

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 29 » августа 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Основы теории колебаний  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 144 (4)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 13.03.03 Энергетическое машиностроение  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Энергетическое машиностроение (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование комплекса знаний по основам теории и расчета колебаний в энергетических машинах, аппаратах и установках.

Задачи дисциплины:

- изучение основных положений теории колебаний механических систем;
- изучение закономерностей колебательных процессов в энергетических машинах и установках;
- формирование умения выявлять и анализировать физическую сущность динамических процессов, возникающих в энергетических машинах и установках;
- формирование умения строить расчетные схемы и математические модели колебательных систем, применять для их анализа математический аппарат;
- формирование навыков расчета колебаний элементов энергетических машин, аппаратов и установок, обоснованного выбора способов снижения динамических нагрузок с использованием современного математического аппарата и математического моделирования

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- основные понятия, определения и положения теории колебаний механических систем;
- основные свойства линейных и нелинейных колебательных систем;
- способы определения частот свободных колебаний линейных механических систем с конечным и бесконечным числом степеней свободы;
- свободные и вынужденные колебания систем с сопротивлением, пропорциональным скорости, и с внутренним неупругим сопротивлением;
- приближенные способы решения уравнений колебаний нелинейных систем;
- основные сведения о виброзащите и динамическом гашении колебаний;
- расчетные схемы и математические модели типовых колебательных систем в энергетических машинах, аппаратах и установках;
- методы расчета вынужденных колебаний в энергетических машинах, аппаратах и установках;
- критические состояния вращающихся валов и роторов.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ОПК-2	ИД-1ОПК-2	Знать основные понятия, термины и определения теории механических колебаний; классификацию колебательных процессов; целевое назначение расчетных схем колебательных систем; понятия адекватности и идентификации математических моделей колебательных систем; параметры свободных колебаний механических систем (амплитуда, круговая частота, частота, период); свойства нелинейных колебательных систем; понятия собственных частот и форм колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы; особенности колебаний систем с бесконечным числом степеней свободы; уравнения продольных колебаний стержней; понятия амплитудно-частотной характеристики, резонанса, добротности, скелетной кривой; дифференциальные уравнения вынужденных колебаний системы с двумя степенями свободы, понятие антирезонанса.	Знает основные методы и способы изучения и анализа энергетических объектов, области их использования; основные математические, физические законы и закономерности применительно к энергетическим объектам и процессам.	Контрольная работа
ОПК-2	ИД-2ОПК-2	Уметь составлять уравнения колебаний механических систем; находить решения дифференциальных уравнений колебаний механических систем; применять условие ортогональности собственных форм;	Умеет исследовать, анализировать и моделировать реальные виды энергетических объектов; использовать для анализа знания математических, физических законов, закономерностей и их взаимосвязей.	Отчёт по практическом у занятию

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		<p>задавать начальные и граничные условия для колебательных систем; использовать формулы для определения собственных частот стержней; применять метод комплексных амплитуд для решения уравнений вынужденных колебаний; строить амплитудно-частотные характеристики нелинейных систем; определять условия настройки динамического гасителя колебаний; решать уравнения вынужденных колебаний стержней методом разложения по собственным формам.</p>		
ОПК-2	ИД-3ОПК-2	<p>Владеть основными терминами теории колебаний механических систем; методикой решения дифференциальных уравнений вынужденных колебаний методом комплексных амплитуд; приближенными методами анализа свободных и вынужденных колебаний нелинейных механических систем; методикой оценки качества виброзащиты.</p>	<p>Владеет способностью изучать и анализировать основные параметры при решении профессиональных задач; владеет методиками и методами, основанными на математических, физических законах для изучения энергетических объектов.</p>	Экзамен
ОПК-3	ИД-1ОПК-3	<p>Знать типы и характеристики нелинейных элементов в механических колебательных системах; понятие виброзащитной системы, задачи и показатели качества виброзащиты; математическое описание вязкого трения и неупругого сопротивления;</p>	<p>Знает основные рабочие процессы в энергетических машинах и установках и их параметры, определяющие энергетические, экономические, массовые, ресурсные характеристики; методы расчетного анализа, направленные на обеспечение ресурса и надёжности установок.</p>	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		уравнения колебаний ротора на упругих опорах; понятия критического состояния ротора (вала), критической скорости, эффекта самоцентрирования; направления совершенствования способов и средств снижения уровня колебаний в энергетических машинах, аппаратах и установках.		
ОПК-3	ИД-2ОПК-3	Уметь различать виды колебательных процессов; применять и обосновывать допущения при составлении расчетных схем; определять показатели качества виброзащиты (коэффициент передачи силы, коэффициент динамичности).	Умеет определять газодинамические и конструктивные параметры, отвечающие комплексу требований ресурса, надёжности и эффективности энергетических машин; оценивать конструктивные мероприятия по обеспечению ресурса и надёжности, процессы в основных узлах энергетических установок.	Отчёт по практическому занятию
ОПК-3	ИД-3ОПК-3	Владеть способами составления дифференциальных уравнений колебаний; методами расчета собственных частот; методами расчета характеристик затухающих колебаний.	Владеет методами анализа конструкторских решений при проектировании элементов энергетических установок.	Экзамен

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	36	36	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	54	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
5-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Вынужденные колебания элементов энергетических машин и установок	7	0	18	24
<p>Тема 7. Вынужденные колебания линейной системы с одной степенью свободы при наличии сопротивления.</p> <p>Система с сопротивлением, пропорциональным скорости. Система с неупругим сопротивлением. Метод комплексных амплитуд. Амплитудно-частотная характеристика. Резонанс. Добротность.</p> <p>Тема 8. Вынужденные колебания нелинейных систем с одной степенью свободы при отсутствии сопротивления.</p> <p>Приближенные методы анализа вынужденных колебаний нелинейных систем с одной степенью свободы. Амплитудно-частотная характеристика нелинейной системы. Вынужденные колебания кусочно-линейных систем.</p> <p>Тема 9. Общие сведения о виброзащите объектов. Понятие виброзащитной системы. Показатели качества виброзащиты: Коэффициент передачи силы, коэффициент динамичности. Защита объектов от вибрации основания. Защита основания от виброактивного объекта.</p> <p>Тема 10. Вынужденные колебания линейной системы с двумя степенями свободы (на примере динамического гасителя колебаний). Дифференциальные уравнения колебаний и их решение. Резонанс и антирезонанс. Условие настройки гасителя.</p> <p>Тема 11 Вынужденные продольные колебания стержней.</p> <p>Уравнение вынужденных колебаний. Решение методом разложения в ряд по собственным формам.</p> <p>Тема 12. Критические состояния вращающихся валов и роторов.</p> <p>Понятие эксцентриситета. Уравнения колебаний вращающегося вала на опорах. Критическое состояние. Критическая скорость вращения. Эффект самоцентрирования гибких валов. Критические состояния вала (ротора), опирающегося на анизотропные опоры.</p> <p>Заключение.</p> <p>Направления совершенствования способов и средств снижения уровня колебаний в энергетических машинах и установках.</p>				
Свободные колебания элементов энергетических машин и установок	9	0	18	30
<p>Введение.</p> <p>Предмет, задачи и структура дисциплины. Основные понятия и определения. Классификация</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>механических колебаний.</p> <p>Тема 1. Расчетные схемы и математические модели колебательных систем.            Расчетная схема, ее элементы. Целевое назначение расчетной схемы. Принятие и обоснование допущений. Способы составления дифференциальных уравнений колебаний – математической модели. Адекватность математической модели реальной колебательной системе относительно определяющих параметров. Краткие сведения об идентификации математических моделей.</p> <p>Тема 2. Свободные колебания линейных систем с одной степенью свободы без сопротивления.            Уравнение свободных колебаний линейной механической колебательной системы с одной степенью свободы при отсутствии сопротивления. Период и частота собственных колебаний. Собственная угловая частота.</p> <p>Тема 3. Свободные колебания линейных систем с одной степенью свободы при отсутствии сопротивления.            Система с вязким сопротивлением. Система с неупругим сопротивлением. Параметры, характеризующие затухание в системе.</p> <p>Тема 4. Свободные колебания нелинейных систем с одной степенью свободы при отсутствии сопротивления.            Типы нелинейностей в механических колебательных системах. Уравнения, описывающие нелинейные колебания. Приближенные методы анализа свободных нелинейных колебаний. Скелетная кривая. Свободные колебания в кусочно-линейных системах.</p> <p>Тема 5. Свободные колебания систем с двумя степенями свободы. Уравнения колебаний. Собственные частоты и собственные формы колебаний. Условие ортогональности собственных форм.</p> <p>Тема 6. Свободные колебания стержней.            Уравнение продольных колебаний стержней. Решение уравнения методом Фурье. Граничные и начальные условия. Собственные частоты и формы колебаний. Условие ортогональности собственных форм.</p>				
ИТОГО по 5-му семестру	16	0	36	54
ИТОГО по дисциплине	16	0	36	54



## Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Расчет параллельного и последовательного соединения основных элементов колебательных систем
2	Составление расчетных схем и уравнений движения (колебаний)
3	Способы определения собственных частот систем с одной степенью свободы
4	Энергетический способ определения собственной частоты системы с одной степенью свободы
5	Расчет собственных частот крутильных колебаний элементов машин
6	Расчет собственных частот крутильных колебаний валов
7	Определение характеристик затухающих колебаний
8	Свободные колебания в кусочно-линейных системах
9	Расчет вынужденных колебаний, вызванных дисбалансом
10	Динамика плавающего уплотнительного кольца
11	Определение безударного режима движения запорного элемента клапана
12	Динамические свойства датчиков вибрации

### 5. Организационно-педагогические условия

#### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

## 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Ильин М. М. Теория колебаний : учебное пособие для вузов / М. М. Ильин, К. С. Колесников, Ю. С. Саратов. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.	47
2	Кычкин В. И. Прикладная теория колебаний : учебное пособие / В. И. Кычкин. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014.	15
3	Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний : учебное пособие для втузов / Я. Г. Пановко. - Москва: Наука, 1991.	29
4	Паршаков А. Н. Физика колебаний : учебное пособие для вузов / А. Н. Паршаков. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010.	101
5	Светлицкий В. А. Сборник задач по теории колебаний : учебное пособие для втузов / В. А. Светлицкий, И. В. Стасенко. - Москва: Высш. шк., 1979.	16
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Бабаков И. М. Теория колебаний : учебное пособие для вузов / И. М. Бабаков. - Москва: Дрофа, 2004.	111
2	Бидерман В. Л. Теория механических колебаний : учебник для вузов / В. Л. Бидерман. - Москва: Высш. шк., 1980.	35
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Скубов, Д.Ю. Основы теории нелинейных колебаний : учебное пособие / Д.Ю. Скубов. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 320 с.	<a href="https://e.lanbook.com/book/30203">https://e.lanbook.com/book/30203</a>	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Кычкин В. И. Прикладная теория колебаний : учебное пособие / В. И. Кычкин. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3634">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3634</a>	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Паршаков А. Н. Физика колебаний : учебное пособие для вузов / А. Н. Паршаков. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3181">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3181</a>	сеть Интернет; свободный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS (лиц. 1062978 )

## 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	<a href="https://техэксперт.сайт/">https://техэксперт.сайт/</a>

### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютер	12

### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Основы теории колебаний»**

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	<u>13.03.03 Энергетическое машиностроение</u>
<b>Направленность:</b>	<u>Энергетическое машиностроение (общий профиль, СУОС)</u>
<b>Квалификация выпускника:</b>	<u>бакалавр</u>
<b>Выпускающая кафедра:</b>	<u>Ракетно-космическая техника и энергетические системы</u>
<b>Форма обучения:</b>	<u>очная</u>

**Курс:** 3 **Семестр(ы):** 5

**Трудоёмкость:**  
Кредитов по рабочему учебному плану: 4 ЗЕ  
Часов по рабочему учебному плану: 144 ч

**Виды контроля:**  
Экзамен: 5 семестр    Зачёт: –    Курсовая работа: –

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Основы теории колебаний». Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (5-ый семестр учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического и практического материала. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Промежуточный	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Экзамен	Зачёт
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>3.1</b> знать классификацию колебательных процессов, основные элементы расчетных схем и их обозначение, способы составления уравнений колебаний.		ТО1		КР1	ТВ	
<b>3.2</b> знать характеристики свободной системы колебаний без и с демпфированием, типы нелинейностей в механических колебательных системах и способы решения уравнений колебаний с нелинейными характеристиками		ТО1		КР1	ТВ	
<b>3.3</b> знать этапы решения задачи о колебаниях свободной системы с двумя степенями свободы		ТО1		КР1	ТВ	
<b>3.4</b> знать уравнения вынужденных колебаний линейной и нелинейной системы и подходы к их решению		ТО2		КР2	ТВ	
<b>3.5</b> знать задачи виброзащиты		ТО2		КР2	ТВ	
<b>3.6</b> знать основы постановки и решения задач о критическом состоянии вращающихся валов и роторов		ТО2		КР2	ТВ	

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Промежуточный	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Экзамен	Зачёт
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1</b> уметь составлять и решать математические модели свободных колебаний в линейных и нелинейных системах с одной степенью свободы без и с демпфированием.		ТО1		КР1	ПЗ	
<b>У.2</b> уметь составлять и решать математические модели свободных колебаний в линейных и нелинейных системах с двумя степенями свободы		ТО1		КР1	ПЗ	
<b>У.3</b> уметь составлять и решать математические модели вынужденных колебаний в линейных и нелинейных системах с одной и двумя степенями свободы без и с демпфированием.		ТО2		КР2	ПЗ	
<b>Приобретенные владения</b>						
<b>В.1</b> владеть методами составления и решения математических моделей свободных колебаний в линейных и нелинейных системах с одной степенью свободы без и с демпфированием.		ТО1		КР1	КЗ	
<b>В.2</b> владеть методами составления и решения математических моделей свободных колебаний в линейных и нелинейных системах с двумя степенями свободы		ТО1		КР1	КЗ	
<b>В.3</b> владеть методами составления и решения математических моделей вынужденных колебаний в линейных и нелинейных системах с одной и двумя степенями свободы без и с демпфированием.		ТО2		КР2	КЗ	

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание экзамена.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости

лекционных занятий;

– промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

– межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

– контроль остаточных знаний.

## **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-бальной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 2 рубежных контрольных работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины: КР 1 – по модулю 1 «Свободные колебания элементов энергетических машин и установок», КР 2 – по модулю 2 «Вынужденные колебания элементов энергетических машин и установок».

#### **Типовые задания КР:**

1. Что такое расчетная схема. Требования, предъявляемые к ней.
2. Записать формулы для определения критических скоростей вращения ротора с дисбалансом.
3. Продемонстрируйте применение принципа Даламбера для составления уравнений колебаний.
4. Записать условие настройки динамического гасителя колебаний.
5. Раскрыть основные положения, связанные с защитой объекта от вибрирующего основания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.



## **2.3. Промежуточная аттестация**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска является положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам.

Экзаменационный билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций. Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

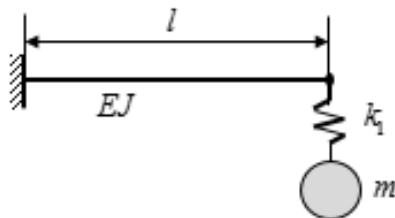
1. Классификация механических колебаний.
2. Расчетная схема колебательной системы: назначение, допущения, основные элементы.
3. Способы составления уравнений движения колебаний системы.
4. Основные параметры колебательной системы с демпфированием.
5. Задачи виброзащиты.

#### **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

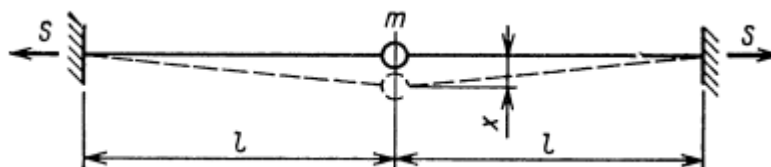
1. Поясните графический способ определения постоянной времени затухающих колебаний.
2. Продемонстрировать использование энергетического способа определения собственных частот на примере механической колебательной системы с одной степенью свободы.
3. Составить уравнение движения ротора с анизотропными опорами в проекции на оси координат.

#### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. Определить период собственных колебаний системы. Длина балки  $l = 1$  м. Модуль упругости  $E = 21 \cdot 10^4$  МПа. Момент инерции поперечного сечения балки  $J = 78 \cdot 10^{-8}$  м<sup>4</sup>. Жесткость балки  $k = 3EJ/l^3$  Н/м. Вес груза  $W = 1500$  Н. Жесткость пружины  $k_1 = 1.75 \cdot 10^5$  Н/м. Собственным весом балки пренебречь.



2. Небольшой шар массой  $m$  прикреплен в середине к туго натянутому тросу длиной  $2l$ . Трос не сопротивляется изгибу и имеет большое предварительное натяжение  $S$ . Определить, чему равен период колебаний.



3. Подвешенный на пружине груз весом  $W = 9.1$  Н колеблется с периодом  $T_d = 0.5$  с. Демпфирование таково, что после десяти полных циклов колебаний амплитуда уменьшается от  $x_1 = 0.051$  м до  $x_2 = 0.0255$  м. Определить коэффициент вязкого демпфирования.

Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

### 2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-бальной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## 3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов компетенций

### 3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене или зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-бальной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.



**пермский  
политех**  
МИНОБНАУКИ РОССИИ  
ФГАОУ ВО «Пермский национальный  
исследовательский политехнический  
университет» (ПНИПУ)

**Направление**  
13.03.03 Энергетическое машиностроение

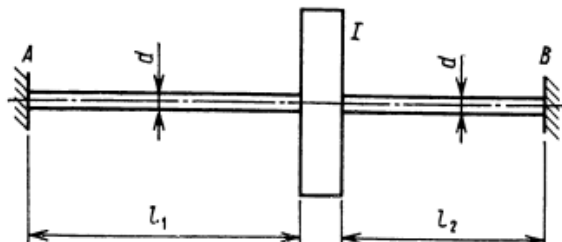
**Направленность**  
Энергетическое машиностроение

**Кафедра**  
«Ракетно-космическая техника и  
энергетические системы»

**Дисциплина**  
«Основы теории колебаний»

### БИЛЕТ № 1

1. Формы собственных колебаний системы с двумя степенями свободы и их ортогональность.
2. Частное решение продольных колебаний стержня с жестко закрепленными концами.
3. Определить частоты крутильных колебаний диска, если концы  $A$  и  $B$  вала жестко заделаны. Обе части вала имеют один и тот же диаметр  $d$ , но их длины  $l_1$  и  $l_2$  различны, сечение вала круглое. Момент инерции массы диска равен  $I$ , модуль упругости при сдвиге равен  $G$ .



Составитель

\_\_\_\_\_

(подпись)

Пальчиковский В.В.

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

(подпись)

Соколовский М.И.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202 \_\_\_\_ г.