

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

Декан

Ю.Н. Рыжих

20 06 г.

Рабочая программа дисциплины

**Современные методы инженерного анализа. Основы динамического анализа конструкций**

по направлению подготовки

**15.04.03 Прикладная механика**

Направленность (профиль) подготовки :

**Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2022**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

В.А. Скрипняк

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2022

## 1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК-11 – Способен определять направления перспективных исследований в области прикладной механики с учетом мировых тенденций развития науки, техники и технологий;

– ОПК-12 – Способен создавать алгоритмы цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разрабатывать современные цифровые программы расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации;

– ПК-1 – Способен критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом потребностей промышленности, современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты;

– ПК-2 – Способен самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня).

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 11.1 Знать основные подходы к определению направлений перспективных исследований в области прикладной механики с учетом мировых тенденций развития науки, техники и технологий.

ИОПК 11.2 Уметь анализировать направления перспективных исследований в области прикладной механики с учетом мировых тенденций развития науки, техники и технологий.

ИОПК 11.3 Владеть методиками анализа и определения направлений перспективных исследований в области прикладной механики с учетом мировых тенденций развития науки, техники и технологий.

ИОПК 12.1 Знать способы построения алгоритмов цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разработки современных цифровых программ расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации.

ИОПК 12.2 Уметь создавать алгоритмы цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разрабатывать современные цифровые программы расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации.

ИОПК 12.3 Владеть методиками построения алгоритмов цифровой обработки баз данных результатов испытаний и эксплуатации сложных деталей и узлов в машиностроении, разработки современных цифровых программ расчетов и проектирования деталей, узлов, конструкций, машин и материалов с учетом требований надежности, долговечности и безопасности их эксплуатации.

ИПК 1.1 Знать перспективные направления и последние достижения современной науки и техники в области производства объемных материалов, соединений, композитов на их основе и изделий из них.

ИПК 1.2 Знать современные проблемы прикладной механики, методы планирования научно-исследовательской работы, способы решения научных задач механики, обработки и анализа полученных данных, представления результатов.

ИПК 1.3 Уметь осуществлять сбор, анализ и систематизацию информации по проблеме исследования с учетом потребностей промышленности, современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий.

ИПК 1.4 Уметь ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач.

ИПК 1.5 Уметь анализировать, интерпретировать, оценивать, представлять результаты собственных исследований в профессиональном сообществе и защищать результаты выполненного исследования с обоснованными выводами и рекомендациями.

ИПК 2.1 Знать: математические и компьютерные модели, программные системы мультидисциплинарного анализа (CAE-системы мирового уровня), используемые для решения поставленных научно-технических задач.

ИПК 2.2 Уметь самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня).

ИПК 2.3 Владеть навыками самостоятельного выполнения научных исследований в области прикладной механики, решения сложных научно-технических задач.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат вычислительной механики и компьютерного инжиниринга для решения задач динамического анализа конструкций.

– Научиться применять современные подходы и методы динамического анализа механических систем с применением программного комплекса ANSYS и других CAD/CAE системах .

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Второй семестр, зачет с оценкой

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг; Конструкционная прочность и ее физические основы.

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:  
-лабораторные: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Полная система уравнений, выражающая законы сохранения. Проблема замыкания динамических уравнений. Уравнения состояния упругопластических сред.

Тема 2. Калорические и термические уравнения состояния для заданной функции давления.

Тема 3. Релаксационная форма определяющих уравнений. Способы задания пластической составляющей полной скорости деформаций. Построение динамических диаграмм напряжение-деформация с дислокационной кинетикой пластических сдвигов.

Тема 4. Понятие ударной адиабаты. Методы расчета распада произвольного разрыва.

Тема 5. Методы расчетов отражения падающих упругопластических волн от контактных границ и свободных поверхностей.

Тема 6. Методы расчета взаимодействий ударных упругопластических волн и волн разгрузки в среде с релаксацией.

Тема 7. Эйлеровы и Лагранжевы подходы к описанию течения сред. Их сильные и слабые стороны. Методы выделения особенностей и сквозные методы численного решения уравнений.

Тема 8. Явные и неявные схемы для описания динамических процессов в упругопластических средах.

Тема 9. Метод псевдовязкости Неймана-Рихтмайера. Метод распада произвольного разрыва С.К. Годунова. Разностная схема Лакса-Вендроффа и схема Лакса.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения лабораторных работ и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Зачет с оценкой во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит теоретический вопрос и задачу. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Общая характеристика задач динамики.
2. Прямой нестационарный анализ.
3. Прямой частотный анализ.
4. Модальный частотный анализ.
5. Анализ случайных вибраций.
6. Спектральный анализ динамических процессов.
7. Прямой нестационарный анализ линейных и нелинейных задач.
8. Модальный анализ с учетом предварительного напряженного состояния.
9. Метод редукции.
10. Подпространственный метод.
11. Метод для несимметричных матриц.
12. Метод для систем с затуханием.
13. Метод разложения по собственным формам.
14. Выполнение модального анализа с помощью ANSYS.
15. Отклик на гармоническое воздействие.

16. Вынужденные колебания.
17. Конструкция на вибрирующем основании.
18. Спектральный анализ. Характеристики случайных колебаний.
19. Спектральный отклик при ударном воздействии.
20. Выполнение гармонического анализа с помощью ANSYS.
21. Методы моделирования переходных процессов (полный, редуцированный, метод суперпозиций).
22. Прямое интегрирование при переходном анализе.
23. Задание динамических нагрузок.
24. Задание параметров расчетов динамических процессов.
25. Выполнение динамического анализа переходных процессов с помощью ANSYS, LS-DYNA.

Примеры задач:

Задача 1.

Дано: Эскиз элемента конструкции. Указана марка материала для изготовления элемента конструкции. Указаны условия импульсного воздействия на элемент конструкции.

Требуется: Выполнить формирование расчетной модели для проведения анализа динамического нагружения конструкции. Создать геометрическую модель, сгенерировать сеточную модель, сформировать начальные и граничные условия задачи.

Задача 2.

Дано: Эскиз элемента конструкции. Указана марка материала для изготовления элемента конструкции.

Требуется: Выполнить формирование расчетной модели для проведения динамического анализа для этого элемента конструкции. Создать геометрическую модель, сгенерировать SPH модель, конкретизировать начальные и граничные условия задачи.

Задача 3.

Дано: Эскиз элемента конструкции. Указана марка материала для изготовления элемента конструкции. Заданы параметры нагружения элемента конструкции.

Требуется: Выполнить формирование расчетной модели для проведения гармонического анализа для этого элемента конструкции. Создать геометрическую модель, сгенерировать сеточную модель, конкретизировать начальные и граничные условия задачи.

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка	Уровень владения темой
<b>неудовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ грубые ошибки в знании основных положений и понятий в области динамического анализа конструкций методами компьютерного инжиниринга, направленности профессионального образования (прикладная механика);</li> <li>○ отсутствие знаний основных положений в области динамического анализа конструкций методами компьютерного инжиниринга, умения оперировать ими;</li> <li>○ недостаточное владение научным стилем речи;</li> <li>○ не умение защитить ответы на основные вопросы.</li> </ul>
<b>удовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ удовлетворительные знания основных понятий в области динамического анализа конструкций</li> </ul>

	<p>методами компьютерного инжиниринга, умение оперировать ими, умение оперировать ими, неточности знаний;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ удовлетворительная степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов в области динамического анализа конструкций методами компьютерного инжиниринга, раскрытия темы;</li> <li>○ посредственные ответы на вопросы.</li> </ul>
<b>хорошо</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ хорошие знания основных положений в области динамического анализа конструкций методами компьютерного инжиниринга, умение оперировать ими, демонстрируются единичные неточности;</li> <li>○ достаточная степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов, раскрытия темы, демонстрируются единичные неточности;</li> <li>○ единичные (негрубые) стилистические и речевые погрешности;</li> <li>○ умение защитить ответы на основные вопросы;</li> <li>○ хорошее владение научным стилем речи</li> </ul>
<b>отлично</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ глубокие знания основных понятий в области динамического анализа конструкций методами компьютерного инжиниринга, умение оперировать ими;</li> <li>○ высокую степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов, раскрытия темы;</li> <li>○ отличное умение представить основные вопросы в научном контексте;</li> <li>○ отличное владение научным стилем речи</li> </ul>

## 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- б) Методические указания по проведению лабораторных работ.
- в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах/ Под общ. Ред. Д.Г.Красковского. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224с.
2. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
3. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
4. Басов К.А. ANSYS справочник пользователя. – М.: ДМК пресс, 2005. – 640с.
5. Руководство по основным методам проведения анализа в программе ANSYS /www.ans.com.ru

б) дополнительная литература:

1. Теоретическое руководство программного комплекса ANSYS 13. /www.ans.com.ru.
2. LS-DYNA Theoretical manual / Livermore Software, Livermore, CA 94550, USA

в) ресурсы сети Интернет:

- открытые онлайн-курсы
- Электронная библиотека «EqWorld – Мир математических уравнений» в Институте проблем механики РАН <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm> – Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система. <http://www.consultant.ru>
- ...

### **13. Перечень информационных технологий**

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook), программные комплексы WB ANSYS, SolidWorks, TFEХ;
  - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
  - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
  - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
  - ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
  - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
  - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
  - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>
- в) профессиональные базы данных (*при наличии*):
- Университетская информационная система РОССИЯ – <https://uisrussia.msu.ru/>

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.  
 Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.  
 Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

### **Лаборатории, оснащенные компьютерной техникой с установленным лицензионным программным обеспечением 15. Информация о разработчиках**

Скрипняк Владимир Владимирович, кандидат физико-математических наук, кафедра механики деформируемого твердого тела, доцент