

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

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Численное моделирование динамического нагружения конструкций
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра космических летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

В.В. Сидоров, канд. техн. наук

А.Ю. Бондаренко

Программа обсуждена на заседании кафедры космических летательных аппаратов 20.08.2021

Аннотация

Курс "Численное моделирование динамического нагружения конструкций" относится к вариативной части образовательной программы.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные в процессе освоения дисциплины "Введение в механику сплошных сред", "Статистическая динамика деформируемых конструкций", "Дифференциальные уравнения", "Математический анализ".

Изучение учебной дисциплины направлено на углубление и расширение базовой профессиональной подготовки магистранта, формирование соответствующих компетенций.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- Цель курса «Численное моделирование динамического нагружения конструкций» — формирование базовых знаний по методам расчета динамического нагружения конструкций ракет-носителей (РН) и космических аппаратов (КА), формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

- приобретение базовых знаний в области динамического поведения упругих конструкций;
- освоение методов построения математических моделей РН и КА для описания динамического нагружения конструкций с учетом требований к результатам расчетов;
- приобретение базовых знаний в области численного решения задач динамического нагружения конструкций, анализа степени достоверности полученных результатов;
- приобретение навыков анализа современной инженерной литературы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ОПК-1 Способен к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов	ОПК-1.1 Понимает принципы работы используемого оборудования
	ОПК-1.2 Способен проводить эксперимент с использованием исследовательского оборудования
	ОПК-1.3 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ОПК-1.4 Знает основные правила поведения и работы в научной лаборатории
ПК-1 Способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в области технической физики
	ПК-1.2 Способен ставить задачи в области профессиональной деятельности, предлагать пути их решения

теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты

ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основы физических процессов динамического нагружения конструкций ракет-носителей и их составных частей при наземной и летной эксплуатации;
- программные комплексы, применяемые для расчетного анализа нагружения конструкций, и используемые в них численные методы решения задач;
- методы построения цифровых расчетных сеток различных типов.

уметь:

- применять реализованные в пакетах физические модели в зависимости от поставленной задачи;
- работать с современной научной литературой;
- обрабатывать и визуализировать полученные результаты расчетов;
- оценивать степень достоверности численных решений технических задач, делать правильные выводы из полученных расчетных данных.

владеть:

- теоретическим и понятийным аппаратом, используемым в области механики твердого тела и динамики конструкций;
- навыками самостоятельной работы;
- навыками постановки и решения задач нагружения конструкций в программных пакетах;
- практикой решения прикладных задач в программных пакетах.

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	Основы динамического анализа. Методы численного решения задач динамического нагружения в программных комплексах.		15		24
2	Основы построения расчетных моделей конструкций и проведения численных расчетов.		15		36
Итого часов			30		60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Основы динамического анализа. Методы численного решения задач динамического нагружения в программных комплексах.

Описание процесса динамического анализа. Типы динамического анализа. Уравнения движения. Единицы измерения в динамическом анализе. Согласованность размерностей. Инерционные характеристики. Матрица масс. Диссипативные характеристики. Анализ собственных частот и форм колебаний. Гармонический анализ. Модальный метод и метод прямого интегрирования уравнений движения. Усечение частот при модальном методе. Анализ переходных процессов. Способы повышения эффективности динамического анализа. Возможности решения сложных динамических задач.

2. Основы построения расчетных моделей конструкций и проведения численных расчетов.

Обзор пакетов программ для решения задач динамического нагружения конструкций. Выбор методов построения расчетных сеток. Особенности их построения. Прямой ввод матриц масс, жесткости и демпфирования. Основные мотивы вычисления собственных частот и форм колебаний. Методы расчета. Эффективная модальная масса. Оценка возможности некоторого набора форм представлять решение. Задание частотно-зависимого внешнего воздействия, определение пространственного распределения нагрузки, комбинирование динамических нагрузок. Анализ переходных процессов. Выбор шага интегрирования уравнений движения. Начальные условия. Статическое преднагружение. Команды управления решением. Использование рестартов. Методы редуцирования конечноэлементных моделей. Практические примеры проведения расчетов.

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

Учебная аудитория, проектор, доска, компьютер.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Литература кафедры:

1. Динамика конструкций и определение нагрузок. А.И. Лиходед. Королев, 2020.
2. Конечные элементы и аппроксимация. Зенкевич О., Морган К. М., Мир, 1986.
3. Теория колебаний. Бабаков, И.М., М.: «Наука», 1968 г.

Дополнительная литература

Литература кафедры:

1. Основы отработки прочности ракетно-космических конструкций. Кармишин А.В., Лиходед А.И., Паничкин Н.Г., Сухинин С.Н., Москва: Изд. «Машиностроение», 2007 г.
2. Случайные колебания. Кренделл С., М.: Мир, 1967 г. – 356 с.
3. MSC.Nastran Guide. Basic Dynamics. Advanced Dynamics.

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

<http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтех

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

Пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), программные пакеты (учебные версии) INTEL FORTRAN, NASTRAN, FEMAP.

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

Для успешного освоения дисциплины, помимо посещения семинаров, от студентов требуется выполнение самостоятельной работы. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- ознакомление с актуальной научной литературой;
- решение практических задач при выполнении домашних заданий;
- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе).

Руководство и контроль над самостоятельной работой студента осуществляется в результате индивидуальных консультаций. Показателем владения материалом служит умение ставить и решать технические задачи.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра космических летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

В.В. Сидоров, канд. техн. наук

А.Ю. Бондаренко

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ОПК-1 Способен к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов	ОПК-1.1 Понимает принципы работы используемого оборудования
	ОПК-1.2 Способен проводить эксперимент с использованием исследовательского оборудования
	ОПК-1.3 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ОПК-1.4 Знает основные правила поведения и работы в научной лаборатории
ПК-1 Способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в области технической физики
	ПК-1.2 Способен ставить задачи в области профессиональной деятельности, предлагать пути их решения
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Численное моделирование динамического нагружения конструкций» обучающийся должен:

знать:

- основы физических процессов динамического нагружения конструкций ракет-носителей и их составных частей при наземной и летной эксплуатации;
- программные комплексы, применяемые для расчетного анализа нагружения конструкций, и используемые в них численные методы решения задач;
- методы построения цифровых расчетных сеток различных типов.

уметь:

- применять реализованные в пакетах физические модели в зависимости от поставленной задачи;
- работать с современной научной литературой;
- обрабатывать и визуализировать полученные результаты расчетов;
- оценивать степень достоверности численных решений технических задач, делать правильные выводы из полученных расчетных данных.

владеть:

- теоретическим и понятийным аппаратом, используемым в области механики твердого тела и динамики конструкций;
- навыками самостоятельной работы;
- навыками постановки и решения задач нагружения конструкций в программных пакетах;
- практикой решения прикладных задач в программных пакетах.

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

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

Текущий контроль осуществляется в форме работы на семинарах и выполнения самостоятельных работ.

Примерные темы работ:

Метода расчета собственных частот и форм колебаний.

Типы конечных элементов и расчетных сеток.

Разработка расчетной модели, анализ ее динамических характеристик.

Решение задачи о гармоническом воздействии на конструкцию различными методами.

Решение задачи о импульсном нагружении свободной конструкции.

Редуцированное расчетной модели.

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

Примеры билетов для дифференцированного зачета:

БИЛЕТ №1

1. Основы динамического анализа. Уравнения движения. Описание процесса динамического анализа. Типы динамического анализа.
2. Единицы измерения в динамическом анализе. Согласованность размерностей.

БИЛЕТ №2

1. Прямой ввод матриц. Инерционные характеристики модели. Матрица масс. Матрица жесткости. Диссипативные характеристики. Конструкционное и вязкое демпфирование.
2. Анализ собственных частот и форм колебаний. Мотивы вычисления собственных частот и форм колебаний.

БИЛЕТ №3

1. Анализ собственных частот и форм колебаний. Методы расчета (методы Ланцоша, Гивенса, Хаусхолдера). Метод итераций подпространства. Сравнительный анализ эффективности методов.
2. Метод конечных элементов. Основные типы моделей конструкций и конечных элементов. Структура расчетного файла в программном комплексе Nastran.

БИЛЕТ №4

1. Эффективная модальная масса. Оценка возможности некоторого набора форм представлять решение.
2. Формы движения конструкции как абсолютно жесткого тела. Энергия деформаций как инструмент диагностики. Метод “Inertia relief”.

БИЛЕТ №5

1. Анализ отклика на установившееся воздействие (гармонический анализ). Модальный метод и метод прямого интегрирования уравнений движения. Особенности применения методов.
2. Команды управления решением. Структура расчетного файла в программном комплексе Nastran.

БИЛЕТ №6

1. Анализ отклика на установившееся воздействие. Модальный метод. Усечение частот при модальном методе. Выбор частот возбуждения, способы их задания. Задание частотно-зависимого внешнего воздействия, определение пространственного

распределения нагрузки, комбинирование динамических нагрузок. Кинематическое возбуждение конструкции.

2. Задание демпфирования при прямом и модальном методах решения задачи об отклике на установившееся воздействие.

БИЛЕТ №7

1. Анализ отклика на нестационарное динамическое воздействие. Общие положения. Модальный метод и метод прямого интегрирования уравнений движения. Особенности применения методов.

2. Команды управления решением. Структура расчетного файла в программном комплексе Nastran.

БИЛЕТ №8

1. Анализ отклика на нестационарное динамическое воздействие. Применение модального метода. Выбор диапазона частот при модальном методе. Выбор шага интегрирования уравнений по времени. Задание внешнего воздействия, зависящего от времени, определение пространственного распределения нагрузки, комбинирование динамических нагрузок. Начальные условия. Статическое преднапряжение.

2. Задание демпфирования при прямом и модальном методах решения задачи об отклике на нестационарное динамическое воздействие.

БИЛЕТ №9

1. Способы повышения эффективности динамического анализа. Использование дополнительных векторов (функций) для улучшения точности решения. Метод модальных ускорений

2. Использование рестартов в динамическом анализе.

БИЛЕТ №10

1. Методы редуцирования конечноэлементных моделей. Анализ репрезентативности моделей.

2. Команды управления решением. Структура расчетного файла в программном комплексе Nastran.

Критерии оценивания:

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал билета, грамотно и по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении контрольных, самостоятельных работ и тестов, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал билета, по

существо излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении контрольных, самостоятельных работ и тестов, но допускает в ответе или в решении задач много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал билета, излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении контрольных, самостоятельных работ и тестов, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, если во время ответа билета, при выполнении контрольных, самостоятельных работ и тестов он показал фрагментарный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа билета, при выполнении контрольных, самостоятельных работ и тестов он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

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

Время проведения дифференцированного зачета составляет 1.5 часа, на подготовку обучающемуся предоставляется не менее 40 минут.

Во время проведения дифференцированного зачёта при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами семинаров и любой другой литературой.

Во время проведения дифференцированного зачёта при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами семинаров и любой другой литературой.