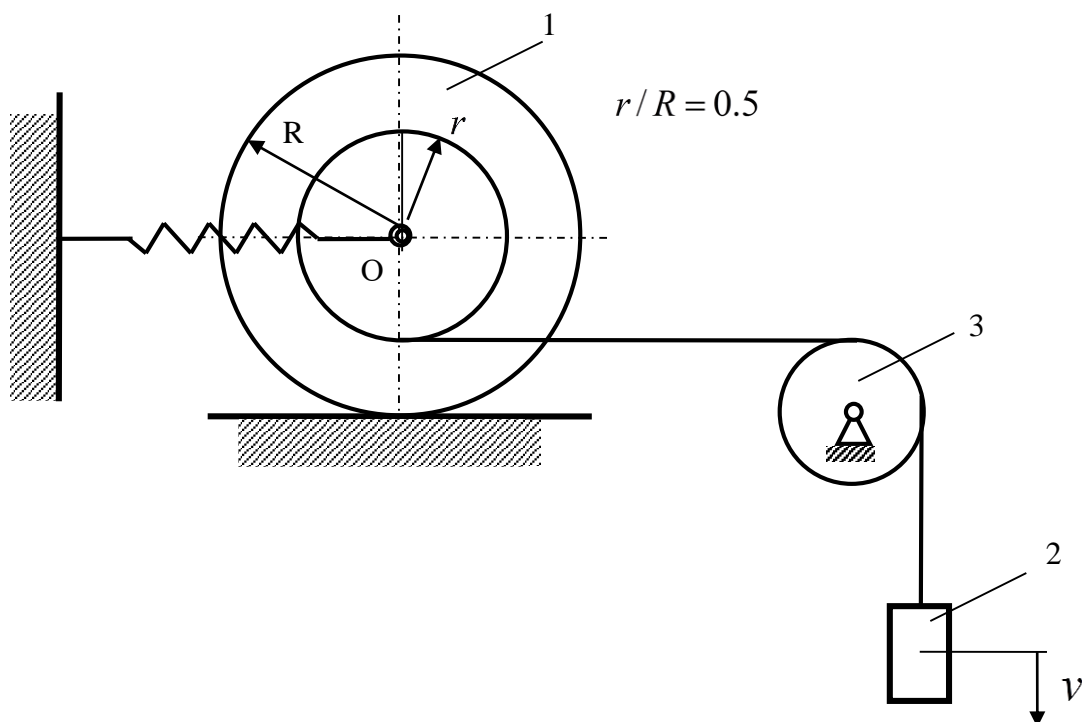
1. $ml^2\dot{\varphi}^2$; 2. $mglsin\varphi$; 3. $mg\varphi^2$; 4. $\frac{1}{2}mgl\varphi^2$;

1.8. Найти потенциальную энергию системы, состоящей из круглого диска массой m_1 , груза массой m_2 и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок)



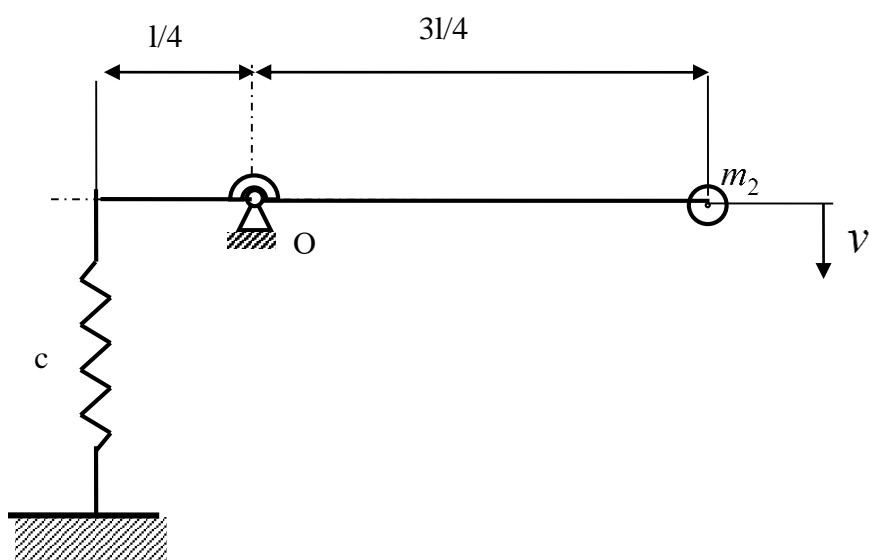
1. $\frac{c}{2}y^2$;
2. $m_1gr\varphi + m_2gy + cy^2$;
3. $\frac{c}{2}\varphi^2$;
4. $cy^2 + m_2gy$;

1.9. Определить потенциальную энергию системы, состоящей из шкива 1 массой m , катящегося без скольжения по шероховатой поверхности, груза массой m_2 и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок). Массой блока 3 пренебречь.



1. $\frac{c}{2}y^2$; 2. $2cy^2$; 3. $m_2g + cy^2$; 4. $\frac{2}{3}cy^2$;

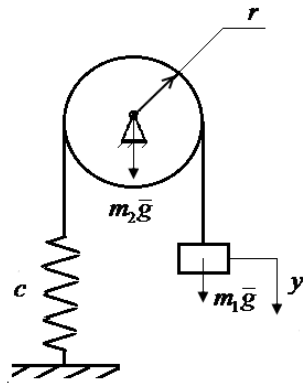
1.10. Найти потенциальную энергию системы, состоящей из однородного тонкого стержня массой m_1 , длиной l , груза массой m_2 , присоединенного к концу стержня и пружины с коэффициентом жесткости c , присоединенной к другому концу стержня. (см. рисунок).



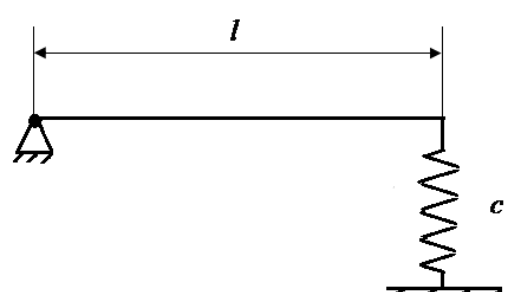
1. $\frac{c}{2}y^2$;
 2. $2cy^2$;
 3. $(m_1 + m_2)gy$;
 4. $\frac{1}{18}cy^2$;

Задание 2

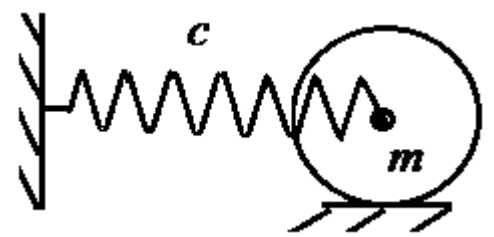
2.1. Найти значение круговой частоты свободных колебаний системы, состоящей из груза 1, блока 2 в виде круглого диска и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

	<p>1) $\sqrt{\frac{2c}{2m_1 + m_2}}$, 2) $\sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}}$,</p> <p>3) $\sqrt{\frac{c}{2m_1 + m_2}}$, 4) $\sqrt{\frac{c}{m_1 + 2m_2}}$.</p>
---	---

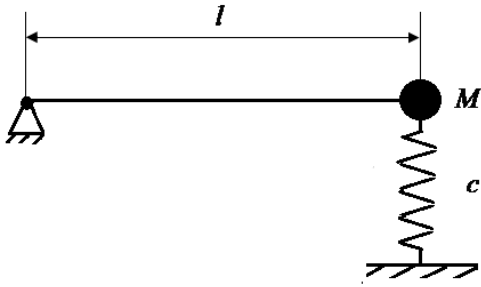
2.2. Найти значение круговой частоты свободных колебаний системы, состоящей из однородного тонкого стержня массы m и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

	<p>1) $\sqrt{\frac{c}{m}}$, 2) $\sqrt{\frac{3c}{m}}$, 3) $\sqrt{\frac{c}{2m}}$, 4) $\sqrt{\frac{2c}{m}}$.</p>
---	---

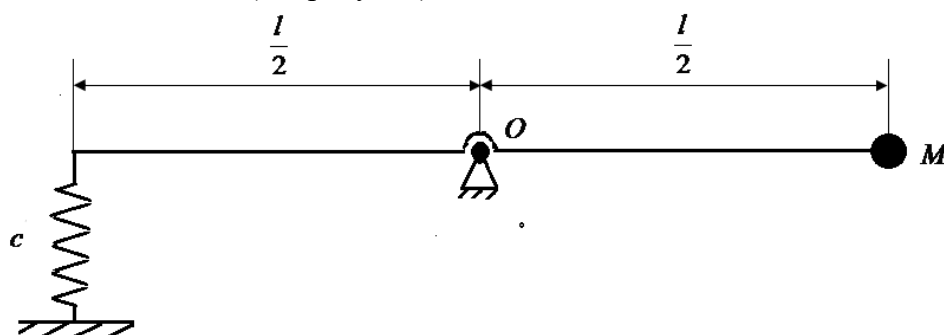
2.3. Найти значение круговой частоты свободных колебаний системы, состоящей из однородного круглого диска массы m и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

	<p>1) $\frac{1}{2} \frac{c}{m}$, 2) $\frac{2c}{m}$, 3) $\sqrt{\frac{c}{2m}}$, 4) $\sqrt{\frac{2c}{3m}}$.</p>
---	--

2.4. Найти значение круговой частоты свободных колебаний системы, состоящей из однородного тонкого стержня длиной l и массы m_1 , груза M массы m_2 и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

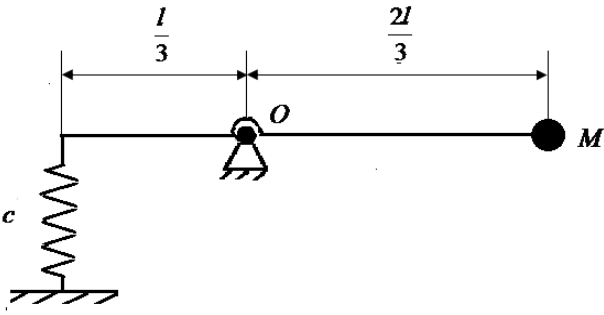
	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">1) $\sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}}$,</div> <div style="width: 50%;">2) $\frac{c}{m_1 + 2m_2}$,</div> <div style="width: 50%;">3) $\sqrt{\frac{3c}{m_1 + 3m_2}}$,</div> <div style="width: 50%;">4) $\sqrt{\frac{2c}{2m_1 + m_2}}$</div> </div>
---	---

2.5. Найти значение круговой частоты свободных колебаний системы, состоящей из однородного тонкого стержня длиной l и массы m_1 , груза M массы m_2 и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

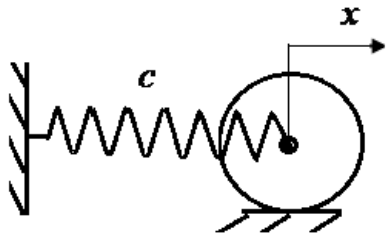


- 1) $\sqrt{\frac{3c}{m_1 + 3m_2}}$, 2) $\sqrt{\frac{2c}{m_1 + m_2}}$, 3) $\sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}}$, 4) $\frac{2c}{3m_1 + 2m_2}$.

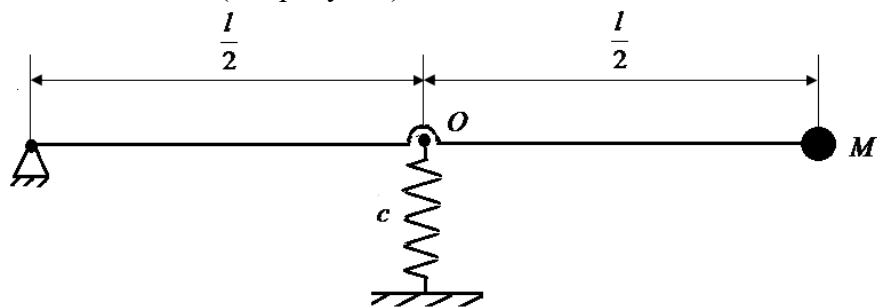
2.6. Найти значение круговой частоты свободных колебаний системы, состоящей из однородного тонкого стержня длиной l и массы m_1 , груза M массы m_2 и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">1) $\sqrt{\frac{c}{m_1 + m_2}}$,</div> <div style="width: 50%;">2) $\sqrt{\frac{2c}{m_1 + m_2}}$,</div> <div style="width: 50%;">3) $\frac{2c}{3m_1 + 2m_2}$,</div> <div style="width: 50%;">4) $\sqrt{\frac{c}{m_1 + 4m_2}}$</div> </div>
---	---

2.7. Найти значение круговой частоты свободных колебаний системы, состоящей из однородного круглого кольца с радиусом r массы m , катящегося без скольжения по шероховатой поверхности, и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

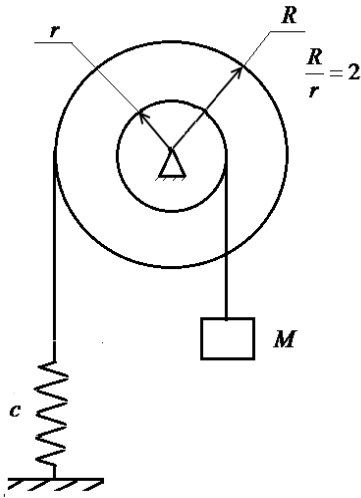
	<p>1) $\sqrt{\frac{c}{m}}$, 2) $\sqrt{\frac{c}{2m}}$, 3) $\frac{c}{2m}$, 4) $\sqrt{\frac{2c}{3m}}$.</p>
---	---

2.8. Найти значение круговой частоты свободных колебаний системы, состоящей из однородного тонкого стержня длиной l и массы m_1 , груза M массы m_2 и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

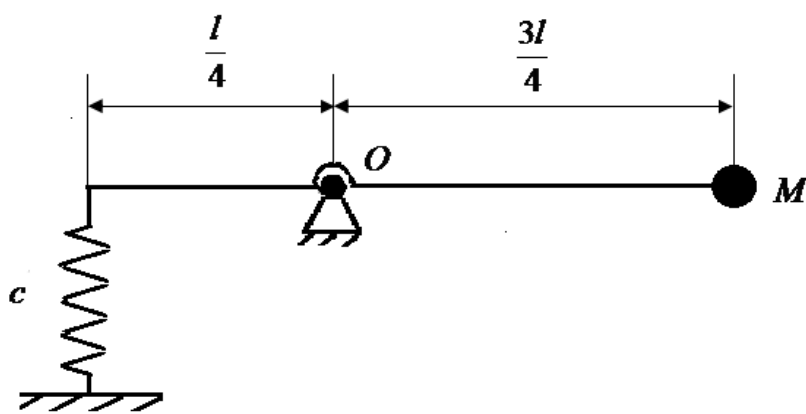


- 1) $\sqrt{\frac{2c}{m_1 + m_2}}$, 2) $\sqrt{\frac{c}{2m_1 + m_2}}$, 3) $\sqrt{\frac{3}{4} \frac{c}{m_1 + 3m_2}}$, 4) $\sqrt{\frac{c}{2m_1 + 3m_2}}$.

2.9. Найти значение периода свободных колебаний системы, состоящей из шкива массой m_1 , распределенной по ободу внешнего радиуса R , груза M массы m_2 и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):

	<p>1) $2\pi\sqrt{\frac{4m_1 + m_2}{4c}}$, 2) $\sqrt{\frac{2c}{m_1 + m_2}}$, 3) $2\pi\sqrt{\frac{4c}{m_1 + 3m_2}}$, 4) $\sqrt{2\pi\frac{c}{2m_1 + m_2}}$.</p>
---	---

2.10. Найти значение периода свободных колебаний системы, состоящей из тонкого стержня длиной l и массы m_1 , груза M массы m_2 и пружины с коэффициентом жесткости c (см. рисунок):



1) $\sqrt{\frac{c\pi}{m_1 + m_2}}$, 2) $2\pi\sqrt{\frac{2c}{2m_1 + 3m_2}}$, 3) $\sqrt{\frac{3m_1 + 8m_2}{3\pi c}}$, 4) $2\pi\sqrt{\frac{7m_1 + 27m_2}{3c}}$.

Задание 3.

3.1. Какое движение описывается уравнением $q = q_0 \sin kt + \frac{\dot{q}_0}{k} \cos kt$:

1. свободные колебания, 2. апериодическое движение, 3. затухающие колебания, 4. вынужденные колебания?

3.2. Какое движение совершает система, если дифференциальное уравнение $\ddot{q} + k^2 q = 0$:

1. свободные колебания, 2. апериодическое движение, 3. затухающие колебания, 4. вынужденные колебания?

3.3. Какое движение совершает система, если дифференциальное уравнение $\ddot{q} + 2n\dot{q} + k^2 q = 0$ и $n > k$:

1. свободные колебания, 2. апериодическое движение, 3. затухающие колебания, 4. вынужденные колебания?

3.4. Какое движение совершает система, если дифференциальное уравнение $\ddot{q} + 2n\dot{q} + k^2 q = 0$ и $n < k$:

1. свободные колебания, 2. апериодическое движение, 3. затухающие колебания, 4. вынужденные колебания?

3.5. Какое движение совершает система, если дифференциальное уравнение $\ddot{q} + 2n\dot{q} + k^2 q = 0$ и $n = k$:

1. свободные колебания, 2. апериодическое движение, 3. затухающие колебания, 4. вынужденные колебания?

3.6. Чему равна круговая частота затухающих колебаний системы с одной степенью свободы:

1. $2n$, 2. k , 3. $k^2 - n^2$, 4. $\frac{2\pi}{k}$?

3.7. Чему равен период свободных колебаний системы с одной степенью свободы:

1. $2\pi k$, 2. $\frac{2\pi}{k}$, 3. $2\pi\sqrt{k^2 - n^2}$, 4. $\frac{\pi}{k}$?

3.8. Чему равен период затухающих колебаний системы с одной степенью свободы:

1. $2\pi\sqrt{k^2 - n^2}$, 2. $\frac{\pi}{2k}$, 3. $\frac{2\pi}{\sqrt{k^2 - n^2}}$, 4. $\frac{2\pi}{k}$?

3.9. Чему равна амплитуда свободных колебаний системы с одной степенью свободы:

1. $\sqrt{q_0^2 + \left(\frac{\dot{q}_0}{k}\right)^2}$, 2. $\sqrt{\left(\frac{q_0}{k}\right)^2 + \dot{q}_0^2}$, 3. $k\dot{q}_0 + \dot{q}_0$, 4. $\sqrt{(kq_0)^2 + \dot{q}_0^2}$?

3.10. Какое движение описывается уравнением $\dot{q} = Ae^{-nt} \sin\left(\sqrt{k^2 - n^2}t + \alpha\right)$:

1. свободные колебания системы с одной степенью свободы, 2. апериодическое движение системы с одной степенью свободы, 3. затухающие колебания системы с одной степенью свободы, 4. вынужденные колебания системы с одной степенью свободы?

ГЛОССАРИЙ

Кинетическая энергия – энергия, определяемая как квадратичная функция от обобщенных скоростей, т.е. $T = \frac{1}{2} \sum \sum a_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j$.

Потенциальная энергия – энергия положения, определяемая как квадратичная функция от обобщенных координат, т.е. $\Pi = \frac{1}{2} \sum \sum c_{ij} q_i q_j$.

Диссипативная функция Релея – функция рассеивания энергии, определяется как квадратичная от обобщенных скоростей, т.е. $\Phi = \frac{1}{2} \sum \sum b_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j$.

Уравнения Лагранжа второго рода – уравнения для вывода дифференциальных уравнений движения системы, записывается в виде: $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j, j = 1, 2, \dots, s$.

Консервативная система – система, находящаяся под действием сил, имеющих потенциал.

Свободные колебания – колебания системы под действием консервативных (восстанавливающих) сил.

Период колебаний – промежуток времени, в течение которого система совершает одно полное колебание.

Частота колебаний – число колебаний, совершаемых за одну секунду, равная $\nu = \frac{1}{T}$, где T - период колебаний.

Амплитуда колебаний – наибольшее отклонение системы от устойчивого равновесного положения системы.

Затухающие колебания – колебания системы под действием консервативных сил и сил сопротивления движению системы.

Декремент затухающих колебаний – отношение двух последовательных амплитуд затухающих колебаний и определяется как $\eta = e^{-\kappa \frac{T_1}{2}}$.

Вынужденные колебания – колебания системы, происходящие под действием консервативных (восстанавливающих) и возмущающих сил.

Резонанс – явление, при котором частота свободных колебаний совпадает с частотой одной из гармоник возмущающей силы.

Биеение – явление, при котором частота свободных колебаний приблизительно равна частоте одной из гармоник возмущающей силы.

Коэффициент динамичности – отношение амплитуды вынужденных колебаний к статическому отклонению системы под действием постоянной силы, равной амплитуде возмущающей силы.

Динамический гаситель колебаний – специальное устройство для гашения вынужденных колебаний основной системы (объекта)

Демпфер – устройство для устранения или уменьшения колебаний в механических системах.

Ответы

2.1.	-	1	3.1.	-	1
2.2.	-	2	3.2.	-	4
2.3.	-	4	3.3.	-	3
2.4.	-	3	3.4.	-	3
2.5.	-	1	3.5.	-	3
2.6.	-	4	3.6.	-	3
2.7.	-	2	3.7.	-	2
2.8.	-	3	3.8.	-	3
2.9.	-	1	3.9.	-	1
2.10.	-	4	3.10	-	3

5 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

С целью формирования и развития профессиональных навыков используются инновационные образовательные технологии при сочетании аудиторной работы с внеаудиторной. Такими технологиями являются:

- Лекционная система обучения;
- Информационно-коммуникационные технологии
- Проектные методы обучения
- Исследовательские методы в обучении
- Проблемное обучение

Используемые образовательные технологии и методы должны быть направлены на повышение качества подготовки путем развития у обучающихся способностей к самообразованию и нацелены на активацию и реализацию личностного потенциала. Необходимо предусмотреть использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой.

При усвоении дисциплины «Математические модели механики деформируемого твердого тела», с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся, предусмотрено широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций, работа над проектами) в сочетании с внеаудиторной работой

Предусмотрены следующие виды контроля и аттестации обучающихся при освоении дисциплины «Математические модели механики деформируемого твердого тела»:

- Текущий контроль успеваемости;

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплин (модулей) и прохождения практик, он может проводиться в виде коллоквиумов, компьютерного или бланчного тестирования, письменных контрольных работ, оценки участия обучающихся в диспутах, круглых столах, деловых играх, решении ситуационных задач и т.п.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие типы контроля:

- индивидуальное собеседование
- письменные ответы на вопросы

Тестовые задания должны охватывать содержание всего пройденного материала. Индивидуальное собеседование, письменная работа проводятся по разработанным вопросам по отдельному учебному элементу программы (дисциплине).

Важную роль при освоении дисциплины «Основы теории линейных и нелинейных колебаний механической системы» играет самостоятельная работа аспирантов, которая запланирована в размере 81,5 часа. Самостоятельная работа способствует:

- углублению и расширению знаний;
- формированию интереса к самостоятельной научно-исследовательской деятельности;
- овладению приёмами процесса познания;
- развитию познавательных способностей.

Самостоятельная работа аспирантов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускаемых специалистов в соответствии с требованиями к основной образовательной программе высшего профессионального образования.

К самостоятельной работе относятся:

- самостоятельная работа на аудиторных занятиях (лекциях);
- внеаудиторная самостоятельная работа.

В процессе обучения предусмотрены следующие виды самостоятельной работы обучающегося:

- Работа с конспектами лекций.
- Проработка пройденных лекционных материалов по конспекту лекций, учебникам и пособиям на основании вопросов, подготовленных преподавателем;
- Написание рефератов по отдельным разделам дисциплины.
- Проработка дополнительных тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно учебной программе дисциплины;
- Самостоятельное решение сформулированных задач по основным разделам курса.
- Изучение обязательной и дополнительной литературы.
- Подготовка к текущему контролю знаний.

В целях фиксации результатов самостоятельной работы аспирантов по дисциплине проводится контроль самостоятельной работы. Контроль результатов самостоятельной работы осуществляется преподавателем в течение всего семестра.

При освоении дисциплины могут быть использованы следующие формы контроля самостоятельной работы:

- реферат,
- коллоквиум,
- контрольная работа,
- другие по выбору преподавателя.

Аспирант организует самостоятельную работу в соответствии с рабочим учебным планом и графиком, рекомендованным преподавателем. Аспирант должен выполнить объем самостоятельной работы, предусмотренный рабочим учебным планом, максимально используя возможности индивидуального, творческого и научного потенциала для освоения образовательной программы в целом. Самостоятельная работа должна нацеливать аспирантов на получение навыков самостоятельной научной работы, обработки научной информации и носить поисковый характер, нацеливая аспирантов на самостоятельный выбор способов выполнения работы, на развитие у них навыков творческого мышления, инновационных методов решения поставленных задач.

Уровни и критерии итоговой оценки результатов освоения дисциплины

Уровни	Критерии выполнения заданий	Итоговая оценка
Недостаточный	Имеет представление о содержании дисциплины, но не знает основные положения темы, раздела, к которому относится задание, не способен выполнить задание с очевидным решением.	Неудовлетворительн о (незачет)

Базовый		Знает и воспроизводит основные положения дисциплины в соответствии с заданием, применяет их для выполнения типового задания, в котором очевиден способ решения	Удовлетворительно (зачет)
Повышенный	ПУ1	Знает, понимает основные положения дисциплины, демонстрирует умение применять их для выполнения задания, в котором нет явно указанных способов решения. Анализирует элементы, устанавливает связи между ними.	Хорошо (Зачет)
	ПУ2	Знает, понимает основные положения дисциплины, демонстрирует умение применять их для выполнения задания, в котором нет явно указанных способов решения. Анализирует элементы, устанавливает связи между ними, сводит их в единую систему, способен выдвинуть идею, спроектировать и презентовать свой проект (решение).	Отлично (Зачет)