

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)



А.А.Панфилов

2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«СИСТЕМЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА (САЕ-СИСТЕМЫ)»**

**Направление подготовки:** 27.03.05. Инноватика

**Профиль/программа подготовки:**

**Уровень высшего образования:** бакалавриат

**Форма обучения:** очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед, час.	Лек- ций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час.	СРП, час.	СР, час	Форма промежуточ- ного контроля (экз./зачет)
5	7,252	18	18	-	27	153	Экзамен (36ч.)
Итого	7,252	18	18	-	27	153	Экзамен (36ч.)

Владимир, 2018

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Системы конечно-элементного анализа (CAE-системы)» направлено на достижение следующих целей ОПОП 27.03.05 «Инноватика»:

Код цели	Формулировка цели
Ц1	Подготовка выпускников к производственно-технологической деятельности организации производства инновационного продукта; планирование и контроль процесса реализации проекта, в т.ч. с использованием информационно-коммуникационных технологий
Ц5	Подготовка выпускников к эффективному использованию и интеграции знаний в области фундаментальных наук для решения исследовательских и прикладных задач применительно к профессиональной деятельности

Целями освоения дисциплины «Системы конечно-элементного анализа (CAE-системы)» являются:

- ознакомление с научными подходами к моделированию объектов и процессов на базе конечно-элементного анализа;
- освоение теории и методов конечно-элементного анализа, позволяющих строить модели объектов, систем и процессов и судить об их адекватности;
- ознакомление студентов с алгоритмами решения инженерных задач механики сплошных сред методами компьютерного моделирования с помощью пакетов прикладных программ, реализующих метод конечно-элементного анализа.
- формирование у студентов навыков разработки конечно-элементных моделей, исследования этих моделей и обработки результатов таких исследований;
- воспитание ответственности за продукт своих разработок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Системы конечно-элементного анализа (CAE – системы)» изучается в 5 семестре подготовки бакалавров по направлению 27.03.05 «Инноватика» и относится к дисциплинам по выбору вариативной части дисциплин (Б1.В.ДВ.04.01).

### Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) дисциплинами и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Наименование обеспечивающих (предыдущих) дисциплин и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	Разделы данной дисциплины, которые необходимы для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин									
	5 семестр									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>Предшествующие дисциплины</b>										
1. Высшая математика.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2. Инженерная графика.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3. Прикладная механика.			+	+	+	+				
4. Материаловедение.	+	+	+	+	+					
5. Теоретическая механика.			+	+	+	+				
6. Детали машин и основы конструирования.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>Последующие дисциплины</b>										
1. Проектирование и эксплуатация ма-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

шиностроительного производства.									
2. Оборудование машиностроительного производства.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3. Преддипломная практика.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4. Выпускная квалификационная работа.	+	+	+	+	+	+	+	+	+

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

После изучения данной дисциплины студент приобретает знания, умения и опыт, соответствующие результатам ОПОП направления 27.03.05:

**Р1, Р3, Р8** (расшифровка результатов обучения приводится в ОПОП направления 27.03.05).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты обучения, согласующиеся с формируемыми компетенциями ОПОП:

#### 1. *Общепрофессиональными:*

- способностью использовать инструментальные средства (пакеты прикладных программ) для решения прикладных инженерно-технических и технико-экономических задач, планирования и проведения работ по проекту (ОПК-2):  
*знать:* теоретические основы метода конечных элементов;  
*уметь:* разрабатывать расчетные схемы для решения инженерных задач методом конечных элементов;  
*владеть:* навыками реализации расчетных схем в САЕ – комплексах.

#### 2. *Профессиональными:*

- способностью использовать инструментальные средства (пакеты прикладных программ) для решения прикладных инженерно-технических и технико-экономических задач, планирования и проведения работ по проекту (ПК-2):  
*знать:* особенности реализации теоретических основ метода конечных элементов в САЕ - комплексах;  
*уметь:* разрабатывать расчетные алгоритмы для решения инженерных задач методом конечных элементов в САЕ - комплексах;  
*владеть:* навыками моделирования физических процессов в САЕ – комплексах.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5 семестр: общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц 252 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРП	СР	КП / КР		
	<b>Теплонапряженное состояние конструкций</b>										
1	Обзор и возможности современных САЕ-систем. Использование САЕ-систем для моделирования процессов и решения прикладных инженерно-технических задач. Типы конечных элементов и основные требования к расчетным моделям.	5	1-2	2	2	-	3	17		2 / 50	Рейтинг контроль № 1
2	Решение стационарной и нестационарной задач теплопроводности методом конечных элементов с использованием современных САЕ-систем.	5	3-4	2	2	-	3	17		2 / 50	
3	Использование современных САЕ-систем при решении задач термоупругости.	5	5-6	2	2	-	3	17		2 / 50	
	<b>Нелинейный конструкционный анализ</b>										
4	Особенности моделирования контактного взаимодействия при решении задач теории упругости современными САЕ-системами.	5	7-8	2	2	-	3	17		2 / 50	Рейтинг контроль № 2
5	Использование современных САЕ-систем при решении задач упругопластичности.	5	9-10	2	2	-	3	17		2 / 50	
6	Использование современных САЕ-систем при модальном и гармоническом анализе	5	11-12	2	2	-	3	17		2 / 50	

	конструкций.										
	<b>Механика жидкости и газа</b>										
7	Использование современных САЕ-систем при решении задач гидромеханики, газовой динамики. Особенности решения при ламинарном и турбулентном течениях жидкости.	5	13-14	2	2	-	3	17		2 / 50	Рейтинг контроль № 3
8	Использование современных САЕ-систем при решении задач гидродинамики течений со свободными границами	5	15-16	2	2	-	3	17		2 / 50	
9	Использование современных САЕ-систем при решении задач обтекания тел потоком жидкости или газа.	5	17-18	2	2	-	3	17		2 / 50	
Всего				18	18	-	27	153		18 / 50	Экзамен (36ч.)

### Тематический план дисциплины

Раздел (тема) дисциплины	Аудиторные занятия				Самостоятельная работа студентов					
	Лекции		Практические занятия		Проработка теоретического материала. Подготовка к рейтинг-контролю			Выполнение контрольных заданий		
	Темы	ч	Темы	ч	Темы	СРП, ч	СРС, ч	Задания	СРП, ч	СРС, ч
1. Обзор и возможности современных САЕ-систем. Использование САЕ-систем для моделирования процессов и решения прикладных инженерно-технических задач. Типы конечных элементов и основные требования к расчетным моделям.	– Основная концепция конечно-элементного анализа, локальная аппроксимация расчетной области. – Основные правила построения конечно-элементных моделей. – Типы конечных элементов, их интерполяционные полиномы и функции формы. – Локальные системы координат (L- координаты).	2	Знакомство с возможностями, структурой и интерфейсом современного САЕ - комплекса.	2	– Действия над матрицами (сложение, умножение, транспонирование и т.д.). – Дифференцирование матричных соотношений. – Матричная форма записи тензорных величин. – Методы решения линейных систем.	1	3	Создание конечно-элементной модели из сборочной единицы, выполненной в CAD – системе.	2	14
2. Решение стационарной и нестационарной задач теплопроводности методом конечных элементов с использованием современных САЕ-систем.	– Дифференциальное уравнение теплопроводности – Граничные условия теплообмена. – Вариационная постановка задачи теплопроводности и ее численная реализация методом конечных элементов.	2	Способы задания временных параметров, начальных и граничных условий при решении нестационарной задачи теплопроводности в современном САЕ – комплексе.	2	– Закон Фурье, коэффициент теплопроводности, температурное поле, температурный градиент. – Граничные условия теплообмена при решении задач теплопроводности методом конечных элементов (МКЭ).	1	3	Расчет температурного поля сборочной единицы методом конечных элементов при заданных граничных условиях. Расчет изменения температурного поля сборочной единицы на переходном режиме на основе решения нестационарной задач теплопроводности методом конечных элементов.	2	14

<p>3. Использование современных САЕ-систем при решении задач термоупругости.</p>	<p>–Вариационная постановка задачи теории упругости и ее численная реализация методом конечных элементов. - Конечно-элементная схема решения задачи термоупругости. - Кинематические граничные условия и их влияние на точность результатов.</p>	2	<p>Расчет изменения напряженно-деформированного состояния конструкции на основе результатов решения нестационарной задачи теплопроводности методом конечных элементов в современном САЕ – комплексе.</p>	2	<p>– Матрица жесткости, матрица деформаций, вектор узловых перемещений одномерного двухузлового конечного элемента. –Матрица жесткости, матрица деформаций, вектор узловых перемещений двумерного трехузлового конечного элемента.</p>	1	3	<p>Расчет напряженно-деформированного состояния сборочной единицы методом конечных элементов под воздействием тепловой и механической нагрузок на основе результатов решения стационарной задачи теплопроводности.</p>	2	14
<p>4. Особенности моделирования контактного взаимодействия при решении задач теории упругости современными САЕ-системами.</p>	<p>Решение контактных задач методом конечных элементов: – алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при подвижном контакте с трением; – алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при соединениях с натягом; – алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при температурных деформациях (в условиях возможного размыкания контакта).</p>	2	<p>Задание условий контакта деталей в узлах при решении задач механического взаимодействия методом конечных элементов в современном САЕ – комплексе.</p>	2	<p>Основные настройки решателя современного САЕ - комплекса при решении задач теории упругости с контактным взаимодействием деталей.</p>	1	3	<p>Расчет напряженно-деформированного состояния сборочной единицы при соединении деталей с натягом методом конечных элементов в современном САЕ – комплексе.</p>	2	14

<p>5. Использование современных CAE-систем при решении задач упругопластичности.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Модели упругопластического деформирования, используемые в конечно-элементном прочностном анализе, области применения.</li> <li>– Теория течения, ее реализация при конечно-элементном прочностном анализе.</li> <li>– Особенности решения задач термопластичности при конечно-элементном прочностном анализе.</li> </ul>	2	<p>Расчет напряженно-деформированного состояния конструкции методом конечных элементов при нелинейной постановке задачи в современном CAE – комплексе.</p>	2	<p>Деформационная теория пластичности, ее реализация при конечно-элементном прочностном анализе.</p>	1	3	<p>Расчет напряженно-деформированного состояния образца при внедрении индентора методом конечных элементов в современном CAE – комплексе.</p>	2	14
<p>6. Использование современных CAE-систем при модальном и гармоническом анализе конструкций.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Расчетные схемы при решении задач модального анализа методом конечных элементов.</li> <li>– Расчетные схемы при решении задач гармонического анализа методом конечных элементов.</li> </ul>	2	<p>Определение собственных и вынужденных колебаний конструкции методом конечных элементов в современном CAE – комплексе.</p>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Модальный и гармонический анализ технологических систем.</li> <li>– Возможности современных CAE-комплексов по решению задач нестационарной нелинейной динамики.</li> <li>– Возможности современных CAE-комплексов по решению задач механики разрушения.</li> </ul>	1	3	<p>Решение задачи определения частот и форм (мод) собственных колебаний пластины методом конечных элементов в современном CAE – комплексе.</p>	2	14
<p>7. Использование современных CAE-систем при решении задач гидромеханики, газовой динамики. Особенности решения при ламинарном и турбулентном течениях жидкости, дозвуковом и сверхзвуковом течении газа.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса.</li> <li>– Моделирование ламинарного движения несжимаемой вязкой жидкости.</li> <li>– Моделирование турбулентного движения несжимаемой вязкой жидкости.</li> <li>– Основные модели турбулентности в CFD пакетах.</li> </ul>	2	<p>Решение задачи динамики движения жидкости в канале переменного сечения методом конечных элементов в условиях ламинарного и турбулентного потоков в современном CAE – комплексе.</p>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Особенности решения задач газовой динамики на сверхзвуковых режимах течения газа методом конечных элементов.</li> </ul>	1	3	<p>Решение задачи динамики течения газа в пламегазители в современном CAE – комплексе.</p>	2	14



8. Использование современных САЕ-систем при решении задач гидродинамики течений со свободными границами	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Моделирование течений со свободными границами.</li> <li>– Расчетная схема при решении задач гидродинамики для течений со свободными границами</li> </ul>	2	Решение задачи гидродинамики течений со свободными границами в современном САЕ – комплексе.	2	Особенности использования динамических сеток в задачах вычислительной гидродинамики.	1	3	Решение задачи динамики течения газа в пламегасителе со свободными границами в современном САЕ – комплексе.	2	14
9. Использование современных САЕ-систем при решении задач обтекания тел потоком жидкости или газа.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Моделирование обтекания тела потоком вязкой несжимаемой жидкости.</li> <li>– Моделирование внешнего сжимаемого течения.</li> <li>– Расчетная схема при решении задач гидродинамики обтекания тел потоком несжимаемой жидкости.</li> </ul>	2	Решение задачи обтекания тела потоком жидкости или газа в современном САЕ – комплексе.	2	Решение сопряженных задач гидро(газо)динамики, теплового и механического нагружения.	1	3	Решение сопряженных задач динамики течения газа в пламегасителе, теплопередачи в его стенки и теплопряженного состояния в современном САЕ – комплексе.	2	14

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При проведении учебных занятий обеспечивается развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений, лидерских качеств. Занятия включают при необходимости проведение интерактивных лекций, групповых дискуссий, ролевых игр, тренингов, анализ ситуаций и имитационных моделей, преподавание дисциплины в форме курса, составленного на основе результатов научных исследований, проводимых кафедрой, в том числе, с учетом региональных особенностей профессиональной деятельности выпускников и потребности работодателей.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах – составляет 50% аудиторных занятий.

### **Методы активного и практического (экспериментального) обучения**

Методы активного обучения применяются с целью вовлечения студентов непосредственно в процесс размышления и решения задач. В активном обучении меньше внимания уделяется пассивной передаче информации и больше – практике управления, применения, анализа и оценки идей. Понимание повышает мотивацию студентов к выполнению задания и формирует навык обучения в течение всей жизни.

Активное обучение трансформируется в практическое (экспериментальное), при котором студенты пробуют себя в смоделированных профессиональных ситуациях, например, выполняя проекты, имитируя или анализируя реальные случаи из инженерной практики.

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

### **Вопросы для рейтинг-контроля №1**

1. Действия над матрицами (сложение, умножение, транспонирование и т.д.).
2. Дифференцирование матричных соотношений.
3. Матричная форма записи тензорных величин.
4. Методы решения линейных систем.
5. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
6. Закон Фурье, дать определение коэффициенту теплопроводности, температурному полю, температурному градиенту.
7. Вариационная постановка задачи теплопроводности и ее численная реализация методом конечных элементов.
8. Расчетные схемы при моделировании контактного взаимодействия тел в рамках решения задач теплопроводности методом конечных элементов.
9. Граничные условия теплообмена.
10. Понятие и постановка краевой задачи в механике твердого деформируемого тела
11. Вариационная постановка задачи теории упругости и ее численная реализация методом конечных элементов.
12. Матрица жесткости, матрица деформаций, вектор узловых перемещений одномерного двухузлового конечного элемента.
13. Матрица жесткости, матрица деформаций, вектор узловых перемещений двумерного трехузлового конечного элемента.
14. Конечно-элементная схема решения задачи термоупругости.
15. Кинематические граничные условия и их влияние на точность результатов.

### **Вопросы для рейтинг-контроля №2**

1. Алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов.

2. Алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при подвижном контакте с трением.
3. Алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при соединениях с натягом.
4. Алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при температурных деформациях (в условиях возможного размыкания контакта).
5. Модели упругопластического деформирования, используемые в конечно-элементном прочностном анализе, области применения.
6. Деформационная теория пластичности, ее реализация при конечно-элементном прочностном анализе.
7. Теория течения, ее реализация при конечно-элементном прочностном анализе.
8. Особенности решения задач термопластичности при конечно-элементном прочностном анализе.
9. Расчетные схемы при решении задач модального анализа методом конечных элементов.
10. Расчетные схемы при решении задач гармонического анализа методом конечных элементов.
11. Возможности современных САЕ-комплексов по решению задач нестационарной нелинейной динамики.
12. Возможности современных САЕ-комплексов по решению задач механики разрушения.

### **Вопросы для рейтинг-контроля №3**

1. Методы дискретизации уравнений движения вязкой жидкости и граничных условий.
2. Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса.
3. Системы уравнений для вязкой несжимаемой жидкости. Начальные и граничные условия.
4. Системы уравнений для вязкой сжимаемой жидкости. Начальные и граничные условия.
5. Моделирование ламинарного движения несжимаемой вязкой жидкости.
6. Моделирование турбулентного движения несжимаемой вязкой жидкости.
7. Основные модели турбулентности в CFD пакетах.
8. Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости.
9. Моделирование обтекания тела потоком вязкой несжимаемой жидкости.
10. Моделирование внешнего сжимаемого течения.
11. Моделирование течений со свободными границами.
12. Дискретизация расчетных областей. Методы и алгоритмы дискретизации.
13. Расчетная схема при решении задач гидродинамики для течений с открытыми границами.
14. Расчетная схема для решения задач гидродинамики при обтекании тел потоком несжимаемой жидкости.
15. Расчетная схема для решения задач моделирования внешнего сжимаемого течения.
16. Особенности использования динамических сеток в задачах вычислительной гидродинамики.
17. Особенности решения сопряженных задач гидро(газо)динамики, теплового и механического нагружения.

### **Вопросы к экзамену**

1. Основная концепция конечно-элементного анализа, локальная аппроксимация расчетной области.

2. Основные правила построения конечно-элементных моделей.
3. Одномерные конечные элементы, их интерполяционные полиномы и функции формы.
4. Двумерные трехузловые конечные элементы, их интерполяционные полиномы и функции формы.
5. Двумерные четырехузловые конечные элементы, их интерполяционные полиномы и функции формы.
6. Трехмерные конечные элементы, их интерполяционные полиномы и функции формы.
7. Интерполирование векторных величин при дискретизации одномерными, двумерными и трехмерными конечными элементами.
8. Локальные системы координат (L- координаты) для одномерных конечных элементов.
9. Локальные системы координат (L- координаты) для двумерных конечных элементов.
10. Локальные системы координат (L- координаты) для трехмерных конечных элементов.
11. Свойства интерполяционных полиномов (сходимость, непрерывность).
12. Интерполяционные полиномы скалярных величин для дискретизованной области.
13. Интерполяционные полиномы векторных величин для дискретизованной области.
14. Алгоритм решения стационарных задач теории поля методом конечных элементов.
15. Алгоритм решения нестационарных задач теории поля методом конечных элементов.
16. Аппроксимация расчетных областей и объемов с криволинейными границами. Одномерные конечные элементы высоких порядков и их полиномы.
17. Аппроксимация расчетных областей и объемов с криволинейными границами. Двумерные конечные элементы высоких порядков и их полиномы.
18. Дифференциальное уравнение теплопроводности
19. Закон Фурье, дать определение коэффициенту теплопроводности, температурному полю, температурному градиенту.
20. Вариационная постановка задачи теплопроводности и ее численная реализация методом конечных элементов.
21. Расчетные схемы при моделировании контактного взаимодействия тел в рамках решения задач теплопроводности методом конечных элементов.
22. Граничные условия теплообмена.
23. Понятие и постановка краевой задачи в механике твердого деформируемого тела
24. Вариационная постановка задачи теории упругости и ее численная реализация методом конечных элементов.
25. Матрица жесткости, матрица деформаций, вектор узловых перемещений одномерного двухузлового конечного элемента.
26. Матрица жесткости, матрица деформаций, вектор узловых перемещений двумерного трехузлового конечного элемента.
27. Конечно-элементная схема решения задачи термоупругости.
28. Кинематические граничные условия и их влияние на точность результатов.
29. Алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов.
30. Алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при подвижном контакте с трением.
31. Алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при соединениях с натягом.
32. Алгоритм численного решения контактных задач методом конечных элементов при температурных деформациях (в условиях возможного размыкания контакта).

33. Модели упругопластического деформирования, используемые в конечно-элементном прочностном анализе, области применения.
34. Деформационная теория пластичности, ее реализация при конечно-элементном прочностном анализе.
35. Теория течения, ее реализация при конечно-элементном прочностном анализе.
36. Особенности решения задач термопластичности при конечно-элементном прочностном анализе.
37. Расчетные схемы при решении задач модального анализа методом конечных элементов.
38. Расчетные схемы при решении задач гармонического анализа методом конечных элементов.
39. Возможности современных САЕ-комплексов по решению задач нестационарной нелинейной динамики.
40. Методы дискретизации уравнений движения вязкой жидкости и граничных условий.
41. Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса.
42. Моделирование ламинарного движения несжимаемой вязкой жидкости.
43. Моделирование турбулентного движения несжимаемой вязкой жидкости.
44. Основные модели турбулентности в CFD пакетах.
45. Моделирование обтекания тела потоком вязкой несжимаемой жидкости.
46. Моделирование внешнего сжимаемого течения.
47. Моделирование течений со свободными границами.
48. Дискретизация расчетных областей. Методы и алгоритмы дискретизации.
49. Расчетная схема при решении задач гидродинамики для течений с открытыми границами.
50. Расчетная схема для решения задач гидродинамики при обтекании тел потоком несжимаемой жидкости.
51. Расчетная схема для решения задач моделирования внешнего сжимаемого течения.
52. Особенности использования динамических сеток в задачах вычислительной гидродинамики.
53. Особенности решения сопряженных задач гидро(газо)динамики, теплового и механического нагружения.

### **Самостоятельная работа студентов**

1. Действия над матрицами (сложение, умножение, транспонирование и т.д.).
2. Дифференцирование матричных соотношений.
3. Матричная форма записи тензорных величин.
4. Методы решения линейных систем.
5. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности, температурное поле, температурный градиент.
6. Граничные условия теплообмена при решении задач теплопроводности методом конечных элементов (МКЭ).
7. Матрица жесткости, матрица деформаций, вектор узловых перемещений одномерного двухузлового конечного элемента.
8. Матрица жесткости, матрица деформаций, вектор узловых перемещений двумерного трехузлового конечного элемента.
9. Основные настройки решателя современного САЕ - комплекса при решении задач теории упругости с контактным взаимодействием деталей.
10. Деформационная теория пластичности, ее реализация при конечно-элементном прочностном анализе.
11. Модальный и гармонический анализ технологических систем.

12. Возможности современных САЕ-комплексов по решению задач нестационарной нелинейной динамики.
13. Возможности современных САЕ-комплексов по решению задач механики разрушения.
14. Особенности решения задач газовой динамики на сверхзвуковых режимах течения газа методом конечных элементов.
15. Особенности использования динамических сеток в задачах вычислительной гидродинамики.
16. Решение сопряженных задач гидро(газо)динамики, теплового и механического нагружения.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

*а) основная литература (библиотечная система ВлГУ):*

1. Интерфейс и генерирование сетки в ANSYS Workbench [Электронный ресурс]: Учеб. пособие по курсу "Геометрическое моделирование в САПР" / Е.Ю. Верхотуркин, В.Н. Пашенко, В.Б. Пясецкий. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703836910.html>.
2. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации [Электронный ресурс] / Алямовский А.А. - М.: ДМК Пресс, 2015. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970601402.html>
3. Гоц А.Н. Численные методы расчета в энергомашиностроении: учебное пособие: в 2 ч. / А.Н. Гоц; Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ). — Изд. 2-е, испр. и доп. — Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), 2012-2013. — ISBN 978-5-9984-0307-1. Ч. 1: Ч. 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов по специальности 140501 - "Двигатели внутреннего сгорания", направления 140500 - "Энергомашиностроение". — Электронные текстовые данные (1 файл: 1,43 Мб). — 2012. — 151 с.: ил., табл. — Заглавие с титула экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Библиогр.: с. 149-150. — Свободный доступ в электронных читальных залах библиотеки. — Adobe Acrobat Reader. — ISBN 978-5-9984-0199-2. — <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2787/1/00289.pdf>>.
4. Гоц А.Н. Численные методы расчета в энергомашиностроении: учебное пособие: в 2 ч. / А.Н. Гоц; Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ). — Изд. 2-е, испр. и доп. — Владимир: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), 2012-2013. — ISBN 978-5-9984-0307-1. Ч. 2: Ч. 2 [Электронный ресурс]: учебного пособия для вузов по направлению подготовки 141100 – «Энергетическое машиностроение», профиль «Двигатели внутреннего сгорания». — Электронные текстовые данные (1 файл: 1,46 Мб). — 2013. — 182 с.: ил., табл. — Заглавие с титула экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Библиогр.: с. 180-181. — Свободный доступ в электронных читальных залах библиотеки. — Adobe Acrobat Reader. — ISBN 978-5-9984-0318-7. — <URL:<http://e.lib.vlsu.ru/bitstream/123456789/2272/1/01021.pdf>>.
5. Шаманин А.Ю. Расчеты конструкций методом конечных элементов в ANSYS [Электронный ресурс]: методические рекомендации / Шаманин А.Ю. — Электрон. текстовые данные. — М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2012. — 72 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47951>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
6. Решение задач теории упругости методом конечных элементов [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / А.В. Котович, И.В. Станкевич. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703835678.html>.

*б) дополнительная литература (библиотечная система ВлГУ):*

1. Румянцев А.В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности [Электронный ресурс]: учебное пособие / Румянцев А.В. — Электрон. текстовые данные. — Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2011. — 113 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23800>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Присекин В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел [Электронный ресурс]: учебник/ Присекин В.Л., Расторгуев Г.И. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 238 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45417>. — ЭБС «IPRbooks»
3. Маковкин Г.А. Применение МКЭ к решению задач механики деформируемого твердого тела. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Маковкин Г.А., Лихачева С.Ю. — Электрон. текстовые данные. — Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 71 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16043>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю.
4. Решение задач механики сплошной среды в программном комплексе ANSYS[Электронный ресурс]: Метод. указания / М.В. Мурашов. С.Д. Панин. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - [http://www.studentlibrary.ru/book/bauman\\_0343.html](http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0343.html).
5. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование [Электронный ресурс] / Басов К.А. - М.: ДМК Пресс, 2009. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5940743013.html>.

*в) периодическая литература:*

1. Журнал «CADFEM REVIEW» / Научно-технический журнал от компании КАДФЕМ
2. Журнал «ANSYS Advantage. Русская редакция»/ Инженерно-технический журнал, официальное печатное издание компании ANSYS, Inc.

*г) Интернет-ресурсы*

<i>Название портала</i>	<i>ссылка</i>
Учебно-методический комплекс дисциплины размещен на образовательном сервере ВлГУ. Персональный доступ каждого студента к материалам осуществляется не позднее первой недели изучения дисциплины.	<a href="http://www.cs.vlsu.ru:81">http://www.cs.vlsu.ru:81</a>
Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - российский информационно-аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования	<a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>
«Единое окно» доступа к образовательным ресурсам	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>
Междисциплинарное обучение	<a href="http://www.nano-obr.ru/">http://www.nano-obr.ru/</a>
Статьи о машиностроении	<a href="http://machineguide.ru/">http://machineguide.ru/</a>
Портал отраслевой информации о машиностроении	<a href="http://www.mashportal.ru/">http://www.mashportal.ru/</a>



Ресурс о машиностроении	<a href="http://www.i-mash.ru/">http://www.i-mash.ru/</a>
Техническая литература по машиностроению	<a href="http://www.mirstan.ru/index.php?page=tech">http://www.mirstan.ru/index.php?page=tech</a>
Библиотека технической литературы	<a href="http://window.edu.ru/library?p_rubr=2.2.75.11.34">http://window.edu.ru/library?p_rubr=2.2.75.11.34</a>
Инженерные решения из различных областей проектирования	<a href="http://chertezhi.ru/">http://chertezhi.ru/</a> <a href="http://www.all-library.com/ansys/">www.all-library.com/ansys/</a> <a href="http://www.cadfem-cis.ru">www.cadfem-cis.ru</a> <a href="https://cae.urfu.ru/ru/">https://cae.urfu.ru/ru/</a>
Все о машиностроении	<a href="http://dlja-mashinostroitelja.info/">http://dlja-mashinostroitelja.info/</a>
Союз машиностроителей России	<a href="http://www.soyuzmash.ru/">http://www.soyuzmash.ru/</a>
Информационно-аналитический сайт по материалам зарубежной печати о современных технологиях и инструментах для металлообработки	<a href="http://www.stankoinform.ru/index.htm">http://www.stankoinform.ru/index.htm</a>

### Учебно-методические издания

1. Иванченко А.Б. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Системы конечно-элементного анализа (CAE-системы)» для студентов направления 27.03.05 [Электронный ресурс] / сост. Иванченко А.Б.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2018. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
2. Иванченко А.Б. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Системы конечно-элементного анализа (CAE-системы)» для студентов направления 27.03.05 [Электронный ресурс] / сост. Иванченко А.Б.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2018. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
3. Иванченко А.Б. Оценочные средства по дисциплине «Системы конечно-элементного анализа (CAE-системы)» для студентов направления 27.03.05 [Электронный ресурс] / сост. Иванченко А.Б.; Влад. гос. ун-т. ТМС - Владимир, 2018. - Доступ из корпоративной сети ВлГУ. - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>

### Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- 1) Портал Центр дистанционного обучения ВлГУ [электронный ресурс] / - Режим доступа: <http://cs.cdo.vlsu.ru/>
- 2) Раздел официального сайта ВлГУ, содержащий описание образовательной программы [электронный ресурс] / - Режим доступа: Образовательная программа 27.03.05 «Инноватика»  
<http://op.vlsu.ru/index.php?id=167>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Суперкомпьютер «СКИФ МОНОМАХ» производительностью 4,7 Т-Флопс.
2. Четыре компьютерных класса, обеспечивающие связь с суперкомпьютером «СКИФ МОНОМАХ».
3. Лицензионное программное обеспечение: университетские версии CAD/CAM/CAE-систем Pro/ENGINEER, Pro/MECHANICA, Creo Parametric, ANSYS, SolidWorks Simulation, математические пакеты Mathcad, MATLAB.
4. Аудитория 227-2 для проектной и самостоятельной работы студентов.

В состав аудитории входят 12 графических станций с установленным необходимым программным обеспечением: Сгео, КОМПАС, MathCad и др.

## **9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ**

### **9.1. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### **9.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ОВЗ**

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При обучении студентов с нарушениями слуха предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При обучении студентов с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для удаленного просмотра.

При обучении студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

### **9.3. Требования к фонду оценочных средств для лиц с ОВЗ**

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья предусмотрены дополнительные оценочные средства, перечень которых указан в таблице 1.

Таблица 1 – Дополнительные средства оценивания для студентов с инвалидностью

Категории студентов	Виды дополнительных оценочных средств	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные лабораторные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к заче-	Преимущественно устная про-

	ту, опрос по терминам	верка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные лабораторные, самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные лабораторные, самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, исходя из состояния обучающегося на момент проверки

#### **9.4. Методические рекомендации по оценочным средствам для лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы.

Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС  
ВО по направлению 27.03.05 «Инноватика»

Рабочую программу составил к.т.н., доцент каф. ТМС Иваницкого А.В.  
(ФИО, подпись)

Рецензент:

(представитель работодателя) ООО «Конструкторское бюро технологий  
машиностроения», генеральный директор

Дарсалия Р.Г.

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Технология машиностроения

Протокол № 1 от 3.09.2018 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В.

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 27.03.05 «Инноватика»

Протокол № 1 от 3.09.2018 года

Председатель комиссии д.т.н., профессор Морозов В.В.

(ФИО, подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 2020/2021 учебный год

Протокол заседания кафедры № 1 от 01.09.2020 года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_



Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор Морозов В.В. \_\_\_\_\_