

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор института-заместитель  
директора ФАКТ**

**А.А. Погодаев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Инженерные расчеты
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра технологий проектирования сложных технических систем
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

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

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.В. Воеводенко

Программа обсуждена на заседании кафедры технологий проектирования сложных технических систем  
13.04.2022

## Аннотация

Курс "Инженерные расчеты" составлен на основе опыта расчетного сопровождения создания современных средств ВКО и ПВО, а также иных изделий специального и гражданского назначения в плане обеспечения необходимых требований прочности конструкций. Поскольку современные инженерные расчеты в большинстве случаев подразумевают обязательное использование САЕ-систем, то изложение материалов курса построено на базе обучения работе в программном комплексе Ansys Workbench. Последовательно рассматриваются все модули Ansys, предназначенные для проведения расчетов динамики и прочности. По каждому из видов расчетов дается необходимый теоретический минимум, рассматриваются характерные аналитические задачи, после чего материал закрепляется путем рассмотрения нескольких примеров непосредственно в Ansys Workbench. Материал излагается в объеме, достаточном для дальнейшего самостоятельного углубленного изучения.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

1. Подготовка кадров, способных на современном инженерно-техническом уровне проводить расчеты динамики и прочности сложных конструкций;
2. Получение навыков составления уравнений, описывающих динамику, кинематику и статику механизмов агрегатов, составлять модели функционирования сложных конструкций;
3. Обучение математическому моделированию механических процессов;
4. Обучение проведению расчетов динамики и прочности.

### Задачи дисциплины

1. Формирование навыков составления уравнений движения твердого тела практическое освоение численных методов решения дифференциальных уравнений;
2. Получение общего представления о типах напряженно-деформированного состояния конструкции;
3. Обзор математических моделей материалов и теорий прочности материалов;
4. Изучение типов нелинейностей в задачах механики;
5. Получения навыков решения задач статики (линейная и нелинейная статика, расчет критических нагрузок и потери устойчивости);
6. Получения навыков решения задач динамики в (переходные процессы, модальный, гармонический и спектральный анализ).

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

Теоретические основы, основные принципы и особенности проведения расчетов динамики и прочности конструкций. Принципы формирования расчетных случаев. Теоретические основы численных методов проведения расчетов динамики и прочности.

уметь:

Составлять уравнения, описывающие динамику, кинематику и статику конструкций и механизмов. Анализировать напряженно-деформированное состояние конструкций. Проводить численное моделирование механических процессов.

владеть:

Теоретическими инструментарием для создания математических моделей работы сложных механических конструкций, а также навыками решения задач динамики и прочности конструкций.

#### 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 теоретической механики. Анализ механизмов.		3		3
2	Анализ механизмов в Ansys Workbench. Модуль Rigid Dynamics.		3		3
3	Напряжения и деформации. Напряженное состояние в точке.		3		3
4	Статическая прочность в Ansys Workbench. Модуль Static Structural.		3		3
5	Области концентрации напряжений. Вычислительная концентрация.		3		3
6	Математические модели материалов. Теории прочности.		3		3
7	Материалы в Ansys Workbench. Модуль Engineering Data.		3		3
8	Нелинейные расчеты в Ansys Workbench.		3		3
9	Устойчивость конструкций.		3		3
10	Расчет устойчивости в Ansys Workbench. Модуль Eigenvalue Buckling. Нелинейные расчеты устойчивости.		3		3
11	Уравнения движения твердого тела.		3		3
12	Численное решение дифференциальных уравнений.		3		3
13	Динамическая прочность в Ansys Workbench. Модуль Transient Structural.		3		3
14	Задачи линейной динамики.		2		2
15	Линейная динамика в Ansys Workbench. Модули Modal, Harmonic Response, Response Spectrum, Random Vibration.		2		2
16	Демпфирование.		2		2
Итого часов			45		45

Подготовка к экзамену	0 час.
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.

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

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Основы теоретической механики. Анализ механизмов.

Равновесие тел. Параллельный перенос осей системы координат. Формула Штейнера. Тензор инерции. Главные оси. Балансировка вращающихся конструкций. Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр вращения фигуры. Определение скоростей узлов кривошипно-шатунного механизма. Теорема о разложении ускорений точки. Определение ускорений узлов кривошипно-шатунного механизма.

##### 2. Анализ механизмов в Ansys Workbench. Модуль Rigid Dynamics.

Основы работы в модуле Rigid Dynamics. Решение задач анализа сложных механизмов.

##### 3. Напряжения и деформации. Напряженное состояние в точке.

Общие положения теории упругости. Напряжения. Перемещения и деформации.

##### 4. Статическая прочность в Ansys Workbench. Модуль Static Structural.

Основы работы в модуле Static Structural. Решение задач статической прочности сложных конструкций.

##### 5. Области концентрации напряжений. Вычислительная концентрация.

Теоретические основы. Расчетные схемы в МКЭ. Вычислительные концентраторы напряжений. Использование различных типов конечных элементов для моделирования одной и той же задачи. Расчет коэффициентов запаса сварных швах. Классические примеры концентрации напряжений.

##### 6. Математические модели материалов. Теории прочности.

Формулировка деформаций. Модели с пластичностью, не зависящей от скорости деформаций. Пластичность, зависящая от скорости деформаций. Ползучесть. Вязкопластичность. Вязкоупругость. Модель Стейнберга-Гуиана. Бетоны. Классические теории прочности материалов.

##### 7. Материалы в Ansys Workbench. Модуль Engineering Data.

Создание модели материала в модуле Engineering Data. Библиотека материалов.

##### 8. Нелинейные расчеты в Ansys Workbench.

Задачи с физической нелинейностью. Задачи с геометрической нелинейностью. Нелинейные контакты.

##### 9. Устойчивость конструкций.

Модельные задачи, методы исследования устойчивости упругих систем, определение критических нагрузок. Задача Эйлера об устойчивости сжатого стержня. Устойчивость конструкций. Устойчивость стержней с различными видами закрепления. Устойчивость пластин и оболочек

10. Расчет устойчивости в Ansys Workbench. Модуль Eigenvalue Buckling. Нелинейные расчеты устойчивости.

Основы работы в модуле Eigenvalue Buckling. Решение задач устойчивости сложных конструкций.

11. Уравнения движения твердого тела.

Общие положения. Уравнение вращения твердого тела вокруг неподвижной оси. Плоскопараллельное движение. Уравнение движения в общем виде.

12. Численное решение дифференциальных уравнений.

Общие положения. Метод Эйлера для обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Рунге–Кутты для обыкновенных дифференциальных уравнений. Сравнение численных решений с аналитическим. Решение дифференциальных уравнений в задачах динамики.

13. Динамическая прочность в Ansys Workbench. Модуль Transient Structural.

Основы работы в модуле Transient Structural. Решение задач динамики сложных конструкций. Предварительное напряжение. Учет нелинейностей.

14. Задачи линейной динамики.

Расчёт собственных частот и форм колебаний. Гармонический анализ. Спектральный анализ. Анализ случайных колебаний.

15. Линейная динамика в Ansys Workbench. Модули Modal, Harmonic Response, Response Spectrum, Random Vibration.

Основы работы в модулях Modal, Harmonic Response, Response Spectrum, Random Vibration. Связанные задачи.

16. Демпфирование.

Затухающие колебания и демпфирование при решении задач динамики. Механизмы демпфирования в ANSYS Mechanical.

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

Необходимое оборудование для занятий: компьютер (ноутбук) и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Сопротивление материалов [Текст], учебник для вузов /В. И. Феодосьев. -М., Наука, 1979
2. Введение в теорию разностных схем [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А. А. Самарский .— М : Наука, 1971 .— 552 с.
3. Устойчивость разностных схем [Текст]/А. А. Самарский, А. В. Гулин, -М., Едиториал УРСС, 2005

4. Динамическая механика разрушения [Текст]/В. З. Партон, В. Г. Борисковский, -М., Машиностроение, 1985
5. Введение в численные методы [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский .— М. : Наука, 1982 .— 272 с.
6. Сопротивление материалов [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Ильющин, В. С. Ленский .— М. : Физматгиз, 1959 .— 371 с.

#### Дополнительная литература

1. Динамическое разрушение твердых тел [Текст]/В. С. Никифоровский, Е. И. Шемякин, -Новосибирск, Наука, 1979

### **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)**

1. <https://www.wikipedia.org/>
2. <https://www.cadfem-cis.ru/>
3. <https://www.ansys.com/>
4. <https://cae-club.ru/forum>

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

В результате изучения дисциплины «Инженерные расчеты» обучающийся должен:

знать: Теоретические основы, основные принципы и особенности проведения расчетов динамики и прочности конструкций. Принципы формирования расчетных случаев. Теоретические основы численных методов проведения расчетов динамики и прочности.

уметь: Составлять уравнения, описывающие динамику, кинематику и статику конструкций и механизмов. Анализировать напряженно-деформированное состояние конструкций. Проводить численное моделирование механических процессов.

владеть: Теоретическими инструментарием для создания математических моделей работы сложных механических конструкций, а также навыками решения задач динамики и прочности конструкций.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

**по направлению:** Информатика и вычислительная техника  
**профиль подготовки:** Программная инженерия  
передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии  
кафедра технологий проектирования сложных технических систем  
**курс:** 4  
**квалификация:** бакалавр

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

**Разработчик:** А.В. Воеводенко

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Инженерные расчеты» обучающийся должен:

### знать:

Теоретические основы, основные принципы и особенности проведения расчетов динамики и прочности конструкций. Принципы формирования расчетных случаев. Теоретические основы численных методов проведения расчетов динамики и прочности.

### уметь:

Составлять уравнения, описывающие динамику, кинематику и статику конструкций и механизмов. Анализировать напряженно-деформированное состояние конструкций. Проводить численное моделирование механических процессов.

### владеть:

Теоретическими инструментарием для создания математических моделей работы сложных механических конструкций, а также навыками решения задач динамики и прочности конструкций.

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

1. Равновесие тел. Формула Штейнера. Тензор инерции. Главные оси.
2. Мгновенный центр скоростей и мгновенный центр вращения фигуры.
3. Определение скоростей и ускорений узлов кривошипно-шатунного механизма .
4. Закон Гука и принцип независимости действия сил. Обобщенный закон Гука.
5. Напряженное состояние в точке. Тензор напряжения и главные напряжения. Тензор деформаций.
6. Вычислительные концентраторы напряжений. Классические примеры концентрации напряжений
7. Модели материалов с пластичностью
8. Ползучесть. Вязкопластичность. Вязкоупругость.
9. Классические теории прочности материалов
10. Задачи с физической нелинейностью. Задачи с геометрической нелинейностью.
11. Задача Эйлера об устойчивости сжатого стержня.
12. Уравнения движения твердого тела
13. Численное решение дифференциальных уравнений
14. Расчёт собственных частот и форм колебаний. Гармонический анализ.
15. Спектральный анализ. Преобразования Фурье



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

1. Особенности анализа механизмов в модуле Rigid Dynamics. Решение задачи от преподавателя. Анализ результатов
2. Особенности анализа прочности в модуле Static Structural. Решение задачи от преподавателя. Анализ результатов
3. Особенности анализа устойчивости в модуле Eigenvalue Buckling. Решение задачи от преподавателя. Анализ результатов
4. Особенности расчета динамики в модуле Transient Structural. Решение задачи от преподавателя. Анализ результатов
5. Особенности расчета собственных частот в модуле Modal. Решение задачи от преподавателя. Анализ результатов
6. Особенности анализа конструкций в модуле Harmonic Response. Решение задачи от преподавателя. Анализ результатов
7. Особенности анализа конструкций в модуле Response Spectrum. Решение задачи от преподавателя. Анализ результатов
8. Особенности анализа конструкций в модуле Random Vibration. Решение задачи от преподавателя. Анализ результатов

##### **Билет № 1**

1. Особенности анализа устойчивости в модуле Eigenvalue Buckling;
2. Анализ конструкций в модуле Response Spectrum.

##### **Билет № 2**

1. Механизмы в модуле Rigid Dynamics;
2. Анализ конструкций в модуле Random Vibration.

##### **Билет №3**

1. Частоты в модуле Modal;
2. Динамика в модуле Transient Structural.

#### **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.

## **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, конспектами лекций.