

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Саровский физико-технический институт -**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра Теоретической и экспериментальной механики**

**УТВЕРЖДАЮ:**

**Декан ФТФ,**

**член-кор. РАН, д.ф.-м.н.,**

\_\_\_\_\_ **А.К. Чернышев**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2022г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Вычислительная механика**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	15.03.03 Прикладная механика
Наименование образовательной программы	Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры
Квалификация (степень) выпускника	бакалавр
Форма обучения	очная

Программа одобрена на заседании кафедры

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

\_\_\_\_\_ **А.Л. Михайлов**

протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022г.

г. Саров, 2022 г.

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202\_\_\_\_/202\_\_\_\_ учебный год.

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью освоения учебной дисциплины «Вычислительная механика» является подготовка студентов к самостоятельной деятельности по анализу НДС и оценке прочности конструкций, полученных по алгоритмам и программным средствам вычислительного комплекса ABAQUS и ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ

Задачей курса «Вычислительная механика» является изучение студентами вычислительных методов, критериев и уравнений для описания напряжённо-деформированных состояний (НДС) конструкций, подвергнутых статическим, динамическим, тепловым и вибрационным воздействиям.

Знания и практические навыки, полученные студентами при изучении дисциплины «Вычислительная механика», применяются при выполнении курсовых и дипломных работ, а также при прохождении практики.

Задачи расчёта НДС конструкций являются одними из важнейших в механике деформируемого твёрдого тела. Актуальность этих задач обусловлена необходимостью проектирования и эксплуатации различных конструкций, стойких к действию статических, динамических, вибрационных и температурных нагрузок.

## **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

«Вычислительная механика» относится к основной части общепрофессионального модуля Б1.Б.15 образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры» направления 15.03.03 - Прикладная механика.

«Вычислительная механика» применяет математический аппарат к описанию и изучению физических явлений нелинейного деформирования материалов, аккумулируя разработки общетехнических и специальных дисциплин.

Для успешного изучения дисциплины «Вычислительная механика» студенты должны быть хорошо знакомы с основными курсами высшей математики (математический анализ, высшая алгебра, дифференциальные уравнения и т.д.) и физики.

Данные дисциплины необходимы для описания процессов декларируемых в теории упругости, сопротивлении материалов, теории колебаний и т. п. На материалах этой дисциплины базируются следующие специальные инженерные дисциплины: экспериментальная механика, теория упругости и пластичности, детали машин, основы конструирования и основы автоматизированного проектирования.

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Ожидается, что в результате освоения дисциплины студент приобретет следующие компетенции:*

- Способен проводить расчет отдельных узлов и агрегатов изделий (**ПК-4**);
- Способен к разработке конструкторской документации на агрегаты, узлы, системы, комплексы в составе подсистем изделий, стенды для отработки подсистем изделий (**ПК-6**).

#### 3.1 Индикаторы достижения профессиональных компетенций:

З-ПК-4 Знать методику расчета отдельных узлов.

З-ПК-6 Знать нормативно-техническая документация: единая система конструкторской документации; руководство для конструкторов по прочности и по ресурсу; нормы прочности; перечни нормализованных элементов узлов и деталей на статическую прочность; основы теории пластичности; основы теории ползучести; основы взаимозаменяемости; основы теории проведения измерений при экспериментальных работах; основы материаловедения; основы механики разрушения; основы теории колебаний.

У-ПК-4 Уметь проводить расчеты на прочность различных типов конструкций: балочных, ферменных, оболочек; соединений элементов конструкции; выполнять расчеты на прочность методом конечного элемента по готовым расчетным моделям с применением специализированных программных комплексов; анализировать результаты расчета, полученные методом конечного элемента; применять инструментарий: пользоваться стандартным программным обеспечением при оформлении документации и инженерных расчетов; пользоваться программным обеспечением для расчетов на прочность.

В-ПК-4 Владеть подготовкой исходных данных для расчетов; проведением расчетов на прочность конструкций агрегатов; проведением расчетов устойчивости элементов конструкций; анализом результатов расчета.

У-ПК-6 Уметь применять методический аппарат и технологии конструирования систем и агрегатов изделий; использовать имеющиеся базы данных при конструировании деталей, узлов, агрегатов и систем, кинематических узлов; применять инструментарий: пользоваться

стандартным программным обеспечением при оформлении документации; пользоваться стандартными пакетами прикладных программ при проведении расчетных, конструкторских проектировочных работ, графическом оформлении проекта.

В-ПК-6 Владеть подготовкой и обработка исходных данных для разработки технического задания на агрегаты и системы; конструкторским сопровождением испытаний.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 кредитов, **216** часов ,интерактивные часы – 18 часов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел *
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы			
			<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>			
<b>6 семестр</b>								
1	Вводная лекция		<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
2	Общая структура МКЭ		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
3	Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
4	Осесимметричная задача ТУ		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
5	КЭ для пространственной оболочечной конструкции		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
6	Практическое освоение ППП АВАQUS(ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ)		<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
7	Выполнение КР		<b>8</b>	<b>8</b>		Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
...	<b>Экзамен / КР 36/ЗсО</b>							0 - 50
	<b>СРС – 84 час</b>							100

#### 4.1. Содержание разделов дисциплины.

1. Вводная лекция
2. Общая структура МКЭ. Метод жесткостей и метод податливостей. Формирование матрицы жёсткости плоского треугольного элемента. Компиляция матрицы жёсткости всей конструкции плоской задачи. Формирование разрешающей СЛАУ с учётом граничных условий. Матрица жёсткости тетраэдрального КЭ объёмной задачи ТУ. Принцип формирования шестигранного КЭ из тетраэдральных. Алгоритм вычисления матрицы жёсткости стержневого пространственного КЭ. Матрица преобразования координат для элементов стержневой конструкции
3. Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса. Алгоритм решения СЛАУ методом квадратного корня по схеме Халецкого. Алгоритм решения СЛАУ методом Гаусса- Зейделя.
4. Осесимметричная задача ТУ. Функции формы, аппроксимирующие перемещения внутри КЭ. Изопараметрические КЭ для осесимметричной задачи ТУ. Численное интегрирование в МКЭ. Численное дифференцирование в МКЭ
5. КЭ для пространственной оболочечной конструкции. Разделение жесткостных параметров в МЖ элемента. Матрица преобразования координат в оболочечном элементе. Алгоритм вычисления напряжений в КЭ. Блок-схема алгоритма получения НДС для оболочки.
6. Практическое освоение ППП АВАQUS(ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ). Изучение препроцессора комплекса. Изучение постпроцессора комплекса. Изучение процессора комплекса. Построение КЭМ плоских и объёмных. Построение пространственных стержневых КЭМ. Построение пространственных оболочечных КЭМ.
7. Выполнение курсовой работы по расчёту НДС конструкций. Выполнение курсовой работы по расчёту АЧХ конструкций.

#### Темы практических занятий:

- Построение КЭМ консольной балки различными элементами:
  1. балочный элемент;
  2. плоский элемент;
  3. объёмный шестигранный элемент;
- Сравнение поля НДС для различных КЭ моделей;
- Исследование точности решения задачи в зависимости от густоты КЭ сетки;
- Изучение отклика конструкций на действие гармонической вибрации;
- Построение АЧХ конструкций для различных КЭМ;
- Изучение поведения конструкций для физически нелинейных материалов;

Контроль СРС студентов проводится путем проверки работ, предложенных обучающимся для выполнения в качестве домашних заданий. Одним из основных видов

контроля СРС является защита индивидуальных домашних заданий, являющихся мини проектами в проектно – ориентированной технологии обучения.

**Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:**

- Методические рекомендации для выполнения практических работ.
- Материалы с решениями задач, полученные студентами на практических занятиях.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

На практических занятиях по «Вычислительной механике» студенты осваивают программные комплексы ABAQUS и ЛОГОС-ПРОЧНОСТЬ, разрабатываемый специализированной фирмой по варианту укороченной версии для обучения студентов.

Комплекс предназначен для решения задач газодинамики и механики деформируемого твердого тела. Студенты также практикуются в применении аналитических методов для решения практических задач упругопластического деформирования типовых элементов конструкций. При проведении лабораторных и практических занятий студентам прививаются также навыки работы с научной и учебно-методической литературой. Обязательным является самостоятельная работа студентов дома и в аудитории под руководством преподавателя, выполнение индивидуальных заданий, посещение международных и всероссийских конференций.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.**

**Оценочные средства для промежуточной аттестации студентов по итогам освоения дисциплины:**

**Вопросы к экзамену:**

1. Какие условия должны быть выполнены при решении задачи ТУ?
2. Формула общего уравнения равновесия для всей конструкции.
3. Что такое главные центральные оси поперечного сечения балки?
4. Функция формы перемещений внутри плоского КЭ.
5. Функции формы тетраэдра.
6. Границы применимости методов решения СЛАУ и их особенности.
7. Среди изученных решений СЛАУ, какие методы относятся к итерационным, а какие к прямым?
8. Что такое собственная частота конструкции?



9. Что такое собственный вектор резонансной частоты конструкции?
10. Для плоской задачи в КЭ схеме узел с номером 100 жёстко закреплён, какие уравнения в СЛАУ необходимо модернизировать, и как это сделать?
11. Для 3-х мерной задачи в КЭ схеме узел с номером 100 жёстко закреплён, какие уравнения в СЛАУ необходимо модернизировать, и как это сделать?
12. Для пространственной стержневой конструкции в КЭ схеме узел с номером 100 жёстко закреплён, какие уравнения в СЛАУ необходимо модернизировать, и как это сделать?
13. Компоненты векторов напряжения и деформации для осесимметричной задачи.
14. Почему в осесимметричной задаче возникает необходимость в численном интегрировании по объёму КЭ.
15. Определение изопараметрических КЭ
16. Гипотеза Кирхгофа-Лява.
17. Дифференциация компонент НДС в пространственном оболочечном КЭ.
18. Каких 2 способа учёта граничных условий используется в методе КЭ
19. Сколько степеней свободы в треугольном оболочечном элементе?
20. Размерность матрицы жёсткости оболочечного элемента?
21. Из каких компонент складываются составляющие напряжения для оболочечного элемента?
22. Виды анализа в МКЭ
23. Уравнения, решаемые МКЭ для задач:
  24. Статического анализа;
  25. Прочностного динамического анализа;
  26. Модальный анализ;
  27. Отклик на гармоническое воздействие;
  28. Спектральный анализ;
  29. Отклик на случайную вибрацию;
  30. Анализ устойчивости конструкций;
  31. Физическая нелинейность;
  32. Геометрическая нелинейность.
33. Условие наступления текучести в упруго-пластической задаче.

**Пример экзаменационных билетов:**

**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
САРОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ - филиал НИЯУ МИФИ**

**Кафедра «Теоретическая и экспериментальная механика»**

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1**

1. Натурный и вычислительный эксперимент
2. Матрица преобразования координат для стержневой конструкции
3. Практический вопрос. Вариант №

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
САРОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ - филиал НИЯУ МИФИ**

**Кафедра «Теоретическая и экспериментальная механика»**

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №2**

1. Вычисление матрицы жёсткости плосконапряжённого конечного элемента
2. Решение систем линейных алгебраических уравнений методом Гаусса
3. Практический вопрос. Вариант №

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **а) основная литература:**

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. Перевод с англ. – М.: Мир, 1975.
2. Постнов В.А., Хархурим И.Я. Метод конечных элементов в расчётах судовых конструкций. Судостроение, 1974. 342с.
3. Пирумов У.Г. Численные методы. –М: дрофа, 2003. 221с.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1968.
5. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчёты деталей машин на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985.
6. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П. Кобельков Г.М. Численные методы.-М: Наука, 1987. 598с.
7. Голубев А.И. Численные методы. Часть 1,2. – Саров. 2000. 171с.

### **б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Операционные системы Windows, стандартные офисные программы, интернет-ресурсы, презентации в формате **ppt**, пакет программ ABAQUS.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Набор презентаций, экзаменационные билеты, распечатки с исходными данными для решения задач, плакаты, учебники и методические рекомендации по курсу.

Освоение дисциплины частично производится на базе учебных лабораторий кафедры ВТ и ОТДиЭ ФИТЭ в СарФТИ НИЯУ МИФИ учебного корпуса 4 и в производственных помещениях КБ-1 РФЯЦ-ВНИИЭФ (площадка Основная). Выполнение лабораторных работ, а также самостоятельной работы студентов осуществляется на рабочих местах, оснащенных ЭВМ. Здесь же проводятся консультации по текущим вопросам.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению 15.03.03 Прикладная механика.

Автор(ы)\_ доцент кафедры ТиЭМ, к.ф.-м.н., доцент, в.н.с. КБ-1 РФЯЦ-ВНИИЭФ

\_\_\_\_\_ Агафонов Сергей Константинович