

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор передовой инженерной
школы радиолокации,
радионавигации и программной
инженерии**

М.А. Кудров

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Теория упругих колебаний летательных аппаратов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы
	Физтех-школа авиационных и цифровых технологий
	кафедра прочности летательных аппаратов
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: М.Ч. Зиченков, канд. техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры прочности летательных аппаратов 15.03.2024

Аннотация

Дисциплина "Теория упругих колебаний летательных аппаратов" охватывает широкий круг научно-методических вопросов, возникающих при исследованиях колебательных систем: математическое и физическое моделирование, методика проведения испытаний моделей аэроупругих моделей ЛА и гражданских сооружений в АДТ, частотные испытания натурных конструкций ЛА, исследование аэроупругой устойчивости ЛА с САУ, экспериментальные исследования колебаний ракет, вертолетов, воздушных винтов и т.д.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение основных разделов теории колебаний. В курсе излагаются основные законы колебательных процессов в физике и технике, а также изучение методов теоретического и экспериментального исследования различных колебательных систем и ЛА.

Задачи дисциплины

- содержание курса охватывает широкий круг научно-методических вопросов, возникающих при исследованиях колебательных систем: математическое и физическое моделирование, методика проведения испытаний моделей аэроупругих моделей ЛА и гражданских сооружений в АДТ, частотные испытания натурных конструкций ЛА, исследование аэроупругой устойчивости ЛА с САУ, экспериментальные исследования колебаний ракет, вертолетов, воздушных винтов и т.д.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории колебаний;
- порядки численных величин, характерные для колебательных процессов;
- современные проблемы и подходы к решению задач безопасности ЛА от флаттера, бафтинга, шимми колес шасси, земного резонанса вертолетов, задач аэроупругой устойчивости ЛА с САУ, колебаний ракет;
- основные особенности колебательных процессов ЛА и методы управления колебаниями.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Типы процессов, их особенности.		2		2
2	Виды и особенности колебаний ЛА.		4		1
3	Понятие о методах исследований упругих колебаний ЛА. Цели исследований, теория, расчет, эксперимент, их соотношение особенности и необходимость на разных этапах создания ЛА.		3		1
4	Задачи об упругих колебаниях ЛА. Флаттер.		3		1
5	Колебания системы «упругий ЛА-САУ», примеры из практики.		2		2
6	Бафтинг, колебания в неспокойном воздухе.		2		2
7	Вибрации винтов.		2		2
8	Шимми колес шасси. Примеры расчетно-экспериментальных исследований колес шасси.		2		1
9	Колебания вертолётов. Земной резонанс.		4		1
10	Колебания ракет.		3		1
11	Способы пассивного и активного управления колебаниями ЛА, устройства для демпфирования колебаний.		3		1
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Типы процессов, их особенности.

Общая классификация колебательных процессов (свободные, вынужденные, параметрические, автоколебания) и систем.

2. Виды и особенности колебаний ЛА.

Колебания на земле и в потоке, нагрузки и прочность при колебаниях. Динамика полета и упругие колебания конструкции, подвижность топлива, влияние системы управления, формы колебаний агрегатов и полной конструкции.

3. Понятие о методах исследований упругих колебаний ЛА. Цели исследований, теория, расчет, эксперимент, их соотношение особенности и необходимость на разных этапах создания ЛА.

Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Амплитуда смещения и фаза вынужденных колебаний. Понятие о резонансе.

4. Задачи об упругих колебаниях ЛА. Флаттер.

Постановка задачи, способы решения.

5. Колебания системы «упругий ЛА-САУ», примеры из практики.

Рассматриваются программы выбора основных параметров бортовой системы стабилизации на начальном этапе проектирования ЛА, а также программы анализа аэроупругой устойчивости контура «упругий ЛА - САУ».

6. Бафтинг, колебания в беспокойном воздухе.

Понятие Бафтинг, как описание вида колебаний, представляющий собой вынужденные колебания.

7. Вибрации винтов.

Типы вибраций. способы прогнозирования и компенсации.

8. Шимми колес шасси. Примеры расчетно-экспериментальных исследований колес шасси.

Примеры расчетно-экспериментальных исследований колес шасси. Примеры из практики.

9. Колебания вертолётов. Земной резонанс.

Колебания лопастей винта вертолёт в плоскости его вращения и фюзеляжа или другой поддерживающей винт, конструкции, вызывающие перемещения втулки винта в плоскости его вращения. Примеры из практики.

10. Колебания ракет.

Причины колебания. способы устранения.

11. Способы пассивного и активного управления колебаниями ЛА, устройства для демпфирования колебаний.

Наличие устойчивого предельного цикла на фазовой плоскости, их амплитуда и период. Математическая модель автоколебательной системы.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Аэроупругость [Текст], Aeroelasticity/Р. Л. Бисплингхофф, Х. Эшли, Р. Л. Халфмэн, -М., Изд-во иностр. лит., 1958
2. Введение в теорию колебаний [Текст] / С. П. Стрелков - М.Гос. изд. техн.-теоретич. лит-ры, 1950

Дополнительная литература

1. Динамические нагрузки на самолет [Текст]/О. А. Кузнецов, -М., Физматлит, 2008
2. Введение в теорию построения комплексных моделей в прикладных исследованиях [Текст] / А. Н. Ворошук ; Московский физико-технический ин-т - М.МФТИ, 1994

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

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

На семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину "Теория упругих колебаний ЛА", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра прочности летательных аппаратов
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	М.Ч. Зиченков, канд. техн. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория упругих колебаний летательных аппаратов» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории колебаний;
- порядки численных величин, характерные для колебательных процессов;
- современные проблемы и подходы к решению задач безопасности ЛА от флаттера, бафтинга, шимми колес шасси, земного резонанса вертолетов, задач аэроупругой устойчивости ЛА с САУ, колебаний ракет;
- основные особенности колебательных процессов ЛА и методы управления колебаниями.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Собственные колебания систем с линейным трением. Физическая природа рассеяния энергии при колебаниях конструкций. Логарифмический декремент колебаний.
2. Флаттер. Флаттер прямого консольно защемленного крыла. Изгибно-крутильный флаттер крыла. Методы и средства предотвращения флаттера.
3. Бафтинг.
4. Шимми. Расчет колес ЛА на шимми.
5. Колебания при полете в неспокойном воздухе, взлете и посадке. "Маховая тряска".
6. Колебания несущих винтов. «Земной резонанс».
7. Динамическая прочность воздушного винта. Расчет частот и форм собственных изгибных и крутильных колебаний лопасти. Диаграмма Кэмпбелла.

8. Взаимодействие упругих колебаний корпуса и перемещения жидкого топлива в баках. Колебания ракет.
9. Эксперимент на динамически подобных моделях в аэродинамических трубах. Частотные испытания. Жесткостные испытания. Методы измерения вибраций ЛА в полете.
10. Теория частотных испытаний. Одноточечное и многоточечное возбуждение.
11. Схематизация конструкции ЛА. Балочная схематизация ракет и самолетов с крыльями большого удлинения.
12. Уравнения колебаний свободного самолета. Учет при исследовании упругих колебаний степеней свободы самолета как жесткого тела. «Нулевые тона» собственных колебаний свободного самолета.
13. Акустические вибрации.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Виды и особенности упругих колебаний летательных аппаратов. Колебания упругого самолета с системой автоматического управления.
2. Изгибные упругие колебания балки постоянного поперечного сечения.
3. Изгибная жесткость. "Крутильная" жесткость (по Бредту). Центр изгиба. Ось жесткости. Уравнения изгибных и крутильных колебаний стержней.
4. Метод заданных форм. Методы Бубнова-Галеркина, Ритца в задачах об упругих колебаниях.
5. Уравнения собственных и вынужденных колебаний конструкций в матричной форме. Коэффициенты инерции и жесткости. Их свойства.
6. Формы и частоты собственных колебаний. Условия ортогональности форм колебаний.
7. Вынужденные колебания систем без трения. Резонанс.
8. Вынужденные колебания систем с линейным трением. Амплитудный и фазовый резонансы. Передаточные функции.
9. Понятие о методах исследования упругих колебаний летательных аппаратов (ЛА).
10. Механические свойства твердых деформируемых тел. Пластичность. Идеально упругое тело.
11. Дифференциальные уравнения равновесия. Напряжения на наклонных площадках. Граничные условия на поверхности.
12. Понятие тензора и девиатора напряжений.
13. Интенсивность напряжений. Интенсивность касательных напряжений.
14. Максимальные касательные напряжения. Круги Мора.
15. Перемещения и компоненты деформаций. Геометрические соотношения Коши.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

Зачет выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Незачет выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

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

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.