



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИАТЭ

Наименование института

С.О. Гапоненко

« 25 » 03 20 26 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.20.11 Вычислительная механика деформирования и разрушения

(Код и наименование дисциплины в соответствии с РУП)

Направление подготовки

13.03.03 Энергетическое машиностроение

(Код и наименование направления подготовки)

Направленность(и) *
(профиль(и))

Цифровой инжиниринг при проектировании и
диагностике газотурбинных установок

(Наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация

Бакалавр

(Бакалавр / Магистр)

г. Казань, 2026

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч.степень, уч.звание	ФИО разработчика
ЭМС	Доцент, канд. физ-мат. наук	Клейдман Ольга Владимировна

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	ЭМС	16.03.2026	8	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р.
Согласована	ЭМС	16.03.2026	8	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Мингалеева Г. Р.
Согласована	Учебно-методический совет института ИАТЭ	17.03.2026	7	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.
Одобрена	Ученый совет института ИАТЭ	17.03.2026	7	_____ Директор, к.т.н., доц. Гапоненко С.О.

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

(Цель и задачи освоения дисциплины, соответствующие цели ОП)

Целью освоения дисциплины «Вычислительная механика деформирования и разрушения» является изучение главных тем прочностного курса – теории упругости, пластичности, ползучести, упруго-пластической механики трещин и основ самого эффективного в расчётной практике метода конечных элементов (МКЭ).

Задачами дисциплины являются:

- изучение механики деформируемых твёрдых тел, включающей теорию напряжённо-деформированного состояния (НДС) в точке, теорию поля напряжений и поля деформаций в упругой среде;
- овладение основами анализа НДС за пределами упругости;
- изучение основных понятий механики трещин (разрушения);
- получение основ численного решения задач механики деформирования и разрушения с помощью МКЭ.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ОПК-5. Способен рассчитывать элементы энергетических машин и установок с учетом свойств конструкционных материалов, динамических и тепловых нагрузок	ОПК-5.2 Демонстрирует знание кинематических и динамических характеристик машин и механизмов, умеет рассчитывать детали машин и механизмов, применять методику определения статических и динамических нагрузок

2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. «Математика», «Физика», «Начертательная геометрия и инженерная графика», «Материаловедение и технология конструкционных материалов», «Механика», «Теоретические основы теплотехники», «Проектно-конструкторская деятельность в энергомашиностроении».

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др. «Динамика и прочность газовых турбин», «Теория и расчет газовых турбин», «Современные технологии цифрового моделирования турбомашин», «Диагностика газотурбинных установок», производственная практика (преддипломная), подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр (ы)
			6
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	3	108	108
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	38	38

АУДИТОРНАЯ РАБОТА	0,83	30	30
Лекции	0,44	16	16
Практические (семинарские) занятия	0,39	14	14
Лабораторные работы	-	0	0
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	2,17	78	78
Проработка учебного материала	2,17	78	78
Курсовой проект	0	0	0
Курсовая работа	0	0	0
Подготовка к промежуточной аттестации	0	0	0
Промежуточная аттестация:			3
			-

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1	26	4	0	4	18	ТК1	ОПК-5.2
Раздел 2	28	4	0	4	20	ТК2	ОПК-5.2
Раздел 3	26	4	0	2	20	ТК3	ОПК-5.2
Раздел 4	28	4	0	4	20	ТК4	ОПК-5.2
Зачет	0				0	ОМ 1	ОПК-5.2
Итого за 6 семестр	108	16	0	14	78		
ИТОГО	108	16	0	14	78		

3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Теория упругости. Теория напряжённо-деформированного состояния в точке и в упругой среде.

Тема 1.1. Задачи, принципы и методы механики деформируемого твердого тела. Компоненты напряжений и деформаций в элементарном объеме. Плоское напряженное состояние и плоская деформация. Условия на границе тела. Главные напряжения. Интенсивность напряжений и деформаций.

Тема 1.2. Теория поля напряжений и деформаций в упругой среде. Дифференциальные уравнения равновесия и движения. Геометрические уравнения (Коши). Уравнения совместности (неразрывности) деформаций. Обобщенный закон упругости. Плотность энергии деформации. Основные уравнения теории упругости и методы их решения. Решение задачи в перемещениях и напряжениях. Концентрация напряжений около кругового отверстия.

Раздел 2. Теория пластичности и ползучести.

Тема 2.1. Аппроксимация диаграмм деформирования. Условия возникновения пластических деформаций. Основные гипотезы теории

упруго-пластических деформаций. Зависимости между напряжениями и деформациями за пределами упругости. Частный случай - плоская задача (Рамберга-Осгуда). Основные уравнения теории упруго-пластических деформаций. Решение задачи теории пластичности по методу переменных параметров упругости.

Тема 2.2. Основные положения теории ползучести. Модели деформируемого тела. Кривые ползучести. Длительная прочность. Релаксация напряжений.

Раздел 3. Упругопластическая механика трещин.

Тема 3.1. Основные понятия механики трещин. Компоненты упругих напряжений для плоской задачи в области вершины трещины. Упругие КИН (коэффициенты интенсивности напряжений) для плоской задачи. J-интеграл и его свойства.

Тема 3.2. Упругопластические поля напряжений, деформаций, перемещений, КИН. Зона процесса разрушения и плотность энергии деформации. Траектория развития трещин

Раздел 4. Основы метода конечных элементов (МКЭ). Численное решение задач механики деформирования и разрушения.

Тема 4.1. Вариационное уравнение метода конечных элементов. Аппроксимация перемещений внутри элемента. Деформации и напряжения внутри элемента. Обобщение на всю область. Особенности решения упругопластических задач МКЭ. Последовательность проведения расчёта по МКЭ. Виды КЭ.

Тема 4.2. МКЭ в механике трещин. Специальные КЭ. Прямые методы вычисления КИН. Энергетические методы расчёта КИН. Расчёт КИН с использованием J-интеграла.

3.4. Тематический план практических занятий

1. Расчет упругих полей напряжений и анализ концентрации напряжений в области кругового отверстия в пластине при двухосном нагружении с использованием программного комплекса «Mathcad». Основные уравнения для плоской задачи в полярных координатах. Распределение компонент напряжений во вращающемся диске (аналитическое решение с помощью MathCad).

2. Аналитическое исследование упругонапряженного состояния толстостенной трубы под действием внутреннего и внешнего давления с использованием программного комплекса «Mathcad»; исследование упругопластического состояния толстостенной трубы под действием внутреннего давления с использованием «Mathcad»; Уравнения в цилиндрической системе координат;

3. Статический анализ стержневых и балочных конструкций при изгибе или кручении с помощью (МКЭ) ППП «ANSYS» (одномерные задачи)

4. Использование (МКЭ) ППП «ANSYS» при анализе напряжённо-деформированного состояния пластины с отверстием (двумерные задачи);

5. Использование (МКЭ) ППП «ANSYS» при анализе напряжённо-деформированного состояния толстостенного цилиндра под внутренним давлением с учётом пластических деформаций (трёхмерные задачи);

6. Решение задач с температурными деформациями (напряжениями) для

ступенчатого вала из разнородных материалов, используя МКЭ в «ANSYS»;

7. Примеры расчёта КИН и J-интеграла в упругих телах с трещинами в ППП «ANSYS».

3.5. Тематический план лабораторных работ

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

3.6. Курсовой проект /курсовая работа

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

4.Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			Зачтено		не зачтено	
ОПК-5	ОПК-5.2	<p>знать:</p> <p>Основные характеристики материала исследуемых элементов машин. Основные уравнения механики деформируемых твёрдых тел и методы их решения, постановку краевой задачи в перемещениях и напряжениях. Основные понятия механики</p>	<p>Студент самостоятельно извлекает новые знания по темам дисциплины. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок</p>	<p>Студент демонстрирует уверенно аналитические знания. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок</p>	<p>Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию. Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок</p>	<p>Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки</p>

		трещин и метода конечных элементов.				
		уметь:				
		<p>Формулировать расчетную схему реальной инженерной конструкции или процесса. Проводить расчёт и анализ поведения элементов конструкции под действием эксплуатационного нагружения в условиях упругости, пластичности, ползучести и разрушения с учётом теории напряжённо-деформированного состояния (НДС) для разных св-в конструктивных материалов и граничных условий.</p>	<p>Студент умеет самостоятельно творчески выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме</p>	<p>Студент умеет самостоятельно выполнять действия по решению нестандартных задач. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые недочеты</p>	<p>Студент умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме</p>	<p>При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки</p>
		владеть:				
		<p>Фундаментальным и аналитическими подходами (для упрощённых форм конструкций и условий эксплуатации) и численными методами, МКЭ (для сложных</p>	<p>Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов</p>	<p>Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами</p>	<p>Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами</p>	<p>При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки</p>

		геометрии и нагружения) при анализе НДС элементов установок и машин				
--	--	---	--	--	--	--

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедреразработчика.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Учебно-методическое обеспечение

5.1.1. Основная литература

1. Вычислительная механика деформирования и разрушения: учебное пособие для вузов / В. Н. Шлянников. - Казань : КГЭУ, 2001. - 250 с.

2. Каменских А. А. Реализация решения задач механики контактного взаимодействия в прикладном пакете ANSYS: учебное пособие / А. А. Каменских, М. Л. Бартоломей. - Пермь : Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2017. - 65 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/160839>. - ISBN 978-5-398-01750-2. - Текст : электронный.

3. Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг: учебное пособие / О. В. Мкртычев, В. Б. Дорожинский. - Москва : Издательство МИСИ - МГСУ, 2021. - 66 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/179197>. - ISBN 978-5-7264-2872-7. - Текст : электронный.

4. Банщикова И. А. Комплекс ANSYS: анализ устойчивости конструкций: учебное пособие / И. А. Банщикова, М. А. Леган, К. А. Матвеев. - Новосибирск : Издательство НГТУ, 2017. - 66 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/118128>. - ISBN 978-5-7782-3383-6. - Текст : электронный

5. Кац А. М. Теория упругости: учебник для вузов / А. М. Кац. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2002. - 208 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 5-8114-0453-0. - Текст: непосредственный.

6. Мартычев, О. В. Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг: учебное пособие / О. В. Мкртычев, В. Б. Дорожинский. - Москва: Издательство МИСИ - МГСУ, 2021. - 66 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/179197>. - ISBN 978-5-7264-2872-7. - Текст: электронный.

7. Молотников, В. Я. Теория упругости и пластичности: учебное пособие для вузов / В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2026. — 532 с. — ISBN 978-5-507-56216-9. — Текст:

электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/514164>.

5.1.2. Дополнительная литература

1. Введение в метод конечных элементов: учебное пособие для вузов / В.Н.Шлянников, Б.В.Ильченко. - Казань : КГЭУ, 2004. - 144 с.

2. Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS: практикум / А. С. Павлов. - Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет, 2014. - 58 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/63695>. - ISBN 978-5-85546-825-0. - Текст : электронный.

3. Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления материалов: учебное пособие / В. П. Радин, Ю. Н. Самогин, В. П. Чирков. - Москва: Физматлит, 2013. - 316 с. - URL:<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114851.html>. - ISBN 978-5-9221-1485-1. - Текст : электронный.

4. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. - 2-е изд., испр. - М. : Едиториал УРСС, 2004. - 272 с. - ISBN 5-354-00729-1. - Текст : непосредственный.

5. Решение типовых задач расчета элементов конструкций с использованием системы конечно-элементного моделирования ANSYS: практикум / сост.: П. Н. Рудовский, Т. А. Ситникова. - Кострома : КГУ, 2021. - 68 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/176321>. - Текст : электронный.

6. Физические величины: справочник / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 1232 с. - Текст : непосредственный.

7. Комплекс ANSYS: нелинейный прочностной анализ конструкций: учебное пособие / И. А. Банщикова, Г. И. Расторгуев. - Новосибирск : Издательство НГТУ, 2015. - 94 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/118188>. - ISBN 978-5-7782-2816-0. - Текст : электронный.

8. Решение задач теории упругости методом конечных элементов с использованием Mathcad: методические указания по дисциплине «Численные методы в механике» / сост.: П. В. Королёв, Л. Б. Маслов. - Иваново : ИГЭУ, 2022. - 36 с. - URL: <https://elib.ispu.ru/node/12377>. - Текст : электронный.

5.2. Информационное обеспечение

5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Электронно-библиотечная система «Лань»	https://e.lanbook.com/
2	Электронно-библиотечная система «ibooks.ru»	https://ibooks.ru/
3	Электронно-библиотечная система «book.ru»	https://www.book.ru/
4	Энциклопедии, словари, справочники	http://www.rubricon.com
5	Портал "Открытое образование"	http://npoed.ru
6	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru
7	Научно-технический центр «АПИМ»	https://apm.ru/
8	Электронная библиотека КГЭУ	https://lib.kgeu.ru/

5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1	Российская национальная библиотека	http://nlr.ru/	http://nlr.ru/
2	Платформа SpringerLink	www.link.springer.com	www.link.springer.com
3	КиберЛенинка	https://cyberleninka.ru/	https://cyberleninka.ru/
4	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru	http://elibrary.ru
5	Национальная электронная библиотека (НЭБ)	https://rusneb.ru/	https://rusneb.ru/
6	Техническая библиотека	http://techlibrary.ru	http://techlibrary.ru
7	eLIBRARY.RU	www.elibrary.ru	www.elibrary.ru
8	SpringerLink	www.link.springer.com	www.link.springer.com
9	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/	http://window.edu.ru/
10	Физика твёрдого тела	journals.ioffe.ru	journals.ioffe.ru
11	«Консультант плюс»	http://www.consultant.ru/	http://www.consultant.ru/

5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
1	Windows 7 Профессиональная (Starter)	Пользовательская операционная система	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2011.25486 от 28.11.2011 Неискл. право. Бессрочно
2	Office Standard 2007 Russian OLP NL AcademicEdition+	Пакет программных продуктов содержащий в себе необходимые офисные программы	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №21/2010 от 04.05.2010 Неискл. право. Бессрочно
3	LMS Moodle	ПО для эффективного онлайн-взаимодействия преподавателя и студента	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
4	Браузер Chrome	Система поиска информации в сети интернет	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
5	Компас-3D V13 Модуль АРМФЕМ	Программное обеспечение для трёхмерного моделирования, дополнительный модуль с применением МКЭ в механических задачах	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №33659/KZN12 от 04.05.2012 Неискл. право. Бессрочно

6	APM WinMachine	ПО для проведения расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения, в том числе с применением МКЭ.	ООО "НТЦ "АПМ" №2018.53027 от 15.10.2018 Неискл. право. Бессрочно
7	ANSYS	ПО для анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций методом конечных элементов и прогнозирования остаточного ресурса	лицензия

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Д-514	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (доска аудиторная), компьютеры в комплекте с монитором (21 шт.), учебные плакаты с изображениями деталей и узлов) и др., лицензионное программное обеспечение
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет Д-514	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют

возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www/kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

Гражданское и патриотическое воспитание:

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии,

дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

Духовно-нравственное воспитание:

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

Культурно-просветительское воспитание:

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

Научно-образовательное воспитание:

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

Приложение к рабочей
программе дисциплины



КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине**

Б1.О.20.11 Вычислительная механика деформирования и разрушения

(Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки

13.03.03 Энергетическое машиностроение

(Код и наименование направления подготовки)

Квалификация

Бакалавр

(Бакалавр / Магистр)

г. Казань, 2026

Оценочные материалы по дисциплине «Вычислительная механика деформирования и разрушения», предназначены для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

1. Технологическая карта

Семестр __6__

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные	III текущий контроль	Дополнительные	Итого	Промежуточная аттестация
Раздел 1. «Теория упругости. Теория напряжённо-деформированного состояния в точке и в упругой среде.»	ТК1	14	0-11					14-25	14-25
Тест или письменный опрос		3							
Отчет по самостоятельной работе		3							
Выполнение индивидуальных практических заданий		8							
Раздел 2. «Теория пластичности и ползучести»	ТК2			14	0-11			14-25	14-25
Тест или письменный опрос				3					
Отчет по самостоятельной работе				3					
Выполнение индивидуальных практических заданий				8					
Раздел 3. «Уругопластическая механика трещин»	ТК3					13	0-12	13-25	13-25-
Тест или письменный опрос						3			
Отчет по самостоятельной работе						2			
Выполнение индивидуальных практических заданий						8			
Раздел 4. «Основы метода конечных элементов (МКЭ). Численное решение задач механики деформирования и разрушения»	ТК3					14	0-11	14-25	14-25-

Тест или письменный опрос						3			
Отчет по самостоятельной работе						3			
Выполнение индивидуальных практических заданий						8			
Промежуточная аттестация (зачет)	ОМ								0-45
Задание промежуточной аттестации									0-15
В письменной форме по билетам									0-30

2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			Зачтено			не зачтено
ОПК-5	ОПК-5.2. Демонстрирует знание кинематических и динамических характеристик машин и механизмов, умеет рассчитывать детали машин и механизмов, применять методику определения статических и динамических нагрузок	знать:				
		Основные характеристики материала исследуемых элементов машин. Основные уравнения механики деформируемых твердых тел и методы их решения, постановку краевой задачи в перемещениях и напряжениях. Основные понятия механики трещин и метода конечных элементов.	Студент самостоятельно извлекает новые знания по темам дисциплины. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Студент демонстрирует уверенно аналитические знания. Уровень знаний в объеме, соответствующем программе, имеет место несколько негрубых ошибок	Студент демонстрирует знание-знакомство, знание-копию. Минимально допустимый уровень знаний, имеет место много негрубых ошибок	Уровень знаний ниже минимальных требований, имеют место грубые ошибки
		уметь:	Формулировать	Студент	Студент	Студент

		<p>расчетную схему реальной инженерной конструкции или процесса. Проводить расчёт и анализ поведения элементов конструкции под действием эксплуатационного нагружения в условиях упругости, пластичности, ползучести и разрушения с учётом теории напряжённо-деформированного состояния (НДС) для разных свойств конструктивных материалов и граничных условий.</p>	<p>умеет самостоятельно творчески выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме</p>	<p>умеет самостоятельно выполнять действия по решению нестандартных задач. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами</p>	<p>умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции. Продемонстрированы основные умения, решены типовые задачи с негрубыми ошибками, выполнены все задания, но не в полном объеме</p>	<p>решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения, имеют место грубые ошибки</p>
		<p>владеть:</p>	<p>Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов</p>	<p>Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами</p>	<p>Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами</p>	<p>При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки, имеют место грубые ошибки</p>
	<p>Фундаментальными аналитическим и подходами (для упрощённых форм конструкций и условий эксплуатации) и численными методами, МКЭ (для сложных геометрии и нагружения) при анализе НДС элементов</p>					

		установок и машин				
--	--	-------------------	--	--	--	--

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение *расчетных работ в семестре; тестовых заданий; глубокое понимание технологических методов расчета норм расхода материалов, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое и практическое задание);*

Оценка **«хорошо»** выставляется за выполнение *расчетных работ в семестре; тестовых заданий; понимание технологических методов расчета норм расхода материалов, ответы на вопросы билета (теоретическое или практическое задание);*

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение *расчетных работ в семестре и тестовых заданий;*

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение *расчетных работ в семестре и тестовых заданий.*

3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Опрос по разделам (темам)	Знание основных понятий темы/раздела/дисциплины	Перечень определений основных понятий темы/дисциплины
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий

4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Пример задания

Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ОПК-5.2. Демонстрирует знание кинематических и динамических характеристик машин и механизмов, умеет рассчитывать детали машин и механизмов, применять методику определения статических и динамических нагрузок.

Вопросы к комплексному заданию ТК1

1. Физический смысл компонент тензора напряжений (например, σ_x , τ_{yx})
2. Обобщенный закон Гука для изотропного тела
3. Примеры деталей или зон в механизмах, где с высокой точностью реализуется плоское напряженное состояние. Как в этом случае упрощаются уравнения равновесия и закон Гука
4. Тензор деформаций. Соотношения Коши.
5. Главные напряжения. Почему их определение является первым ключевым шагом при оценке прочности детали по любому из классических критериев (Сен-Венана, Мизеса, Мора)
6. Физическая причина возникновения концентрации напряжений вблизи отверстий, выточек, галтелей. Как тензорный подход к описанию НДС позволяет понять, что даже при одноосном нагружении в зоне концентрации возникает сложное объемное напряженное состояние
7. Дифференциальные уравнения равновесия и движения. Граничные условия

Типовые задачи:

1. Построить графики углового и радиального распределения напряжений и провести анализ концентрации напряжений в области кругового отверстия в пластине при двухосном нагружении
2. Исследовать распределение компонент напряжений во вращающемся диске с заданной угловой скоростью. Уравнения использовать в полярной системе координат.
3. Аналитически исследовать упругое напряженное состояние толстостенной трубы под действием внутреннего и внешнего давления с использованием программного комплекса «mathcad»;
4. Использование (МКЭ) ППП «ANSYS» при анализе напряжённо-деформированного состояния пластины с отверстием при двухосном нагружении.

Для текущего контроля ТК2:

Проверяемая компетенция: ОПК-5.2. Демонстрирует знание кинематических и динамических характеристик машин и механизмов, умеет рассчитывать детали машин и механизмов, применять методику определения статических и динамических нагрузок.

Вопросы к комплексному заданию ТК2

1. Разница между поведением материала в упругой и пластической областях, физический смысл условия пластичности Мизеса (энергетический критерий) и Треска-Сен-Венана (критерий максимальных касательных напряжений)
2. Диаграмма растяжения в истинных напряжениях, концепции изотропного и кинематического упрочнения
3. Что такое ползучесть материала, когда необходимо учитывать в расчётах

4. Длительная прочность материалов
5. Разница между явлениями ползучести (при постоянном напряжении) и релаксации напряжений
6. Почему в некоторых случаях пластичность является положительным фактором, поглощающим энергию удара, а в других (при циклическом нагружении) ведет к ускоренному усталостному разрушению
7. Зависимости между напряжениями и деформациями за пределами упругости

Типовые задачи:

1. Исследовать аналитически упругопластическое состояние толстостенной трубы под действием внутреннего давления с использованием «mathcad»; Уравнения использовать в цилиндрической системе координат.
2. Использование (МКЭ) ППП «ANSYS» при анализе напряжённо-деформированного состояния толстостенного цилиндра под внутренним давлением с учётом пластических деформаций(трёхмерные задачи);

Для текущего контроля ТКЗ:

Проверяемая компетенция: ОПК-5.2. Демонстрирует знание кинематических и динамических характеристик машин и механизмов, умеет рассчитывать детали машин и механизмов, применять методику определения статических и динамических нагрузок.

Вопросы к комплексному заданию ТКЗ

1. Компоненты упругих напряжений для плоской задачи в области вершины трещины
2. Преимущество J-интеграла перед коэффициентом интенсивности напряжений для анализа трещин в упругопластических материалах
3. Оценка критического размера дефекта, используя упругопластический подход
4. Основные ограничения применения классической упругопластической механики трещин (на основе J-интеграла)
5. Критерий разрушения в упругопластической постановке
6. Две одинаковые стальные пластины с одинаковыми трещинами. Одна пластина из высокопрочной хрупкой стали, другая — из пластичной конструкционной. Почему для оценки прочности первой пластины достаточно линейной механики трещин (параметр K), а для второй инженеру обязательно нужно использовать J-интеграл? Что происходит с материалом у вершины трещины в каждом случае

Типовые задачи:

1. Примеры расчёта КИН и J-интеграла в упругих телах с трещинами в ППП «ANSYS». Пластина с центральной трещиной при растяжении

2. Примеры расчёта КИН и J-интеграла в упругих телах с трещинами в ППП «ANSYS». Пластина с краевой трещиной при растяжении
3. Примеры расчёта КИН и J-интеграла в упругих телах с трещинами в ППП «ANSYS». Цилиндрический образец с наружной кольцевой трещиной при наличии температурного градиента по длине
4. Примеры расчёта КИН и J-интеграла в упругих телах с трещинами в ППП «ANSYS». Цилиндрический полый образец с внутренней кольцевой трещиной при наличии температурного градиента по длине.

Для текущего контроля ТК4:

Проверяемая компетенция: ОПК-5.2. Демонстрирует знание кинематических и динамических характеристик машин и механизмов, умеет рассчитывать детали машин и механизмов, применять методику определения статических и динамических нагрузок.

Вопросы к комплексному заданию ТК4

1. Принцип Лагранжа, на котором основан метод конечных элементов
2. Деформации и напряжения внутри элемента
3. Выбор типа конечного элемента. В каких случаях для моделирования следует использовать объёмные (тетраэдры, гексаэдры), оболочечные или стержневые конечные элементы
4. Последовательность проведения расчётов по МКЭ
5. Сетка конечных элементов и сходимость решения
6. Почему корректное задание граничных условий (закреплений) и нагрузок — самый ответственный этап моделирования
7. Как можно рассчитать коэффициент интенсивности напряжений (K) или J-интеграл для трещины сложной формы в детали, используя результаты МКЭ-расчета? Почему это мощный инструмент для оценки остаточного ресурса

Типовые задачи:

1. Статический анализ стержневых и балочных конструкций при изгибе с помощью (МКЭ) ППП «ANSYS» (одномерные задачи) с разными граничными условиями и заданной сосредоточенной силой
2. Использование (МКЭ) ППП «ANSYS» при анализе напряжённо-деформированного состояния пластины с отверстием (двумерные задачи);
3. Статический анализ стержневых конструкций при кручении с помощью (МКЭ) ППП «ANSYS» с заданным моментом кручения
4. Решение задач с температурными деформациями (напряжениями) для ступенчатого вала из разнородных материалов, используя МКЭ в «ANSYS»;

Для промежуточной аттестации:

Список примерных вопросов

1. Основные гипотезы механики деформируемого твёрдого тела.
2. Плоское напряжённо состояние и плоская деформация.
3. Интенсивность напряжений и деформаций.
4. Компоненты напряжений и деформаций в элементарном объёме.
5. Условия на границе тела.
6. Уравнения равновесия и движения.
7. Геометрические уравнения Коши.
8. Уравнения неразрывности деформаций.
9. Обобщённый закон упругости и его различные формы записи.
10. Закон упругого изменения объёма и формы.
11. Плотность энергии деформации
12. Решены задачи упругости в перемещениях и напряжениях.
13. Вариационное уравнение метода конечных элементов